

EMPRESAS NUCLEARES BRASILEIRAS S.A. - NUCLEBRÁS
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA NUCLEAR
DEPARTAMENTO DE RADIOPROTEÇÃO E APOIO AO LICENCIAMENTO

AUTOR

Paulo Sérgio Pelógia Minardi

EQUIPE DE ANÁLISE

Paulo Sérgio Pelógia Minardi
Pedro Edmundo Aun

EQUIPE DE APOIO

Luiz Raphael Aun
Jacinta Maria de Souza

MEDIÇÕES DE DENSIDADE "IN SITU" EM FUNDO
VASOSO DO CANAL DE ACESSO AO
PORTO DE SANTOS/SP

Divisão de Engenharia Ambiental

- DERL.CN-020/88 -

BELO HORIZONTE - BRASIL

- Setembro/1988 -



SUMÁRIO

	PÁGINA
1. INTRODUÇÃO	1.
2. METODOLOGIA E EQUIPAMENTOS	2.
3. TRABALHO DE CAMPO	3.
4. RESULTADOS	4.
5. CONCLUSÕES	17
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	18



MEDIÇÕES DE DENSIDADE "IN SITU" EM FUNDO
VASOSO DO CANAL DE ACESSO AO
PORTO DE SANTOS/SP

1. INTRODUÇÃO

Mediante Ordem de Serviço nº 5.02.3167/88, de 14/07/88, a Divisão de Engenharia Ambiental do CDTN/NUCLEBRÁS realizou uma campanha de medições de densidade "in situ" no canal de acesso ao Porto de Santos, entre os dias 20 e 30/07/88, para a Empresa de Portos do Brasil S/A - PORTOBRÁS.

O trabalho constou do levantamento de perfis de densidade do material que compõe o fundo vasoso não consolidado, segundo a profundidade, em 65 pontos distribuídos na curva do canal de acesso e em suas proximidades.

O objetivo principal é o de verificar, com base nesses perfis, a viabilidade da utilização, para efeitos de navegação, da camada de vasa com densidade igual ou inferior a 1200 Kg/m^3 , o que poderia proporcionar uma otimização dos trabalhos de dragagem.



2. METODOLOGIA E EQUIPAMENTOS

O equipamento desenvolvido pelo CDTN, para medições de densidade "in situ", utiliza o princípio da transmissão, o qual é baseado na atenuação da radiação eletromagnética pela matéria.

O meio (meio atenuador), cuja densidade se pretende medir, fica posicionado entre uma fonte de raios γ (^{241}Am) e um detector de cintilação (cristal de NaI.Tl), mantidos a uma distância fixa. Tanto a fonte como o detector são colimados e a energia de contagem discriminada, de modo a se obter um feixe de raios γ paralelos e monoenergéticos entre eles. Esse feixe, ao atravessar o meio atenuador, sofre diversos processos de interações com as partículas que o constituem, fazendo com que parte da radiação inicialmente emitida sofra absorção ou espalhamento. Como consequência, a intensidade da radiação recebida pelo detector diminui exponencialmente com o crescimento linear na densidade do meio atenuador, segundo a seguinte equação:

$$I(\rho) = I(0) e^{-\mu' \rho x} \quad (2.1)$$

onde $I(\rho)$ é a intensidade recebida pelo detector

$I(0)$ é a intensidade recebida pelo detector na ausência de meio atenuador

$\mu' = \frac{\mu}{\rho}$ é o coeficiente de atenuação mássico

μ é o coeficiente de atenuação linear

ρ é a densidade do meio atenuador

x é a distância entre fonte e detector.

O coeficiente μ representa a probabilidade, por unidade de comprimento, dos raios serem removidos do feixe e, pelo fato desse coeficiente variar com a densidade do meio atenuador, utiliza-se, na prática, o coeficiente μ' , que independe da mesma.

Como a resposta fornecida pelos medidores nucleares é uma taxa de contagem (R) (número de interações da radiação com o detector durante um intervalo de tempo) e essa é proporcional à intensidade da radiação, a seguinte equação é válida:

$$R(\rho) = R(0) e^{-\mu' \rho x} \quad (2.2)$$

onde $R(0)$ é a taxa de contagem na ausência de meio atenuador.

