N O T I C E

THIS DOCUMENT HAS BEEN REPRODUCED FROM MICROFICHE. ALTHOUGH IT IS RECOGNIZED THAT CERTAIN PORTIONS ARE ILLEGIBLE, IT IS BEING RELEASED IN THE INTEREST OF MAKING AVAILABLE AS MUCH INFORMATION AS POSSIBLE

"Made available under NASA sponsorship
In the interest of early and wide dissemination of Earth Resources Survey
Program information and without liability
for any use made thereof."

81-10052
CR-163742

(E81-10052) APPLICATION OF REMOTE SENSING TECHNIQUES TO HYDROGRAPHY WITH EMPHASIS ON BATHYMETRY M.S. Thesis (Instituto de Pesquisas Espaciais, Sao Jose) 240 p HC A11/MF A01 CSCL 08H G3/43

N81-13410

Unclas
00052

RECEIVED BY
NASA STI FACILITY
DATE 10-10-80
DCAF NO. 002949
PROCESSED BY
☒ NASA STI FACILITY
☐ ESA-SDS ☐ AIAA

CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTIFICO E TECNOLOGICO
INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS

1. Classificação *INPE-COM.1/TDL* *C.D.U. 621:38SR:551.48*	2. Período	4. Distribuição interna ☐ externa ☒
3. Palavras Chaves (selecionadas pelo autor) *HIDROGRAFIA* *SENSORIAMENTO REMOTO* *BATIMETRIA*		
5. Relatório nº *INPE-1673-TDL/013*	6. Data *Janeiro, 1980*	7. Revisado por *Emmanuel Gama de Almeida*
8. Título e Sub-Título *APLICAÇÃO DE TÉCNICA DE SENSORES REMOTOS NA HIDROGRAFIA, COM ÊNFASE À BATIMETRIA*		9. Autorizado por *Nelson de Jesus Parada* *Diretor*
10. Setor *DSR*	Código	11. Nº de cópias *18*
12. Autoria *Domingos Sérgio Meireles*		14. Nº de páginas *239*
13. Assinatura Responsável		15. Preço

Original photography may be purchased from
EROS Data Center
Sioux Falls, SD 57198

16. Sumário/Notas

Técnicas de sensoriamento remoto são utilizadas na determinação de características hidrográficas, com ênfase à batimetria. Dois sistemas sensores são empregados: a câmara métrica Wild Re-10, e o Imageador Multiespectral do Satélite LANDSAT (MSS-LANDSAT). Das fotos obtidas com a câmara métrica, retiram-se dados de densidade fotográfica de pontos com profundidade conhecida. A correlação entre as variáveis densidade x profundidade é calculada, determinando-se um reta de regressão. A partir desta reta, infere-se a profundidade de pontos onde a densidade fotográfica é conhecida. As imagens do MSS-LANDSAT são interpretadas automaticamente no Sistema Interativo de Análise Multiespectral (I-100), obtendo-se subáreas de pontos com o mesmo nível de cinza. A partir das simplificações feitas, admite-se que a profundidade de um ponto está diretamente relacionado com nível de cinza deste ponto. Então, são determinadas subáreas com pontos de mesma profundidade, e curvas isobatimétricas são traçadas. O contorno da linha da costa é obitdo através dos sistemas sensores, acima mencionados. Discutem-se as vantagens e limitações das técnicas e os sistemas sensores empregados, assim como comparam-se os resultados com dados de verdade terrestre.

17. Observações *Tese de Mestrado em Sensoriamento Remoto, aprovada em 30 de março de 1979.*

Aprovada pela Banca Examinadora
em cumprimento dos requisitos exigidos
para a obtenção do Título de Mestre em
Sensoriamento Remoto.

Dr.Claudio Roland Sonnenburg — Presidente

Cmte.Emmanuel Gama de Almeida — Orientador

Dr.Renato Herz — Membro da Banca

Cmte.Daniel Cesar Monteiro — Membro da Banca -convidado-

Fis.João Antonio Lorenzetti, MSc. — Membro da Banca

Domingos Sérgio Meireles — Candidato

São José dos Campos, 30 de março de 1979

ÍNDICE

ABSTRACT ..... *vi*

LISTA DE FIGURAS ..... *vii*

LISTA DE TABELAS ..... *xiii*

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO 1

1.1 - Hidrografia 1

1.1.1 - Navegação 3

1.1.2 - Carta náutica 4

1.2 - Sensoriamento remoto 7

1.3 - Objetivos: principal e específicos 9

1.4 - Revisão bibliográfica do sensoriamento remoto aplicado à hidrografia 10

1.5 - Descrição da área de estudo 17

CAPÍTULO II - MATERIAL E MÉTODOS 19

2.1 - Sistema sensores utilizados 19

2.1.1 - Câmara métrica "Wild RC-10" 20

2.1.2 - Imageador multiespectral MSS - LANDSAT 23

2.2 - Fotografias 28

2.2.1 - Atenuação da luz na água do mar 29

2.2.2 - Missão Hidrosere - II 38

2.2.2.1 - Desenvolvimento geral da missão 38

2.2.2.2 - Fotos da câmara métrica "Wild RC-10" 41

2.3 - Imagens LANDSAT 47

2.4 - Método fotográfico 51

2.4.1 - Obtenção dos dados de densidade fotográfica 61

2.4.1.1 - Transparência positiva em preto e branco 65

2.4.1.2 - Técnica de medição das densidades 67

2.4.2 - Obtenção dos dados de profundidades e correção da maré .. 68

2.4.3 - Técnica de regressão linear empregada 70

2.4.3.1 - Obtenção dos pontos amostrais 73

2.5 - Método orbital 74

2.5.1 - Sistema I-100 e programas de classificação utilizados ... 77

2.5.2 - Técnica de análise das imagens LANDSAT 83

2.5.2.1 - Determinação das feições superficiais 83

2.5.2.2 - Determinação das feições subsuperficiais 86

CAPÍTULO III - RESULTADOS E DISCUSSÃO 95

3.1 - Fotografias 95

3.1.1 - Resultados e discussão da 1ª experiência 95

3.1.2 - Resultados e discussão da 2ª experiência 123

3.1.2.1 - Análise da foto 2994 e cálculo da reta de regressão para a inferência 124

3.1.2.2 - Análise da foto 2980 e inferência da profundidade a partir da densidade 139

3.1.3 - Conhecimentos adquiridos e discussão dos parâmetros e técnicas empregados 149

3.2 - Imagens MSS-LANDSAT 151

3.2.1 - Resultados e discussão da análise da imagem de 09/06/77 . 153

3.2.2 - Resultados e discussão da análise da imagem de 15/07/77 . 164

3.2.3 - Resultados e discussão da análise da imagem de 11/03/77 . 174

2

3.2.4 - Programa TABCLS e cálculo da profundidade a partir do nível de cinza - resultado final e discussão 185

CAPÍTULO IV - CONCLUSÕES 203

4.1 - Fotografias 203

4.2 - Imagens MSS-LANDSAT 208

AGRADECIMENTOS 213

BIBLIOGRAFIA 215

APÊNDICE A - OBTENÇÃO DO "PRINT-OUT" DO SISTEMA I-100, EM UMA ESCALA APROXIMADA A.1

ABSTRACT

Remote sensing techniques are utilized for the determination of hydrographic characteristics, with emphasis in bathymetry. Two sensor systems were utilized: the Metric Camera Wild RC-10 and the Multispectral Scanner of LANDSAT Satellite (MSS - LANDSAT). From photographies of the metric camera, data of photographic density of points with know depht, are obtained. A correlation between the variables density x depth is calculated, through a regression straight line. From this line, the depth of points with know photographic density is determined. LANDSAT MSS images are interpreted automatically in the Iterative Multispectral Analysis System (I-100), with the obtention of point subareas with the same gray level. With some simplifications done, it is assumed that the depth of a point it is directly related with its gray level. Then, subáreas with points of the same depth are determined and isobathymetric curves are drawn. The coast line is obtained through the sensor systems already mentioned. Advantages and limitations of the techniques and of the sensor systems utilized, are discussed, and the results are compared with earth truth.

