

*Capítulo IV*

---

---

*DINÂMICA LOCAL DOS SISTEMAS COSTEIROS*



## 1 - FRENTE LITORÂNEA

### 1.1 – Morfologia da Plataforma da Área de Estudo

A morfologia atual da plataforma na área de estudo foi observada através das cartas DHN n.ºs. 802 e 810 e pode ser dividida em dois grandes compartimentos com características distintas, a saber: compartimento de mar aberto, compartimento do estuário e canais de maré.

No compartimento de mar aberto, em relação aos traços mais amplos, observa-se à cerca de 15 km a nordeste de Natal, que o contorno da isóbata de 20 m. descreve uma reentrância de direção NESW, demarcando com clareza um pequeno canal. No centro deste pequeno canal, encontram-se profundidades de 21 a 23 m., margeadas por fundos de 15 a 18 m.

Pouco mais a sul, o contorno da isóbata de 20 m. delinea uma crista estreita e alongada, com direção N-S, que se constitui neste local um alto fundo com profundidades de 15 a 18 m. Nas margens dessa crista, as profundidades crescem rapidamente, encontrando-se em seu lado oeste fundos em torno de 23 m. No lado leste, a passagem é mais abrupta, encontrando-se fundos de 25 a 28 m. de profundidade.

Este conjunto de feições se assemelha muito à atual barra do Potengi, podendo corresponder a uma paleo-barra e um paleo-recife construídos em um nível de mar de cerca de 20 m. abaixo do atual.

Ainda na área de mar aberto, com respeito ao setor mais próximo da costa, pode-se observar uma nítida mudança no contorno das isóbatas de 5 e 10 m., a partir da barra do Potengi para norte e para sul.

A sul da barra, a isóbata de 10 m. margeia a costa a uma distância média de cerca de 800 m., aproximando-se progressivamente da costa em direção ao norte. Junto ao Forte dos Reis Magos, encontra-se a apenas 200 m. do recife. Padrão idêntico é apresentado pela isóbata de 5 m., que chega mesmo a encostar no recife a sul do Forte dos Reis Magos.

A norte da barra do Potengi, as curvas afastam-se da costa, situando-se a isóbata de 10 m. cerca de 2,0 a 2,5 Km. da praia da Redinha.

Este padrão de distribuição das isóbatas evidencia que ao norte do Potengi ocorre uma superfície bem pouco inclinada formando quase um “platô” com profundidades em torno de 5 a 6 m., avançando em direção ao mar aberto. Por outro lado, a sul da barra, a zona de mudança

de profundidades é bastante estreita, configurando uma superfície bastante inclinada, chegando a constituir-se, próximo ao Forte dos Reis Magos, em um paredão, onde encostado ao recife já se encontram profundidades de 7 e 8 m.

A partir da isóbata de 10 m. para leste, encontra-se em toda a área, tanto a norte como a sul do Potengi, uma superfície com poucas irregularidades, caindo suavemente para o mar, com profundidades em torno de 12 m.

Apenas à leste da ponta de Mãe Luiza, ocorrem algumas irregularidades constituídas por altos fundos à cerca de 9 m. de profundidade.

No compartimento do estuário e canais de maré, podem ser distinguidas zonas de maior profundidade, situadas, em geral, defronte a zonas de baixa profundidade com bancos e coroas.

Observa-se que as zonas mais profundas do canal principal situam-se junto às margens côncavas, enquanto que as zonas de baixas profundidades situam-se nas margens convexas. Este padrão evidencia um canal principal de seção assimétrica. Pouco a sul da pedra do Oitizeiro encontra-se a única exceção, onde “a grosso modo” a zona mais profunda situa-se no centro do canal. Dentro das zonas de maior profundidade, em toda a margem direita do Potengi, da pedra do Oitizeiro até as proximidades da gamboa Manimbu, encontra-se uma faixa alongada e estreita com profundidades em torno de 11m, sendo a zona mais profunda do estuário. Também junto à Redinha e na boca da barra, encontram-se grandes profundidades, chegando a valores de 13 e 15 m.

Nos canais de maré, a norte da ponte rodo-ferroviária de Igapó, e na gamboa Jaguaribe, embora as cartas 802 e 810 não contivessem informações batimétricas, foi possível observar durante os trabalhos de campo, que persistia o padrão assimétrico do canal principal, com maiores profundidades nas margens côncavas e baixas nas margens convexas.

Para o interior do estuário, as zonas de baixa profundidade, situadas nas margens convexas, estão no geral associadas ao crescimento dos mangues. Já no baixo estuário, das proximidades do farolete Potengi até a barra, os bancos e coroas das zonas de baixa profundidade são constituídos essencialmente por material arenoso, como, por exemplo, nos bancos Jaguaribe e das Velhas, acarretando uma grande mobilidade destas feições. Observando-se as profundidades existentes nas proximidades da barra, é notável a presença de uma elevação topográfica justamente à entrada da barra, configurando uma soleira.

Entre os recifes de Natal e da Baixinha, encontram-se profundidades de 12 a 15 m; seguindo-se em direção ao interior do estuário, as profundidades passam para 8, 7 e 6 m.,

voltando a atingir valores mais elevados como 9, 11 e 13 pouco ao sul da Redinha.

A linha de costa da região teve o seu modelamento relacionado pela combinação de ondas e correntes paralelas à costa e ainda pela intensa atividade eólica na região.

A resposta desse processamento ambiental resultou numa complexidade de feições morfológicas, onde se destacam enseadas separadas por falésias, com linhas de recifes geralmente submersas nas preamares.

As praias atuais da área são constituídas por areias médias e grossas inconsolidadas com média a baixa inclinação que, para o interior, dão lugar a campos de dunas.

## 1.2 – Clima de Ondas

A costa brasileira pode, de uma forma geral, ser considerada como uma área calma, por não ser afetada por nenhum sistema climático capaz de gerar tormentas de grandes magnitudes. O maior sistema meteorológico que está presente no Brasil é o anticiclone do Atlântico Sul, que apresenta características estacionárias, devido a sua atuação quase permanente, e que é responsável pela formação das frentes frias que se deslocam na direção norte. Em geral, observa-se uma redução da frequência e energia das ondas, da costa sul para a região nordeste.

Segundo Homsí (1978), que definiu as características das ondas para as regiões Sul, Sudeste e parte oriental do Nordeste do Brasil, incluindo Natal, e baseado no registro de 14 ondógrafos, as ondas com maior altura significativa ( $H_s$ ), registrada durante todo o período de estudo (1962 - 1978) e considerando todas as direções e estações do ano, foram de 4,9 m, na estação de Tramandaí (extremo sul do Brasil), no outono de 1963; a segunda região que apresentou as maiores alturas é a de Macaé (Rio de Janeiro), com uma  $H_s$  máxima da ordem de 4 metros, registrada no verão de 1978. Com exceção destas duas zonas, observa-se que a característica marcante do litoral, compreendido desde Rio Doce (18° de latitude sul) até Natal (5,9°s), é a de alturas significativas máximas inferiores a 4 metros.

A caracterização das ondas para a região de Natal, está baseada nos registros e relatórios dos 2 anos de medidas (1998-1999) das alturas das ondas, realizadas na estação ondográfica Leste-Reis Magos, pelo Instituto de Pesquisas Hidroviárias (INPH) e da HIDROCONSULT S.A. Os registros foram obtidos com um ondógrafo de pressão marca OSPOS 62-B2, fabricado pela Van Essen, instalado a uma profundidade média de 14m, com coordenadas (5°46'05''

de Latitude Sul e 35°11'01'' de Longitude Oeste). Os registros foram coletados diariamente, a intervalos de 3 horas e com 15 minutos de duração. As medidas de direção das ondas foram realizadas, duas vezes ao dia, utilizando um teodolito Wild, a partir de pontos de referência e corrigidos para o azimute verdadeiro.

A eficiência das campanhas foi avaliada pela relação entre o número total de registros e o número de registros possíveis, o que indicou, para o período analisado, um rendimento superior a 87% para as médias das alturas das ondas e 66% para as medidas de direção. O valor do rendimento obtido pode ser considerado satisfatório e representativo para este tipo de campanha.

### 1.2.1. – Ondas de Curto Período

A distribuição das ondas entre os tipos sea e swell define o comportamento do envelope praiar, onde, de uma forma simplificada, distinguem-se dois tipos básicos, denominados de perfis de inverno e verão.

Esta conceituação, que se propõe a resumir os estados dinâmicos da face de praia, na verdade reúne os resultados produzidos pelo predomínio de incidência de um dos dois tipos de ondas citadas durante um determinado período, definindo respectivamente os processos de emagrecimento e engorda do perfil transversal a praia.

A incidência de ondas do tipo swell é identificada como referente àquelas desenvolvidas ou originadas pelas variações nas condições meteorológicas no Atlântico Norte. Estas ondas, ao deslocarem-se por uma faixa de amplo fetch, atingem a costa com grande comprimento e período, provocando uma sobre-elevação do volume d'água (set-up). Este processo desencadeia a movimentação dos sedimentos do fundo e, ao romperem-se, as ondas o fazem normalmente direto sobre a berma.

O desenvolvimento deste **set up** gera uma dinâmica semelhante a proposta por Bruun (1962), promovendo a transposição dos sedimentos da face de praia no sentido de "offshore". Este processo geralmente resulta no truncamento da face de berma e escavação do envelope praiar a partir deste ponto, provocando o deslocamento dos materiais para "offshore", onde são depositados.

Nos locais onde não mais existe berma e/ou onde a zona sobre a qual ocorre a dissipação desta vigorosa energia tenha sido ocupada por estruturas fixas (“rock-shore, seawall” etc), o “set-up” desenvolvido poderá transpassar estas estruturas e provocar destruição.

As características das ondas para o período dos dois anos mostram que a altura significativa apresenta uma distribuição homogênea, que pode ser caracterizada por uma função lognormal ou Weibull  $k = 1,9$ , com altura média de 1,14 m, moda de 1,10m e desvio padrão de 0,21m (Figura 30). O período médio associado à altura significativa apresenta uma distribuição lognormal, com valor mais freqüente de 6,2 s, uma média de 6,4 segundos e um desvio padrão de 0,85s.

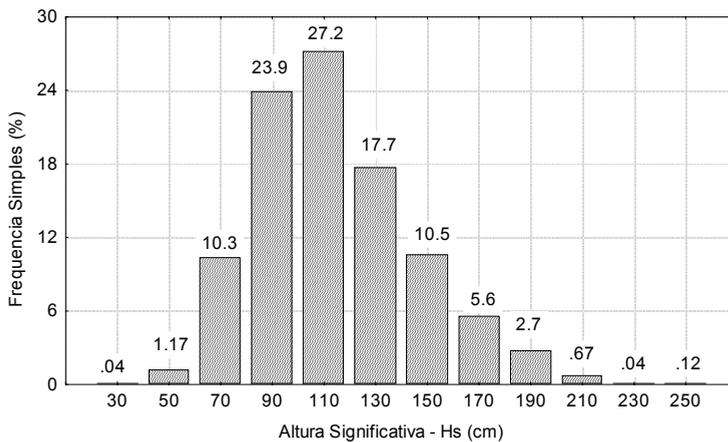


Figura 30 – Histograma da altura significativa no período de 1998 -1999.

A largura espectral ( $e$ ) é utilizada como um indicador do tipo de ondulação e pode ser calculada, entre outras formas, pela relação entre os períodos de cristas ( $T_c$ ) e o médio ( $T_z$ )  $\{e = (1 - (T_c/T_z)^2)^{0.5}\}$  ou por meio da esbeltez da onda definida pela relação entre ( $H_o/L_o$ ), onde são utilizados os seguintes limites: sea ( $H_o/L_o > 0,015$ ) e swell ( $H_o/L_o < 0,011$ ). Utilizando a segunda expressão para definir o tipo de ondas (Tabela 14), observa-se que as ondas tipo sea, formadas por influência dos campos de vento local, apresentam uma freqüência relativa de 70%, e as ondas tipo swell, formadas em regiões mais afastada da costa, uma freqüência de 12%. O restante da porcentagem relativa (19,22%) corresponde a ondas com características entre sea e swell, e que não pode ser diferenciada por este método.

Tabela 14 – Classificação dos tipos de ondas observadas utilizando a esbeltez (Ho/Lo).

Inclinação	Frequência (%)	Esbeltez	Total (%)
>25	0,35	0,0500	SEA
25 a 35	8,92	0,0400	
35 a 50	16,83	0,0286	
50 a 75	43,01	0,0200	69,11
<b>75 a 100</b>	<b>19,22</b>	<b>0,0133</b>	<b>19,22</b>
100 a 150	9,2	0,0100	SWELL
150 a 200	1,84	0,0067	
<200	0,63	0,0050	11,67

Na Tabela 15, se representa a distribuição direcional da altura significativa e do período médio para todo o intervalo de observações, divididos por intervalos angulares de 15 graus por trimestre. Observa-se que o clima de ondas de Natal apresenta uma forte componente Este, com a maioria das ondas distribuídas somente em três direções E, ENE e ESE.

A distribuição das alturas significativas das ondas apresenta uma série de variações anuais e direcionais, que caracterizam uma flutuação total entre 20 e 260 cm. Observa-se a presença de uma alternância nas condições energéticas ao longo do ano, com um período de menor energia de dezembro a maio, alturas entre 40 e 180 cm, e um outro, de maior energia, entre junho e novembro, com alturas entre 40 e 260 cm.

Com relação à distribuição direcional, se observa que as ondas de maior energia estão relacionadas principalmente com a direção ESE e, secundariamente, com o rumo Leste. Por último, vale ressaltar que, no período de setembro a fevereiro, não foram observadas ondas provenientes de ENE. O período médio também apresenta variações anuais e direcionais, com limites anuais entre 4,8 e 10,8 segundos.

Tabela 15 – Distribuição direcional e sazonal dos limites de variação da altura significativa e do período médio.

Dir.	Período/Parâmetros	Mar-Mai	Jun-Ago	Set-Nov	Dez-Fev	TOTAL
ENE	Hs (cm)	40-100	120-180	-	-	40-180
	Tz (s)	7,2-8,8	6,4-6,8	-	-	6,4-8,8
E	Hs (cm)	20-160	40-260	60-220	40-180	20-260
	Tz (s)	4,8-10,8	4,8-8	5,2-8,4	5,2-9,2	4,8-10,8
ESE	Hs (cm)	40-160	60-220	80-260	60-180	40-260
	Tz (s)	5,2-10,4	4,8-8	5,2-8	5,6-7,6	4,8-10,4
TOTAL	Hs (cm)	20-160	40-260	60-260	40-180	20-260
	Tz (s)	4,8-10,8	4,8-8	5,2-8,4	5,2-9,2	4,8-10,8

Os valores das alturas máximas variam entre 40 e 400 cm, com uma distribuição ao longo do ano semelhante à altura significativa, onde se observa que as maiores alturas aparecem no período de setembro a novembro e associadas aos rumos ESE e E (Tabela 16).

Tabela 16 – Representação dos limites de variação das alturas máximas observadas.

Dir.	Mar-Mai	Jun-Ago	Set-Nov	Dez-Fev
ENE	60-160	240-260	-	-
E	40-280	60-360	80-420	80-280
ESSE	80-280	80-320	120-400	80-280

Considerando a distribuição anual dos tipos de ondas, se observa um claro predomínio das ondas formadas por influência do campo de ventos local **sea**, estando os **swells** praticamente restritos ao período de março a maio, quando estão presentes as ondas com direção ENE.

A partir das discussões anteriores e como conclusão deste item, se pode afirmar que o clima de ondas registrado no ondógrafo dos Reis Magos é principalmente do tipo **sea** e que pode ser bem caracterizado pela largura espectral.

O tipo predominante das ondas e a direção de aproximação ao longo do ano, mostram que o regime das ondas em Natal está controlado pelos campos de ventos regionais,

coincidindo com a direção e padrão de variação dos ventos alísios. Variações na altura significativa das ondas estão associadas às flutuações de velocidade dos ventos em relação ao ciclo anual. As menores alturas são encontradas no início do ano, associadas a velocidades do vento mais baixas e as maiores alturas, durante o período de junho a setembro, quando o vento sofre uma intensificação, devida à migração da zona de convergência intertropical para uma posição mais ao norte.

A avaliação dos parâmetros e comportamento das ondas na região também foi procedida sob uma base de dados oriunda de medições com a utilização de um ondógrafo do tipo "SEAGAUGE WAVE AND TIDE RECORDER" do tipo SBE 26 SEAGAUGE, da SEA-BEARD ELECTRONICS, INC, fundeado em locais específicos ao longo de determinadas etapas e períodos representativos da distribuição sazonal dos eventos climáticos.

As medições realizadas durante o primeiro semestre de 2001 demonstraram uma maior participação de ondas do tipo **Swell** no contexto hidrodinâmico na região.

Os dados de ondas referentes ao primeiro semestre de uma forma geral, tomando como base a Praia de Areia Preta, podem ser representados pela Tabela 17.

Tabela 17 – Parâmetros pertinentes para as ondas na Praia de Areia Preta (1º semestre 2001).

Areia Preta						
	Energia(wts)	H méd(m)	T méd(m)	H máx (m)	Ts (m)	Hs (m)
Máxima	1330,62	0,83	7,75	1,46	11,50	1,31
Média	424,95	0,48	4,35	0,78	5,33	0,72
Mínima	114,42	0,25	2,61	0,37	2,00	0,17

Durante o intervalo de tempo estudado não foi verificada uma boa correlação entre o período significativo (Ts) e altura significativa (Hs) das ondas ( $R=0,15$ ), semelhantemente ao que ocorre entre a energia e período significativo das ondas ( $R=0,17$ ). Entretanto, a correlação da energia com a altura significativa mostrou-se pertinente ( $R=0,79$ ), conforme se observa na Figura 31.

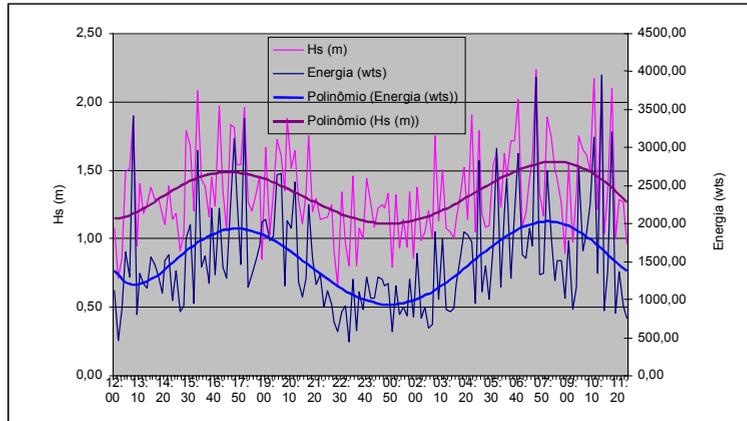


Figura 31 – Correlação entre a energia e altura significativa de onda na praia de Areia Preta.

As medições de clima de onda ao longo do segundo semestre de 2001, tomando-se como base a Praia de Areia Preta e estuário do Rio Potengi, podem ser representadas pelos seguintes parâmetros (Tabela 18).

Tabela 18 – Parâmetros pertinentes para as ondas na Praia de Areia Preta e estuário do Rio Potengi (2º semestre 2001).

<b>Areia Preta</b>						
	<b>Energia(wts)</b>	<b>H méd(m)</b>	<b>T méd(m)</b>	<b>H máx (m)</b>	<b>Ts (m)</b>	<b>Hs (m)</b>
Máxima	3960,63	1,65	5,88	3,12	7,25	2,24
Média	1521,95	0,91	3,67	1,54	4,28	1,34
Mínima	435,71	0,43	2,58	0,77	2,38	0,66
<b>Potengi</b>						
Máxima	1054,66	0,79	5,83	1,45	7,75	1,35
Média	137,33	0,24	3,51	0,42	4,14	0,36
Mínima	6,15	0,05	2,33	0,08	2,17	0,08

No segundo semestre, as medições definiram ondas principalmente do tipo sea, que apresentaram como característica marcante uma correlação positiva entre o nível da maré e a variação média na altura significativa no mar em frente à Praia de Areia Preta e estuário do

Rio Potengi (Figuras 32 e 33).

Este aspecto tem como significado importante o caráter da ampliação do poder destrutivo das ondas durante as marés enchentes, quando é produzido um set up no nível do mar. Na seqüência, há um decréscimo na energia das ondas durante o estágio seguinte, caracterizado pela maré vazante.

Verifica-se uma sincronização de elevado grau de correlação ( $R=0,86$  para mar aberto e  $R=0,94$  para o estuário do Potengi) entre a energia e a oscilação da altura significativa das ondas (Figura 34 e 35), implicando que o aumento da altura significativa repercute na ampliação do potencial erosivo/transportador das ondas. Estes dois parâmetros evidenciam também uma correlação com a periodicidade das marés.

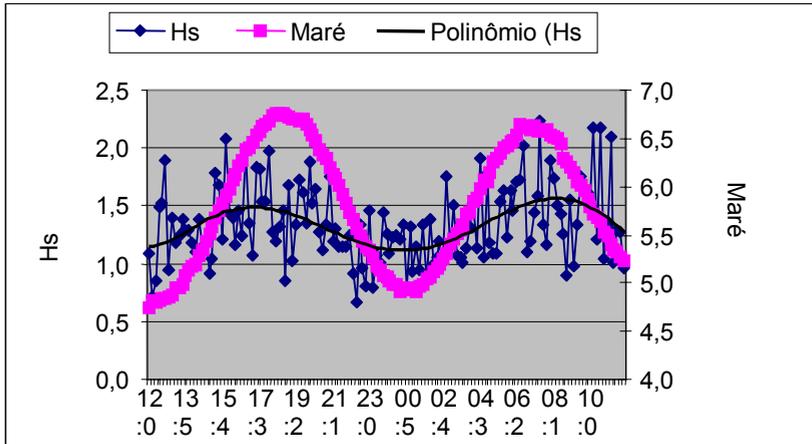


Figura 32 – Correlação entre maré e a altura significativa (Hs) das ondas em frente à localidade de Areia Preta. Linha de cor preta corresponde a de tendência polinomial para Hs.

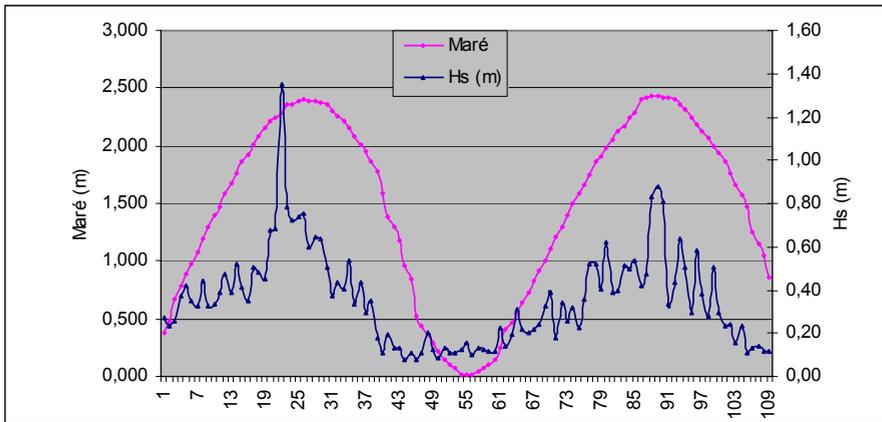


Figura 33 – Correlação entre maré e altura significativa (Hs) das ondas no estuário do Rio Potengi.

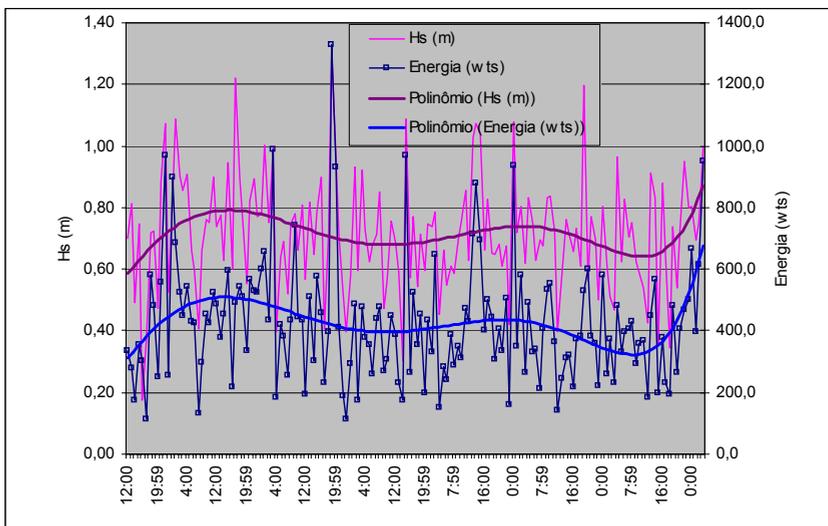


Figura 34 – Correlação entre a energia de onda e a altura significativa (Hs) em mar aberto, em frete a Praia de Areia Preta (setembro de 2001).