Como $R(0)$ é de difícil determinação, é usual se trabalhar, na prática, com uma equação que não apresente esse termo. Isso é conseguido através de um artifício matemático, fazendo-se a divisão da equação 2.2 pela resposta (R_p) fornecida pelo equipamento em um meio padrão, o qual normalmente é a água pura (doce).

Assim, dividindo-se a equação 2.2 por R_p e isolando-se o valor de ρ , temos:

$$\rho = \frac{1}{K} \left(K_p - \ln \frac{R(\rho)}{R_p} \right) \quad (2.3)$$

onde o índice "p" refere-se ao meio padrão e $K = \mu'x$

e $K_p = - \ln \frac{R_p}{R(0)}$ são constantes.

Os valores de K e K_p são obtidos através de uma calibração do equipamento, a qual consiste em se obter uma série de respostas correspondentes a uma série de valores conhecidos de densidade. Com isso obtém-se uma curva de taxa de contagem versus densidade, conhecida como curva de calibração, a qual é utilizada para calcular uma densidade desconhecida a partir da taxa de contagem medida.

A densidade de cada ponto experimental da curva de calibração é o valor médio das densidades de várias alíquotas, oriundas de amostras de vasa coletadas no próprio local de medições. As densidades são determinadas de modo convencional através dos pesos e volumes das alíquotas.

O equipamento desenvolvido pelo CDTN é mostrado na Figura 2.1.

Seus componentes básicos são:

- . Fonte radioativa
- . Detector de cintilação
- . Sensor de profundidade

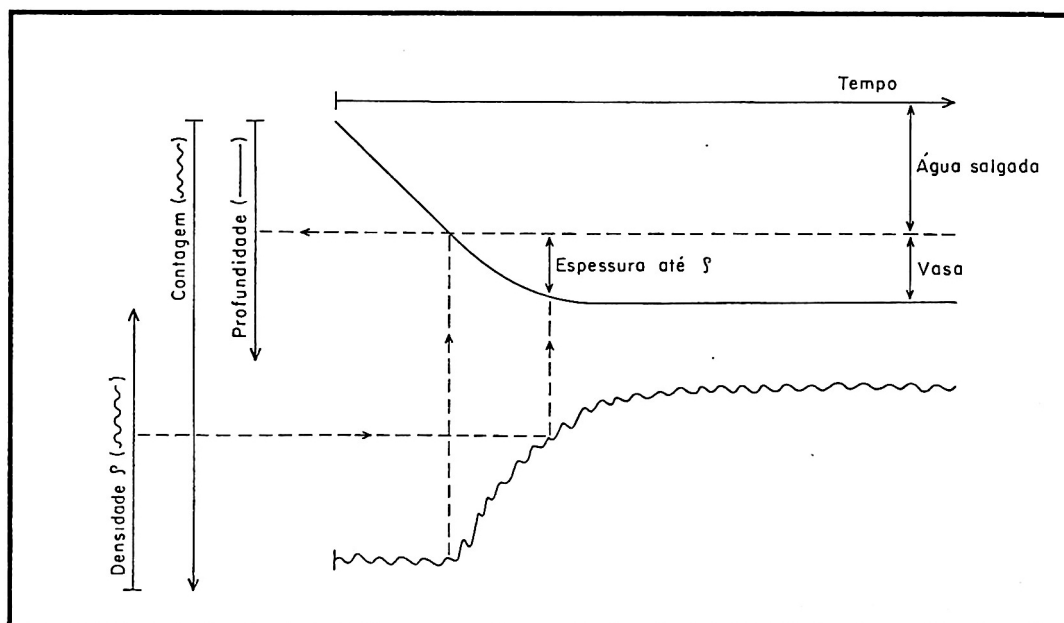
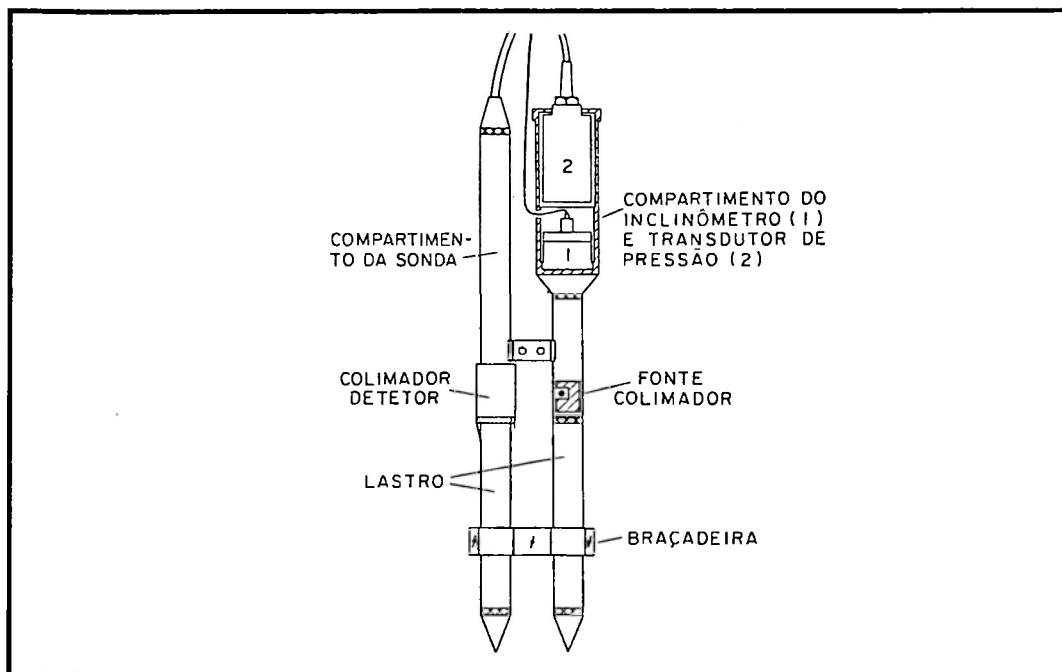