LISTA DE FIGURAS

I.1 - Método de sondagem em um levantamento hidrográfico regular . 5

II.1 - Padrão de cobertura do solo para o imageador MSS-LANDSAT .. 24

II.2 - Esquema do imageador MSS-LANDSAT 25

II.3 - Passagens adjacentes e recobrimento no Equador 27

II.4 - Curva 1 - percentagem de absorção, por metro, de água bidestilada. Curva 2 - percentagem de absorção, por metro, da água do mar artificial 32

II.5 - Percentagem de absorção, por metro, de água do mar de Sargasso (água oceânica), e da água bidestilada. Curva 1 - água do mar filtrada quando coletada e agitada. Curva 2 - água do mar filtrada após coletada. Curva 3 - água bidestilada 32

II.6 - Percentagem de absorção, por metro, de água da plataforma continental (água costeira), e da água bidestilada. Curva 1 - não filtrada, agitada. Curva 2 - filtrada quando coletada, e antes de ser medida (filtro Berkefeld), Curva 3 - água bidestilada. Curva 4 - filtrada quando coletada e agitada 33

II.7 - Coeficiente de atenuação (α) para amostras de água do mar e água destilada 35

II.8 - Transmitância espectral para 10 metros de diversos tipos de água 36

II.9 - Área de estudo: banco das enseadas do Cabo Frio e adjacências. Escala 1:40000 39

II.10 - Curva de transmissão do filtro WRATTEN-58 45

II.11 - Cópia em papel fotográfico preto e brando da imagem MSS-LANDSAT, do dia 11/03/77 - canal 4 49

II.12 - Cópia em papel fotográfico preto e brando da imagem MSS-LANDSAT, do dia 09/06/77 - canal 4 50

II.13 - Cópia em papel fotográfico preto e branco da imagem MSS-LANDSAT, do dia 15/07/77 - canal 4 52

II.14 - Interações de um raio de luz solar com a camada de água . 53

II.15 - Curva característica de um filme 58

II.16 - Deslocamento horizontal do ponto de profundidade 60

II.17 - Cópia em papel fotográfico preto e branco, da foto 2994, da missão HIDROSERRE II 62

II.18 - Cópia em papel fotográfico preto e branco, da foto 2980, da missão HIDROSERE II 63

II.19 - Curvas características de um negativo e de uma transparência positiva 66

II.20 - Correção de maré para os dados de profundidade 69

II.21 - Definição da Célula Única para um espaço de 3 canais (tridimensional 80

II.22 - Curva de absorção da água pura para o infravermelho 85

II.23 - Curva de atenuação da radiação pela água do mar entre 10^{-1} e 10 μ 85

II.24 - Curvas de atenuação de vários tipos de água do mar, com a faixa de atenuação dos canais 4 e 5 do MSS-LANDSAT 88

6

II.25 - Relação entre a quantidade de radiação solar refletida, comprimento de onda e concentração de sólidos em suspensão, em superfícies de água, com faixas de atuação dos canais do MSS-LANDSAT 89

III.1 - Quadriculado da foto 2994, utilizado na medição de densidade 96

III.2 - Densidades observadas na foto 2994 - 1ª experiência 97

III.3 - Trecho da Folha de Bordo B-1500-2/72, reduzida para a escala da foto 2994. Indicados os pontos Ministro, Filtrada, Bóia nº 5 e Bóia nº 6, utilizados no controle da superposição 100

III.4 - Reta da regressão linear, densidade em função da profundidade, e parâmetros estatísticos 102

III.5 - Valores de correção interpolados para a foto 2994 - 1ª experiência 106

III.6 - Valores de densidade corretos para a foto 2994 - 1ª Experiência 109

III.7 - Reta da regressão linear, densidade correta em função da profundidade, e parâmetros estatísticos 114

III.8 - Reta da regressão linear, densidade correta em função da profundidade, com limitação da área de amostragem, e parâmetros estatísticos - 1ª experiência 116

III.9 - Reta da regressão linear, profundidade em função da densidade correta, com limitação da área de amostragem, e parâmetros estatísticos - 1ª experiência 120

7

III.10 - Valores de densidade e valores de profundidade relativos à reta de regressão calculada, com os respectivos intervalos de confiança de 95%, para a inferência da profundidade de um ponto, a partir da sua densidade - 1ª experiência 121

III.11 - Densidades observadas na foto 2994 - 2ª experiência ... 125

III.12 - Valores de correção interpolados para a foto 2994 - 2ª experiência 128

III.13 - Valores de densidade corretos para a foto 2994 - 2ª experiência 132

III.14 - Reta de regressão linear, densidade correta em função da profundidade, com limitação da área de amostragem, e parâmetros estatísticos - 2ª experiência 137

III.15 - Reta da regressão linear, profundidade em função da densidade correta, com limitação da área de amostragem, e parâmetros estatísticos - 2ª experiência 140

III.16 - Valores de densidade e de profundidade relativos à reta de regressão calculada, com os respectivos intervalos de confiança de 95% para a inferência da profundidade de um ponto, a partir da sua densidade - 2ª experiência 141

III.17 - Quadriculado utilizado na foto 2980, e densidade correta obtida no centro de cada quadrado 142

III.18 - Densidades observadas na foto 2980 143

III.19 - Superposição das linhas isobatimétricas obtidas com a foto 2980 à verdade terrestre - trecho da carta DHN-1503-Banco das Enseadas do Cabo Frio, escala 1:20000, ampliada para a escala da foto 146

III.20 - Trecho da carta DHN-1503 - Banco das Enseadas do Cabo Frio, escala 1:40000 154

III.21 - Classificação de Terra - Programa Célula Única aplicado no canal 7 - imagem de 09/06/77 155

III.22 - Subáreas de níveis de cinza, canal 6 - imagem de 09/06/77 158

III.23 - Subáreas de níveis de cinza, canal 5 - imagem de 09/06/77 159

III.24 - Subáreas de níveis de cinza, canal 5 - imagem de 09/06/77 160

III.25 - Classificação de Terra - Programa Célula Única aplicado no canal 7 - imagem de 15/07/77 165

III.26 - Subáreas de níveis de cinza, canal 6 - imagem de 15/07/77 167

III.27 - Subáreas de níveis de cinza, canal 5 - imagem de 15/07/77 168

III.28 - Subáreas de níveis de cinza, canal 4 - imagem de 15/07/77 169

III.29 - Classificação de Terra - Programa Célula Única aplicado no canal 7 - imagem de 11/03/77 175

III.30 - Subáreas de níveis de cinza, canal 6 - imagem de 11/03/77 178

III.31 - Subáreas de níveis de cinza, canal 5 - imagem de 11/03/77 179

III.32 - Subáreas de níveis de cinza, canal 4 - imagem de 11/03/77 180

III.33 - Compressão dos dados de 256 para 64 níveis de cinza 187

III.34 - Espaço de atributos e conversão dos caracteres alfa-numéricos em quantidades decimais 188

III.35 - Divisão do espaço de atributos em subáreas, e respectiva função TEMA associada a cada subárea 189

III.36 - Resultados da aplicação do programa TABCLS na imagem de 11/03/77 190

III.37 - Espaço de atributos com a respectiva divisão em subáreas 191

III.38 - Superposição das informações obtidas com o MSS - LANDSAT, à carta DHN-1503 - Enseadas do Cabo Frio 197

LISTA DE TABELAS

II.1 - Principais características dos objetivos da Wild RC-10 ... 22

II.2 - Sobrevôo da missão Hidrosere II 40

II.3 - Coordenadas geográficas e UTM dos alvos de superfície 41

II.4 - Câmara métrica RC-10 42

II.5 - Sobrevôos com respectivas exposições 42

II.6 - Imagens LANDSAT utilizadas 48

II.7 - Limites da área efetivamente analisada no sistema I-100 .. 84

III.1 - Valores de densidade e profundidade para os pontos de amostragem da foto 2994, sem correção das densidades 101