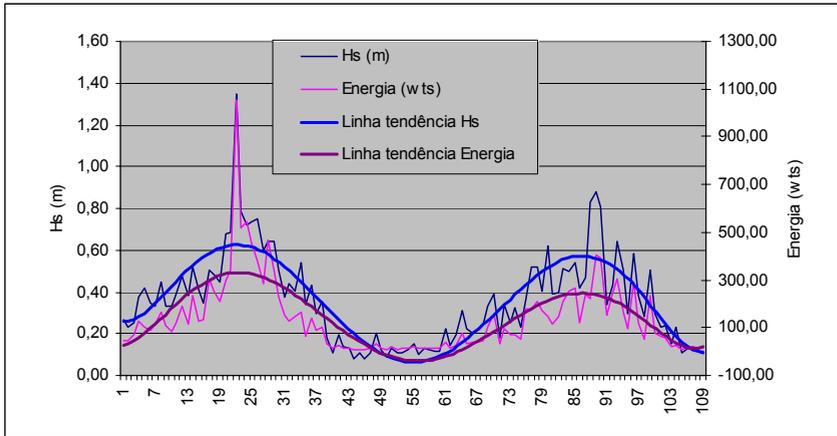


Figura 35 – Correlação entre a energia de onda e a altura significativa (Hs) em área protegida do estuário do Rio Potengi (setembro de 2001).

Contrariamente, não se verificou uma correlação adequada entre a energia de onda e seu período significativo, conforme o valor de correlação calculado ( $R=0,019$  para mar aberto e  $R=0,105$  no estuário do Rio Potengi).

A baixa correlação entre a energia de onda e seu respectivo período significativo revela que o poder erosivo apresentado pelas ondas do tipo swell deve-se a elevação do **set up** promovido por estas ondas em conjunto com marés de sizígia. Este aspecto é reforçado pelo fato dos valores de energia, alturas médias, alturas máximas e significativas na região, em geral, serem maiores para as ondas do tipo sea.

A comparação entre os parâmetros de ondas medidos em mar aberto com aqueles provenientes de medições com ondógrafo posicionado em lugar protegido (porção interna do Rio Potengi), mostraram-se compatíveis na tabela anterior (Tabela 18), verificando-se uma atenuação da energia e altura de ondas pertinentes à situação de proteção contra sua ação direta.

### 1.2.2 – Ondas de Médio Período

Para a composição das distribuições de probabilidade conjunta ou diagrama de dispersão dos parâmetros característicos das ondas a médio prazo, foram utilizados os dados do Ocean

Wave Statistics, corrigidos a partir dos dados registrados no ondógrafo de Natal, e que estão representados nas Tabelas 19 e 20.

Tabela 19 – Distribuição direcional da altura significativa das ondas.

Hs (cm)	0	30	60	90	120	150	180	Total
25	0,2	0,2	0,6	1,1	0,3	0,1	0,0	2,5
50	0,6	1,0	3,4	4,4	1,9	0,2	0,2	11,8
100	1,1	2,6	7,8	17,5	6,7	0,8	0,1	36,7
150	0,3	1,8	4,2	18,2	8,1	0,8	0,0	33,5
200	0,0	0,1	1,6	6,4	3,4	0,4	0,0	11,8
250	0,0	0,0	0,5	1,9	1,1	0,2	0,0	3,6
Total	2,2	5,8	18,1	49,5	21,5	2,5	0,4	100,0

Tabela 20 – Diagrama de dispersão entre a altura significativa e o período médio.

Tz (s)	< 5	5	6,5	8,5	10,5	12,5	Total
25	0,8	1,8	0,1	0,1	0,0	0,0	2,7
50	0,1	8,4	0,9	0,2	0,0	0,0	9,6
100	0,2	23,0	8,6	1,7	0,4	0,2	34,2
150	0,1	11,2	17,1	4,2	1,0	0,1	33,8
200	0,1	1,8	7,5	4,1	1,0	0,3	14,8
250	0,0	0,3	1,6	1,9	0,8	0,2	4,8
Total	1,3	46,5	35,9	12,2	3,2	0,8	100,0

### 1.3 – Transporte Gerado Pelas Ondas

As ondas ao atingirem a linha de costa geram dois tipos de transporte de sedimentos: Transversal e Longitudinal. O transporte transversal é mais importante quando o ângulo das ondas na zona de arrebentação é perpendicular à praia, aparecendo o transporte longitudinal ou deriva sedimentar e nos casos, quando a onda arrebenta obliquamente em relação à costa.

O transporte transversal é o responsável pelas flutuações na geometria da praia, que varia entre os estágios extremos reflectivos e dissipativos, dependendo da altura e período das ondas e do nível das marés. Os estágios reflectivos correspondem aos períodos em que o perfil de praia apresenta-se bastante íngreme, com as ondas quebrando diretamente na praia e o transporte transversal está atuando na direção do mar. O estágio dissipativo ocorre quando o material erodido é retransportado para a praia, recuperando o perfil que passa a ser bastante suave e, por conseqüência, as ondas passam a arrebentar suavemente e de forma quase imperceptível.

Na realidade, a maioria das praias do nosso litoral corresponde a estágios morfodinâmicos intermediários, caracterizado pela presença de barras e sulcos (piscinas) que migram ao longo do ano na direção dos extremos sem necessariamente alcançá-los.

Os estágios das praias dependem da inter-relação entre o tamanho dos sedimentos, inclinação da praia e características das ondas. As praias formadas por areias muito finas, normalmente apresentam um estágio dissipativo; as formadas por areias médias, que correspondem a maioria das praias do Rio Grande do Norte, os estágios intermediários; e as praias submetidas a forte erosão ou formadas por areias grossas, ao estágio reflectivo.

Caso não exista nenhum desequilíbrio no suprimento de sedimentos, as praias migram sazonalmente entre os diversos estágios, sendo mais reflectivas no segundo semestre, quando a altura das ondas é maior, e mais dissipativas no restante do ano.

O transporte longitudinal de sedimentos ocorre em uma estreita faixa formada entre a zona de arrebentação e linha de praia, e que associada às características das ondas na nossa região se processa na maior parte do ano na direção norte.

O transporte longitudinal é o principal responsável pela erosão das praias, devido a sua grande capacidade de transporte de sedimentos. Por exemplo, o transporte potencial da deriva litorânea na região da Via Costeira em Natal segundo Souza (1981) é da ordem de 700.000 m<sup>3</sup>/ano que, transformando para carradas, corresponderia a quase 70.000 caminhões de areia.

Portanto, o equilíbrio de uma praia depende da relação entre o aporte de sedimentos e a capacidade de transporte litorâneo. Se uma quantidade de areia maior que aquela que pode ser transportada pelas ondas é levada até a costa, a praia tenderá a acumular areia (por exemplo, nas proximidades de desembocaduras de rios). Caso contrário, se o aporte de sedimentos for menor, a praia será erodida. Alguns fatores externos, como mudanças do nível do mar ou a construção de obras de engenharia que interrompam o transporte litorâneo de

sedimentos podem modificar sensivelmente o balanço sedimentar, conseqüentemente, o equilíbrio da praia.

#### 1.4 – Transporte Longitudinal de Sedimentos

Os modelos para o cálculo do transporte longitudinal de sedimentos são uma aproximação da realidade em que se utilizam equações matemáticas para reproduzir os fenômenos físicos mais relevantes. Como praticamente em todos os casos, existem diversas aproximações para reproduzir o mesmo fenômeno físico, que vão desde modelos simples, que utilizam relações paramétricas relacionada com algum dos mecanismos deste fenômeno, até aproximações deterministas, que tratam de reproduzir em sua total complexidade o fenômeno desejado. Ambas aproximações são válidas a priori, sempre que se utilize dentro das margens de validade e de forma coerente.

Neste trabalho foi utilizado um modelo empírico ou paramétrico, como é a fórmula do CERC que utiliza a incidência oblíqua das ondas como o fator responsável pela geração da corrente longitudinal de sedimentos. No estudo para determinar a validade desta relação vêm sendo utilizadas diversas técnicas, incluindo fórmulas empíricas, estudos de campo e laboratório e análises teóricas.

Segundo Lo Presti (1994), os modelos simples podem, de uma forma geral, ser agrupados em dois grandes grupos. O primeiro corresponde às formulações de carácter empírico, que estabelecem uma relação direta entre a taxa longitudinal de sedimentos transportados e a componente longitudinal do fluxo de energia das ondas por unidade longitudinal da costa. O mecanismo de transporte está relacionado à dissipação de energia na arrebentação e o resultado é o transporte de sedimentos em uma seção perpendicular à linha de praia. Neste grupo estão as fórmulas de Watts (1953), Cadwell (1956), Savage (1959) e Cerc (1984).

O segundo grupo considera como base teórica, que o movimento orbital induzido pelas ondas põem os sedimentos em suspensão e que a corrente longitudinal gerada, em superposição a este movimento, produz o transporte de sedimentos. Nesta linha aparecem as proposições de Inmann e Bagnold (1963) e as validações realizadas por Komar e Inmann (1970) e o modelo de Bijker (1968).

A fórmula do CERC provê uma estimação da taxa potencial de transporte longitudinal de sedimentos por ação das ondas. O método está baseado na relação empírica entre a

componente longitudinal do fluxo de energia das ondas transmitida para a zona de surf e o peso submerso da areia transportada (Galvin, 1979). A fórmula atual do CERC para o cálculo da taxa potencial de transporte por unidade de volume por segundo vem dada por:

$$Q = P_{ls} * (K / (rs-r) g * a)$$

Onde  $P_{ls}$  é a componente longitudinal do fluxo de energia das ondas,  $K$  é um coeficiente empírico adimensional,  $rs$  a densidade do sedimento,  $r$  densidade da água,  $g$  a aceleração da gravidade e  $a$  a porosidade dos sedimentos.

O fluxo de energia por unidade de longitude de crista de onda se pode expressar em termos da densidade de energia  $E$  e da celeridade de grupo da onda  $C_g$ . Se as cristas formam um ângulo  $a$  com as batimétricas, a componente longitudinal do fluxo de energia por unidade de longitude de praia, vem dada por:

$$P_l = E C_g \sin a \cos a$$

Sendo  $E = 1/8 rgH^2$ ;  $\sin a \cos a = 1/2 \sin 2a$ , substituindo na equação anterior e referindo-se à zona de arrebentação, fica:

$$P_{lb} = 1/16 rgH_b^2 C_{gb} \sin 2a_b$$

Onde  $H_b$ ,  $a_b$  y  $C_{gb}$  são respectivamente a altura, a direção e a velocidade da onda na arrebentação.

As suposições e limitações usadas na derivação do fluxo de energia na zona de surf são:

- a) utiliza a teoria linear de onda;
- b) a energia é calculada na posição de arrebentação.

Para melhorar a precisão da estimativa obtida por esta expressão, diversos autores vêm utilizando dados medidos em laboratório e campo, para definir o valor para a constante  $K$  de calibração da fórmula. Dean (1982) e Komar (1988) apresentam a recopilação dos valores

dos coeficientes de ajuste e as características dos ensaios realizados, onde mostram a grande dispersão para estes valores: Komar et al (1970) {**0,77** (0,52-0,92)}; Komar (1988) {**0,57**}; Inman et al (1980) {**0,69** (0,26-1,34)}; Seymour (1981){**0,5**}; Dean et al (1987){**1,0** (0,84-1,09)}; considerando a altura da onda (Hrms); Bodge (1991){**0,32**}; Jimenez (1996){**0,10 a 0,22**}; Maia (1998) {**0,18**}; para a altura significativa (Hs).

Utilizando este tipo de expressão e considerando as características das ondas para os diversos setores de direção, teríamos que o transporte relativo de sedimentos produziria para uma costa orientada norte-sul um volume total da ordem de 132.000 m<sup>3</sup>/ano de acordo com as características representadas na Tabela 21.

Tabela 21 – Transporte longitudinal potencial para uma costa orientada norte-sul

Hs (cm)	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°
25	0	-39	-102	0	51	20	0
50	0	-1109	-3263	0	1824	222	0
100	0	-16316	-42349	0	36376	5020	0
150	0	-31128	-62838	0	121187	13835	0
200	0	-3550	-49140	0	104423	14200	0
250	0	0	-26827	0	59018	12403	0
Total	0	-52143	-184519	0	322880	45700	0

Vale salientar que neste caso as ondas com direção 0° e 180° não gerariam transporte longitudinal de sedimentos e com 90° todo o transporte se realizaria perpendicular a costa, ou seja, on-off shore. Este cálculo é válido para a maior parte da costa leste do estado do Rio Grande do Norte.

Para o caso da Praia de Areia Preta, onde a costa apresenta um ângulo de deflexão da ordem de 20°, o transporte potencial anual é da ordem de 750.000 m<sup>3</sup>. Vale salientar que o transporte potencial somente é igual ao real quando a praia apresenta uma grande disponibilidade de sedimentos para ser transportado pelas ondas. O valor encontrado para a praia de Areia Preta é da mesma magnitude do transporte definido por Souza (1981) in Magalhães (2000). O resultado detalhado da contribuição de cada tipo de onda vem representado na Tabela 22.

Tabela 22 – Transporte longitudinal potencial para uma costa com direção 340° az.

Hs (cm)	0 °	30°	60 °	90 °	120 °	150 °	180 °
25	-24	-42	-53	157	54	0	0
50	-415	-1185	-1694	3544	1952	0	0
100	-4302	-17432	-21990	79728	38929	0	0
150	-3233	-33256	-32629	228492	129693	0	0
200	0	-3793	-25517	164940	111752	0	0
250	0	0	-13930	85541	63160	0	0
Total	-7975	-55707	-95814	562402	345541	0	0

### 1.5- Limitações a Ocupação Costeira

A partir do conhecimento do balanço sedimentar costeiro é possível definir o estágio de uma praia (erosão, estabilidade ou deposição), sua tendência evolutiva e quais os elementos primordiais para o seu equilíbrio, sejam eles morfológicos ou hidrodinâmicos. Com isto, será possível planejar, dentro de um horizonte a médio/longo prazo, qual a capacidade real de suporte do meio e o tipo de ocupação ideal para cada zona.

Por exemplo, se planejamos ocupar a planície litorânea dentro da visão atual de desenvolvimento turístico é necessário considerar que existe uma previsão de subida do mar variando entre 40 ou 50 cm para o próximo século e que isto poderá afetar infra-estruturas públicas e privadas. A título de ilustração, esta subida de 50 cm, corresponde a uma retração da linha de costa da ordem de 50 metros para uma plataforma com uma inclinação de 1/100. Ou seja, considerando somente a subida do nível do mar, é esperado para o próximo século uma erosão da linha de costa de dezenas de metros, podendo ser mais grave nas áreas litorâneas com menor inclinação da plataforma.

Planejar, no caso da subida do nível do mar, significa desde já, desaprovar e/ou inibir qualquer tipo de ocupação dos primeiros 100 metros de praia medidos a partir da linha de preamar máxima atual. Este limite não é rígido e pode ser determinado com relativa facilidade a partir das informações atualmente disponíveis, mas deve no mínimo ser desta ordem de magnitude para praias ainda sem ocupação e ou sem zoneamento, e maiores (150 a 200m) nas áreas onde a plataforma apresenta uma baixa inclinação. A subida do nível do mar também causará problemas graves para as zonas sujeitas a inundações periódicas, tais como os

estuário e lagunas. Logo estas zonas merecem uma atenção especial, (Figura 36a).

Considerando o balanço sedimentar costeiro, ou melhor, o equilíbrio das trocas de sedimentos da zona costeira, deveria-se, desde já, evitar a ocupação dos promontórios costeiros. Os promontórios ou pontas, como discutido anteriormente, apresentam um papel relevante para o balanço sedimentar costeiro, pois é um dos únicos pontos onde as areias eólicas são reincorporadas a dinâmica litorânea. Ocupar esta zona significa interromper o fluxo natural de sedimentos e gerar um déficit sedimentar/erosão nas células costeiras localizadas a oeste das pontas. Não é admissível nos dias atuais, como é observado na maioria das pontas, que um único empreendimento público ou privado possa ameaçar o patrimônio de tantos.

No caso de células costeiras em erosão, na maior parte do litoral, é necessário considerar que na ausência de uma intervenção governamental visando resolver estes problemas, a iniciativa será realizada pelos pequenos proprietários, normalmente os maiores prejudicados. Assim, não planejar a recuperação do litoral, irá significar o surgimento de inúmeras intervenções realizadas de forma aleatória, sem nenhum dimensionamento técnico, levando na maioria dos casos ao aparecimento de falhas nas próprias estruturas de proteção e ao agravamento da erosão, (Figura 36b). Esta situação torna-se ainda mais grave no caso da ocupação de falésias, devido, por um lado, a falta de operacionalidade e ausência de espaço físico para recuar as ocupações e, por outro, à própria fragilidade desta feição costeira.

Por último, ressaltamos que qualquer ocupação que venha a interromper o fluxo natural de sedimentos ou que afete o balanço sedimentar costeiro deve ser inibida ou na melhor das situações, realizado, considerando que suas implicações poderão afetar outros setores da costa (Figura 36c). Assim, os erros e acertos do passado deverão ser considerados como lição, como ressaltado pelo “fundador da ciência moderna”, Francis Bacon: “A natureza não pode ser comandada exceto ao ser obedecida”.

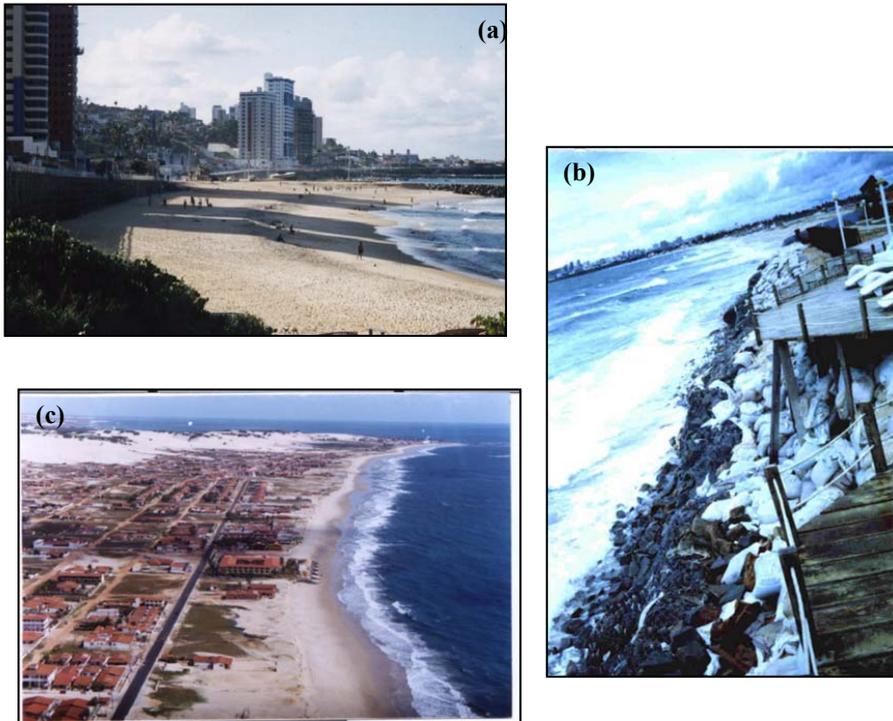


Figura 36 – **(a)** – Vista da ocupação antrópica na praia de Areia Preta. **(b)** – Ação dos processos erosionais destruindo uma ponte, interrompendo a passagem de pedestres. **(c)** – Vista aérea das praias de Natal apresentando o avanço da ocupação humana na região costeira.

## 2 – ESTUÁRIO DO RIO POTENGI

### 2.1 – Morfologia Marinha Atual

A configuração morfológica do Estuarino do Potengi foi observada através da interpretação de diversas plantas batimétricas existentes, com ênfase as mais atualizadas, ou seja, dos anos de 1997, 1999 e 2001.

Da mesma forma, a existência de um acervo histórico de plantas batimétricas de diversas épocas a partir de 1867, permitiu uma comparação das mudanças topográficas do fundo desde aquela data até a época atual.

### 2.1.1. - Formas Batimétricas e Condicionantes Morfológicos

O estudo batimétrico foi realizado entre os dias 27 e 28 de outubro de 2000, sobre uma área de 4,382 Km<sup>2</sup>, correspondendo ao canal de navegação e setores possíveis de navegação. A área abrange também toda a bacia de evolução do Porto de Natal, localizada na margem direita do Rio Potengi.

Foram percorridos 48,822 Km navegando a uma velocidade média de 2,4 nós (equivalente a 4,5 Km/h) através de perfis transversais a cada 80,0 metros aproximadamente, sendo executados 19.512 registros de sondagem.

Os dados de profundidade foram corrigidos ao nível reduzido da Diretoria de Hidrografia e Navegação – Marinha do Brasil (DHN) para eliminar o efeito da maré. Utilizaram-se as informações de maré observadas durante o levantamento para desenvolver a equação da *curva da maré* (Figura 37) e, portanto, em função do tempo calcular a diferença de profundidade.

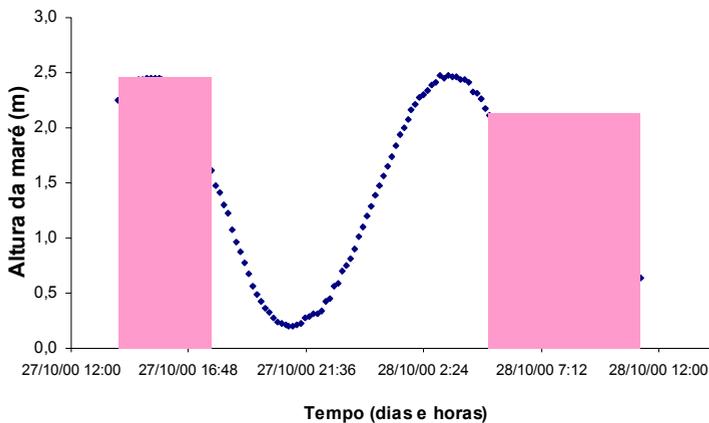


Figura 37 – Observações maregráficas durante os levantamentos batimétricos. Para o dia 27 os trabalhos de batimetria se iniciaram às 14:00h e prosseguiram até às 18:00h, no dia 28 os trabalhos iniciaram às 5:00h seguindo até às 11:00h. Para cada dia foi desenvolvida uma equação da curva de maré.

- Equação para o dia 27:

$$y = 2,1209E^{+03}x^4 - 3,1242E^{+08}x^3 + 1,7258E^{+13}x^2 - 4,2371E^{+17}x + 3,9009E^{+21}$$

Equação polinomial de 4º grau

- Equação para o dia 28:

$$y = -1,4442E^{+03}x^4 + 2,1275E^{+08}x^3 - 1,1753E^{+13}x^2 + 2,8854E^{+17}x - 2,6566E^{+21}$$

Equação polinomial de 4º grau

Onde “y” é a diferença entre a profundidade medida e o nível reduzido da DHN e “x” é tempo em que foi realizado o registro ecossonar.

Os resultados do levantamento batimétrico mostram que a morfologia do fundo da área pesquisada é caracterizada por um relevo em forma de calha com três direções principais: NE-SW, na porção da desembocadura; NNE-SSW, na porção central da área estudada; e E-W na porção mais a montante da área.

As profundidades mais elevadas encontram-se no costado do Porto de Natal com registros de 12,0 a 14,0 metros. O canal de acesso ao porto tem espessura média de 250,0 metros e profundidades que variam de 8,0m a 14,0m (Tabela 23). As demais formas encontradas podem ser percebidas através da representação gráfica espectral que varia entre as cores: vermelho, amarelo, verde e azul. Sobrepostas a esta representação estão as isolinhas batimétricas espaçadas a cada metro (Figura 38).