FIG. 2.1 - EQUIPAMENTO DESENVOLVIDO PELO CDTN E REPRESENTAÇÃO DE UM REGISTRO GRÁFICO TÍPICO

- . Timer-Scaler
- . Registrador gráfico bi-canal.

O sensor de profundidade indica em que profundi
dade, a partir do nível d'água, a taxa de contagem está
sendo registrada, permitindo, em cada imersão do equipa
mento, obter-se um perfil contínuo de densidades em fun
ção da profundidade. Isso encontra-se ilustrado no esque
ma na Figura 2.1, a qual mostra ainda como as espessuras,
a partir da interface água salgada-lama, são calculadas.



3. TRABALHO DE CAMPO

O trabalho de campo, executado por um engenheiro do CDTN, obedeceu ao seguinte cronograma:

DIA	ATIVIDADE
20/07/88	- Viagem de Belo Horizonte a Santos
21/07/88	- Instalação dos equipamentos na embarcação - Medições em 5 pontos
22/07/88	- Medições em 9 pontos
23/07/88	- Sem atividade devido às condições ruins do mar
24/07/88	- Folga
25/07/88	- Sem atividade devido às condições ruins do mar
26/07/88	- Medições em 4 pontos
27/07/88	- Medições em 14 pontos
28/07/88	- Medições em 11 pontos
29/07/88	- Medições em 22 pontos
30/07/88	- Desmonte, embalagem e despacho dos equipamentos - Retorno a Belo Horizonte.



4. RESULTADOS

A Figura 4.1 apresenta uma planta da região de trabalho, com a localização dos pontos de medição.

As coordenadas UTM desses pontos são apresentadas na Tabela 1 e foram calculadas com base nas distâncias dos pontos aos edifícios Sete Mares e São Domingos fornecidas pelo cliente.

A Tabela 2 apresenta os valores médios, por ponto, das seguintes profundidades:

i) Profundidade até a interface água salgada-lama registrada por um ecobatímetro de 200 KHz, o qual foi operado pelo cliente simultaneamente às medições de densidade.

ii) Profundidade até a interface água salgada-lama registrada pelo medidor de densidade "in situ" (gamadensímetro).

iii) Profundidade até a densidade de 1200 Kg/m³ registrada pelo gamadensímetro.