III.2 - Pontos selecionados na "Imagem" da fonte do sistema LOG-E - foto 2994 - 1ª experiência. Densidade medida em cada ponto, com o valor da respectiva correção 105

III.3 - Valores de profundidade e densidade corretas para os pontos de amostragem da foto 2994 - 1ª experiência, com limitação da área de amostragem 103

III.4 - Pontos selecionados na "imagem" da fonte do sistema LOG E - foto 2994 e 2980 - 2ª experiência. Densidade medida em cada ponto, com o valor da respectiva correção 131

III.5 - Valores de profundidade e densidade corretas para os pontos de amostragem da foto 2994 - 2ª experiência, com limitação da área de amostragem 136

III.6 - Equação da reta e valores de profundidade previstos através da foto 2980 147

11

III.7 - Temas com os respectivos símbolos e intervalos de níveis de cinza, obtidos na aplicação do programa subáreas de níveis de cinza, na imagem de 09/06/77 161

III.8 - Temas com os respectivos símbolos e intervalos de níveis de cinza, obtidos na aplicação do programa subáreas de níveis de cinza, na imagem de 15/07/77 170

III.9 - Nível de cinza das águas profundas ("background") das imagens de 09/06/77 e 15/07/77, nos canais 4, 5 e 6 172

III.10 - Temas com os respectivos símbolos e intervalos de níveis de cinza, obtidos na aplicação do programa subáreas de níveis de cinza, na imagem de 11/03/77 181

III.11 - Nível de cinza das águas profundas ("background") das imagens de 09/06/77, 15/07/77, 11/03/77, nos canais 4, 5 e 6 182

III.12 - Níveis de cinza (comprimidos e não comprimidos) limites dos temas 4, 5, 6, 7 e 8, resultantes da classificação com o programa TABCLS 194

III.13 - Temas 4, 5, 6, 7 e 8, níveis de cinza limites de cada um, e respectivas profundidades calculadas 195

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

1.1 - HIDROGRAFIA

Atualmente, admite-se que os recursos terrestres encontram-se numa fase de intensa exploração. O mesmo não acontece com os recursos do mar, esta imensa fonte de riquezas distribuídas pela maior parte do globo, cerca de 71% da sua superfície, e que ainda se encontra quase que totalmente desconhecida e inexplorada.

É indispensável conhecer o mar e conservá-lo de todas as formas, porque dele poderá advir a resposta a alguns problemas que já se fazem sentir nos dias de hoje. Por exemplo, tudo leva a crer que, no futuro, a superfície da Terra não terá mais condições de alimentar toda a população mundial; porém, se o mar estivesse num estágio de desenvolvimento tal que a sua produtividade, por unidade de área, fosse igual a dos solos, ele deveria produzir 10 bilhões de toneladas de alimentos, isto é, 337 vezes mais do que atualmente (Silva, 1970).

O mar constitui também uma importantíssima via de comunicação de superfície entre os países de fronteira marítima, em todo o mundo. Por ele trafegam embarcações que se ocupam de grande parte do transporte mundial, sendo que em diversos tipos de cargas, o transporte marítimo é o de menor custo operacional que se conhece.

A conservação dos recursos do mar, o desenvolvimento do seu potencial e a garantia de um tráfego marítimo eficiente, estão estreitamente relacionados ao grau de conhecimento do meio ambiente marinho. Quanto mais se conhecer o mar, maior a capacidade se terá de usufruir sua potencialidade, sem desequilibrar a sua estruturação normal.

Entre as ciências que procuram o conhecimento do mar, situa-se a Hidrografia (HIDROS = água, GRAFIA = descrição). Sua principal finalidade prende-se ao mapeamento do fundo do mar e das águas interiores.

A preocupação fundamental está voltada ao navegante que, através das cartas náuticas, tem que ter condições de realizar uma navegação rápida e segura.

Ao procurar atingir o seu objetivo, a hidrografia gera dados que são utilizados por todas as outras ciências que estudam o oceano, os rios e lagos.

O parâmetro mais importante para quem está com seu navio no mar é a profundidade, é saber se o navio, com um determinado calado, tem ou não condições de passagem livre por um determinado ponto. Outros parâmetros também assumem papel relevante em navegação, e todos eles são objetos de estudos em hidrografia. Entre os mais importantes pode-se citar:

a) contorno da linha da costa, pois a fácil identificação e perfeita localização dos pontos conspícuos de terra são parâmetros que dão ao navegante a informação visual da sua posição. Esta, apesar do desenvolvimento dos equipamentos eletrônicos de posicionamento (inclusive com a utilização de satélites), continua sendo a de maior confiabilidade quando se necessita de uma navegação muito precisa;

b) fenômenos inerentes ao meio ambiente marítimo, fluvial e lacustre, como o conhecimento das correntes marítimas, marés, condições meteorológicas, etc., que podem fornecer informações valiosas ao navegante em uma tomada de decisão;

c) Sinalização náutica, de grande auxílio ao navegante. Demarca os perigos, facilita a aproximação de terra, baliza os canais

14

de acesso aos portos, e assinala na costa os pontos importantes para o desempenho de uma boa navegação.

1.1.1 - NAVEGAÇÃO

Os problemas da navegação tendem a se agravar com o crescente desenvolvimento do transporte marítimo e, por esta razão, aumenta cada vez mais a probabilidade de ocorrência de acidentes. Entre os principais problemas, pode-se citar:

a) número sempre crescente de navios no mar, necessitando de rotas marítimas mais largas, a fim de diminuir o risco de uma colisão;

b) aumento do porte dos navios, com alguns já calando cerca de 30 metros, atualmente necessitando de canais mais profundos e isentos de obstrução, como também de maior espaço livre para manobrar seus cascos gigantescos, dando-lhes condições de uma navegação mais segura.

Os danos advindos de um acidente marítimo são geralmente grandes, devido principalmente à perda de carga (sempre transportada em quantidade) e à perda do navio.

Além destes de caráter econômico, eventualmente podem ocorrer perdas de vida e prejuízos ecológicos, como tem acontecido ultimamente nos desastres com grandes petroleiros que, liberando uma enorme quantidade de óleo no mar, dizimam toda a flora e fauna marinha local, acarretando prejuízos incalculáveis a longo prazo.

Existem ainda outras causas que podem ocasionar acidentes marítimos, algumas delas intimamente relacionadas com a utilização da carta náutica, principalmente por sua imprecisão ou desatualização.

Acidentes ocasionados pelo encontro de profundidades menores do que as lançadas na carta, colisões devidas à má definição das

rotas marítimas ou canais, são exemplos deste tipo de falha das cartas náuticas.

1.1.2 - CARTA NÁUTICA

Ao se dizer que uma carta náutica possa ser imprecisa ou esteja desatualizada, não se quer dizer que ela esteja errada.

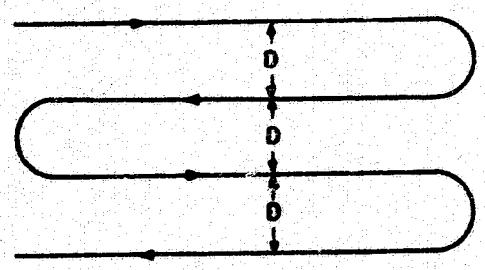
Como em todas as atividades humanas, as cartas são construídas para serem exatas a partir de determinados padrões, os quais podem tornar-se obsoletos com a rápida evolução da construção naval e do tráfego marítimo.