Tabela 23 – Parâmetros Morfométricos do Estuário do Rio Potengi.

Parâmetros Morfométricos	Dimensões	
	Máximo	Mínima
Área (Km <sup>2</sup> )	3,477	-
Comprimento (km)	6,742	-
Volume (m <sup>3</sup> )	21.469.508,61	14.131.011,08
Largura média do corpo d'água (m)	480,0	
Largura do canal de acesso (m)	250	150
Largura da desembocadura (m)	200,0	150,0
Profundidade Máxima (m)	14,0	12,0
Profundidade Média do Canal de acesso (m)	10,0	8,0

A morfologia atual do Estuário Potengi mostra uma ampla depressão com zonas preferenciais de maior profundidade e outras com um evoluído preenchimento sedimentar.

As zonas de maiores profundidades se encontram junto às margens côncavas do estuário, geralmente caracterizadas pela presença de elevações terciárias do Grupo Barreiras, que, nestes locais, tomam a forma de terraços. Nas margens convexas um avançado preenchimento sedimentar possibilitou um crescimento lateral em direção ao centro do estuário.

Este preenchimento, função do mecanismo dinâmico predominante – as correntes de marés – se processa pela remobilização dos sedimentos erodidos nas margens opostas e formação de bancos e coroas arenosas.

Estas feições são geralmente estacionadas pela colonização da vegetação de mangues, que favorece a deposição de finos, resultando numa extensa superfície plana, emersa durante a baixa-mar.

Este modelo geral, típico de corpos meandrantés, normalmente localizado próximo às porções côncavas.

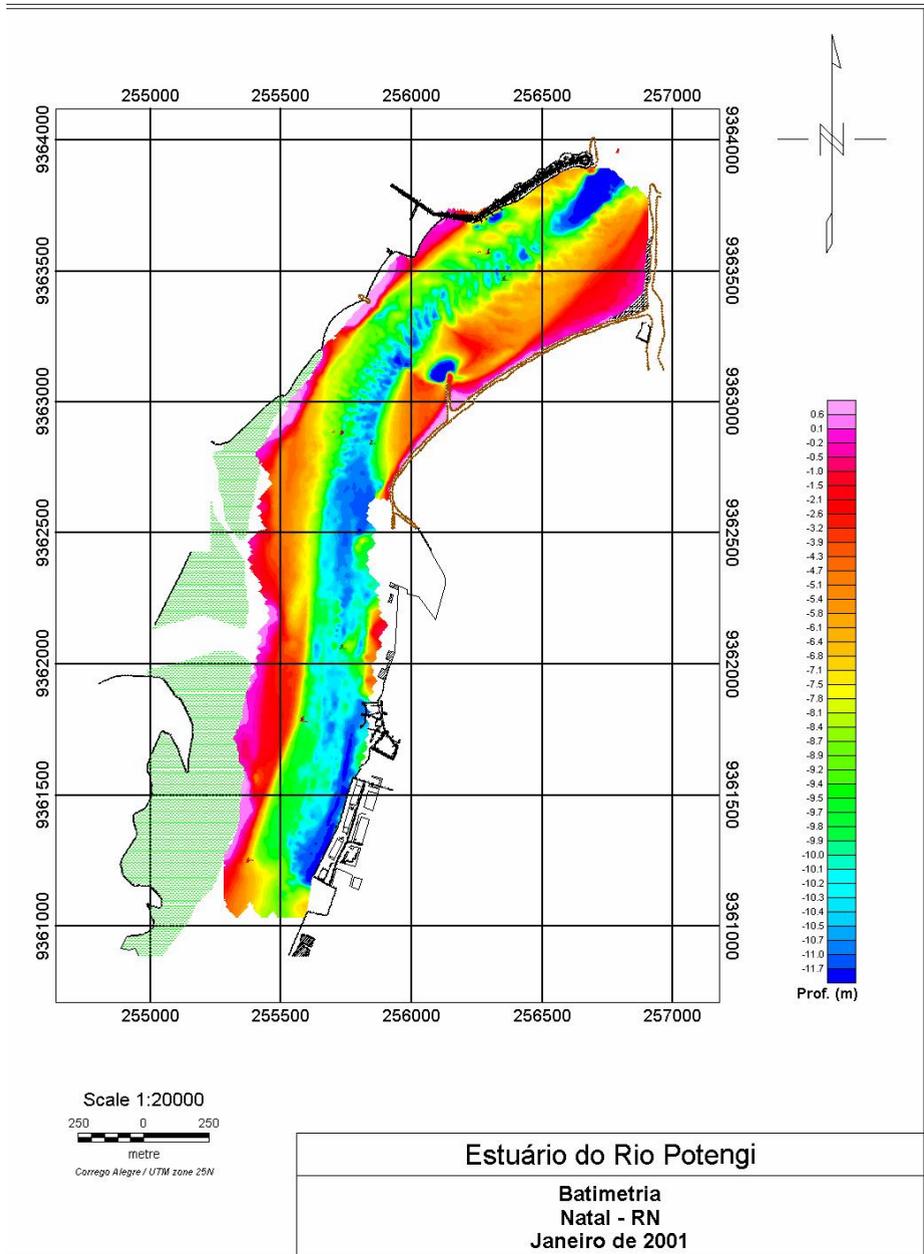


Figura 38 - Representação batimétrica do Estuário do Rio Potengi (2001).

Pode-se observar a existência de canais secundários de dimensões bastante reduzidas em relação ao principal, sendo ali também encontrados e parecem ser respostas da atuação das correntes de marés, construindo bancos longitudinais e canais conjugados. Isto é confirmado pelos seus perfis em forma de V e pelas suas associações com as saídas das gamboas, como a do Jaguaribe, onde as correntes são mais intensas.

Pequenos canais transversais à calha estuarina são ainda visualizados junto à saída de algumas gamboas de reduzida expressão.

Ao longo do estuário, o comportamento morfológico se modifica, caracterizando zonas distintas. A profundidade, largura e a forma dos canais mostram diferentes níveis de atuação dos mecanismos dinâmicos do ambiente.

Nas zonas mais próximas à foz, onde se faz mais marcante a influência marinha, encontra-se um vale bastante amplo, limitado por taludes abruptos junto às margens. Os canais principais (muito largo e com profundidades em torno de 8 metros) e o secundário (de largura bem mais reduzida e profundidades em torno de 6 metros), ocupam quase toda a seção estuarina.

A forte hidrodinâmica, com a atuação de ondas e correntes presente nesta porção mais aberta do estuário inibem o desenvolvimento de manguezais, acarretando numa grande mobilidade das feições construídas – os bancos arenosos. A consequência disto é a não deposição de finos, trapeados nas raízes dos mangues, limitando e até anulando o assoreamento nestes locais.

Em direção ao interior do estuário, os canais vão diminuindo suas larguras e adquirindo formas mais estabilizadas em respostas a um maior preenchimento sedimentar, típico de um padrão nitidamente “tidal”.

As profundidades normalmente decrescem em direção ao interior, embora as zonas mais profundas estejam relacionadas aos terraços terciários marginais. Isto é visualizado junto ao local chamado Pedra de Oitizeiro que, na verdade, é um afloramento submerso do Grupo Barreiras, onde o canal atinge profundidades em torno de 12 metros.

Na gamboa do Jaguaribe, são também encontradas profundidades elevadas, em torno de 14 metros, que vêm reforçar a hipótese da mesma tratar-se de uma paleofoz do Rio Potengi.

Na porção superior do estuário, em que a atuação das correntes de marés já se faz bem menos expressiva, encontra-se canais de pequenas larguras, baixas profundidades, com formas bem estabilizadas.

Modificações artificiais introduzidas no estuário, como construção de diques, espigões, aterros e enrocamentos, têm gerado áreas com profundidades anômalas, com algumas próximas à praia da Redinha, com cotas de até 13 metros.

Na desembocadura do estuário, entre os recifes de Natal e da Baixinha, é notável a existência de uma elevação batimétrica, que, na verdade, trata-se de uma parte submersa de um edifício recifal, delineando uma configuração de soleira.

A 600 metros ao sul do Picão, em um ponto onde o recife se alarga ou se emenda com outra linha inferior, está erguido o velho Forte dos Três Reis Magos, com o farol do mesmo nome.

Enquanto por fora dessa linha de recifes a isóbata de cinco fathoms (9<sup>m</sup>, 15). Na Carta N° 528 do Almirantado Britânico acha-se a pequena distância dela e o solo submarino, descendo regularmente e sem acidentes até os fundos de 20 metros a 13 km da costa, pelo lado de terra uma segunda linha de recifes, “Baixinha”, corre paralelamente e a 225 metros de distância do exterior, descobrindo-se com a maré baixa e estendendo-se atrás da entrada principal a 150 metros para o sul do Picão, enquanto para o norte prolonga-se submersa com cabeços isolados até atrás da “Cabeça de Negro”. A “Baixinha” divide assim o acesso ao porto por dois canais: o canal sul, o principal, entre as duas linhas de recifes, e o canal norte, por detrás da “Baixinha” (Figura 39).



Figura 39 - Ocorrência de recifes no acesso ao estuário do Rio Potengi.

### 2.1.2. - Comparação de Cartas Batimétricas

A comparação das mudanças topográficas do fundo estuarino foi realizada utilizando-se levantamentos batimétricos do estuário Potengi – Trecho Barra – Porto de Natal e Escala 1:5.000 (anos de 1905; 1918; 1925; 1929; 1941; 1947; 1949; 1977) e levantamentos batimétricos do canal de acesso e Barra de evolução do Porto de Natal – CODERN, escala 1:2.000 (anos de 1997; 1999; 2001).

Com o objetivo de detalhar as avaliações ocorridas, a área foi subdividida em 03 (três) setores (Figura 40), como também foram confeccionados 05 (cinco) perfis transversais ao canal principal, espaçados e paralelos entre si. Esta divisão ressalva a região do Porto de Natal, dele até o Dique da Limpa (Y), seguindo deste ponto para sua foz.

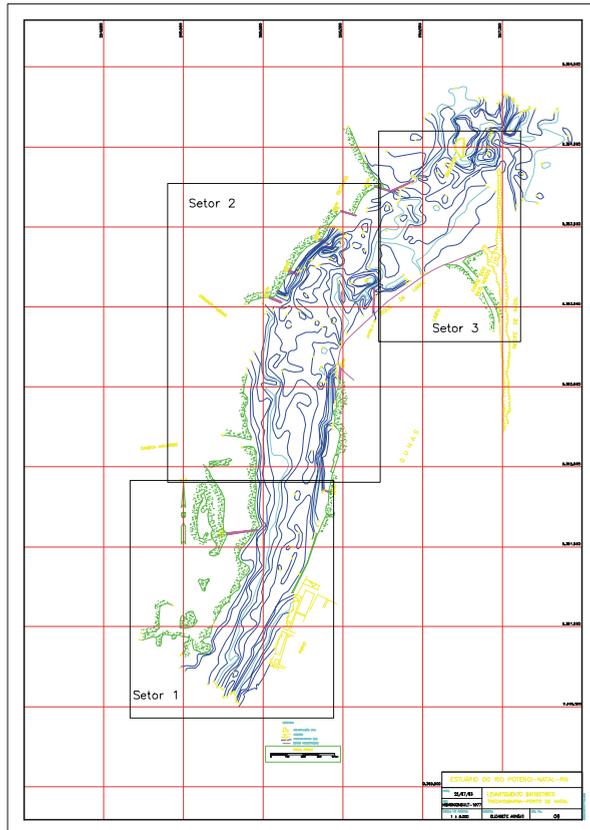


Figura 40 - Divisão da área para fácil interpretação das análises. Carta de 1977

Os softwares utilizados no processo foram AUTOCAD 2000, para a correção e conversão vetorial, DXF2XYZ 1.3 A.01 - DXF/DWG to XYZ Converter da Guthrie CAD/GIS Software, uma rotina para a conversão de arquivos vetorizados para arquivos XYZ (Ascii), Surfer 6.01 da Golden Software para o cálculo volumétrico de grides e OASIS Montaj 4.3 da Geosolf para a modelagem do dados adquiridos.

- Metodologia

O processo de conversão das cartas batimétricas digitalizadas para arquivos XYZ foi o primeiro passo. Para que esta etapa fosse concluída, foi preciso modificar as entidades utilizadas na confecção de todas as cartas. Partindo deste ponto, fora utilizado a rotina DXF to XYZ para a obtenção dos bancos de dados batimétricos.

Concluída a geração dos dados a partir das cartas, o passo seguinte é a modelagem dos dados, gerando grides que devem ser satisfatórios para a análise. Para cada levantamento batimétrico foi criado um gride, obedecendo a um mesmo espaçamento entre o “nós”, viabilizando a análise entre os diversos levantamentos. Após a modelagem dos dados foi selecionada uma área incomum entre os grides a qual foi subdividida em três setores (Figura 41).

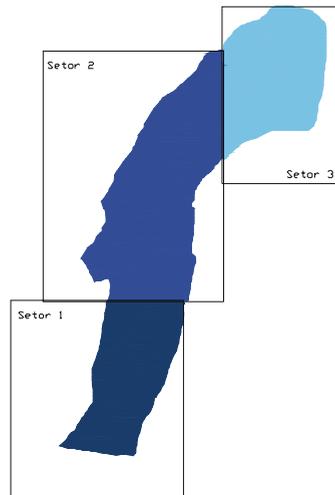


Figura 41 - Máscara para a subdivisão para modelagem setorizada

O volume calculado é referente a massa d'água contida no leito do rio. Foi usado como nível de referência (Lower Surface) a cota zero e processados todos os valores negativos, sendo descartados os valores positivos (Upper Surface) que foram criados pela interpolação dos dados. Esta zona é descartada sempre por causa do efeito de borda (Figura 42).

Na área do canal de acesso, situada a norte da gamboa Manimbu até a barra, também predominam áreas de erosão, contudo nesta área ocorrem com mais frequência áreas de deposição e a própria distribuição em planta das áreas de erosão/deposição é mais complexa.

As variações mais significativas observadas são relacionadas com a migração do Banco das Velhas.

O eixo do canal, representado pela zona mais profunda, apresentou no período uma tendência de deslocamento no sentido SR. Pelos perfis de 1941 a zona mais profunda do canal situava-se mais próxima da Redinha (margem esquerda), enquanto que em 1977, embora ainda permanecendo nas proximidades da Redinha, deslocou-se ligeiramente para SE, acompanhando a erosão da margem direita. Simultaneamente, observa-se invariavelmente a deposição de material na margem esquerda.

Comparando-se esta tendência observada a partir dos perfis no período de 1941 a 1977, verifica-se que o padrão de canal assimétrico com maiores profundidades junto às margens côncavas observado por todo o estuário está em parte sendo modificado neste setor do canal de acesso ao Porto, uma vez que, seguindo o padrão anteriormente referido, dever-se-ia ter um aprofundamento maior na margem esquerda ao contrário do observado.

É importante mencionar que o dado acima descrito refere-se a avaliações qualitativas, não devendo ser tomados como representantes de modificações definitivas.

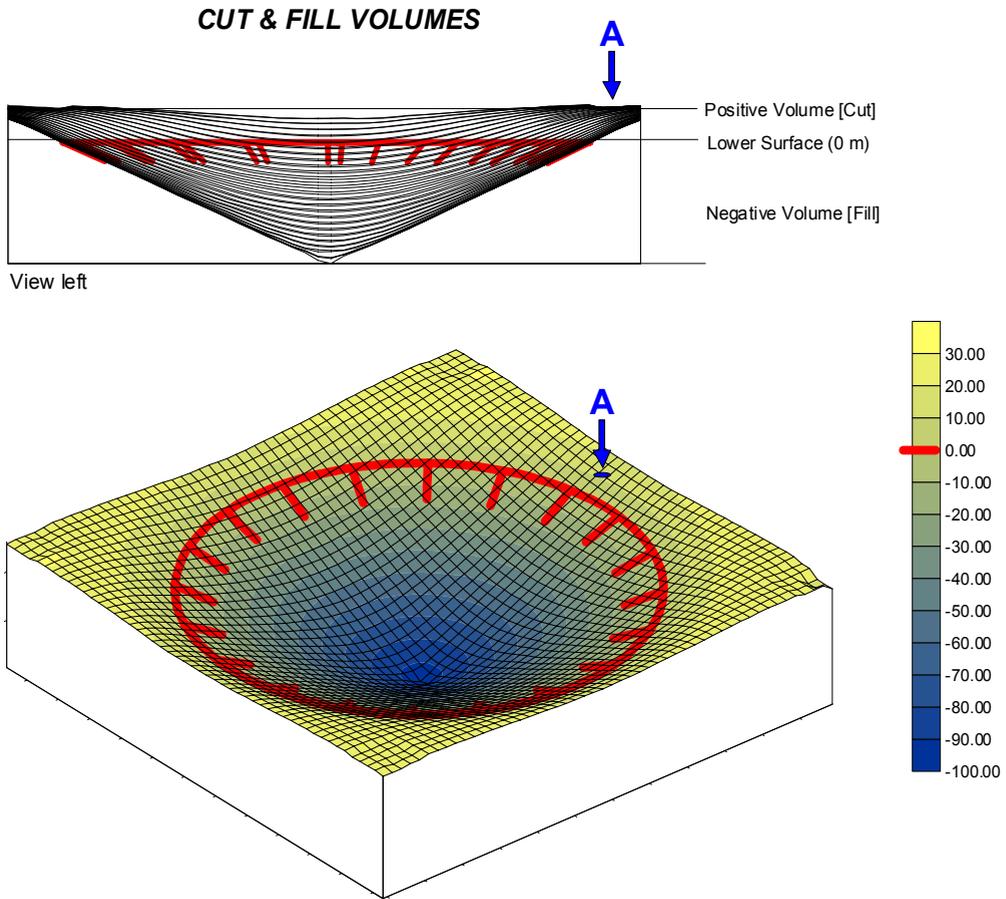


Figura 42 – Exemplo de modelo de superfície (cone), parâmetros tomados para o cálculo de volume, o nível de referência (Lower Surface) como superfície limítrofe entre valores positivos e negativos. O ponto A está localizado numa área sujeita a grandes distorções causadas por efeito de borda.

Os padrões das linhas de tendência mostram que no setor 1, a medida que o tempo passa, os volumes diminuem caracterizando um assoreamento, enquanto o setor 2 apresenta tendências constantes, ou seja, os volumes se equilibram com o passar do tempo indicando um processo de assoreamento, um outro de estabilidade (“calmaria”) com variações volumétricas de mesma magnitude, e, por fim, um de erosão. Para o terceiro setor, o qual

representa o trecho da foz estuarina, a regressão linear indica uma predominância de processos erosivos que se relacionam diretamente com o tempo. Estas considerações globais apresentadas pelos setores confirmam o comportamento já observado na comparação das seções transversais.

Contudo, uma avaliação genérica de toda a área deve levar em conta as ações antropogênicas que modificaram, ao longo do século, a dinâmica e forma do estuário. Vale ressaltar que nos últimos anos foram construídas estruturas e realizadas dragagens do estuário.

As maiores variações ocorreram no setor 1, oscilações de assoreamento e erosão, segundo a comparação das taxas, onde se verifica que sempre os maiores valores são os de 1949, comparando-os com outros levantamentos, ou seja, até 1949 o processo erosivo é o mais marcante em todos os setores.

Esta análise temporal para a evolução do estuário do rio Potengi foi realizada com algumas ressalvas, como o método de interpolação e, em função da vizinhança do ponto (nó), às cotas da margem do *gride* sempre sofrem efeito de borda. Para minimizar este efeito, as máscaras localizam-se por dentro da malha de pontos das cartas batimétricas. Em algumas cartas este limite pode estar sobre a cota da margem.

Os dados dessa comparação de cartas sugerem, entretanto, que as modificações observadas devem-se a remobilização do material de fundo do próprio local, sem grandes contribuições, quer de áreas continentais ou oceânicas. Há semelhança nas modificações observadas nos bancos e coroas situadas nas desembocaduras das gamboas Manimbu e Jaguaribe, onde a área emersa dos bancos em várias épocas é praticamente a mesma, sendo sua posição apenas modificada nesse período.

Uma única área situada nas proximidades do Porto contraria a tendência acima referida, uma vez que nesta área predominam amplamente as zonas de erosão, observando-se aí uma sensível ampliação e alargamento das áreas abrangidas pelas isóbatas de 10m.

Cumprе ressaltar ainda que todas essas variações batimétricas observadas deram-se em um ambiente já bastante modificado pela ação antrópica, uma vez que uma série de obras, tais como a construção de guias corrente e quebra-mares, visando a melhoria da navegabilidade no canal de acesso datam de épocas bem anteriores à de 1941.

As modificações antrópicas continuaram a ser introduzidas no ambiente do estuário, e entre outras pode ser citada a derrocagem submersa do recife da boca da barra, realizada em 1971.

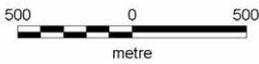
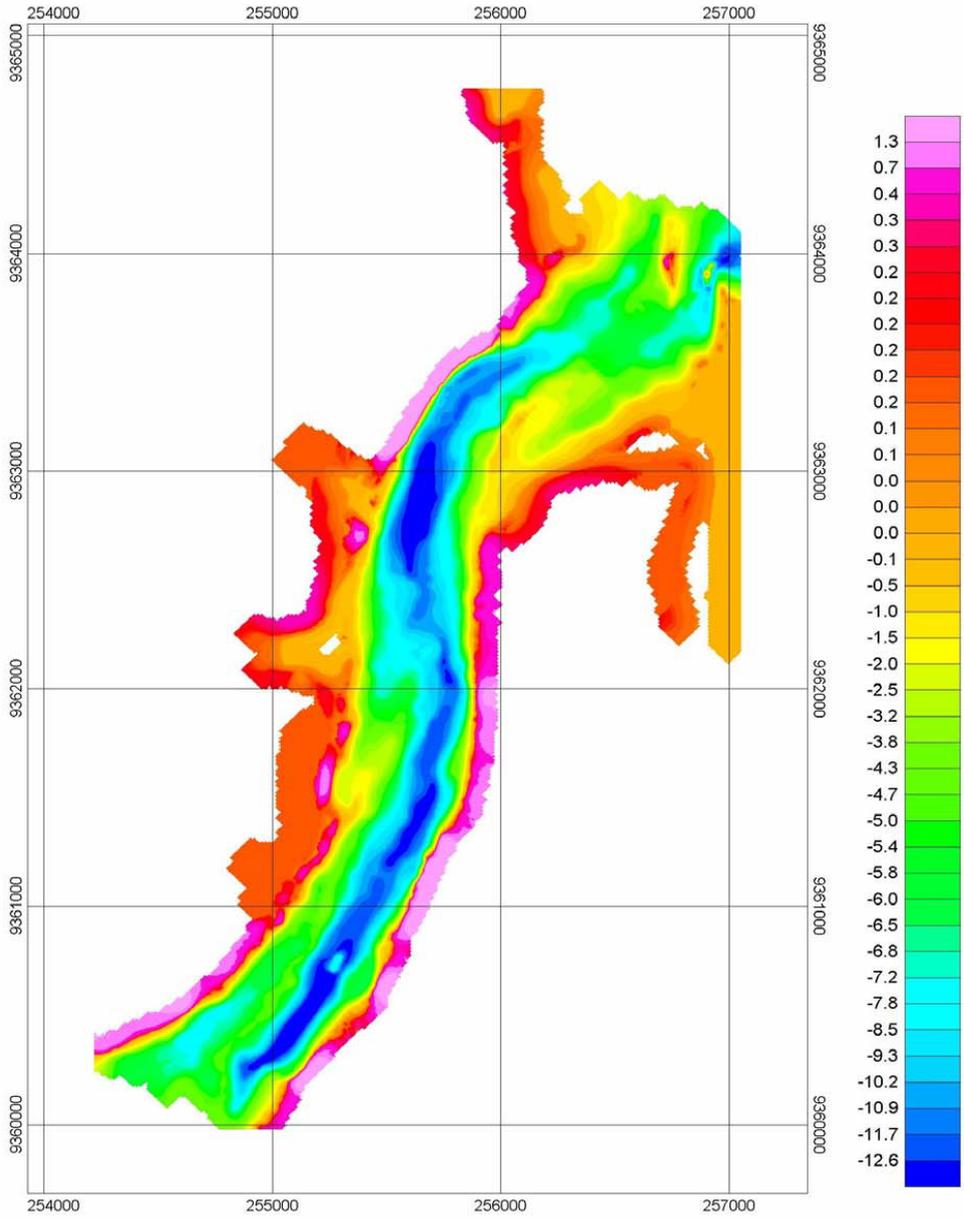
Essas modificações seguramente levam a rearranjos no interior do estuário, que são refletidos pelas variações das feições batimétricas do canal.