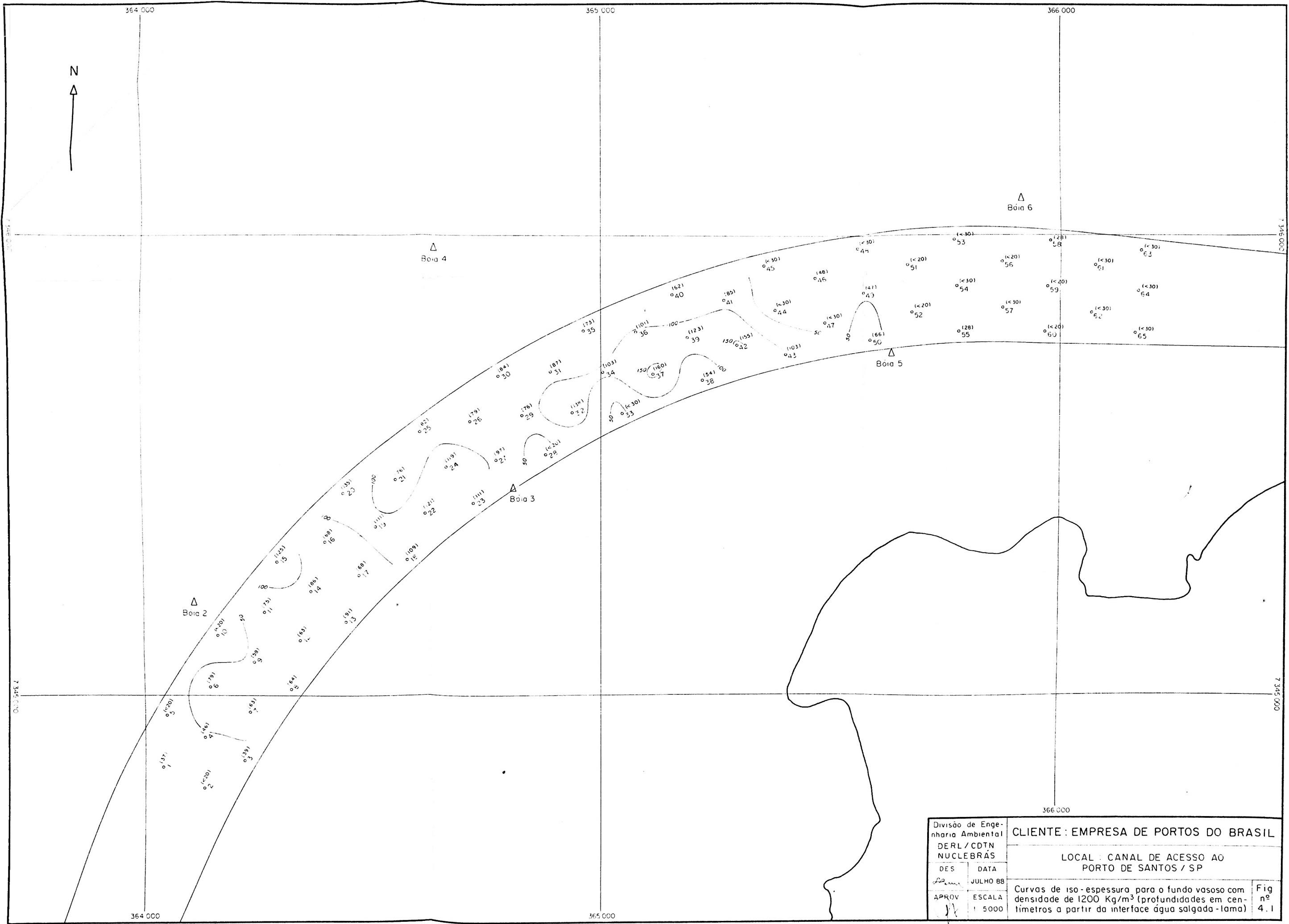
Todos esses valores são valores médios referentes a um mínimo de 3 imersões em cada ponto, os quais encontram-se referenciados ao zero da régua de maré instalada pelo cliente na Ilha das Palmas.