É necessário que tais padrões sejam permanentemente revistos e melhorados, e que a hidrografia minimize os problemas que limitam a precisão e a rápida atualização da carta náutica, podendo-se citar entre eles:

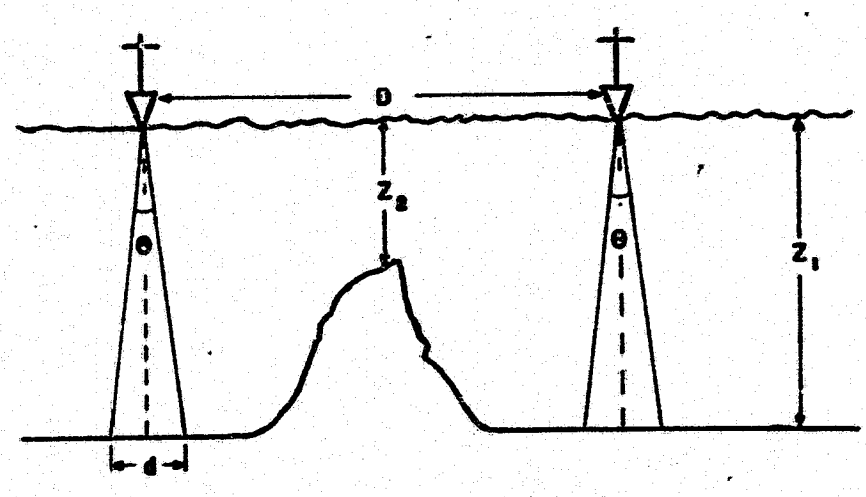
a) Método de sondagem

Em um levantamento hidrográfico a informação batimétrica é obtida com equipamentos (ecobatímetros) que possuem excelente precisão na medida de profundidade, mas que têm um campo de visada pequeno, cerca de 12°. Seria inviável cobrir toda uma área, devido ao excessivo tempo necessário para cumprir a missão. Em consequência, a sondagem é realizada em linhas afastadas, no terreno da distância equivalente a 1 cm na escala da folha de bordo, documento final do levantamento hidrográfico, cuja escala é geralmente o dobro daquela da carta a que se destina o levantamento. Em virtude disto, pode existir um alto fundo de pequenas proporções que não seja detetado, bastando neste caso estar entre duas linhas de sondagem e fora do campo de visada do ecobatímetro (Figura I.1). Em consequência, este alto-fundo sem registro não será lançado na carta náutica.

16



LINHAS DE SONDAGEM



D = afastamento, no terreno, das linhas de sondagem - 1 cm na escala da folha de bordo.

θ = campo de visada do ecobatímetro.

d_1 = distância varrida no fundo = $2Z_1$ sen θ/2.

Z_1 = profundidade lançada na carta náutica.

Z_2 = profundidade do alto-fundo não detetada.

Fig. I.1 - Método de sondagem em um levantamento hidrográfico regular

b) Altos-fundos comunicados

A presença de um grande número de altos-fundos lançados na carta deve-se à comunicação de navios mercantes que podem não possuir, nem em posicionamento e nem em batimetria, a precisão necessária para o grau de confiabilidade desejável na informação. Apesar disso, os mesmos devem constar da carta, até dissipar-se a dúvida de sua verdadeira existência por verificação local. Estes altos-fundos limitam a largura das rotas marítimas e os espaços livres para manobras, obrigando o navio a se desviar de um perigo que talvez não exista, aumentando o risco de colisões.

c) Bancos móveis de areia

Existem bancos de areia de morfologia instável que modificam a sua posição com o tempo. A Barra Norte do Rio Amazonas e a Barra do Porto de Cananéia são exemplos típicos deste fenômeno, que altera totalmente a precisão batimétrica das cartas náuticas dessas regiões da costa do Brasil. Essas alterações obrigam que tais áreas sejam sondadas em curtos intervalos de tempo, o que demanda uma disponibilidade muito grande de recursos.

d) Modificação no contorno da linha da costa

Existem áreas da costa que sofrem grandes modificações, seja por processos naturais, como o assoreamento ou erosão, ou por obras feitas pelo próprio homem, como os aterros e canais. Se o navegador não estiver atento à possibilidade de ocorrência destas modificações, e as mesmas não tiverem sido atualizadas na carta náutica, fatalmente será levado a cometer erro de interpretação, aumentando o risco de um acidente com sua embarcação.

1.2 - SENSORIAMENTO REMOTO

Como se tentou mostrar até aqui, os problemas de construção e atualização da carta náutica vão se tornando maiores à medida que se progride no tempo.

Em contra partida, os serviços hidrográficos mundiais vem tentando desenvolver novas técnicas de aquisição, processamento e seleção dos dados visando melhorar a aparelhagem da hidrografia, para constante aperfeiçoamento de seus métodos. Como exemplo, é possível relacionar alguns esforços efetivamente importantes no desenvolvimento técnico da questão:

a) aparecimento de novos equipamentos, tentando aumentar o campo de visada na aquisição dos dados de profundidade. Pode-se citar o "Side Scan Sonar", que obtém uma imagem do fundo subtendida por um ângulo de aproximadamente 100° (cem graus), aumentando consideravelmente a área investigada, em cada corrida da lancha ou do navio em que o equipamento é instalado;

b) sistemas integrados onde se tem um ecobatímetro, um equipamento de posicionamento e outras informações complementares, como a maré prevista, acoplados a um computador, que controla um traçador onde será gerada a folha de bordo. Desta forma, consegue-se uma alta velocidade de coleta de dados, os quais à medida que vão sendo adquiridos, são lançados na folha (Upham, 1970);

c) mecanização da construção da carta náutica, visando principalmente diminuir o tempo necessário para a seleção dos dados batimétricos na construção das folhas. A Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) do Ministério da Marinha do Brasil é um dos serviços hidrográficos empenhados em conseguir tal objetivo.

Entre essas novas técnicas que podem ser aplicadas à Hidrografia, enquadra-se o sensoriamento remoto. Como técnica capaz de gerar dados sobre um objeto ou fenômeno a distância, sem estar o sensor em contato direto com o meio que se está investigando, não pode ser excluída a possibilidade de sua utilização como mais uma fonte de informações sobre os parâmetros de interesse para a Hidrografia.

A fotografia aérea pode ter uma resolução, no terreno, muito maior que os métodos habituais de sondagem, logo, poderá ser utilizada para verificar a localização de um alto-fundo ou mesmo a sua existência ou não. É de aquisição mais fácil e mais econômica, comparada com os custos de deslocamento de um navio para a área, que é um procedimento oneroso devido aos gastos com material, pessoal e retenção no navio. Entretanto, as seguintes limitações restringem o uso desta técnica:

a) a informação se limite a camadas d'água pouco profundas. No máximo seriam investigadas profundidades em torno de 25 m (Harris e Umbach, 1972), assim mesmo para águas bem claras (baixo coeficiente de extinção). À medida que a água vai ficando turva, a máxima profundidade investigada vai diminuindo devido à menor penetração da luz solar, fonte natural para o sistema fotográfico. Em casos extremos de águas muito turvas, a informação pode ficar restrita à superfície;

b) pouca precisão em posicionamento, devido às distorções geométricas do próprio sistema, que reproduz a cena por projeção ótica, e as distorções oriundas da plataforma;

c) presença de nuvens na região a ser sensoriada, seja por motivo de sombra ou diminuição da energia incidente para fotos de baixa altitude, ou pela impossibilidade de fotografar-se o alvo quando os mesmos estiverem entre ele e o sensor (fotografias de alta altitude).

Outro tipo de produto refere-se às imagens orbitais repetitivas dos satélites do tipo LANDSAT. Apesar das imagens do seu subsistema multiespectral MSS possuírem uma resolução menor que as fotografias aéreas (70 m), sua repetitividade de 18 em 18 dias possibilita o

monitoramento dos bancos móveis, ou outras feições de superfície, com a frequência que se deseja, a um custo mais baixo e aquisição mais fácil que o deslocamento de um avião para a área. Suas principais limitações seriam as mesmas da fotografia aérea, tornando-se crítico o problema das nuvens que sempre estarão entre o alvo e o sensor, devido à altitude do satélite (≅ 918 km).

Utilizando-se qualquer um dos sensores mencionados, poder-se-ia ainda produzir informações sobre a localização de eventuais alterações nas feições litorâneas.