O comportamento geral mostra que quando ocorre assoreamento, este aumenta para o interior do estuário, tendendo a ficar constante após o Porto de Natal. Este fato reflete a perda de capacidade de transporte das correntes de marés de enchente a medida que esta penetra no estuário, o que é confirmado pela distribuição sedimentológica que mostra a presença de granulometria mais grossa próximo à foz e uma tendência gradativa de diminuição em direção ao interior do estuário.

No momento atual, com base nos dados do levantamento batimétrico realizado em janeiro de 2001 (Figura 39, apresentada no início do Capítulo), observa-se que ocorreu um pequeno assoreamento na Bacia de Evolução (na margem esquerda em frente ao Cais do Porto), enquanto que no Canal de Acesso um assoreamento generalizado em torno de 60 cm em toda a sua extensão e algumas outras manchas de pequeno assoreamento na margem esquerda.

As plantas batimétricas utilizadas neste trabalho são representadas pelas Figuras 43:

**A, B , C, D, E, F, G, H, I.**



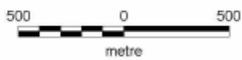
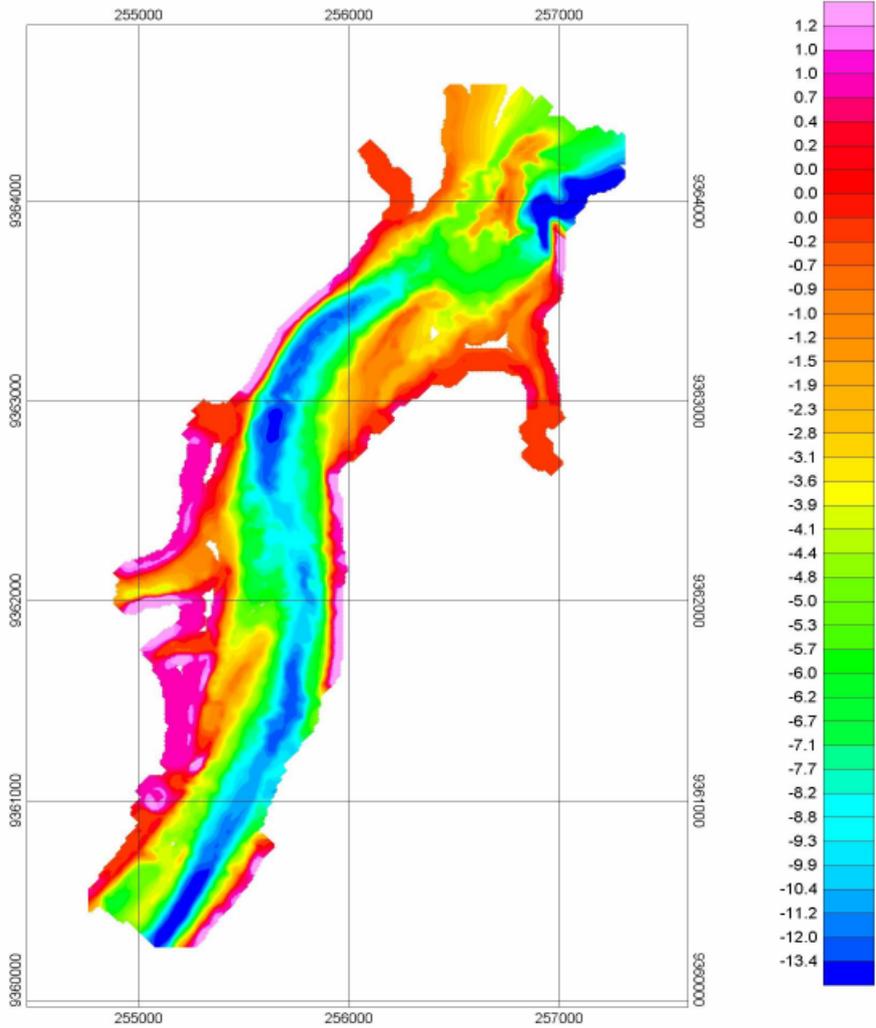
**Estuário do Rio Potengi**

Natal - RN

Batimetria 1905



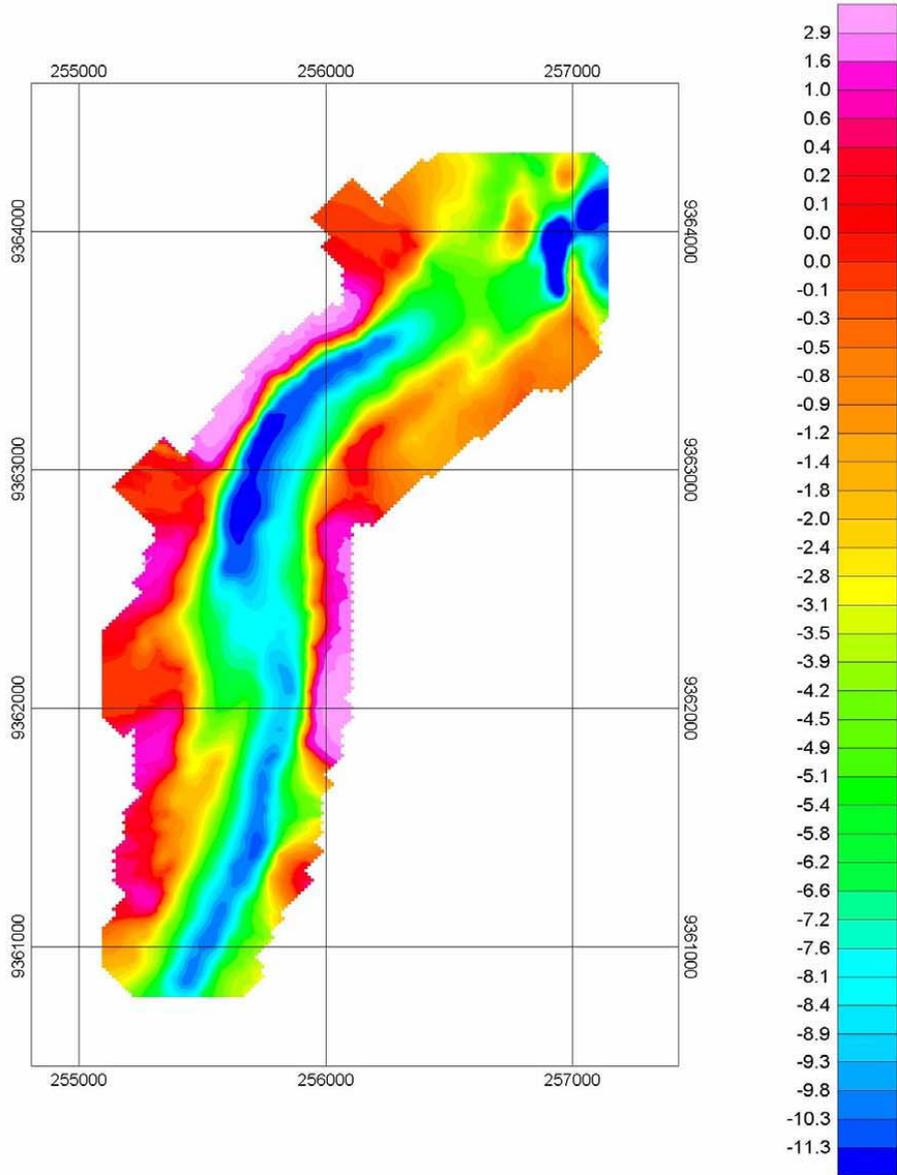
Figura 43A - Modelo Batimétrico de 1905.



**Estuário do Rio Potengi**  
Natal - RN  
Batimetria 1918



Figura 43B – Modelo Batimétrico de 1918.



**Estuário do Rio Potengi**

Natal - RN

Batimetria 1925

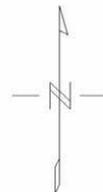
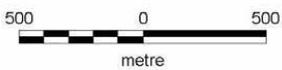
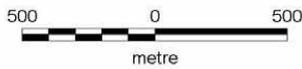
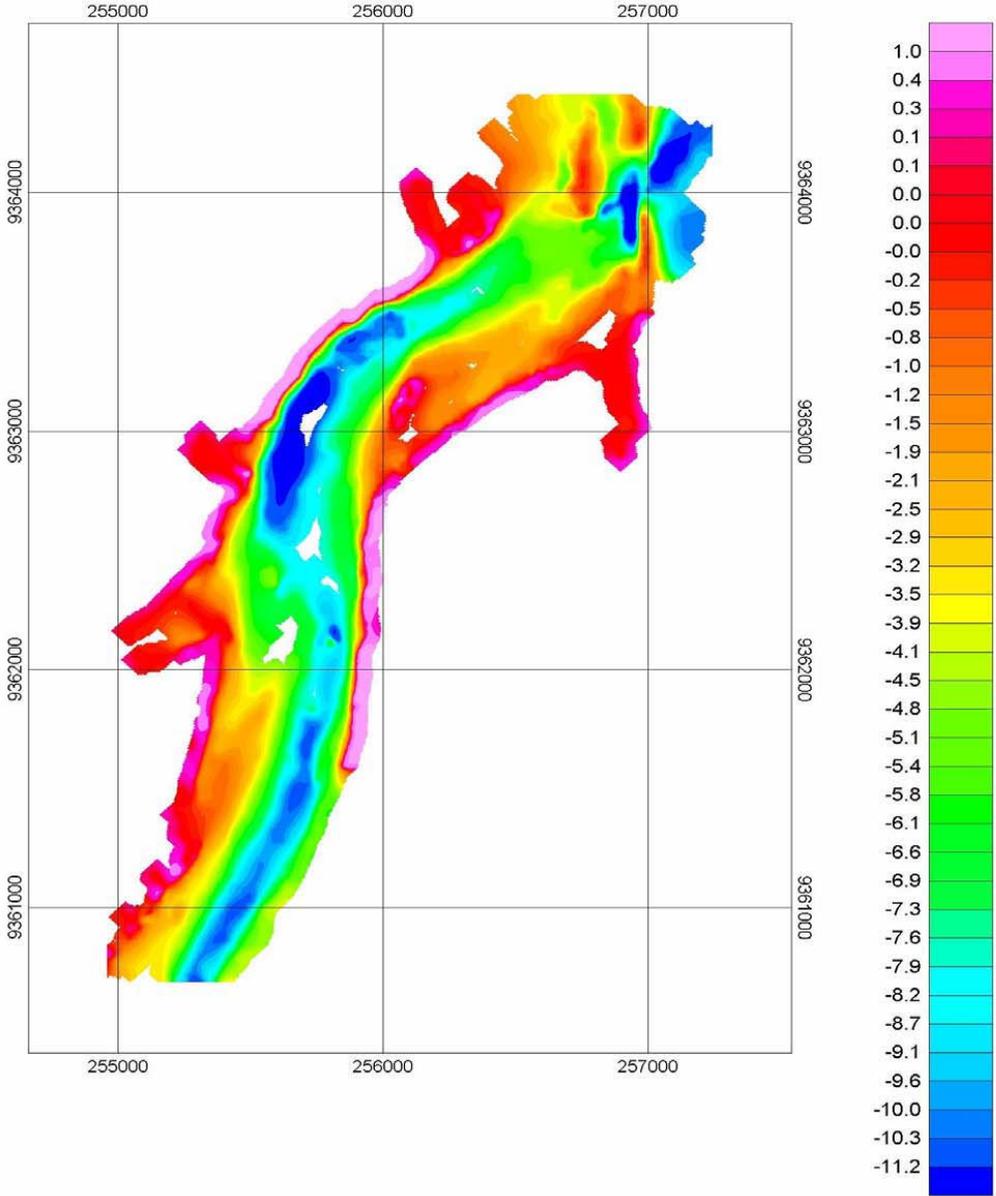


Figura 43C – Modelo Batimétrico de 1925.



**Estuário do Rio Potengi**

Natal - RN

Batimetria 1929



Figura 43D – Modelo Batimétrico de 1929.

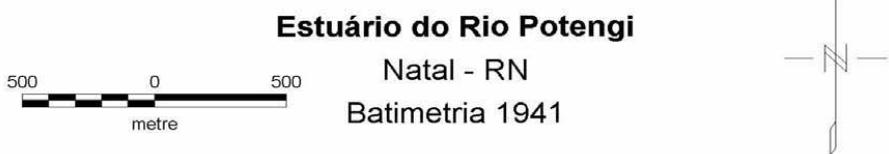
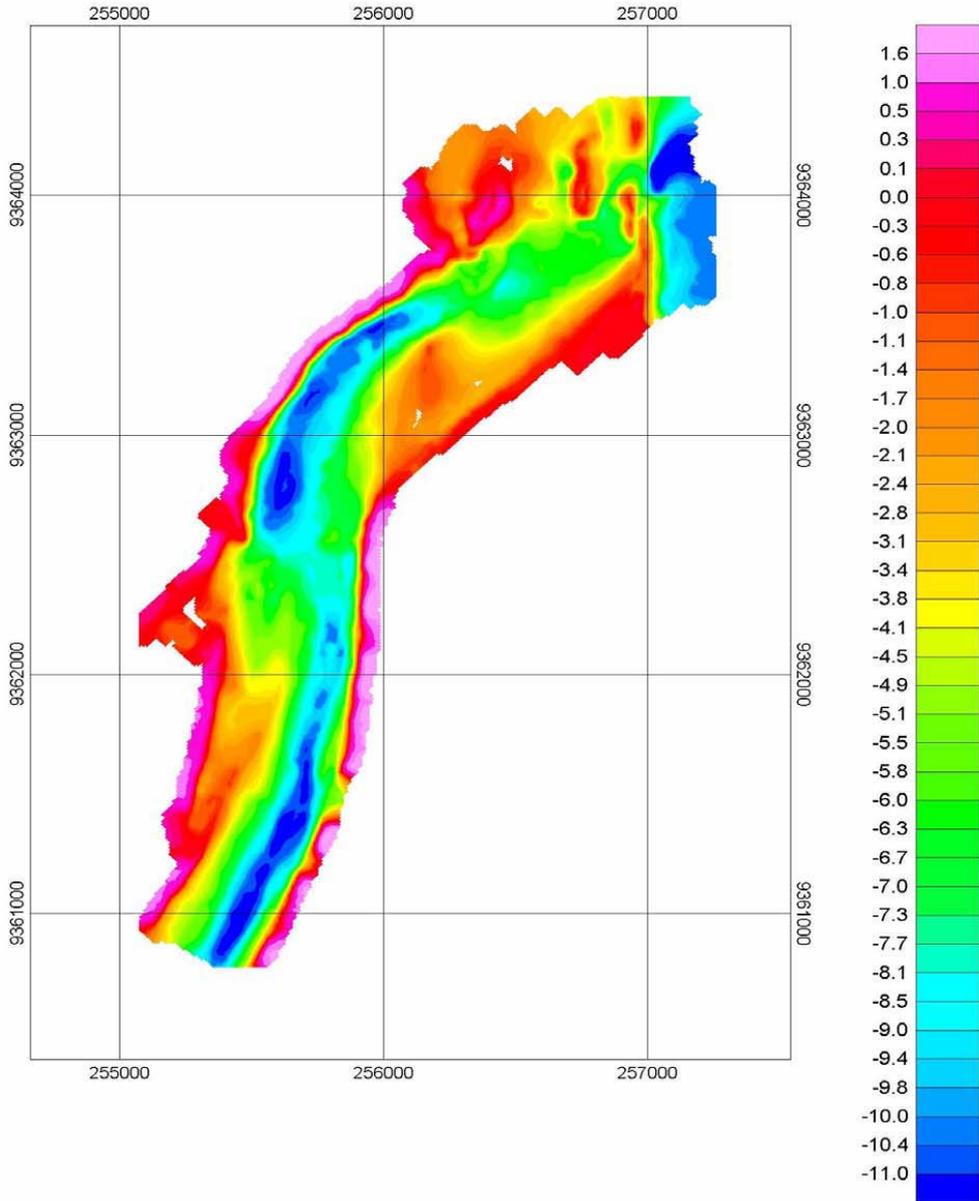
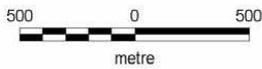
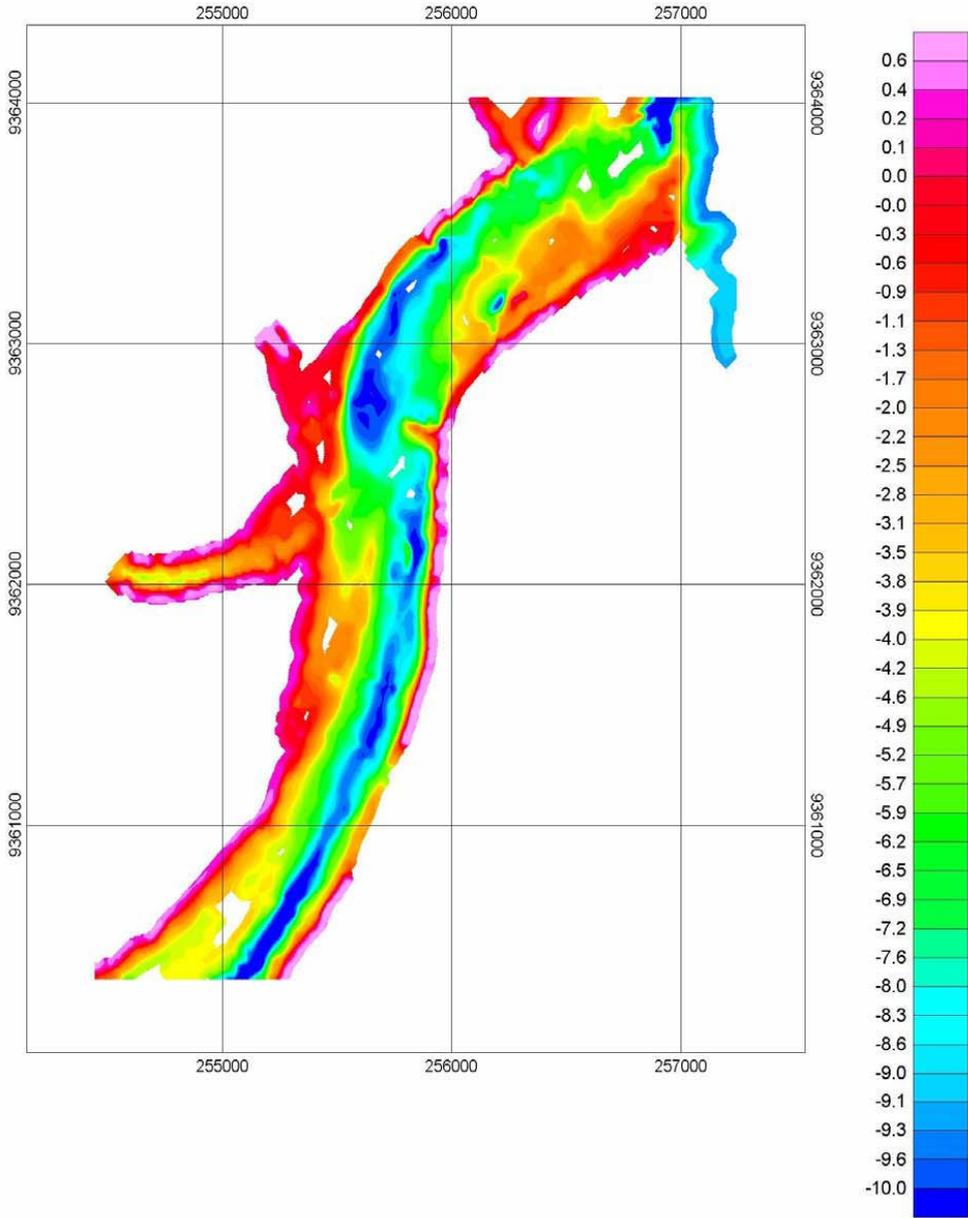


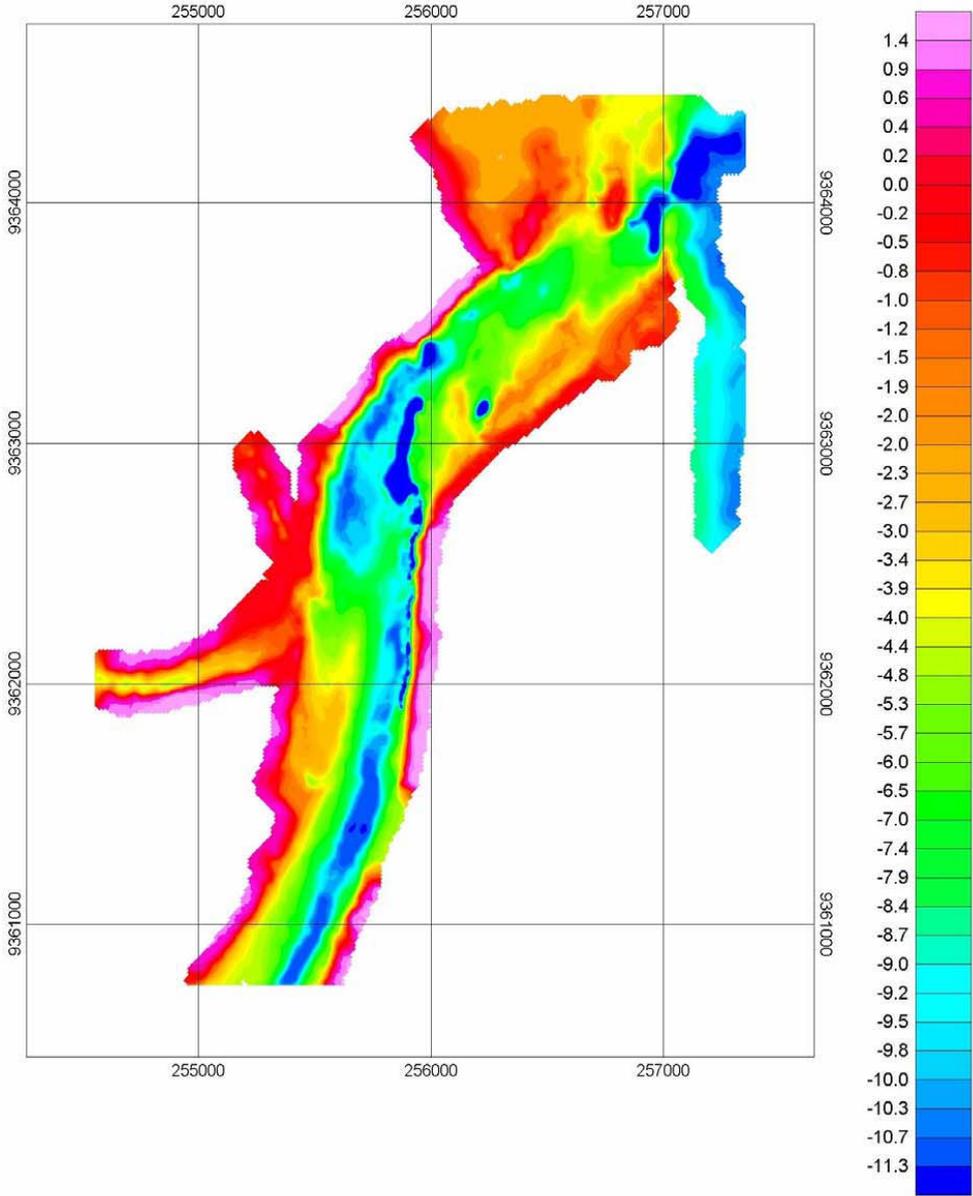
Figura 43E – Modelo Batimétrico de 1941.