A Tabela 3 apresenta os valores médios da espessura da camada de lama até determinadas densidades, medidos a partir da interface água salgada-lama registrada pe

lo gamadensímetro.

Para a densidade de maior interesse (1200 Kg/m^3), foram traçadas curvas de isoespessura, as quais são apresentadas na Figura 4.1.

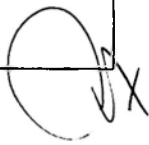




Divisão de Engenharia Ambiental DERL / CDTN NUCLEBRÁS		CLIENTE : EMPRESA DE PORTOS DO BRASIL	
DES	DATA	LOCAL : CANAL DE ACESSO AO PORTO DE SANTOS / SP	
<i>Des</i>	JULHO 88	Curvas de iso-espessura para o fundo vasoso com densidade de 1200 Kg/m ³ (profundidades em centímetros a partir da interface água salgada-lama)	
APROV	ESCALA		
<i>Des</i>	1:5000	Fig nº	4.1

TABELA 1 - COORDENADAS UTM DOS PONTOS DE MEDIÇÃO DE DENSIDADE

PONTO	E	N
1	364036	7344841
2	364124	7344796
3	364219	7344859
4	364131	7344908
5	364044	7344957
6	364140	7345019
7	364224	7344964
8	364319	7345013
9	364239	7345074
10	364155	7345130
11	364261	7345187
12	364339	7345121
13	364437	7345163
14	364363	7345229
15	364289	7345296
16	364398	7345340
17	364468	7345268
18	364571	7345299
19	364503	7345373
20	364437	7345447
21	364546	7345476
22	364613	7345401
23	364716	7345421
24	364656	7345502
25	364598	7345580
26	364709	7345597
27	364766	7345516
28	364874	7345525
29	364822	7345612
30	364770	7345696
31	364885	7345706
32	364931	7345616
33	365041	7345615

continua ... 

continuação Tabela 1.

PONTO	E	N
34	364996	7345706
35	364955	7345797
36	365070	7345791
37	365109	7345704
38	365218	7345690
39	365183	7345784
40	365150	7345874
41	365262	7345869
42	365293	7345768
43	365398	7345745
44	365374	7345841
45	365353	7345936
46	365462	7345910
47	365483	7345814
48	365543	7345976
49	365572	7345880
50	365586	7345778
51	365666	7345941
52	365673	7345840
53	365766	7345996
54	365771	7345896
55	365773	7345795
56	365872	7345948
57	365871	7345849
58	365976	7345994
59	365969	7345896
60	365965	7345797
61	366073	7345942
62	366066	7345842
63	366175	7345973
64	366169	7345883
65	366163	7345791




TABELA 2 - PROFUNDIDADES MÉDIAS EM RELAÇÃO AO ZERO DA RÉGUA DE MARÉ INSTALADA NA ILHA DAS PALMAS.