Outra grande utilidade das imagens LANDSAT seria o seu emprego no planejamento de uma missão hidrográfica, pela sua capacidade de fornecer dados atualizados sobre qualquer região da costa brasileira.

Como visto acima, tanto as fotografias aéreas como as imagens orbitais têm limitações que as impedem de resolver totalmente o problema hidrográfico. Entretanto, através da exploração adequada das suas potencialidades, elas podem ser utilizadas com mais um recurso na tentativa de se conseguir realizar uma carta náutica mais completa.

Entre outros sistemas sensores, atualmente empregados na pesquisa hidrográfica, vale a pena citar o "laser". Este sistema colocada a bordo de aeronaves está sendo utilizado na determinação de profundidade com um erro de 0,15 m, num intervalo de 0 a 15 m ("Avco Everett Research Laboratory, Inc." - 1977).

1.3 - OBJETIVOS: PRINCIPAL E ESPECÍFICOS

No contexto de suas atividades, o Grupo de Oceanografia do Departamento do Sensoriamento Remoto do INPE conta com o Projeto HIDROSERE, que vem realizando pesquisas em alguns aspectos da Hidrografia, com o propósito de criar metodologia de obtenção e interpretação de dados através do sensoriamento remoto das águas, em nível orbital e de aeronave.

O presente estudo está integrado ao projeto HIDROSERE, e tem como objetivo principal:

a análise de dados de sensores fotográficos, métricos e orbitais, visando o desenvolvimento de uma técnica de sensoriamento remoto para o auxílio à construção e atualização da Carta Náutica.

Considerando-se os resultados finais que se deseja alcançar neste trabalho, tem-se como objetivos específicos:

a) verificar a eficiência do uso de fotografias aéreas na determinação de feições subsuperficiais no mar;

b) verificar a eficiência do uso de imagens orbitais multiespectrais na determinação de feições subsuperficiais no mar;

c) verificar a eficiência do uso de imagens orbitais multiespectrais na determinação de feições superficiais de interesse para a Hidrografia;

d) avaliar a potencialidade do uso de sensores remotos no planejamento de uma missão hidrográfica.

1.4 - REVISÃO BIBLIGRÁFICA DO SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO À HIDROGRAFIA

Primeiramente, far-se-á uma revisão dos trabalhos onde foram utilizadas fotografias aéreas na determinação de feições hidrográficas e, a seguir, àquelas onde foram utilizadas imagens obtidas por plataformas espaciais.

A primeira menção do emprego de sensores remotos em estudos hidrográficos é fornecido por Smith (1963), que relata a utilização de fotografias aéreas na manutenção de cartas náuticas pelo "U.S. Coast and Geodetic Survey" em 1918.

22

Sonu (1964) cita três diferentes métodos de batimetria por meio de fotografias aéreas: método das ondas, método da transparência, e o método da penetração.

No método das ondas (Colleman e Lundahal, 1948), desenvolvido por cientistas britânicos durante a Segunda Guerra, a velocidade da onda é medida por fotografia e reduzida à profundidade correspondente, usando um modelo teórico da influência do fundo na sua propagação.

No método da transparência (Moore, 1947), a energia que alcança o filme através de filtros especiais, é analisada sob cuidadoso controle sensitométrico, a fim de se correlacionar a densidade do negativo com a profundidade ou com o coeficiente de extinção.

Quanto ao método da penetração, não se conseguiu o trabalho original, mas sabe-se que uma imagem visível do fundo é obtida.

Sonu (1964), cita Bruun, que relata o uso de fotografias aéreas pela armada dinamarquesa, nas quais, detalhes de fundos rasos, incluindo bancos de areia, foram claramente mostrados.

Maruyasu, em uma comunicação pessoal com Sonu (1964), cita experimentos realizados pela armada japonesa sobre a penetração da luz visível na água do mar, ao longo da costa do Mar do Japão.

Swanson (1960; 1964) utiliza fotografias coloridas para a determinação de profundidade e desenvolvimento de técnicas no auxílio à construção da Carta Náutica.

Smith (1963) relata múltiplas utilizações de fotografias aéreas coloridas pelo "U.S. Coast and Geodetic Survey", destacando o seu emprego no planejamento e acompanhamento de uma missão hidrográfica.

Tewinkel (1963) mede uma profundidade aparente, utilizando aparelhos de restituição aerofotogramétrica, e aplica correções do índice de refração da água e do ângulo de observação. Como o alvo e o sensor estão em meios diferentes, aparece entre os dois uma superfície de separação, que causa uma refração no raio emergente. Isto desloca o ponto de sua posição verdadeira para uma posição aparente.

Groeneveld Meijer (1964) recalcula as equações de Tewinkel (1963), derivando-as de forma que aceitem soluções numéricas e possam ser calculadas por computadores.

Yost e Wenderoth (1968, 1969, 1970a) conduzem várias experiências de penetração da luz na água do mar, utilizando técnicas fotográficas multiespectrais, a partir de imagens obtidas em três diferentes bandas (verde, vermelho e infra-vermelho). Plotam várias curvas investigando a correlação entre a profundidade e o logaritmo da exposição nominal (metro-candela-segundo), para cada uma das imagens em preto e branco obtidas em cada banda. Investigam também a correlação entre a profundidade e a densidade de uma composição colorida, aditiva, das três imagens, concluindo que a mesma é razoavelmente boa.

Vary (1969) apresenta os resultados de duas missões aerofotográficas realizadas pelo "U.S. Naval Oceanographic Office" (NAVOCEANO), visando a determinação das características de alvos submersos. Foram simuladas diversas condições alvo-sensor, a fim de se determinar qual a mais eficaz no detalhamento de cada tipo de alvo. Verificações de campo levadas a efeito, demonstram o bom acerto dos resultados quando usada a melhor combinação alvo-sensor pré-determinada.

Geary (1968) faz uma revisão dos estudos desenvolvidos em Washington, D.C., pelo "U.S. Naval Oceanographic Office", na utilização de fotografias aéreas, visando o planejamento de operações oceanográficas, a determinação da profundidade, e o emprego na hidrografia costeira em geral. O principal método empregado é a restituição aerofotogramétrica.

24

Rinner (1969) faz um estudo detalhado da metodologia de utilização de técnicas fotogramétricas, para determinação de características de alvos, cujos raios emergentes atravessam dois meios diferentes.

Almeida et al. (1970) determinam as curvas isobatimétricas do Banco das Enseadas do Cabo Frio em Arraial do Cabo - RJ, através de uma restituição aerofotogramétrica. Foram utilizadas transparências coloridas na faixa do visível e do infravermelho, e os resultados foram considerados satisfatórios.

Strandberg (1970) cita a utilização de fotografias aéreas no auxílio à construção da Carta Náutica. Apresenta três métodos diferentes, dois para águas com boa transparência e um para águas túrbidas. Os dois primeiros já foram mencionados e o outro se baseia num estudo do prolongamento da linha da costa para a massa d'água adjacente.

Helgeson (1970), fazendo um estudo do uso de fotografias para detalhamento de objetos submersos em massas de água, conclui que a distância de penetração pode ser consideravelmente aumentada, se a informação for obtida dentro de uma determinada região espectral otimizada para o objetivo.

Martins Jr. e Silva (1971) trabalhando com fotografias aéreas do Banco das Enseadas do Cabo Frio - RJ, aplicam um programa de regressão superficial entre o dado densitométrico e a respectiva posição de cada ponto. A idéia é associar a forma da superfície determinada com a morfologia do fundo. O método é considerado um sucesso, principalmente para aplicação em áreas de grande mudança do fundo do mar, permitindo inclusive uma extrapolação matematicamente definida para áreas desconhecidas.

Hodder, em 1971, (Huebner, 1975) propõe uma técnica que se baseia num estudo estatístico-temporal de várias imagens da mesma área, obtidas em condições diferentes. Desta forma, tem-se uma média

dos parâmetros aleatórios (sedimentos, nuvens, etc.) e um esforço do parâmetro estável (fundo). A partir daí pode ser conseguida uma correlação entre a média das densidades de cada ponto e a respectiva profundidade.