**Estuário do Rio Potengi**  
Natal - RN  
Batimetria 1947



Figura 43F – Modelo Batimétrico de 1947.



**Estuário do Rio Potengi**

Natal - RN

Batimetria 1949

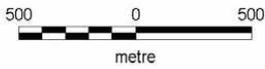


Figura 43G – Modelo Batimétrico de 1949.

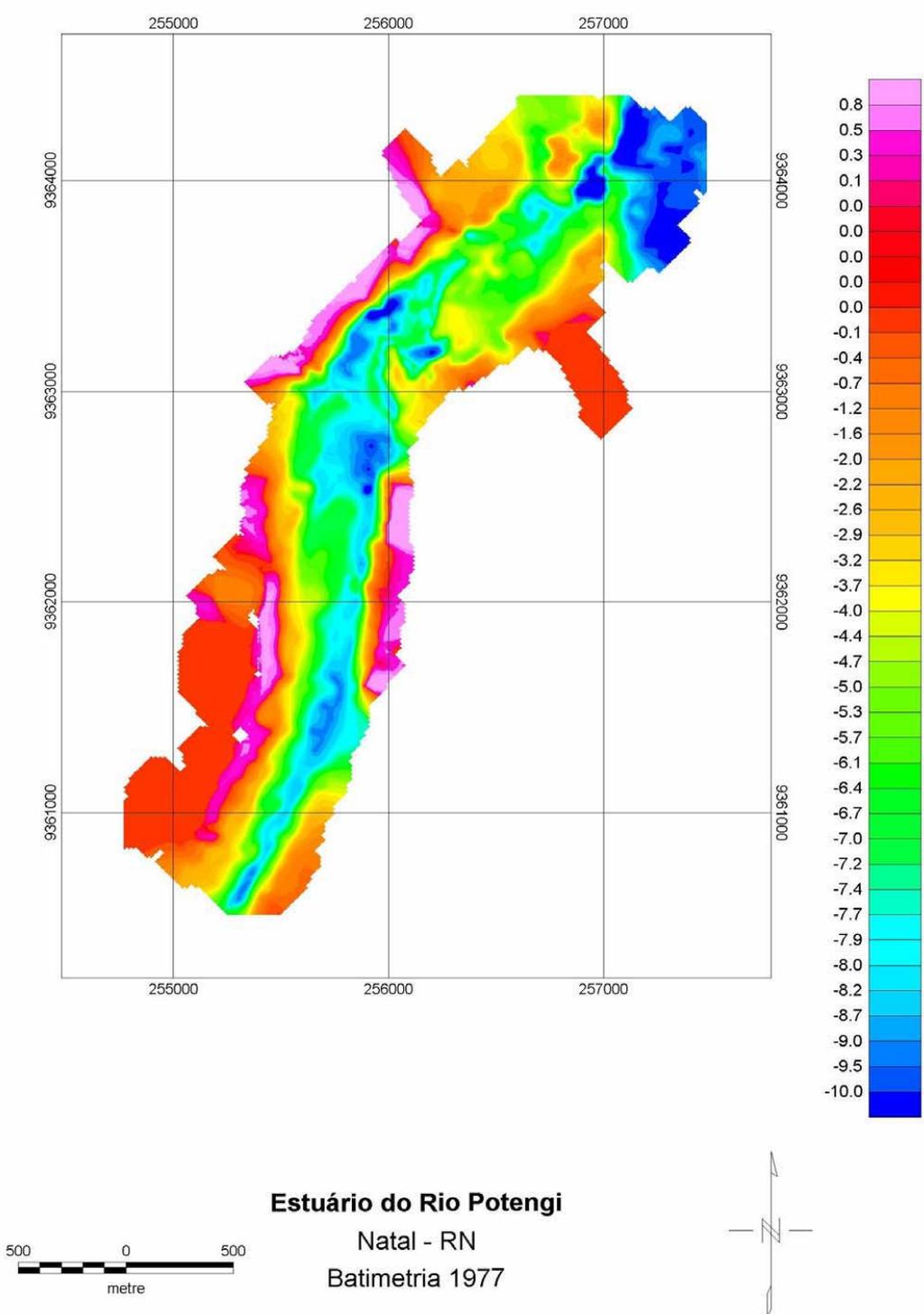


Figura 43H – Modelo Batimétrico de 1977.

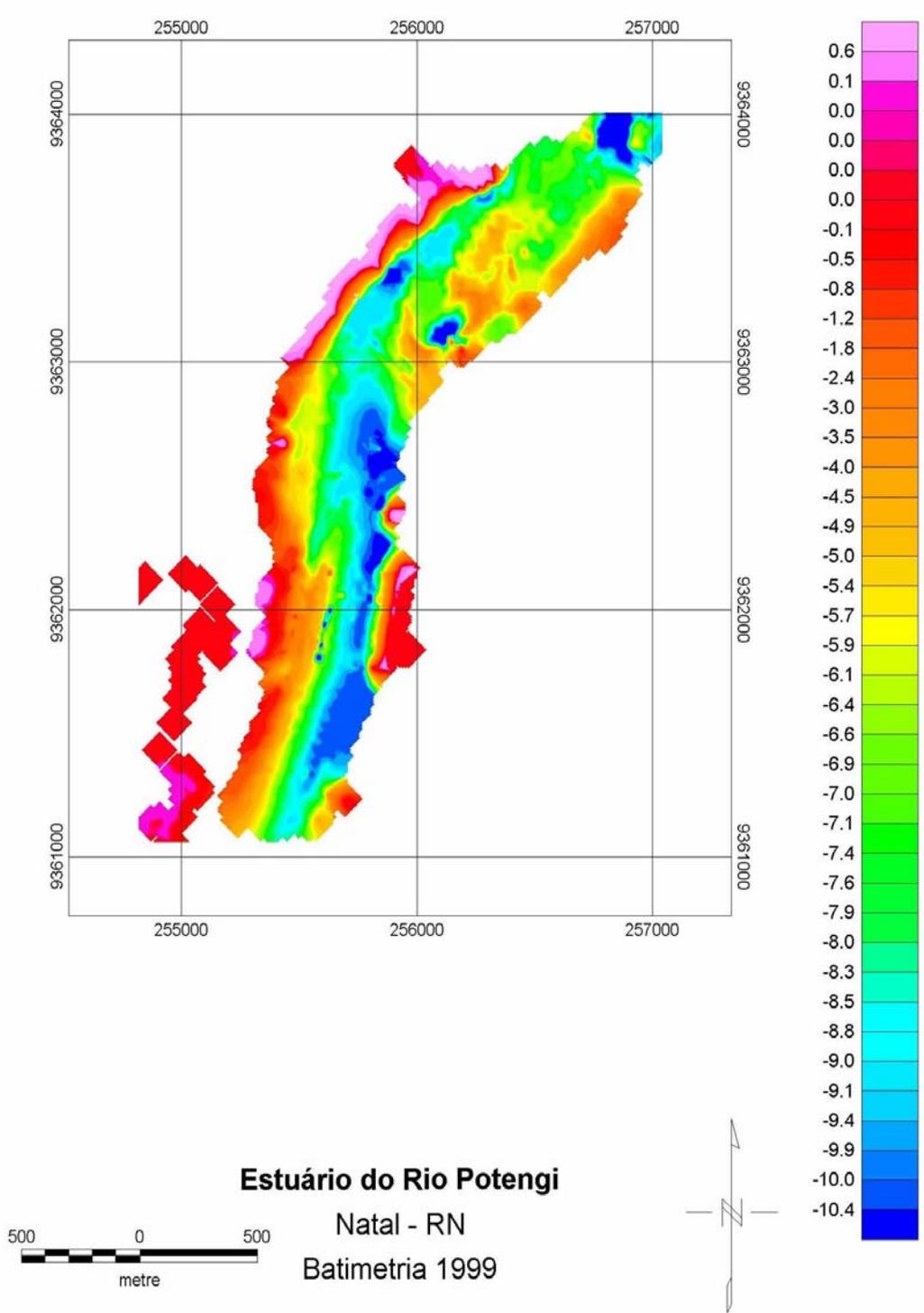


Figura 431 – Modelo Batimétrico de 1999

### 2.1.3. - Interpretação de Dados Sísmicos de Alta Resolução

Os dados aqui descritos referem-se à aquisição, processamento e interpretação preliminar de dados sísmicos marinhos de alta resolução, coletados em 04 de abril de 2001 ao longo do estuário do Rio Potengi, delimitando-se a área de atuação entre a Base Naval Almirante Ary Parreiras e a foz do referido rio, nas proximidades do Forte do Reis Magos. Para uma melhor compreensão da área de estudo, foram levantados três grandes perfis sonográficos paralelos ao leito do Rio Potengi e outros menos orientados, perpendicularmente ao leito do rio.

Informações como espessura e acamamento dos sedimentos oceânicos podem ser ressaltadas principalmente com a utilização de métodos de reflexão sísmica (Tabosa, 2000). Partindo da necessidade de se identificar cada aspecto faciológico do fundo do rio é que se optou por um levantamento sísmico de reflexão, cujos resultados seriam avaliados conjuntamente com o resultado das amostragens sedimentológicas.

No caso do estudo sísmico marinho, o equipamento utilizado é composto por (1) um *Transdutor*, que consiste num componente metálico, instalado e fixado a uma embarcação, sobre uma lâmina d'água em torno de 0,50 metros a 1,50 metros de profundidade; tem por finalidade a emissão de ondas eletromagnéticas, produzidas a partir da indução de cargas elétricas; (2) um Registrador, que tem como objetivo captar e “descodificar” as vibrações emitidas pelo transdutor e transformá-las em sinais gráficos e (3) um conjunto de 2 Baterias. O equipamento sísmico utilizado é uma ecosonda hidrográfica (resolução de 0,01 m e operando em frequência de 200 kHz); com porta para side scan sonar (cobertura de 0 a 80,00 metros) e GPS acoplado, marca HIDROTAC versão 2.01, fabricado pela ODOM HIDROGRAPHIC SYSTEMS INC. Este equipamento pertence ao Laboratório de Geofísica e Geologia Marinha e Monitoramento Ambiental (GEMMA) do Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica (PPGG) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).

- Aquisição de dados

Os trabalhos foram realizados a bordo de uma embarcação tipo pescueiro com cerca de 8 metros de comprimento e com capacidade para 10 pessoas.

O sonar utilizado neste trabalho apresenta uma característica bem particular pois as ondas emitidas por ele se propagam em apenas uma lateral tendo em vista que o feixe emissor

está colocado em apenas de um lado do sensor e tem recobrimento máximo de 80 metros. Foram realizados na área cerca de 30.000 metros de perfis sonográficos, recobrando o rio tanto longitudinal quanto transversalmente o rio.

- Interpretações Morfológicas

O desenvolvimento das formas de fundo estão relacionadas ao transporte e granulometria dos sedimentos, podendo ser ressaltadas em diversas escalas, marcadas por ondulações de pequeno porte até dunas e barras. Alvos maiores como canais, cristas e dunas subaquosas, além de serem bons refletores, produzem zonas de sombra acústica correspondentes a áreas adjacentes a eles, onde o registro é interrompido. A largura dessa sombra e a posição do objeto em relação ao sensor são elementos utilizados para cálculos da altura de tais objetos (Vital et al. 2001).

Nos registros puderam ser observadas variações expressas na forma de diferentes tonalidades. Estas diferenças é que sugerem as possíveis mudanças de comportamento composicional e granulométrico do material. Os campos que contém uma coloração mais clara em geral estão associados a predomínio de material arenoso, já as porções representadas por faixas escuras estão associadas com sedimentos lamosos. Em geral, estes aspectos podem ser vistos de forma mais homogênea, sugerindo baixa instabilidade dos sedimentos ou ainda com certa rugosidade, que neste caso as feições sugerem a presença de um material pouco estável a inconsolidados e, por apresentar esta característica, é facilmente transportado, gerando feições onduladas (de diferentes escalas).

Na área existe um certo zoneamento composicional, marcado por faixas de material mais arenoso (no canal principal do rio), intercalado por faixas levemente lamosas (nas margens e em locais de baixo fluxo hídrico). De acordo com os sonogramas, pode ser visto que existe um certo direcionamento das cristas das dunas de areia para E; na região da Base Naval elas apresentam-se simétricas com extensão da ordem de 2,5 metros.

Nas proximidades do Canal do Baldo / Porto de Natal, este material apresenta uma leve oscilação de comportamento, visto que leito principal passa a receber um fluido proveniente do Canal do Baldo, contribuindo para um aumento na extensão das cristas (variando de 5,00 a 10,00 metros de extensão), uma altura não superior a 1,00 metro e assimétricas de pequeno porte, indicando um leve direcionamento do transporte de sedimentos em direção a Foz do

rio.

Na área próxima a Capitania dos Portos, os registros indicam um campo marcado por ondulações levemente assimétricas, com a extensão na ordem de 15,00 a 100,00 metros, altura em torno de 2,00 metros e direcionamento preferencial para E (foz do rio), além de uma sutil superposição de ondulações simétricas (extensão na ordem de 1,00 a 2,00 metros).

Nas proximidades do cemitério dos ingleses seguindo em direção ao alinhamento da praia do "Y" / ponte nova tem marcado uma gradação dos sedimentos submersos, onde na porção mais W ( $5^{\circ}45,711'$  e  $35^{\circ}12,372'$ ), nota-se uma maior concentração de ondulações de pequeno porte (extensão 1,5 a 2,5 metros), simétricas perturbadas somente nos locais aonde ocorrem a presença de gamboas. Com a aproximação da "ponte nova" as ondulações continuam simétricas, embora com um espaçamento de cristas maiores, variando de 5,0 a 25,0 metros e uma altura na ordem de 2,0 metros. Na área próxima ao forte, os registros indicam um campo de dunas assimétrico (extensão na ordem de até 75,0 metros) com superposição de ondulações simétricas (extensão na ordem de 1,0 a 2,0 metros).

Em alguns pontos foi possível identificar feições que se destacam no contexto geral. Essas feições representam possivelmente afloramentos do Grupo Barreiras, submerso ao longo do Rio Potengi. O primeiro ponto observado está localizado nas proximidades das coordenadas  $05^{\circ}47,162'$  S /  $35^{\circ}13,117'$  W, entre a Base Naval Almirante Ary Parreiras e o horto municipal. O ponto está representado por uma elevação com cerca de 1,2 metros de altura por 1,0 metros de comprimento. Outro ponto com características idênticas está localizado nas coordenadas  $05^{\circ}45,849'$  S /  $35^{\circ}12,312'$  W. Segundo descrição de populares, existe ali um corpo rochoso aflorante que possivelmente esteja associado ao Barreiras. Nas imediações da Pedra do Rosário e das coordenadas  $05^{\circ}45,822'$  S /  $35^{\circ}12,306'$  W, distante cerca de 150 metros a W do late Clube de Natal, foi observado outra feição semelhante a anterior que difere da feição de fundo encontrada ao longo do rio. Entretanto, estes pontos apresentam uma morfologia própria, destacada por duas elevações (picos) com dimensões variando em torno de 2,0 a 3,0 metros de altura por 20,00 a 30,0 metros de largura na sua porção basal.

Próximo à nova ponte, entre as coordenadas  $05^{\circ}45,492'$  S /  $35^{\circ}12,162'$  W e  $05^{\circ}45,364'$  S /  $35^{\circ}12,077'$  W, foi registrado uma feição bastante diferente do aspecto geral, sendo registrada uma "calha", com profundidade variando em torno de 10,00 metros e uma abertura em torno de 75,0 metros. Este tipo de feição leva a imaginar algumas hipóteses que deverão ser

comprovadas posteriormente. Mas, no momento, pode-se sugerir que ali deve existir um substrato rígido (afloramento do Barreiras, Beach Rocks), ou algum anteparo artificial (dutos, cabos, embarcação), que retenha o sedimento na sua porção W e sofra uma retirada de material na porção E. Esta condição pode ser correlacionada com o arranjo das ondulações submersas (de pequeno a grande porte) existentes na área. De uma maneira geral, suas cristas indicam um modelamento assimétrico, espaçadas de 2,0 a 5,0 metros de largura e 0,2 a 0,5 metros de altura, indicando um fluxo hídrico direcionado de W para E.

A partir das coordenadas  $05^{\circ}45,364' S / 35^{\circ}12,077' W$ , observa-se uma mudança no comportamento das feições de fundo, onde a morfologia das cristas continuam assimétricas (de pequeno a grande porte), com os espaçamentos das cristas principais marcando 25,0 a 50,0 metros de largura e cerca de 1,0 a 2,0 metros de altura, embora, deste ponto em diante as cristas indicam um direcionamento preferencial inverso marcado de E para W (Figura 44), mostrando a influência da maré neste ponto que esta distante cerca de 1800 metros da foz do Rio Potengi.

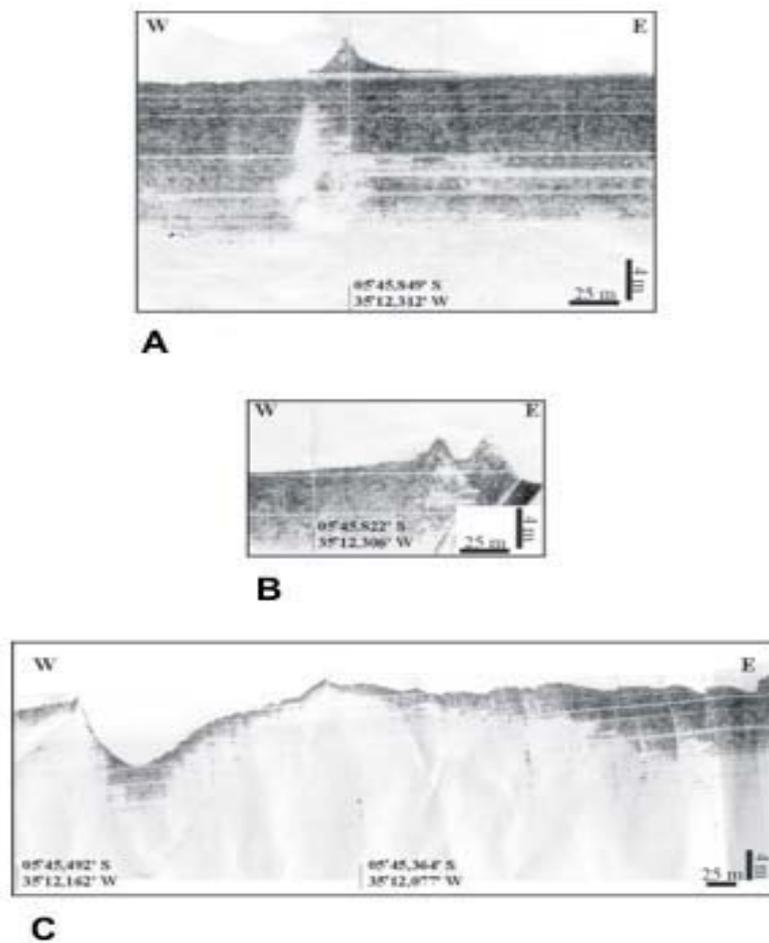


Figura 44 - Registros sísmicos (A-B-C), demonstrando uma mudança no comportamento das feições de fundo.

## 2.2 – Maré

A ação das marés exerce um relevante papel nos processos morfogenéticos desenvolvidos sobre a face litorânea.

A influência da maré ocorre principalmente no sentido de ampliar a área de ataque das ondas, além de incrementar o “set up” e aumentar, conseqüentemente, o poder energético das ondas, sendo também responsável pelo desenvolvimento de correntes em estuários, em canais lagunares e em águas rasas próximas à costa, além de apresentar importância para o transporte de sedimentos.

As marés são importantes ondas dos oceanos, as quais apresentam um levantamento e abaixamento rítmico sobre um intervalo de tempo de várias horas. Elas se traduzem por uma oscilação periódica do nível do mar, de período e amplitude variáveis no tempo e de um lugar a outro, devido à atração dos astros sobre as águas. Esta oscilação d'água é acompanhada de correntes horizontais (correntes de marés) em que seu limite e sua intensidade variam igualmente no tempo e espaço observados.

As mudanças contínuas de posição entre o Sol, a Lua e a Terra, proporcionam a existência das marés astronômicas nos grandes corpos d'água. Por duas vezes durante o mês, na lua nova e na lua cheia, ocorrem as marés mais altas, de sizígia.

Ventos soprando do mar e tempestades com quebra abrupta de pressão atmosférica podem produzir rápidas elevações do nível do mar, constituindo as marés meteorológicas, ressacas ou ondas de tempestades.

Quando estes fenômenos acontecem durante os períodos de marés de sizígia, praias arenosas baixas podem ser inundadas produzindo erosão e causando verdadeiras catástrofes.

No que diz respeito às marés astronômicas, as correntes que se estabelecem entre os períodos de baixa-mar e preamar só são significativas em termos de transporte de sedimentos em costas baixas com marés de grande amplitude. Por outro lado, em costas submetidas a um regime de micromarés, elas somente adquirem importância em corpos d'água restritos em costas com reentrâncias e nos canais de ligação entre lagoas costeiras e o mar.

As variações do nível do mar, devido às marés lunares, representam mudanças cíclicas de curto período que se processam no litoral. Este período pode ser de 12 horas (semidiurna), 24 horas (diurna), ou de período variável (maré mista), durante o ciclo lunar.

Segundo a classificação de Hayes (1979) in Hoefel (1998), pode-se distinguir as seguintes

classes de marés: microtidal (0-1m); fraco mesotidal (1-2m); forte mesotidal (2-4m); fraco macrotidal (4-5m); e macrotidal (>5m).

No domínio costeiro, a amplitude da maré pode ser a causadora de profundas modificações no processo de sedimentação do litoral, seja acumulando ou erodindo os sedimentos da zona costeira.

Na maioria dos estuários conhecidos, as marés são as principais fontes de energia, responsáveis pela dinâmica meio-ambiental.

A penetração da maré no estuário depende de numerosos fatores, entre os quais devemos citar:

- amplitude das marés;
- declive do leito do estuário e do curso fluvial;
- morfologia estuarina e
- aporte fluvial.

Convém distinguir os dois aspectos de penetração da maré:

A maré dinâmica, responsável pelo comportamento hidráulico, desde o ponto de vista prático, condiciona a navegação, que permite, em alguns estuários, a subida de embarcações rio adentro.

A maré de salinidade, bastante complexa dentro do desenvolvimento hidráulico do estuário, pode propiciar numerosas conseqüências de caráter prático e ecológico. A intrusão salina e as condições da mistura entre água doce e água salgada permitem o desenvolvimento de espécies vivas, animais ou vegetais.

A mistura de águas modifica o equilíbrio químico, que produz repercussões sobre a fauna e a flora, assim como na capacidade depuradora do ambiente.

Por outro lado, a salinidade tem repercussões imediatas sobre a reposição dos sedimentos e do material em suspensão. Além de tudo isso, vai definir as possibilidades de utilização da água para diversos fins, como os usos agrícolas, águas potáveis e industriais. Em sete estações distribuídas ao longo do estuário do rio Potengi (Figura 45), o comportamento da maré junto com outros parâmetros ambientais foram analisados no estudo.

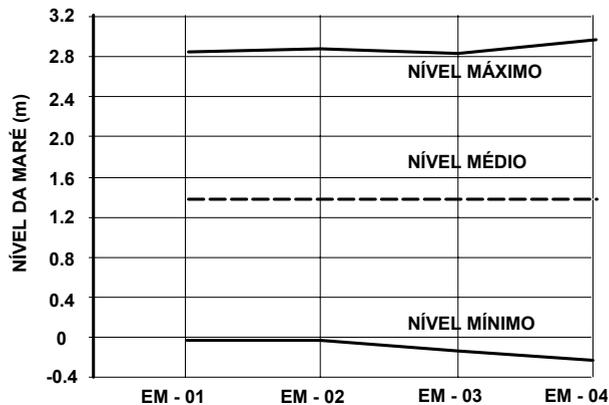


Figura 45 – Níveis de maré referidos a zero hidrográfico de EX-DNPVN, no período de 1998-1999 (Hidroconsult).

As previsões dos níveis das marés meteorológicas para os portos do Brasil são realizadas pela Diretoria de Hidrografia e Navegação-DHN da Marinha do Brasil e disponibilizadas na forma de tabelas para toda a comunidade. A maré da região é do tipo semidiurna, com duas preamares e duas baixa-mares em um período aproximado de 24 horas; praticamente não sofre influência meteorológica e possui os valores característicos representados na Tabela 24.