PONTO	PROFUNDIDADE DA INTERFACE ÁGUA SALGADA/LAMA (m)		PROFUNDIDADE ATÉ A DENSIDADE DE 1200 Kg/m ³ (m)
	ECOBATÍMETRO	GAMADENSÍMETRO	
01	11,5 ± 0,0	11,5 ± 0,0	11,9 ± 0,1
02	11,4 ± 0,1	11,5 ± 0,1	11,5 ± 0,1 + camada < 0,2
03	11,6 ± 0,0	11,5 ± 0,1	11,9 ± 0,2
04	11,5 ± 0,0	11,5 ± 0,1	12,0 ± 0,2
05	11,3 ± 0,1	11,2 ± 0,1	11,2 ± 0,1 + camada < 0,2
06	11,5 ± 0,1	11,8 ± 0,1	12,6 ± 0,1
07	11,6 ± 0,0	11,8 ± 0,0	12,4 ± 0,1
08	11,5 ± 0,0	11,7 ± 0,1	12,3 ± 0,1
09	11,6 ± 0,0	11,7 ± 0,1	12,3 ± 0,1
10	11,3 ± 0,1	11,4 ± 0,1	11,4 ± 0,1 + camada < 0,2
11	11,7 ± 0,0	11,9 ± 0,1	12,7 ± 0,1
12	11,7 ± 0,1	11,9 ± 0,1	12,5 ± 0,1
13	11,6 ± 0,0	11,6 ± 0,1	12,5 ± 0,1
14	11,7 ± 0,1	11,7 ± 0,1	12,6 ± 0,1
15	11,0 ± 0,0	10,9 ± 0,1	12,2 ± 0,1
16	11,3 ± 0,1	11,4 ± 0,1	12,0 ± 0,2
17	11,5 ± 0,1	11,6 ± 0,1	12,3 ± 0,2
18	11,3 ± 0,1	11,3 ± 0,2	12,4 ± 0,3
19	11,4 ± 0,1	11,5 ± 0,0	12,6 ± 0,1
20	11,4 ± 0,0	11,5 ± 0,1	12,8 ± 0,2
21	11,5 ± 0,1	11,6 ± 0,1	12,4 ± 0,1
22	11,3 ± 0,1	11,5 ± 0,1	12,7 ± 0,3
23	11,3 ± 0,1	11,3 ± 0,1	12,3 ± 0,3
24	11,2 ± 0,1	11,4 ± 0,1	12,6 ± 0,1
25	11,3 ± 0,1	11,4 ± 0,2	12,2 ± 0,2
26	11,2 ± 0,1	11,3 ± 0,1	12,1 ± 0,1
27	11,2 ± 0,0	11,3 ± 0,1	12,3 ± 0,1
28	10,8 ± 0,0	10,9 ± 0,0	10,9 ± 0,0 + camada < 0,2
29	11,3 ± 0,1	11,4 ± 0,1	12,2 ± 0,1
30	11,3 ± 0,1	11,3 ± 0,0	12,1 ± 0,1
31	11,2 ± 0,0	11,2 ± 0,0	12,1 ± 0,1
32	11,1 ± 0,0	11,2 ± 0,1	12,5 ± 0,1
33	10,9 ± 0,3	11,1 ± 0,3	11,1 ± 0,3 + camada < 0,3

continua ...

continuação Tabela 2.

PONTO	PROFUNDIDADE DA INTERFACE ÁGUA SALGADA/LAMA (m)		PROFUNDIDADE ATÉ A DENSIDADE DE 1200 Kg/m ³ (m)
	ECOBATÍMETRO	GAMADENSÍMETRO	
34	11,1 ± 0,0	11,2 ± 0,1	12,2 ± 0,1
35	11,2 ± 0,0	11,4 ± 0,0	12,1 ± 0,1
36	11,3 ± 0,0	11,3 ± 0,0	12,4 ± 0,1
37	11,2 ± 0,0	11,2 ± 0,1	12,8 ± 0,1
38	11,0 ± 0,1	11,0 ± 0,2	11,5 ± 0,1
39	11,3 ± 0,0	11,3 ± 0,1	12,5 ± 0,1
40	11,2 ± 0,0	11,2 ± 0,0	11,8 ± 0,0
41	11,2 ± 0,1	11,3 ± 0,0	12,1 ± 0,1
42	11,0 ± 0,0	11,1 ± 0,1	12,6 ± 0,2
43	11,0 ± 0,0	11,1 ± 0,2	12,1 ± 0,2
44	11,0 ± 0,0	11,2 ± 0,1	11,2 ± 0,1 + camada < 0,3
45	11,0 ± 0,1	11,2 ± 0,1	11,2 ± 0,1 + camada < 0,3
46	11,2 ± 0,0	11,3 ± 0,0	11,8 ± 0,1
47	11,2 ± 0,0	11,4 ± 0,0	11,4 ± 0,0 + camada < 0,3
48	10,7 ± 0,1	10,9 ± 0,1	10,9 ± 0,1 + camada < 0,3
49	12,0 ± 0,0	12,0 ± 0,1	12,5 ± 0,2
50	11,1 ± 0,1	11,1 ± 0,2	11,8 ± 0,1
51	12,0 ± 0,0	12,0 ± 0,0	12,0 ± 0,0 + camada < 0,2
52	11,8 ± 0,1	11,9 ± 0,0	11,9 ± 0,0 + camada < 0,2
53	11,9 ± 0,0	12,0 ± 0,0	12,0 ± 0,0 + camada < 0,3
54	12,3 ± 0,0	12,3 ± 0,1	12,3 ± 0,1 + camada < 0,3
55	11,2 ± 0,1	11,3 ± 0,1	11,6 ± 0,1
56	12,5 ± 0,0	12,7 ± 0,0	12,7 ± 0,0 + camada < 0,2
57	12,3 ± 0,0	12,4 ± 0,1	12,4 ± 0,1 + camada < 0,3
58	12,1 ± 0,2	12,1 ± 0,2	12,4 ± 0,1
59	12,8 ± 0,0	12,9 ± 0,1	12,9 ± 0,1 + camada < 0,2
60	11,6 ± 0,0	11,7 ± 0,1	11,7 ± 0,1 + camada < 0,2
61	12,8 ± 0,1	13,0 ± 0,1	13,0 ± 0,1 + camada < 0,3
62	12,6 ± 0,1	12,9 ± 0,2	12,9 ± 0,2 + camada < 0,3
63	12,9 ± 0,1	13,2 ± 0,1	13,2 ± 0,1 + camada < 0,3
64	13,3 ± 0,0	13,6 ± 0,1	13,6 ± 0,1 + camada < 0,3
65	11,4 ± 0,3	11,5 ± 0,4	11,5 ± 0,4 + camada < 0,3