Harris e Humbach (1972) fazem o mapeamento batimétrico dos arredores da ilha de Porto Rico, utilizando técnicas de correções aerofotogramétricas. Para controle vertical foram gerados pontos a partir de uma aerotriangulação analítica especial, para o problema de dois meios diferentes de propagação do raio emergente.

Specht et al. (1973) apresentam o projeto de um filme colorido com duas camadas, otimizadas para determinar feições submersas e características da água do mar.

EASTMAN KODAK COMPANY (1974) publica os dados do filme SO-224 KODAK PENETRATION COLOR FILM (ESTAR BASE), com as seguintes características principais: alta-velocidade, grão médio, alto constraste e alta resolução. Quando exposto com um filtro WRATTEN Nº 4 possui sensibilidade em duas regiões espectrais, centradas em 480 nm e 550 nm. O mesmo é indicado para aplicações oceanográficas e hidrográficas.

Boller e Mc Bride (1974) apresentam o projeto de um filme preto e branco, especialmente elaborado para a deteção de objetos ou alvos submersos. Demonstram que a detetividade deste filme é maior que a dos filmes comuns, através de testes de laboratório e de campo.

Lockwood et al. (1974) testam nove combinações de filmes e filtros, a fim de determinar a mais eficiente para o sensoriamento de feições submersas. Utilizam três filmes coloridos e dois preto e branco, com diversos filtros. Os parâmetros investigados são: contraste de águas rasas, águas médias e águas profundas; penetração na água; cor do mar; vegetação superficial e reflexão superficial.

Meyer e Welch (1975) indicam, numa breve revisão, os principais métodos de mapeamento batimétrico utilizando sensores remotos.

Huebner (1975) discute, com um bom detalhamento, as técnicas de restituição aerofotogramétrica e de utilização de imagens multiespectrais, quando empregadas no mapeamento do fundo do mar.

Rosenshein (1977) apresenta os resultados obtidos na batimetria da Baia de Tampa, Flórida, realizada por meio de uma restituição aerofotogramétrica. Foram utilizadas conjuntamente, transparências coloridas e em preto e branco. A experiência foi considerada um sucesso pela informação detalhada obtida do fundo.

Karalus (1978) discute a utilização de fotografias aéreas, obtidas por um helicóptero, na determinação de características de interesse a Hidrografia.

Gettys (1967) relata o emprego de fotografias coloridas obtidas pela nave Gemini, nas órbitas 4, 5 e 7, na atualização e monitoramento da carta náutica. Conclui que tais fotos de hiperaltitude podem ser usadas para identificar pequenos bancos de areia, que precisem de uma revisão na carta náutica, mas que esta informação é limitada.

Ross (1973) aplica técnicas de realçamento de contraste em imagens dos canais 4 e 5 do MSS - LANDSAT. Tais imagens foram analisadas por meio de processos semi-automáticos de interpretação, onde os pontos com um valor de densidade, pertencente a um intervalo pré-determinado, foram agrupados compondo uma classe ("density-slicing"). A cada classe foi associado um intervalo de profundidade e foram estimados fundos de 5 metros com erro de um metro.

Polcyn e Sattinger (1969a); Polcyn e Rollin (1969b), e Polcyn et al. (1970) apresentam três métodos em estudo na Universidade de Michigan (U.S.A.), visando a determinação de profundidade através do uso de imagens (orbitais e de aeronave) e de um sistema "laser":

a) utilização de um modelo matemático para cálculo da profundidade, a partir dos dados de um imageador multiespectral. Este modelo leva em consideração a transmissão da água, reflectância do fundo, parâmetros do sensor e características de iluminação do alvo;

b) utilização das variações ocorridas nos comprimentos das ondas do mar, quando estas se propagam de uma região profunda para águas rasas. Este fenômeno seria um indicador da profundidade em águas onde a penetração da luz é um fator limitante;

c) utilização da diferença entre a reflexão do pulso emitido por um laser, na superfície do mar e no fundo.

Brown et al. (1971a, 1971b) utilizam dados de um imageador multiespectral montado a bordo de uma aeronave, para determinação da profundidade e de outros parâmetros da água do mar, empregando o modelo matemático citado. Concluíram que fundos de até 28 m podem ser medidos com uma precisão de ± 20%. O método das ondas também foi investigado.

Polcyn e Lyzenga (1973a, 1973b), utilizando agora os canais 4 e 5 do imageador multiespectral MSS - LANDSAT, empregam o mesmo método e conseguem um bom ajuste dos resultados para profundidades de até 5 m.

Polcyn (1976) numa missão juntamente com o Comandante Jacques Costeau, medem o coeficiente de extinção da água do mar, a reflectância do fundo, e utiliza dados do MSS-LANDSAT obtidos no "High-Gain Mode". Profundidades até 22 m com uma precisão de 10% (RMS) são retiradas em águas de coeficiente de extinção igual a 0.05 m^{-1} e reflectância do fundo igual a 26%.

Gierloff-Emden (1976) faz uma revisão da utilização de imagens e fotografias orbitais no sensoriamento remoto do oceano. Entre

28

as aplicações, cita a determinação da topografia do fundo do mar em zonas costeiras, fornecendo exemplos de interpretação a partir de dados obtidos nas missões APOLLO e SKYLAB, e pelo MSS-LANDSAT.

Layton and Associates (1976) oferecem uma técnica de baixo custo para a determinação de detalhes submersos e superficiais, de interesse à carta náutica. O sensor usado é o MSS-LANDSAT e a técnica de interpretação utilizada é o "density-slicing".

Hammack (1977) relata a investigação empreendida pela "Defense Mapping Agency Hydrographic Center" (DMAHC) em Washington, na tentativa de usar dados do MSS-LANDSAT para avaliar e atualizar suas cartas de média e pequena escala. Os principais pontos pesquisados seriam a avaliação da precisão de posição dos perigos à navegação, a determinação de feições subsuperficiais e próximas à superfície, e a possibilidade de utilização de imagens orbitais no planejamento de uma missão hidrográfica.

Bina et al. (1978) apresentam os resultados da utilização das imagens LANDSAT no mapeamento de recifes de coral, na região da ilha Mindoro, Filipinas.

Warne (1978a, 1978b) cita a utilização do satélite LANDSAT, como uma técnica de baixo custo no auxílio à construção de cartas náuticas.

1.5 - DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo escolhida foi o Banco das Enseadas do Cabo Frio, próximo à cidade de Arraial do Cabo, localizada na latitude 23°00'S e longitude 042°00'W aproximadamente. Esta área foi escolhida por diversas razões, as principais são:

1) a água da região é conhecida pela sua transparência, e apesar de não se ter dados do seu coeficiente de extinção, esta é facilmente comprovada por um exame local;

2) a água sobre o banco é homogênea, exceto quando as águas carregadas de sedimentos provenientes da descarga do rio Paraíba do Sul (mais ao Norte) conseguem alcançar a área. Isto acontece geralmente na presença de um vento Nordeste intenso e contínuo, fatoraro que pode ser verificado por interpretação visual de imagens do MSS-LANDSAT;

3) o fundo da região é de areia, segundo dados colhidos nas Folhas de Bordo, resultantes de levantamentos realizados na área pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN);

4) a área normalmente tem pouca nebulosidade. Isto foi verificado na análise dos dados meteorológicos da Companhia Nacional de Álcalis do Rio de Janeiro, situada no Arraial do Cabo;

5) o banco possui uma área relativamente pequena de 4,2 km^2. Entretanto, as profundidades variam de 1 m até 40 m com diferentes gradientes, uns mais acentuados, outros mais suaves;

6) grande parte dos estudos desenvolvidos no Grupo de Oceanografia do Departamento de Sensoriamento Remoto do INPE são realizados na mesma região. Desta forma, espera-se com este trabalho contribuir para um melhor conhecimento da área;

7) existe, na área, o Projeto Cabo Frio, do Instituto de Pesquisas da Marinha, que pode fornecer o apoio logístico necessário a uma missão de campo e também uma grande variedade de dados - maregráficos, oceanográficos, meteorológicos, etc., que porventura possam ser necessários.