Tabela 24 – Altura das Marés

MARÉ – NATAL	metros
AMPLITUDE MÁXIMA	2,73
AMPLITUDE MÉDIA DE SIZÍGIA	2,34
AMPLITUDE MÍNIMA	0,50
AMPLITUDE MÉDIA QUADRATURA	1,06
NÍVEL MÁXIMO	2,87
NÍVEL MÍNIMO	-0,20
NÍVEL MÉDIO	1,39

### 2.2.1 – Observações Maregráficas

Foram efetuadas através dos registros da rede de quatro postos maregráficos instalados ao longo do estuário do Potengi, que inicialmente apresentavam registros semanais, mudando em seguida para registros diários, em razão de uma maior precisão na interpretação dos resultados, além de medições em períodos representativos de eventos sazonais.

Estas operações se prolongaram durante um período de dez meses.

Os valores medidos das marés na região, segundo a classificação de Hayes (1979), permitem seu enquadramento como do tipo fraco mesotidal (1-2m) a forte mesotidal (2-4m) e sua periodicidade é do tipo semidiurna, caracterizada pela ocorrência de duas preamares e duas baixa-mares no decorrer de um período aproximado de 24 horas e praticamente não sofre influência meteorológica.

#### 2.2.1.1 - Posto maregráfico P.M.-01 “Banco das Velhas”

Segundo as análises estatísticas dos dados, o valor máximo absoluto é de 2,47m, registrado nos dias 20/09/2000 e mínimo de 0,19, registrado no dia 20/09/2000, ambos em condições de maré alta.

Durante o período de observações, o nível médio do mar oscilou em torno aos 139 metros.

A máxima amplitude das ondas de maré com 2,28 m registrou-se no dia 20/09/2000, em condições de maré alta, e a mínima, com 0,19 m, no dia 20/09/2000, em condições de maré de quadratura.

Os valores indicados se referem ao zero do EX-DNPVN, situando-se a régua limnimétrica a -0,359 m.

#### 2.2.1.2 - Posto maregráfico P.M.-02 Cais do Porto de Natal

Durante o período de observações neste posto, o nível médio local oscilou em torno aos 1,40 m.

O valor máximo absoluto do período foi de 2,92 m, no dia 27/02/2000, e o mínimo de -0,004 m, no dia 26/02/2000, ambos em condições de maré alta. A máxima onda de maré, com 2,91 m registrou-se nos dias 26 e 27/02/2000, em condições de maré alta, e a mínima, de

-0,66m, no dia 07/02/2000, em condições de maré de quadratura.

Os valores indicados se referem ao zero de EX-DNPVN, situando-se a régua limnimétrica a -0,393 m.

#### 2.2.1.3 - Posto mareográfico P.M.-03 Ponte de Igapó

O sumário das observações registradas neste posto mostra um nível médio local durante o período que oscila em torno aos 1,41 m.

O valor máximo absoluto foi de 2,89 m, registrado no dia 17/09/2000, e o mínimo foi de -0,19 m, registrado no dia 22/06/2000, ambos em condições de maré alta.

A máxima amplitude de onda de maré, 2,97 m, registrou-se no dia 22/06/2000, em condições de maré alta, e a mínima, 0,076 m, registrada no dia 16/04/2000, em condições de maré de quadratura.

Os valores indicados se referem ao zero de EX DNPVN, situando-se o zero da régua limnimétrica a -0,0008 m.

#### 2.2.1.4 - Posto mareográfico P.M.-04 Guararapes

Neste posto, o nível médio oscilou durante o período em torno aos 1,42 metros.

O valor máximo absoluto foi de 2,97 m, registrado no dia 13/05/2000, e o mínimo foi de -0,23 m, registrado nos dias 07/02/2000 e 19/08/2000, ambos em condições de maré alta.

A máxima amplitude de onda de maré foi registrada no dia 19/08/2000, com 3,15 m, em condições de maré alta, e a mínima, 0,81 m, produzida nos dias 16/04/2000 e 24/09/2000, em condições de maré de quadratura.

Os valores indicados se referem ao zero de EX DNPVN, situando-se o zero da régua limnimétrica a -0,919 m.

#### 2.2.1.5 - Posto mareográfico P.M.-05 Entrada do Estuário

Este posto está localizado em frente ao farol, na entrada do estuário do Rio Potengi.

Em medições realizadas neste posto, no mês de setembro de 2001, obteve-se que o nível médio da maré oscilou em torno de 2,20 metros durante este período. O valor máximo

absoluto foi de 2,44 m, registrado no dia 19/09/01, e o mínimo foi de 0,01 m, registrado no dia 19/09/01, (Figura 46).

A explicação para este fato pode ser devido a grande extensão de área intermareal a ser inundada, fazendo com que a água que flui para dentro do estuário não induza a uma elevação rápida do nível. Isto faz com que a subida da maré no estuário atrase em relação ao que ocorre no oceano.

Desta forma, a anexação das áreas intermareais absorve a ampliação da descarga sem causar um aumento nos valores de velocidade da corrente de enchente. Assim a preamar no estuário sofre um atraso em relação àquela do oceano.

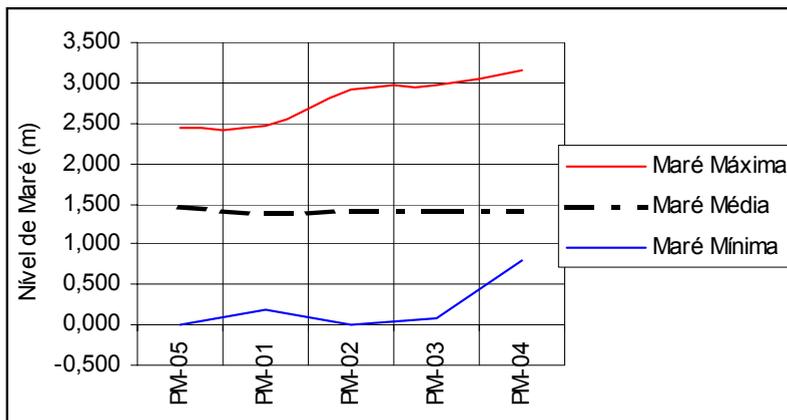


Figura 46 – Níveis de maré no período de 1977-2001.

Por outro lado, a descida da maré no estuário tende a ocorrer simultaneamente ao longo de todo o canal, mas devido às menores profundidades das áreas intermareais, o fluxo passa a ser mais rápido no canal e a queda do nível da água mais imediato. Isto faz com que haja um fluxo de água das áreas intermareais em direção ao canal principal, diminuindo a taxa de descida da maré em relação àquela do oceano, causando um maior gradiente da superfície líquida.

No momento em que seção transversal do canal do rio fica reduzida em virtude da drenagem da área intermareal, são estabelecidos fluxos mais fortes de vazante favorecendo o aumento das velocidades das correntes de vazante.

A inclusão dos níveis de maré da estação PM-05, localizada próximo a embocadura do Rio Potengi, no processo de correlação entre os níveis de marés no estuário do Rio Potengi, realça a tendência do aumento na altura da maré em direção ao interior do continente.

#### 2.2.1.6 - Posto mareográfico P.M.-06 Areia Preta

O nível das marés na Praia de Areia Preta foi avaliado durante os anos de 2000 e 2001. Em abril de 2000 o nível médio oscilou em 1,47m, com mínimo de 0,00m e máximo de 1,43.

Em setembro de 2001 o nível médio foi de 1,07 metros e a amplitude máxima foi de 2,01m, registrada no dia 21/09/01, e a mínima foi de 0,00 m, registrada no dia e 21/09/01.

### 2.3 – Observações Limnimétricas

Com o objetivo de identificar a penetração máxima das marés, efetuaram-se observações limnimétricas em pontos situados na parte superior do estuário, tanto no seu braço direito como no esquerdo.

No Rio Jundiá, realizaram-se observações nos 5 pontos situados na cidade de Macaíba, sobre a ponte da estrada BR-226 (M1) e três em cima da ponte, a distâncias de 220 (M2), 540 (M3) e 1700 (M4) metros, respectivamente.

No Rio Potengi, efetuaram-se observações nos dois pontos localizados em Barreiros e na Granja São Francisco.

#### 2.3.1 - Estação Limnimétrica de Macaíba

Nos postos limnimétricos situados mais acima da cidade de Macaíba, verificaram-se as seguintes amplitudes de variação.

- Estação M1- Amplitude de 0,78 m, no dia 21/04/2000 em condições de maré alta.

- Estação M2 - Amplitude de 0,64 m, no dia 24/04/2000 em condições de maré alta.
- Estação M3 - Amplitude de 0,6 m, no dia 09/05/2000 em condições de maré alta.
- Estação M4 - Amplitude de 0,06 m, no dia 09/05/2000 em condições de maré alta.

Na Estação limnimétrica localizada na cidade de Macaíba, efetuaram-se observações mais intensas e o valor máximo absoluto foi de 3,0 m no dia 24/06/2000, e o valor mínimo de 0,75 m, no dia 12/10/2000, ambas em condições de maré alta.

### 2.3.2 - Estação Limnimétrica de Barreiros

Ao norte da localidade de Barreiros, efetuaram-se observações em condições de maré alta, mostrando uma amplitude de 0,16 m, 0,22 m e 0,18 m, nos dias 21, 24 e 25 de abril de 2000, respectivamente.

No posto limnimétrico de Barreiros, o valor máximo observado foi de 2,54 m, no dia 12/10/2000, e o mínimo de 0,75 m, no dia 12/10/2000, ambos em condições de maré alta.

### 2.4 – Correntes de Maré

As correntes de marés são geradas pelo movimento oscilatório das ondas de maré e variam principalmente com a amplitude destas.

De acordo com as análises dos dados recolhidos, pode-se observar que as velocidades, em condições de maré alta, apresentam valores mais elevados que na de quadratura, tanto durante a maré baixa como na alta.

Assim mesmo, as velocidades máximas encontram-se na fase de maré baixa (2 a 3 horas depois da preamar) e as mínimas ao redor das estofas.

Durante a fase de maré crescente ou alta, as velocidades aumentam (ao redor das quatro horas depois da baixa-mar) mostrando outro pico não tão significativo como o observado na maré decrescente.

Estes valores de velocidade máxima, tanto durante a maré crescente (75 cm/s), como na decrescente (90 cm/s), registraram-se na superfície, principalmente durante a maré alta.

Ao longo do eixo do canal, as variações são mais acentuadas que nos lugares próximos as

margens. Verifica-se assim uma distribuição vertical de velocidades mais uniformes (superfície ao fundo) durante as fases de crescida de maré.

Depois, nas condições de preamar e baixa-mar, se produz uma inversão da direção, e as velocidades superficiais decrescem até conseguir valores próximos ou menores que os correspondentes aos horizontes mais profundos.

Nos anos anômalos, de intensas precipitações pluviométricas, se podem encontrar velocidades de corrente elevada, em conjunção com o regime de inundação dos rios Potengi e Jundiá.

## 2.5 – Circulação Estuarina

As águas do estuário, diferentemente das águas litorâneas, apresentam uma circulação nitidamente influenciada pela ação das marés.

A ausência de um aporte fluvial considerável permite a invasão total das águas salinas até 20 Km do corpo estuarino.

A penetração das marés no estuário do Potengi durante a fase de crescida se produz preferentemente pelas capas inferiores, com valores de velocidade superiores aos registrados nas capas superiores. Esta tendência se inverte durante a fase de maré decrescente.

A circulação no estuário mostra um comportamento bastante relacionado com a morfologia, com valores mais elevados de velocidade junto às concavidades do ambiente, propiciadoras do poder erosivo destas correntes.

Por causa da notável penetração das marés no estuário, o vento, fator dominante na circulação costeira, passa a ter um papel secundário, ainda que não desprezível.

## 2.6 – Influência Estuarina na Circulação Costeira

A circulação costeira com um padrão de correntes de sentido S-N, produto da influência dos ventos e pelo alinhamento da costa, é, durante as fases de maré crescente, refletida para o interior do estuário. Esta influência restringe-se às zonas próximas à saída do estuário.

Nas fases de maré decrescente, o aporte do estuário se deixa sentir junto à saída (na prolongação do eixo longitudinal do estuário), o que desvia ligeiramente as correntes costeiras para o E.

Este efeito dos aportes estuarinos alcança uma área mais ampla que a afetada nas fases de maré crescente. Apesar disto, a influência da circulação estuarina na dinâmica costeira se percebe a pequena escala numa área relativamente restringida, sendo a influência maior nas condições de maré alta.

A linha de recifes, situada na entrada do estuário, é também responsável pela restrição da penetração das águas costeiras no interior do mesmo.

O comportamento destes recifes na circulação costeira e estuarina, apesar de não estar bem determinado, atua também como verdadeira barreira, canalizando e aumentando a potência das correntes de direção S-N.

## 2.7 – Evolução do Prisma de Maré

Para a caracterização do prisma de maré no estuário Potengi foi escolhida uma seção transversal, que teve sua forma definida através de levantamentos realizados pela HIDROCONSULT (1999/2000).

Nesta seção, foram escolhidos três pontos representativos onde foram realizadas medições de direção e velocidade das correntes.

Com os valores de velocidade e direção das correntes e área da seção transversal, foram calculadas, respeitando as correções necessárias, as vazões da descarga e penetração das águas no estuário.

A vazão total da seção estuarina foi obtida com a soma algébrica das vazões parciais, positivas (vazante) ou negativas (enchente), conforme o sentido da corrente. Os prismas de maré foram avaliados a partir dos dados das vazões, que mostram volumes correspondentes à fase de vazante, aproximadamente, 10% maiores que os volumes da fase de maré enchente (Tabela 25).

Tabela 25 - Resultados de Cálculos dos Prismas de Maré.

Resultados de Cálculos dos Prismas de maré								
Data	Amplitude de maré (m)		período maré (hora)		* vazao (m/s)	volume (10m) prisma de maré		
	vazante	enchente	vazante	enchente	enchente	vazante	enchente	Enchente
PRIMEIRA CAMPANHA								
20/06/1999 SIZIGIA	2,39	2,48	5,7	6,6	18.242	16.638	32,58	29,82
27/06/1999 QUADRATURA	1,51	1,33	6	6,5	11.386	5.607	20,23	10,04
29/06/1999 QUADRATURA	1,29	1,28	6	6	10.418	9.970	18,61	17,86
04/07/1999 SIZIGIA	1,71	1,81	5,7	6,6	14.520	12.591	25,75	22,62
06/07/1999 SIZIGIA	1,95	1,85	5,8	14.120	12.905	25,1	25,1	23,21

Continuação da Tabela 25

SEGUNDA CAMPANHA								
08-09/09/1999 QUADRATURA	1,58	1,52	6	6,5	12.846	13.127	22,97	23,44
	1,43	1,34	5,5	7	12.734	10.857	22,8	19,51
15-16/09/1999 SIZIGIA	2,36	2,45	6,5	6,5	18.497	19.232	33,11	34,27
	2,67	2,56	6	6	21.087	18.399	37,64	32,91

## 2.8 - Comportamento das Correntes no Estuário do Rio Potengi

Foram realizadas campanhas de medições correntométricas em dois postos no estuário do Rio Potengi, posto PM-05 e PM-01 (Figura 47).

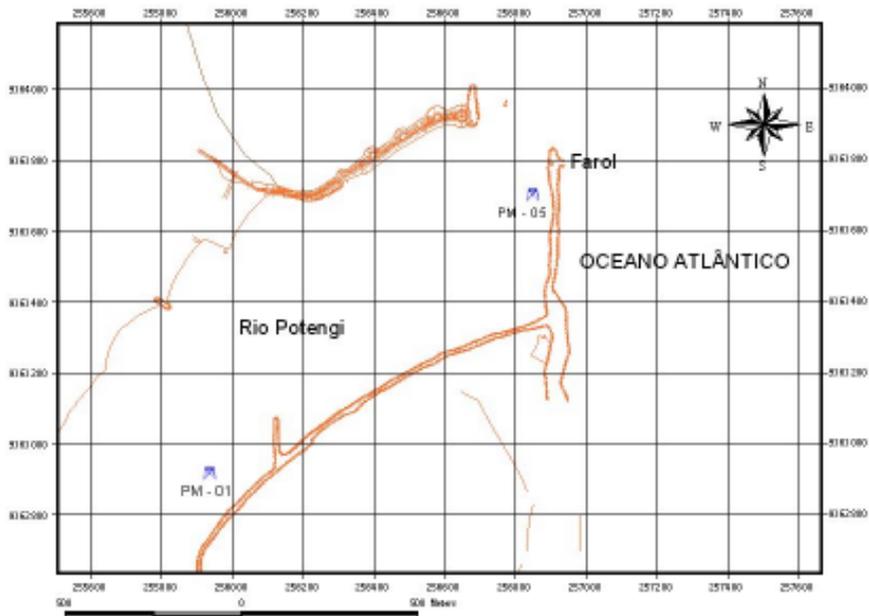


Figura 47 – Localização dos postos correntométricos no Rio Potengi.

Os dados obtidos no posto PM - 01, (próximo ao Banco das Velhas (Figura 48 a) demonstraram o predomínio de correntes dirigidas para WSW e SW em relação àquelas para E e ENE. Uma avaliação destes resultados indica o predomínio de correntes de enchente em relação às de vazante.

Por outro lado, estes resultados e conseqüente interpretação devem ser avaliados sob a perspectiva da sua relação com o posicionamento do correntômetro dentro do estuário, pois poderão refletir a predominância, em determinado canal, de um ou outro tipo de corrente (vazante ou enchente).

Dados mais recentes de correntometria medidos durante campanha em setembro de 2001 no estuário do Rio Potengi, no posto PM – 05, em frente ao farol (Figura 48 b) confirmam uma predominância de correntes de enchente, com maiores velocidades, nas direções SW e WSW em relação às de NNW, NW e WNW.

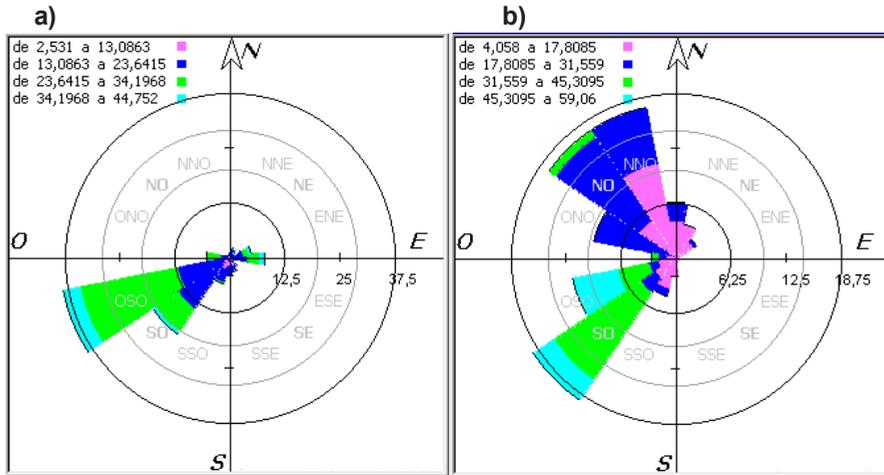


Figura 48 – Direções e velocidades de correntes no estuário do Rio Potengi.  
**a)** Banco das Velhas 28/10/2000, **b)** Próximo ao farol 19/09/2001.

## 2.9 – Comportamento da Salinidade

A distribuição da salinidade em estuário está em função das oscilações das marés, da morfologia do estuário, dos aportes de água doce, da evaporação e das precipitações pluviométricas.

No estuário do Potengi, as condições naturais, caracterizadas pelas irrelevantes contribuições fluviais, declives suaves (pendentes suaves) e uma relativa estabilidade salina, favorecem, durante todo o ano, a penetração salina até os 20 Km no braço direito do estuário – o do Rio Jundiá – e de 15 Km no braço esquerdo do Rio Potengi.

A influência de quantidades suficientes de água doce que diluam significativamente a massa de água salgada permite que esta estenda seus limites de infiltração com elevados valores salinos.

A variação anual da salinidade não se verificou no ano base do presente estudo, que se caracterizou por uma estação seca prolongada, com chuvas ocasionais. Mesmo assim, segundo os dados do Projeto Camarão, obtidos na zona inferior do estuário, durante o ano de 2000, se advertiu uma variação sazonal com porcentagens mínimas de salinidade superficial durante o mês de junho, que representa a estação chuvosa, com médias em torno aos 29,5‰. No período de

estiagem, em dezembro, se encontraram valores médios de aproximadamente 34,50‰.

### 2.9.1 – Distribuição Horizontal

Através da interpretação de gráficos, em laboratório, da distribuição horizontal, a salinidade é dada pelas oscilações da maré, dentro do estuário, estando seus valores mais elevados associados às alturas máximas das marés (preamar) e vice-versa.

Com exceção das áreas próximas à saída do estuário, todas as demais mostram um intervalo aproximadamente constante, com valores máximos de salinidade, aproximadamente na preamar (2 horas antes e 2 horas depois), limitados pelos dois picos mais altos da velocidade das correntes.

Na distribuição longitudinal dos parâmetros ambientais, observa-se uma diminuição, ainda não muito acentuada, dos valores salinos na direção da cabeceira. Esta diferença é mais verificada em condições de maré de quadratura, o que permite subdividi-la em zonas diferenciadas, segundo seu gradiente longitudinal.

A primeira zona, caracterizada por uma distribuição quase constante, se estende à foz até o Cais da Avenida Tavares de Lira, ocupando uma faixa de 3 Km a partir da de saída. Esta zona representa os lugares de domínio claramente marinho e apresenta valores que oscilam entre 33‰ (baixa-mar) e 35‰ (preamar).

Durante as condições de maré alta, esta zona mostra uma tendência a prolongar-se para o interior do estuário.

Uma segunda zona inicia-se depois do Cais da Avenida Tavares de Lira até Guarapes, no braço direito do estuário, sobre um total de 11 Km. Apresenta como característica básica, um moderado gradiente salino, com valores que oscilam entre 33,5‰ e 29‰, na quadratura e de 33‰ a 28‰, na maré alta, aproximadamente.

No que se refere ao braço esquerdo do estuário do Potengi, ou melhor, ao rio do mesmo nome, esta segunda zona limita-se ao intervalo entre as estações da Tavares de Lira e a Ponte de Igapó, sobre uma faixa de 4,5 Km. Por causa da sua menor extensão, esta zona apresenta uma oscilação de 33,5‰ a 31‰, na maré alta e de 32‰ a 30,5‰, na quadratura, aproximadamente.

A segunda zona, ainda que mostra valores salinos elevados, se constitui como uma zona estuarina intermediária.

A terceira zona de salinidade do estuário se prolonga pelo Rio Jundiá, desde Guarapes até Macaíba, limite interno do ambiente estuarino, sobre uma extensão de quase 8,5 Km, e mostra um

gradiente salino bastante acentuado.

Dito gradiente mostra, em ambas condições de maré, valores de 28‰ e 29‰ até 12‰ na preamar e 3‰ durante a baixa-mar.

No Rio Potengi, esta terceira zona se estende desde a Ponte de Igapó até Barreiro, sobre um total de 6,5 Km de extensão. Da mesma forma que no outro braço estuarino, mostrando um acentuado gradiente salino, com valores que declinam de uma média de 30‰ na Estação 04 a valores de aproximadamente 25‰, durante a preamar e de 6‰, na baixa-mar, em ambas condições de maré.

A existência de uma zona de gradiente salino bastante acentuado se explica fundamentalmente pela perda de potência na intrusão salina, em função do aumento da pendente na zona superior do estuário e do refluxo destas águas salgadas durante a baixa-mar, mais que pela dissolução propiciada pela presença de quantidades satisfatórias de água doce.

Isto se confirma pelas marcantes diferenças entre os valores salinos mínimos e os volumes de água referidas nas fases de preamar e baixa-mar.

As diferenças morfológicas entre os braços direito e esquerdo do estuário favorecem uma maior penetração da lâmina salina no primeiro, já que este apresenta uma maior largura, canais mais profundos e uma pendente menos acentuada.

Outro fator a considerar é o caráter permanente da descarga do Rio Potengi em relação ao Jundiá, o que também dificulta a penetração salina.