TABELA 3 - ESPESSURA MÉDIA (EM CENTÍMETROS) ABAIXO DA INTERFACE ÁGUA SALGADA-LAMA REGISTRADA PELO GAMADENSÍMETRO.

PONTO	DIA	HORA	DENSIDADE (Kg/m ³)				
			1100	1150	1200	1250	1300
01	21	14:04	19 ± 5	27 ± 9	37 ± 14	49 ± 10	60
02	21	14:31	-	-	-	-	< 20
03	21	14:48	20 ± 5	30 ± 9	39 ± 17	-	-
04	21	15:11	21 ± 3	31 ± 4	46 ± 17	-	-
05	21	15:52	-	-	< 20	-	-
06	22	10:06	31 ± 5	42 ± 2	79 ± 6	110 ± 9	-
07	22	10:30	32 ± 6	47 ± 5	63 ± 7	146 ± 9	179
08	22	10:51	33 ± 5	44 ± 8	64 ± 11	81 ± 15	96 ± 21
09	22	11:15	18 ± 5	31 ± 2	58 ± 4	125 ± 6	-
10	22	12:03	-	-	-	-	< 20
11	22	14:48	33 ± 8	52 ± 5	75 ± 4	145 ± 13	-
12	22	15:08	33 ± 4	43 ± 5	63 ± 2	109 ± 10	-
13	22	15:27	40 ± 6	59 ± 12	91 ± 6	151 ± 15	-
14	22	16:04	32 ± 6	52 ± 5	86 ± 13	155 ± 11	-
15	28	08:09	70 ± 15	85 ± 14	125 ± 3	132 ± 2	140 ± 0
16	28	08:28	32 ± 5	49 ± 9	68 ± 12	133 ± 40	-
17	28	08:50	29 ± 0	42 ± 6	68 ± 12	217 ± 33	-
18	28	09:34	48 ± 10	74 ± 15	109 ± 29	219 ± 30	-
19	28	10:01	32 ± 5	46 ± 8	111 ± 3	-	-
20	28	10:20	32 ± 5	59 ± 4	135 ± 13	209 ± 32	-
21	28	10:48	36 ± 3	52 ± 7	76 ± 5	-	-
22	28	11:16	45 ± 5	61 ± 9	121 ± 31	312 ± 30	374
23	28	11:45	48 ± 0	85 ± 11	111 ± 22	151 ± 6	-
24	28	12:31	27 ± 5	46 ± 8	119 ± 4	-	-
25	28	13:19	43 ± 13	55 ± 18	82 ± 5	116 ± 6	-
26	29	08:50	48 ± 10	65 ± 3	79 ± 4	129 ± 15	-
27	29	09:13	40 ± 3	61 ± 5	97 ± 9	133	-
28	29	09:31	-	-	-	< 20	-
29	29	09:50	45 ± 3	58 ± 9	76 ± 18	148 ± 3	-
30	29	10:10	35 ± 5	52 ± 5	84 ± 13	120 ± 9	-
31	29	10:29	44 ± 12	60 ± 13	87 ± 13	153 ± 31	-
32	29	10:47	44 ± 11	75 ± 5	138 ± 17	371 ± 19	-
33	29	11:13	-	-	-	< 30	-

continua ...

continuação Tabela 3.