CAPÍTULO II

MATERIAL E MÉTODOS

2.1 - SISTEMAS SENSORES UTILIZADOS

Quando se iniciou, o presente estudo tinha a intenção de obter uma visão geral de como poderia ser utilizado o sensoriamento remoto no reconhecimento de feições hidrográficas, e de adquirir um melhor conhecimento dos principais problemas existentes na utilização de tal técnica, visando os objetivos propostos. Também era intenção tentar esboçar um método de utilização efetiva dos sensores remotos em Hidrografia.

Outra preocupação era que os resultados fossem obtidos por técnicas objetivas e práticas, através da utilização de produtos facilmente disponíveis e análise de dados não muito complexa. Se não fosse observado este cunho prático no trabalho, fatalmente a implementação de qualquer um de seus resultados tornar-se-ia difícil, talvez a ponto de ser inviável seu emprego sistemático na Hidrografia.

Grande parte dos trabalhos realizados em sensoriamento remoto no INPE estão concentrados em dois sistemas sensores, atualmente disponíveis, que fornecem os seguintes produtos:

a) Fotografias aéreas: obtidas pela aeronave Bandeirante EMB-110-A, prefixo PPFXC, de propriedade do INPE. Este avião foi especialmente adaptado para se transformar numa plataforma de aerosensoriamento de dados. Possui locais especiais para a instalação e operação dos seguintes equipamentos: câmara métrica Wild-RC-10, câmara multiespectral de 4 canais I^2S, conjunto de 4 câmaras Hasselblad e imageador Bendix LN-3 que opera nas faixas do visível e termal.

b) Imagens orbitais multiespectrais: obtidas pelo imageador multiespectral MSS, colocado a bordo do satélite LANDSAT. O INPE possui uma estação receptora deste satélite na cidade de Cuiabá, Mato Grosso, e um centro de processamento do sinal obtido, localizado em Cachoeira Paulista, São Paulo. Vários produtos são gerados neste local, entre eles pode-se citar: fitas compatíveis com computadores (CCT); imagens em preto e branco, em papel fotográfico, produzidas nas escalas padrões de 1:1.000.000, 1:500.000 e 1:250.000; composições coloridas e produtos especiais, como imagens em papel fotográfico preto e branco, numa escala diferente dos padrões citados, mas compatível com o sistema.

Logo, existe uma maior facilidade de acesso aos dados dos dois sistemas sensores mencionados acima e aliando esta disponibilidade às necessidades práticas e aos objetivos deste trabalho, optou-se inicialmente pelo estudo das fotografias métricas e das imagens orbitais, a fim de avaliar a quantidade e a qualidade da informação que cada um deles pode fornecer.

Em razão disto, este trabalho pode ser praticamente dividido em duas partes distintas: a primeira, o estudo feito com fotografias obtidas pela câmara métrica "Wild RC-10" e, a segunda, a análise das imagens orbitais do MSS-LANDSAT.

2.1.1 - CÂMARA MÉTRICA "WILD RC-10"

Câmaras métricas são instrumentos fotogramétricos de precisão, cujas características principais são: alto grau de correção das distorções, tanto geométricas como cromáticas; distância principal calibrada; marcas fiduciais no quadro negativo, que permitem a localização do ponto principal da imagem (Maia, 1975). Possuem outras características importantes, tais como: controle do recobrimento entre as fotos na direção da linha de vôo (recobrimento longitudinal), anotações de margem, etc.

A grande vantagem das câmaras métricas é terem as distorções inerentes ao sistema sensor mínimas, e fornecerem várias informações, que são utilizadas por técnicas apropriadas,para reduzir os erros oriundos das distorções introduzidas pela atitude do sistema sensor, no momento de obtenção da imagem.

São empregadas principalmente na cobertura fotográfica para processos fotogramétricos, como restituições e aerotriangulações, ou em qualquer trabalho onde se deseja um mínimo de influência do sistema sensor na posição dos pontos fotografados e na quantidade de energia enviada por eles.

A câmara métrica "Wild RC-10" possui as seguintes características técnicas:

Fabricante	: Wild Heerbrugg A/G
Uso	: mapeamento em geral
Filmes	: acondicionados em rolos de 9 1/2"
Comprimento do filme	: 60 m ou 120 m - filmes de 0,13 mm de espessura 75 m ou 150 m - filmes de 0,10 mm de espessura
Tamanho das fotos	: 9" x 9" ou 23 cm x 23 cm
Número de fotos	: 230 ou 460 com filmes de 0,13 mn 290 ou 580 com filmes de 0,10 mn
Tipo de obturador	: rotativo
Velocidade de obturação	: 1/100 - 1/1000 seg.
Indicações marginais	: hora, altitude, contador de fotos, etc.
Controle de exposição	: manual, remoto
Intervalômetro	: sim
Objetivas do INPE	: Universal Aviogon II Super Aviogon II

As duas objetivas são intercanbiáveis, com ótica corrigida para obtenção de fotografias coloridas. As principais características de cada um são apresentadas na Tabela II.1.

TABELA II.1

PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DAS OBJETIVAS DA WILD RC-10

	Universal Aviogon II	Super Aviogon II
Distância focal (mm)	152	88.3
Ângulo de campo	90°	120°
Número f (intervalo)	4	5.6 - 22
Intervalo de atuação ótima (μm)	0.4 - 0.8	0.45 - 0.85
Filtros padrões (valor "abtivigneting")	amarelo e vermelho (1.4 A.V.)	amarelo e vermelho (2.2 A.V.)
Distorção radial (μm)	< 4	± 10
Distorção tangencial (μm)	< 4	± 5

Duas qualidades importantes da "Wild RC-10" merecem ainda ser mencionadas. A primeira é a possibilidade de bascular toda a câmara até o máximo de 45°, permitindo a troca de filtros em plino vôo; a segunda é que podem ser introduzidas correções em todo o conjunto da câmara; deriva (k) até $\pm 30^o$ e inclinação (ϕ, ω) até $\pm 5^o$, por controle manual ou remoto.