Variações laterais de salinidade não foram verificadas no Estuário do Potengi. Mesmo assim, segundo informações não sistemáticas, observou-se, nas "Gamboas" ou canais, valores salinos geralmente mais elevados que nas proximidades do estuário.

Estas subidas de salinidade, provavelmente estão em função de uma evaporação mais ativa, propiciada pela circulação deficiente de água nestes corpos semi-fechados e de menor profundidade.

## 2.9.2 – Distribuição Vertical

Os perfis verticais de salinidade mostram a ausência de um gradiente salino marcado, o que indica o domínio absoluto da intrusão salina.

Próximo à saída do estuário, verifica-se, tanto na maré de quadratura como na maré alta, um perfil constante da superfície ao fundo, com valores superiores durante a preamar, que diminuem progressivamente durante a baixa-mar.

Nas outras estações distribuídas por toda a extensão do estuário, observamos, principalmente na condição de quadratura, uma ligeira tendência para mostrar um pequeno gradiente salino, com valores que crescem mais da metade, em direção ao fundo.

Estes pequenos gradientes salinos aparecem ocasionalmente durante a preamar (antes e depois) ao longo do estuário, com uma variação de aproximadamente 1‰.

## 2.10 – Temperatura

O comportamento térmico das águas do estuário é determinado pela temperatura das águas fluviais, do fluxo de água salgada, das condições meteorológicas e da profundidade do estuário.

Segundo Lira et al. (1978), outro fator que contribui à variação térmica das águas estuarinas é a presença de manguezais nas margens do estuário. Estes manguezais, com sedimentos de lamas de coloração escura, ficam expostos aos raios solares durante a fase de baixa-mar e absorvem uma grande quantidade de calor que cede às águas durante a maré crescente.

De acordo com os estudos do autor citado anteriormente, o menor volume de água presente no estuário durante a baixa-mar, determina também uma variação da temperatura, já que o calor procedente da insolação se dissipa numa lâmina menor de água.

No estuário do Potengi, o predomínio total da penetração salina e as condições meteorológicas bastante estáveis parecem ser responsáveis pela grande homogeneidade térmica das suas águas. Em anos marcados por uma variação sazonal, segundo dados do Projeto “Camarão” (2000), a temperatura da água na superfície apresentou valores mais baixos referentes ao mês de junho, na estação chuvosa, com valores médios ao redor dos 26,5° C e temperaturas mais elevadas em dezembro, com médias em torno aos 29° C.

O aquecimento diurno da água se produz de forma muito lenta, devido ao elevado calor específico da mesma, propiciando variações diárias pouco significativas, com temperaturas mais altas ao final da tarde e início da noite.

As fases de condições diferentes das marés são também responsáveis pelas diferenças térmicas, com valores mais altos na fase de maré crescente e em condições de quadratura, no qual se apresenta uma lâmina de água menor.

### 2.10.1 - Distribuição Horizontal

Os valores obtidos na distribuição horizontal da temperatura no estuário mostram pequenas variações que refletem uma marcante estabilidade que, de modo geral, evidencia um sistema circulatório contínuo, apesar das diferenças de profundidade.

Na zona de domínio nitidamente marinho, a temperatura se mostra constante em ambas condições de maré, crescendo em direção à cabeceira com uma amplitude média ao redor de 0,7° C.

### 2.10.2 – Distribuição Vertical

Na distribuição vertical dos parâmetros ambientais, verifica-se que a temperatura tende a decrescer em direção ao fundo, principalmente nas estações mais interiores, de menor profundidade.

Este gradiente térmico se torna mais visível durante a fase crescente de uma maré de quadratura, com variações quase nulas.

### 2.11 – Transparência

Os valores de transparência variam muito segundo o lugar, que oscila desde uns poucos centímetros a mais de 56 m do mar. Em áreas estuarinas, estes valores geralmente não são elevados, devido à grande quantidade de material em suspensão existente, assim como também pela turbulência provocada pelas correntes de maré. No estuário do Potengi, a distribuição da transparência possui uma relação direta com as oscilações da maré, com valores que aumentam como conseqüência da subida, decrescendo com a fase de baixada da maré.

A transparência não mostrou variações notórias nas diferentes condições da maré alta e de quadratura. As variações anuais não foram objeto do presente estudo.

Os valores mais elevados de transparência se encontram na zona de domínio nitidamente marinho, que variam em torno aos 2,80 m durante a preamar, e a 1,00 m, na baixa-mar,

decrecendo em direção à cabeceira, a valores ao redor de 1,90 m, na preamar, e de 0,80 m, na baixa-mar.

## 2.12 – Oxigênio Dissolvido

Grande parte dos organismos vivos necessita de energia para suprir suas necessidades metabólicas. Esta energia é obtida pela oxidação da matéria orgânica, mediante o consumo de oxigênio. Por outro lado, parte do oxigênio dissolvido na água provém da atmosfera, onde a capacidade d'água para absorver o oxigênio depende da temperatura e da salinidade e somente uma pequeníssima quantidade reage com a água.

O teor de oxigênio dissolvido é considerado um parâmetro “não conservativo” da água do mar. Atua como um traçador das massas de água sendo um indicador sensível para os processos biológicos na água do mar.

A concentração de oxigênio na água do mar varia entre 0,0 e 12,1 mg/l, com um valor médio entre 1,4 e 8,6 mg/l. Os maiores valores ocorrem na superfície, onde o oxigênio dissolvido tende a se equilibrar com o oxigênio atmosférico. Rápidas taxas fotossintéticas podem, algumas vezes, produzir supersaturação.

Em pesquisas desenvolvidas pelo Departamento de Oceanografia e Limnologia da UFRN em 1999, foram observadas pequenas variações entre as amostragens, de um mínimo de 5,52mg/l e um máximo de 6,48mg/l. Não observou-se um padrão de distribuição das concentrações de oxigênio dissolvido entre as amostras, não havendo também correlação com outras variáveis estudadas, como temperatura e o pH. De qualquer forma, as encontradas podem ser consideradas na faixa normal para áreas estuarinas.

## 2.13 – Distribuição do pH

A água pura possui a capacidade de dissociar-se formando íons  $\text{H}_3\text{O}^+$  e  $\text{OH}^-$ . Por convenção, o íon hidrônico é designado pelo símbolo  $\text{H}^+$ . As concentrações dos íons  $\text{H}^+$  são, geralmente, pequenas nas águas naturais, sendo expressas como potências negativas de 10. Para facilitar o cálculo, tais concentrações são expressas em logaritmo. Quando a concentração de  $\text{H}^+$  é maior do que a concentração de  $\text{OH}^-$ , a solução é denominada de ácida. Ao contrário, a solução é básica.

Dependendo do enfoque, o pH pode constituir-se numa das variáveis mais importantes e também numa das mais difíceis de interpretação. Esta dificuldade se deve ao número de fatores que podem influenciá-lo. Na água do mar, o equilíbrio entre os componentes do sistema de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) é controlado pelo pH. Os íons  $\text{H}^+$  originados da dissociação do ácido carbônico influenciam o pH. Este equilíbrio pode ser afetado por dois fatores biológicos: respiração e fotossíntese.

O pH da água do mar se mantém normalmente entre 7,5 e 8,4. Os valores mais altos são encontrados na superfície, onde o  $\text{CO}_2$  é utilizado pela atividade fotossintética. É difícil distinguir efeitos específicos do pH sobre a vida aquática, daqueles que resultam de outros fatores que afetam os organismos e que também têm uma expressão no pH.

No estuário do Rio Potengi, a pequena variação média apresentada entre as cinco amostragens (7,9 e 8,1) realizadas sistematicamente no ano de 2000, pode ser considerada dentro da faixa normal para águas estuarinas de alta salinidade.

Na distribuição anual, o pH mostrou valores algo superiores nos meses referidos ao período de estiagem.

#### 2.14 – Material em Suspensão

O material em suspensão presente nos estuários é geralmente muito fino, inferior a 100 - 120 $\mu$  compreendendo areias muito finas, siltes e argilas.

A concentração e proveniência destes sólidos em suspensão é normalmente atribuída a sua zona, à montante. Porém, o mar às margens do estuário e a atividade orgânica do próprio ambiente são também responsáveis pelo comportamento destas cargas em suspensão.

Este fenômeno é ainda pouco estudado, porém, de acordo com Meade (1973) in Gallene (1974), o "Crème de Vase", corresponderia à lama fluida ("Fluid Mud") dos engenheiros hidráulicos ingleses, caracterizada principalmente por uma alta densidade e concentrações, variando de 20 g/l até valores extremamente altos da ordem de 400 a 500 g/l.

Esta lama fluida, possível de ser detectada por ecossondas de frequência entre 12 e 250 KHZ, mostra formas lenticulares independentes da morfologia do fundo, de comprimento (1-10 km) e altura (0,50 a 3,00m) variáveis.

Outro fenômeno observado nesses estuários franceses são zonas de alta turbidez, produzidas pela concentração de sedimentos finos transportados em suspensão. Este

fenômeno, denominado “Bouchon Vaseux”, ou ainda Tampão Vasoso, ocorre em faixas do estuário com valores de turbidez mais elevados que os encontrados simultaneamente na zona situada a montante.

Segundo Gallene (1974), o Estuário de Loire apresenta zonas de máxima turbidez, com valores maiores que 50 mg/1 e menores que 10 g a 20 g/1.

De acordo com Berthois (1965) e Ottmann (1968) este fenômeno se deve:

- ao movimento antagônico das águas doces e salgadas.
- à diferença das velocidades do escoamento das águas e das partículas.
- à ressuspensão pela enchente do material recentemente depositado e ainda não estabilizado.

Calliari (1980), observou na Região Estuarina da Lagoa dos Patos valores mais altos do material em suspensão nos meses em que a temperatura e a salinidade apresentaram-se mais elevadas, e que, quando esta última ultrapassou a 20‰, o teor do material em suspensão ultrapassou a 100 mg/1.

Lira et al. (1978) observaram no Estuário do Rio Mamucaba, que a quantidade dos sedimentos em suspensão varia de forma direta com a salinidade e a velocidade das águas.

No Estuário Potengi, esta relação do comportamento do material em suspensão com a temperatura e a salinidade é mascarada devido à grande homogeneidade destes dois últimos parâmetros.

Contudo, esta carga em suspensão mantém uma relação bem definida com as oscilações das marés, com maiores concentrações ocorrendo nas viradas das mesmas, principalmente após a baixa-mar. Enquanto que os menores valores estão geralmente associados às estofas das marés, fenômeno mais marcante na preamar.

As concentrações do material em suspensão no Estuário Potengi variam entre as distintas condições de maré de quadratura e sizígia, mostrando nesta última, valores mais elevados. Esta variação se faz bastante acentuada nas estações da porção média e superior do estuário, com aumentos em torno de 55% e até mais de 100%.

Ao contrário de outros estuários, a distribuição das cargas em suspensão no interior do Estuário Potengi não mostra uma relação bem definida com a velocidade das correntes, apresentando geralmente uma tendência direta e, em certos casos, inversamente proporcional.

Este comportamento geral do material em suspensão no estuário em questão foi definido através de levantamentos de campo no ano de 1980, 1999 e 2001, os quais demonstraram comportamento semelhante.

As variações dos teores de material em suspensão correspondem a um grupo amostras de águas coletadas nas partes superficiais no estuário do Rio Potengi, espalhadas ao longo da área.

Seus valores compreendem a faixa de 5,20 a 1,50 mg.L<sup>-1</sup> com valores medianos de 3,56 mg.L<sup>-1</sup>. O conjunto dos dados apresentou um valor anômalo de 9,00 mg.L<sup>-1</sup>, decorrente das manobras de grandes embarcações em condições de marés baixas.

#### 2.14.1 – Distribuição Horizontal

A distribuição horizontal não mostrou um comportamento bem definido em relação ao corpo estuarino, com maiores concentrações junto à foz do estuário, durante a condição de maré de quadratura, com valores médios para toda a coluna d'água de 69,13 mg/1 e valores mínimos na porção superior do estuário com 44,26 mg/1. Enquanto na sizígia as maiores concentrações são encontradas nas estações situadas após a Ponte de Igapó, ou seja, no início da porção superior do estuário, com teores médios em torno de 81,62 mg/1 e as menores junto à foz, com valores de 67,04 mg/1.

Nos limites internos do ambiente, a carga em suspensão, tanto na quadratura como na sizígia, mostrou valores menores que no restante do estuário, demonstrando, com isso, que o fornecimento principal das cargas em suspensão não depende da carga do curso fluvial a montante.

A presença marcante de teores elevados, em ambas condições de maré, nas proximidades do Porto de Natal, denota o caráter de início de uma outra porção estuarina: a intermediária.

Ainda de acordo com observações, principalmente na condição de sizígia, que a distribuição horizontal do material em suspensão forma um intervalo semiconstante, em torno da preamar, geralmente fechado pelos dois valores máximos de velocidade das correntes. Este intervalo mostra uma descida dos valores da carga em suspensão, comportamento este inversamente proporcional à subida da maré e ainda indiretamente à salinidade.

### 2.14.2 – Distribuição Vertical

O material em suspensão indica um gradiente vertical, com as concentrações aumentando em direção ao fundo. Este gradiente mostra-se bem mais acentuado na condição de sizígia, com valores médios para todo o estuário de 61,28 mg/1 para a superfície, 69,73 mg/1 para a meia água e 77,66 mg/1 para o fundo, correspondendo a uma média de 69,55 mg/1 para toda coluna d' água.

Na quadratura, as concentrações do material em suspensão são menos elevadas e não apresentam um gradiente vertical acentuado, com valores médios de 53,18 mg/1 para a superfície, 54,03 mg/1 para a meia água e 60,18 mg/1 para o fundo, correspondendo a uma média de 55,79 mg/1 para toda a coluna d' água.

### 2.14.3 - Comportamento Geral do Material em Suspensão

De acordo com a distribuição horizontal e vertical da carga em suspensão no Estuário Potengi, suas relações com outros parâmetros e as variações entre as condições de maré de quadratura e sizígia, podemos interpretar o seu comportamento geral no ambiente (Figura 49).

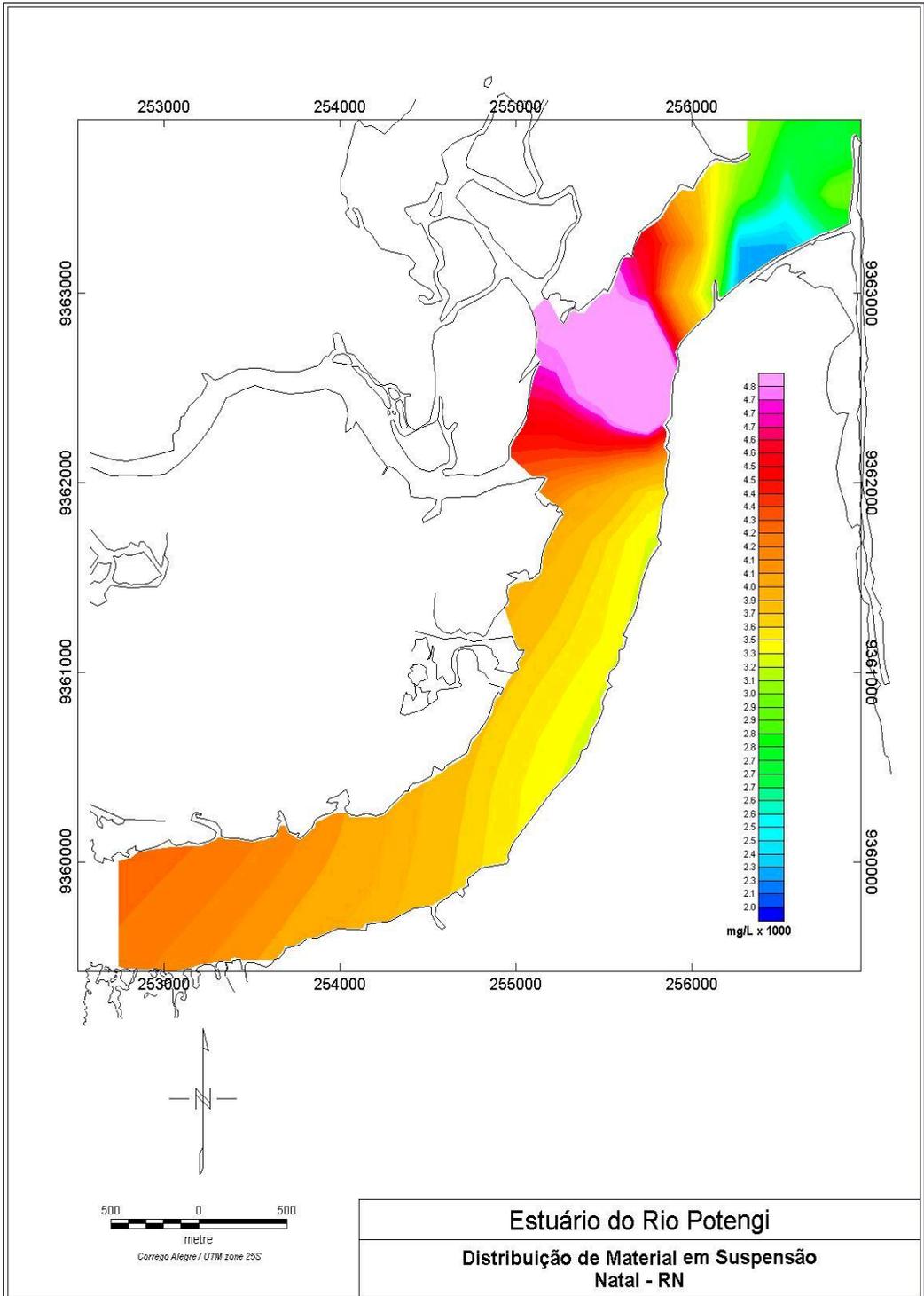


Figura 49 - Mapa do Material em suspensão.

O Estuário Potengi, caracterizado por uma distribuição homogênea de salinidade e temperatura, provocada pela ausência de contribuições fluviais importantes, tem nas oscilações das marés o seu agente principal:

A importância das oscilações das marés se manifesta de três maneiras:

- os valores mais elevados da carga em suspensão ocorrem nas viradas das marés, principalmente após a baixa-mar;
- os menores teores estão associados às estofas de marés, principalmente na preamar, onde a velocidade das correntes é quase nula;
- a elevação do nível das águas, durante a maré de sizígia, tem como repercussão um aumento das cargas em suspensão, principalmente nas estações da parte superior do estuário.

Tais características modelam um mecanismo responsável pela distribuição destas cargas no ambiente estuarino.

O fornecimento depende da elevação das águas, função das oscilações das marés. Durante a vazante, arrasta o material fino trapeado nas raízes do complexo vegetal existente para o canal, só cessando na respectiva estofa. O carregamento do material, após a preamar, é confirmado no Estuário Potengi, pelo aumento da concentração da turbidez.

A partir do início da vazante, os sedimentos vão se acumulando na lâmina d'água inferior por decantação. À medida que a maré vai baixando, as águas superficiais tornam-se menos túrbidas e as de fundo cada vez mais túrbidas, pelo enriquecimento de materiais provenientes das zonas marginais de mangues. Posteriormente, a enchente promoverá a ressuspensão dos materiais decantados e ainda fracamente depositados, ocasionando turbidez muito elevada.

Este fenômeno é comprovado no Estuário Potengi, com a presença de concentrações elevadas da carga em suspensão, após a baixa-mar.

Na enchente, as águas retornam lentamente às zonas marginais dos mangues, agitam e põem em suspensão os sedimentos fracamente depositados, originando turbidez elevada sobre as margens.

Na estofa da maré cheia, as partículas em suspensão depositam-se nos locais onde a agitação é fraca. Isto ocorre preferencialmente nas próprias margens, nas gamboas e ainda nos canais.

Portanto, por ocasião da preamar, as cargas em suspensão mostram teores baixos, como o que foi observado no Estuário Potengi.

Quanto ao valor quantitativo destas cargas em suspensão em alguns estuários, autores consideram função direta da velocidade das correntes.

No Estuário Potengi, verifica-se tendência semelhante, porém não é regra geral. Por outro lado, a presença de concentrações elevadas, associadas a baixas velocidades das correntes, parece ser explicada pelo papel da ondulação. Segundo Allen (1971) e Moura (1973), esta ondulação mostra um comportamento nos estuários oposto ao da velocidade das correntes de marés, ou seja, ela atua mais sobre zonas menos profundas (bancos e margens), enquanto a ação das correntes de marés (principalmente na vazante) se concentra nas zonas mais profundas (canais).

Os estuários dotados de grandes extensões, de zonas marginais praticamente planas são muito favoráveis à ação mecânica da rebentação, por ocasião do avanço e recuo das águas. Este fenômeno tem o seu máximo efeito na condição de maré de sizígia, que, pela maior oscilação da lâmina d'água, abrange uma extensão lateral maior. Resulta daí uma maior concentração dos teores em suspensão no estuário pelo carreamento dos materiais finos das margens.

Para o Estuário Potengi, portanto, fica delineada a relação das concentrações do material em suspensão, não só com a velocidade das correntes, mas também com a influência da ondulação.

Desta maneira, fica caracterizada a razão dos maiores teores de material em suspensão serem encontrados durante uma maré de sizígia. Principalmente, pelo fato de que as diferenças mais acentuadas nestes valores, em relação à condição de maré, ocorrerem em locais do estuário dominados por amplas planícies marginais de mangues, só completamente submersas por ocasião de níveis mais elevados da lâmina d'água.

Quanto à origem deste material, é facilmente visualizada a inexistência de contribuição de montante, já que as estações próximas ao curso fluvial mostraram cargas mais baixas que no restante do estuário. Estas estações indicaram ainda um comportamento regulado predominantemente pela oscilação das marés, com maiores concentrações durante a maré de sizígia.

O mar, pelas informações de uma cobertura sedimentar na área adjacente ao estuário, notadamente arenosa, com a presença de fragmentos de algas calcárias dos gêneros *Halimeda*

e Lithothamnium, não tem boas possibilidades de servir como fornecedor atual de sedimentos para o estuário.

Ainda a presença de uma linha de recifes na foz do Estuário Potengi, parece ser outro fator a desfavorecer uma possível contribuição marinha. Isto é confirmado segundo Lira et al. (1978) que, estudando os estuários dos rios Mamucaba e Formoso, constataram que a presença de recifes dispostos na desembocadura dos rios impedia que o mar se comportasse como significativo supridor de material em suspensão. Contribuições referentes às atividades biológicas dos organismos estuarinos não devem ser desprezadas, embora não tenham sido levadas em consideração devido ao caráter quantitativo do estudo.

Porém, as grandes extensões de plataformas marginais, colonizadas por vegetação de mangue e de substrato preferencialmente lamoso, em perfeita sintonia com os mecanismos oriundos das oscilações das marés, constituem a fonte principal de material em suspensão para o estuário.

A ausência de fontes externas, com cargas em suspensão só abastecidas por fornecedores estuarinos, induz um modelo estuarino caracterizado por um balanço proporcional de sedimentação.

## 2.15 – Sedimentos

De acordo com os resultados obtidos através das análises mecânicas, pelo método de peneiração e pipetagem nas 100 amostras coletadas, descreveram-se os principais aspectos de cada classe textural (Figura 50).