PONTO	DIA	HORA	DENSIDADE (Kg/m ³)				
			1100	1150	1200	1250	1300
34	29	11:36	43 ± 8	67 ± 7	103 ± 7	-	-
35	29	11:59	40 ± 10	53 ± 5	73 ± 10	169 ± 28	-
36	29	12:26	38 ± 10	59 ± 12	101 ± 12	-	-
37	29	12:44	40 ± 7	73 ± 5	160 ± 5	307 ± 13	-
38	29	13:00	35 ± 5	44 ± 7	54 ± 10	-	-
39	29	13:16	41 ± 3	65 ± 5	123 ± 12	163 ± 12	-
40	29	13:54	38 ± 0	52 ± 5	62 ± 0	-	-
41	29	14:13	35 ± 5	53 ± 3	85 ± 5	135 ± 5	-
42	29	15:03	46 ± 3	73 ± 12	155 ± 10	238 ± 18	-
43	29	14:49	60 ± 5	85 ± 14	103 ± 5	-	-
44	29	15:42	--	-	< 30	-	-
45	29	16:01	-	-	-	< 30	-
46	29	16:32	40 ± 3	43 ± 3	48 ± 6	54 ± 9	-
47	29	16:50	-	-	-	< 30	-
48	27	14:53	-	-	-	< 30	-
49	27	14:30	30 ± 7	35 ± 7	47 ± 13	-	-
50	27	14:04	38 ± 10	56 ± 14	66 ± 8	-	-
51	27	13:42	-	-	-	-	< 20
52	27	13:24	-	-	-	< 20	-
53	27	13:02	-	-	-	< 30	-
54	27	12:24	-	-	-	-	< 30
55	27	10:47	17 ± 3	21 ± 3	28 ± 7	36 ± 7	< 43
56	27	10:23	-	-	-	< 20	-
57	27	09:55	-	-	-	-	< 30
58	27	09:30	17 ± 3	23 ± 5	28 ± 3	33 ± 2	36 ± 3
59	27	09:12	-	-	-	< 20	-
60	27	11:48	-	-	-	-	< 20
61	27	08:26	--	-	< 30	-	-
62	26	11:16	-	-	-	-	< 30
63	26	10:14	-	-	-	-	< 30
64	26	09:26	-	-	-	-	< 30
65	26	09:03	-	-	-	< 30	-

5. CONCLUSÕES

Baseando-se na ordem de grandeza das espessuras até a densidade de 1200 Kg/m^3 , a área em estudo pode ser dividida em duas regiões principais, com diferentes características, através do agrupamento de pontos localizados proximamente entre si, a saber:

1) Região dos pontos 6 a 43, com espessuras que variaram de 0,5 a 1,6 m, com excessão de três pontos localizados nas margens do canal (pontos 10, 28 e 33).

2) Região dos pontos 44 a 65, com espessuras pouco significativas, em geral menores do que 0,2 ou 0,3 m.

A primeira região apresenta ainda duas subregiões com espessuras maiores do que 1,0 m:

a) Região dos pontos 18, 19, 20, 22, 23 e 24, com espessura média de 1,2 m.

b) Região dos pontos 32, 34, 36, 37, 39, 42 e 43, com espessura média de 1,3 m.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. MINARDI, P.S.P. & SALIM, L.H. - Medição "In Situ" de Concentração e Densidade de Sedimentos por Métodos Nucleares. Belo Horizonte, Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, NUCLEBRÁS, 1985 (Artigo para Curso).
2. HELLEMA, J.A. - Silt Density Measurement. The Dock and Harbour Authority, 61 (722), pag 282-84, 1981.
3. BROLSMA, J.U. et al. - Navigation in Muddy Areas. In: 25th P.I.A.N.C. Congress, Edinburgh, May 1981, Permanent Technical Committee II, Report of Working Group 3-a, 1982.