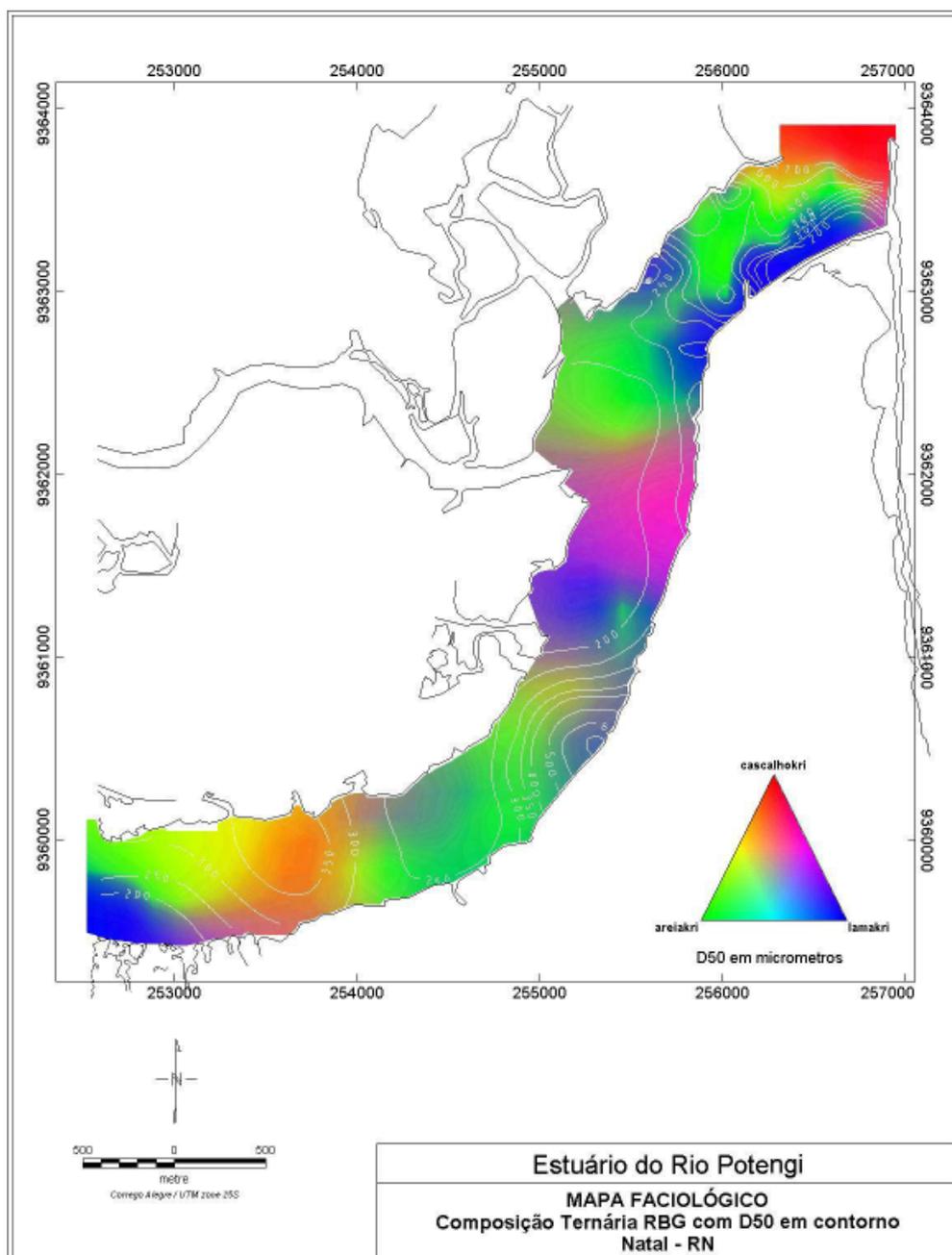


Figura 50 – Mapa de Distribuição dos Sedimentos.

2.15.1 – Distribuição Textural

Segundo a classificação do diagrama triangular dos sedimentos clásticos (Shepard, et al. 1954) foram identificadas quatro classes: *Cascalho*, *Areia*, *Areia Lamosa* e *Lama arenosa* (Figura 51 a e b).

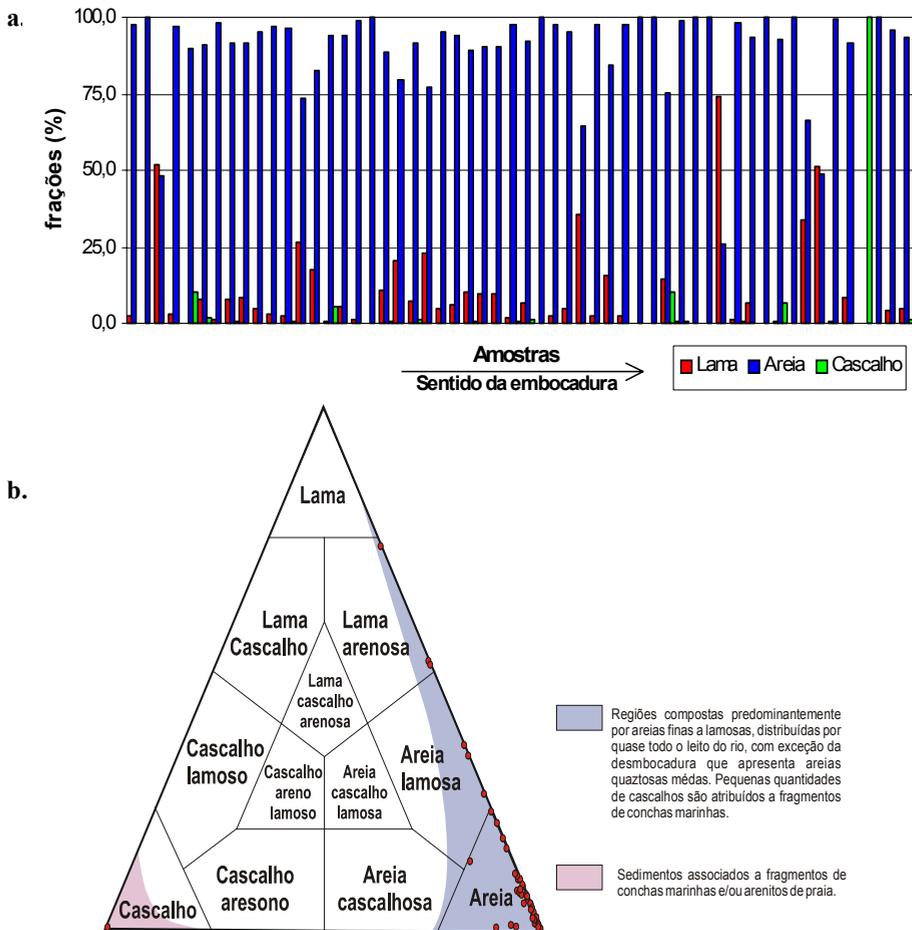


Figura 51 – (a) Relação entre os teores (em porcentagem) de lama, areia e cascalho. (b) Distribuição das classes sedimentares presentes. Predomínio da fração arenosa sobre toda a áreas estudada ao longo do Rio Potengi até o mar.

O conjunto de 100 amostras de sedimentos revelou teores de cascalho com valores dentro da faixa de 0,00% a 10,34% e média de 0,77%. Para a areia, os valores estão entre 25,75% a 100,00% com média de 88,17% e de lama variando entre 0,20% a 74,25% com média de 9,27%. Apenas uma amostra coletada na saída do estuário, entre a linha de recifes e o guia corrente, foi classificada com 100% de cascalho, um fragmento do arenito.

Esta distribuição dos valores nos leva a qualificar os sedimentos do Estuário Potengi com predominantemente arenosos, com domínios de lama somente nas margens próximas a manguezais e zonas de baixa energia, cascalhos associados principalmente a fragmentos de conchas marinhas, podendo estar também relacionados à fragmentação dos recifes presentes nas proximidades da embocadura do rio.

#### 2.15.1.1 – Cascalho

São os elementos grosseiros, granulometricamente maiores que 2 mm, distribuídos esparsamente na área. São constituídos geralmente de fragmentos de conchas calcárias, exceto na parte superior do estuário (Rio Jundiá) e próximos a paredões de sedimentos terciários, onde se faz presente material quartzoso.

A distribuição do cascalho no estuário mostra uma predominância marcante de teores médios de 0,77%. Maiores percentagens destes elementos se encontram associadas a antigos bancos de conchas de moluscos marinhos, geralmente de formas alongadas, explicando, desta maneira, a concentração de grandes percentagens de  $\text{CaCO}_3$  aí encontradas.

Algumas ocorrências de elevados teores de cascalho nas margens do estuário, associadas aos sedimentos dos mangues, são motivadas por interferência antrópicas, ocorridas pelo lançamento de material do fundo estuarino, bastante rico em conchas calcáreas.

A presença destes bancos conchíferos é também confirmada de acordo com Salim & Coutinho (1974), que observaram horizontes de conchas com três metros de espessura em furos de sondagem, realizados para a construção da ponte rodo-ferroviária de Igapó (final do médio estuário). Outras informações desta mesma natureza são também encontradas em sondagens realizadas a margem direita do estuário.

A presença de componentes abióticos nestes cascalhos são achados geralmente na parte superior do braço direito do corpo estuarino, indiciando a atuação trapeadora das

correntes de maré, que inibiram o escoamento normal deste material, oriundo do transporte fluvial.

As amostras situadas junto aos paredões terciários do Grupo Barreiras mostram claramente a influência dos processos de erosão na constituição desta fração sedimentar.

Relações entre as maiores concentrações desta classe textural e a profundidade não são bem pronunciadas, com os concheiros situados em profundidades rasas (menores que 3 metros), como também os sedimentos quartzosos encontrados no limite superior do estuário.

#### 2.15.1.2 – Areia

Esta fração textural é representada pelos sedimentos granulometricamente compreendidos no intervalo de 2,00 mm e 0,62 mm e são caracterizados por uma constituição homogênea de areia quartzosa.

A distribuição desta fração textural mostra uma predominância de percentagens médias de 88,17% de material arenoso, e que estão associados aos mais baixos teores de  $\text{CaCO}_3$  existentes neste ambiente estuarino.

Estas maiores concentrações de areias ocupam isoladamente as zonas de maior influência marinha, prolongando-se pelo canal principal para o interior do estuário.

Os grupos representativos das percentagens de 75 -- 95% e 50 - 75% das amostras coletadas ocupam respectivamente uma zona de transição junto aos maiores teores encontrados no canal principal, com uma maior predominância em direção à margem direita do estuário.

Gradação semelhante é observada em direção a montante, a partir da porção média do ambiente, com os teores elevados existentes restringidos a um pequeno canal e decaindo para percentagens moderadas.

Nas gamboas e na parte superior dos dois ramos estuarinos, predominam os dois grupos de teores moderados: Porém, no final do ramo esquerdo - Rio Potengi - verificamos a presença de teores acima de 95% de material arenoso.

A distribuição das areias no interior do Estuário Potengi reflete diretamente a influência das correntes de marés sobre a carga sedimentar de fundo. Isto é confirmado por Allen (1971), segundo o qual a dimensão média dos sedimentos é diretamente proporcional à energia das correntes de marés, e a presença de sedimentos arenosos é sinônimo da energia destas

correntes.

### 2.15.1.3 – Lama

Esta fração representa os elementos sedimentológicos mais finos, abaixo de 0,062 mm e é constituída por siltes e argilas.

A distribuição destes sedimentos mostra uma tendência nítida dos seus teores moderados e mais altos ocuparem as bordas do estuário, enquanto no canal predominam baixas percentagens.

Da mesma maneira, as maiores concentrações da fração lama tendem a crescer em direção a montante, principalmente a partir da porção mediana do ambiente, ocupando quase toda a secção estuarina.

O comportamento desta fração textural mostra também uma íntima relação com a distribuição dos carbonatos de cálcio, com suas maiores acumulações associadas aos teores mais elevados de  $\text{CaCO}_3$  e vice-versa. Esta relação parece ser explicada pelo fato dos sedimentos finos constituírem um habitat excelente ao desenvolvimento de diversos organismos (moluscos).

Por outro lado, a menor densidade do material calcário, constituído de conchas inteiras e fragmentadas, em relação ao material quartzoso dos canais, parece promover uma ação seletiva das correntes das marés com os menos densos, sendo depositados nos locais mais tranquilos, junto às margens do estuário.

Como na distribuição da fração areia, a energia dos mecanismos “tidais” demonstra ser fundamental, com maiores teores localizados junto às bordas do corpo d’água, onde se faz menos intensa a atuação das correntes de marés. A vegetação de mangue, nestes locais, exerce um papel de trapeador destes sedimentos, através de suas raízes adventícias.

Em direção ao interior do estuário, como nas gamboas, a perda de intensidade das correntes atuantes diminui acentuadamente a movimentação das águas, possibilitando a deposição de material mais fino.

Portanto, a distribuição da fração de lama mostra ser função direta da quantidade de material em suspensão, depositado principalmente nas zonas-tranqüilas.

## 2.15.2 – Parâmetro Estatístico

### 2.15.2.1 – Diâmetro Médio

O parâmetro estatístico aqui apresentado será somente o Diâmetro Médio por ser o parâmetro mais relevante nos sedimentos analisados.

O Diâmetro Médio reflete a média geral de tamanho dos sedimentos. Pode ser utilizado para determinação da competência do agente transportador, dos processos deposicionais e influência das fontes de suprimento do material.

Este parâmetro foi proposto por Folk et al. (1957) para fornecer um resultado mais preciso do tamanho médio das partículas, minimizando, assim, os erros acarretados por distribuições assimétricas ou bimodais.

No Estuário Potengi, o mapa de distribuição do diâmetro médio indica uma sedimentação preferencialmente arenosa, embora existam zonas de material de granulação mais fina constituídas por siltes e argilas.

Nas proximidades da desembocadura, encontra-se uma dominância de sedimentos arenosos, com areias médias ocupando as porções mais profundas, os canais. Enquanto as areias finas se acumulam nas zonas mais rasas junto às margens.

Este comportamento sedimentológico vem demonstrar uma zona de domínio quase exclusiva das correntes de marés.

Acumulações de areia grossa são encontradas juntas à ponta da Redinha, na forma de coroas (bancos) móveis, parecendo mostrar a presença de uma hidrodinâmica ainda mais forte, que indica uma atuação conjunta das correntes de marés e a influência dos ventos neste local.

Bolsões isolados de sedimentos finos constituídos por areias muito finas e siltes, encontrados junto às margens, refletem um comportamento anômalo, causado por obras artificiais, ou seja, pequenos diques transversais.

A partir da desembocadura da gamboa Jaguaribe, a sedimentação arenosa perde seu domínio absoluto, dando lugar a um padrão mais heterogêneo, com as concentrações do material mais fino situadas nas saídas das gamboas, junto às reentrâncias e partes convexas do canal.

Porém, ainda persiste uma dominância da sedimentação arenosa até porções mais interiores do estuário, com as areias médias atapetando o fundo dos canais.

Outras acumulações de areias médias são encontradas junto a paleo-terraços na gamboa Jaguaribe e na parte mais côncava do estuário, cuja localidade é denominada de Igapó. O acentuado fechamento desta curva parece provocar uma intensificação das correntes de marés neste local, favorecendo a acumulação de areias médias.

Este componente sedimentológico é também visto na desembocadura do braço esquerdo estuarino, que parece ser barrado pelos mecanismos “tidais”.

Em direção ao interior do estuário, a diminuição gradativa da influência das marés ocasiona uma menor movimentação das águas, possibilitando uma maior deposição de material fino. Comportamento idêntico ocorre no interior das gamboas. O material arenoso vai se restringindo ao leito do pequeno canal existente, verificando-se ainda uma pequena acumulação de areias grossas e cascalhos associados a bancos de conchas.

Na zona estuarina superior, a predominância de uma sedimentação exclusivamente fina dá lugar, junto à foz do Rio Jundiáí, a uma sedimentação tipicamente fluvial, gradando para montante de areias muito finas até areias grossas no limite interno do estuário.

## 2.16 – Distribuição do Carbonato de Cálcio

A distribuição de  $\text{CaCO}_3$  no Estuário Potengi mostra uma predominância de teores menores que 5% (Figura 52), ocupando preferencialmente as zonas mais profundas, presentes até o médio estuário.

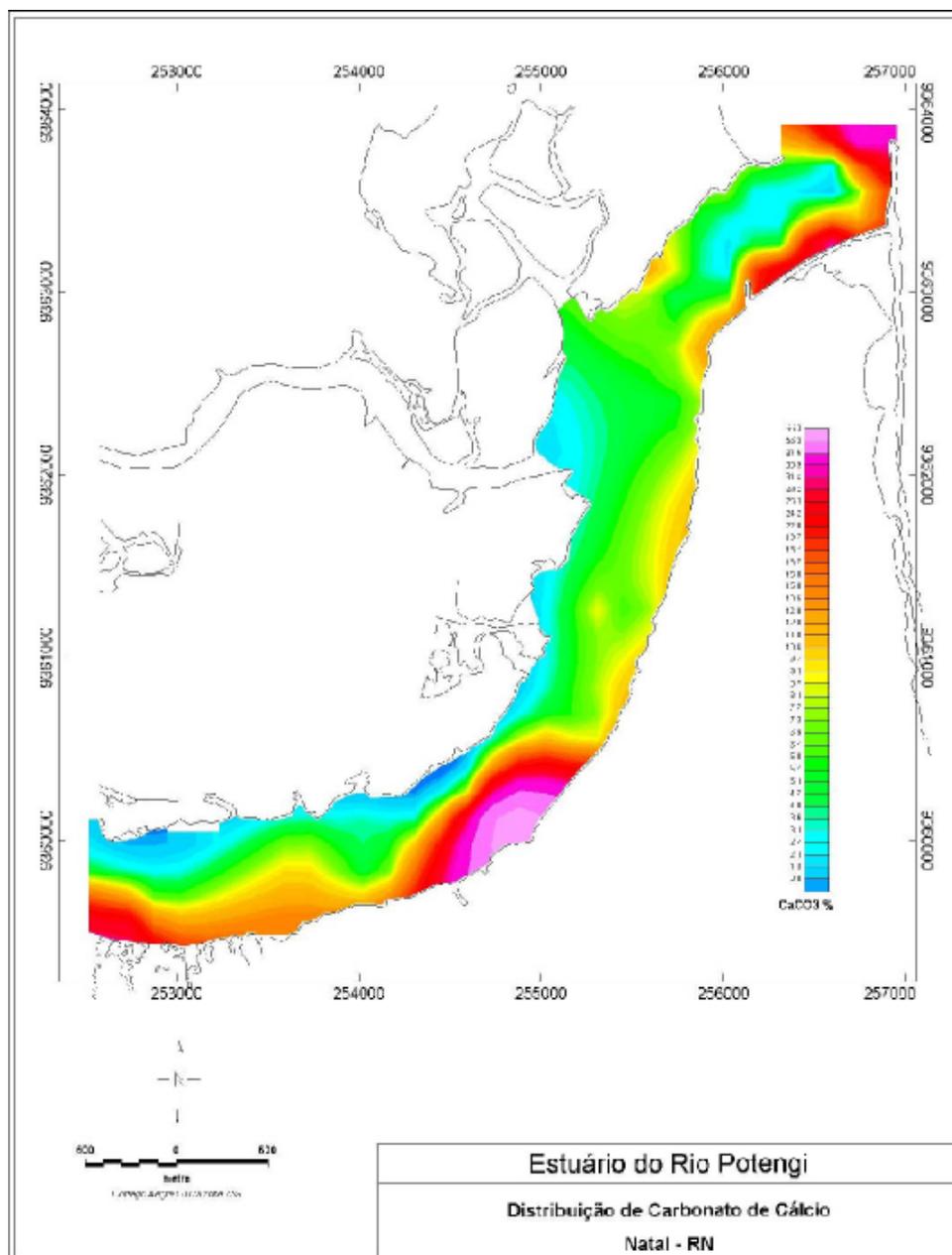


Figura 52 - Mapa de Distribuição de carbonato de cálcio.

Nesta porção estuarina, teores mais elevados estão associados aos sedimentos mais finos, situados nas zonas menos profundas, junto às margens, em resposta à ação seletiva das correntes de marés.

Por outro lado, alguns locais representam situações anômalas, provocadas pelo lançamento de rejeitos de dragagem ricos em conchas calcárias.

Nas porções interiores do corpo estuarino, são encontrados os teores mais elevados de  $\text{CaCO}_3$ , variando entre 5 - 15% e maiores que 15%.

Estas maiores concentrações de material carbonático encontram-se geralmente associadas à deposição de material fino, predominante nestas zonas do estuário e, ainda, à presença de bancos de conchas.

Embora não existam dados que permitam um dimensionamento destes depósitos de conchas calcárias, as informações de superfície e sub-superfície disponíveis indicam a presença de grandes volumes, que poderão ser extraídos economicamente.

## 2.17 – Distribuição de Matéria Orgânica

Sobre as mesmas amostras, as análises dos teores de matéria orgânica constataram uma variação dentro da faixa de 4,95% a 0,00% com valores medianos de 1,65%. O valor anômalo máximo resultou em 13,00%, sedimentos oriundos do mangue, característico de ambientes com alta produtividade primária.

Os valores aqui expressos caracterizam sedimentos de origem mineral onde há um enriquecimento por decomposição da matéria orgânica de origens proximais ou efluentes domésticos. A anomalia pode estar ligada a sedimentos de origem organogênica (Figura 53).

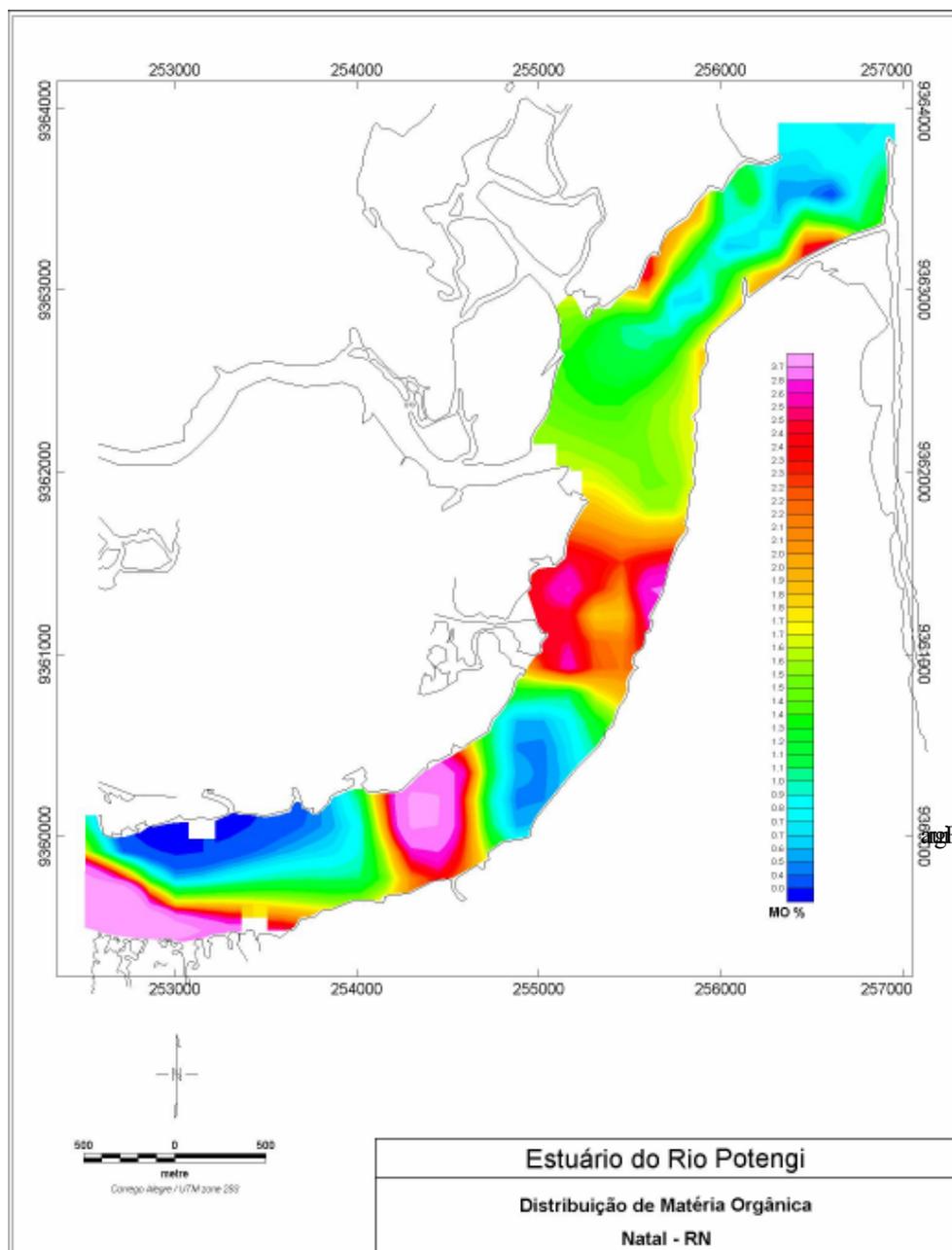


Figura 53 – Mapa de Distribuição de Matéria Orgânica.