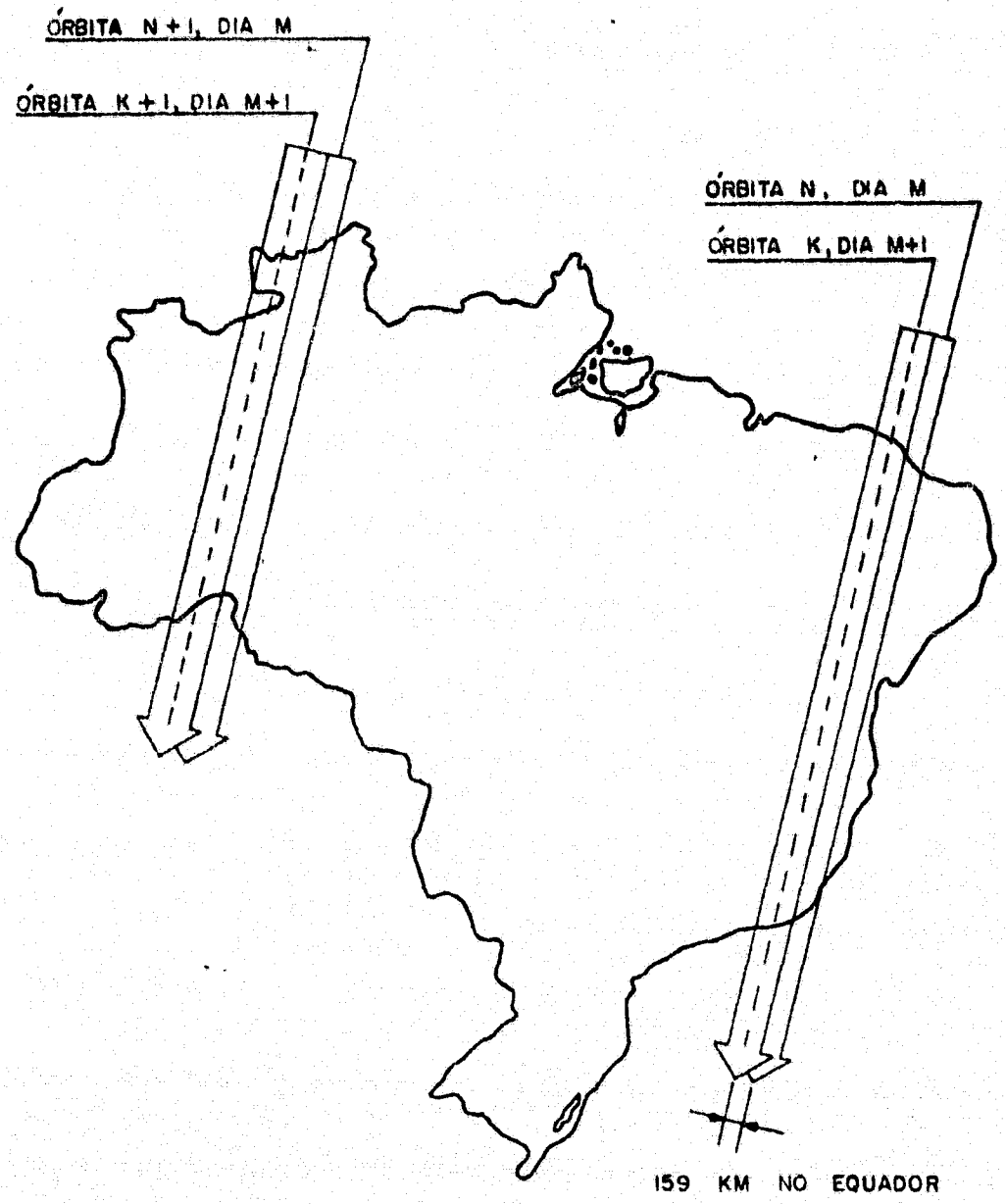
Informações mais detalhadas sobre as partes componentes e a operação da RC-10 podem ser conseguidas no manual da câmara (Wild, 1970).

2.1.2 - IMAGEADOR MULTIESPECTRAL MSS-LANDSAT

Os satélites da série LANDSAT, anteriormente denominada ERTS, são plataformas de sensoriamento remoto de dados colocados em uma órbita terrestre de grande inclinação com o Equador polar, quase circular, síncrona com o sol, a uma altitude média de 918 km. A NASA ("National Aeronautics and Space Administration") é o órgão responsável pelo desenvolvimento e lançamento destes satélites, que são em número de três: O LANDSAT-1 (ex ERTS-1), lançado em *julho de 1972*, atualmente fora de operação; o LANDSAT-2 (ex ERTS-2) lançado em *janeiro de 1975*, atualmente desligado, mas que pode operar mediante uma solicitação à NASA; e o LANDSAT-3, lançado em *abril de 1978* e, atualmente em operação.

Todos possuem aproximadamente as mesmas características orbitais em altitude e período. A trajetória orbital é feita de maneira síncrona com o Sol, com o nodo descendente (iluminado) realizado entre 9 hs. e 30 min., e 10 hs. 00 min. (local). A passagem sobre o Equador se dá às 9 hs. e 42 min. (local), sendo o período orbital de 103 min. 16 seg. Logo, em 24 horas eles completam 13 17/18 órbitas, deslocando as coberturas adjacentes em 1° 26' a cada 24 horas, ficando os centros entre elas afastados de 159,3 km (Figura II.1). Esse efeito faz com que, após 251 revoluções (i.e., a cada 18 dias), o satélite volte a imagear o mesmo local).

O imageador multiespectral MSS-LANDSAT, daqui para a frente denominado somente MSS-LANDSAT, é um dos subsistemas do satélite e consiste de um espelho oscilatório e um sistema ótico que reflete a radiância vinda da cena, num conjunto de 24 detetores divididos em 4 faixas ou canais, cada um com 6 detetores. Cada canal é sensível a uma determinada faixa do espectro, a saber:



NOTA: ÓRBITA K, DIA M+1, OCORRE 14 REVOLUÇÕES APÓS A ÓRBITA N, DIA. M.

Fig. II.1 - Padrão de cobertura no solo para o imageador MSS-LANDSAT

Canal 4 - 0.5 - 0.6 μm	Visível
Canal 5 - 0.6 - 0.7 μm	
Canal 6 - 0.7 - 0.8 μm	Infravermelho próximo
Canal 7 - 0.8 - 1.1 μm	

O LANDSAT-3 possui ainda uma banda no infravermelho termal, denominada canal 8 (10.4 - 12.6 μm), que não se tornou operacional. Em virtude disto, as informações dadas neste trabalho são somente sobre os canais do visível e do infravermelho próximo.

O MSS-LANDSAT gera imagens por varredouras transversais ao sentido de deslocamento do satélite, através de uma oscilação de ± 2.89 graus do seu espelho, o que corresponde a um ângulo de visada total do sensor de 11,56°. Esta abertura corresponde no solo a 184,86 Km, sendo este o comprimento de cada linha transversal imageada (Figura II.2)

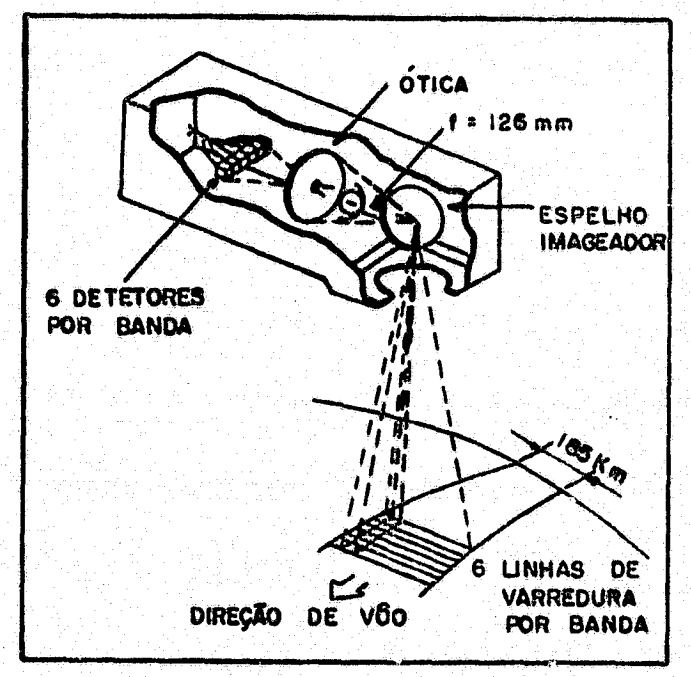


Fig. II.2 - Esquema do imageador MSS - LANDSAT
Fonte: Silva et al (1978), p, 14

O ângulo de visada instantâneo de cada detetor é 0.086 m rad, correspondendo no solo a uma área de 79 m x 79 m e, na imagem, a um "pixel" ("picture element") *que é o elemento de resolução no terreno para o MSS-LANDSAT.*

A radiância vinda da cena relativa a um "pixel" é transformada em um sinal analógico de voltagem, o qual é enviado para a Terra. Posteriormente, este sinal é processado, ficando em um formato digital denominado nível de cinza (a uma menor quantidade de energia corresponde um menor nível de cinza; a uma maior quantidade,um nível de cinza maior).

Em uma cena do MSS-LANDSAT existem 3240 x 2340 "pixels", cada um com os seus respectivos níveis de cinza, um para cada canal. Deste conjunto é que são gerados os diversos produtos do MSS-LANDSAT,através de processamentos especiais (fitas CCT, imagem em papel fotográfico preto e branco, etc). As imagens são formadas por projeção híbrida, i.e., ao longo da órbita a projeção é ortogonal, sendo uma projeção central,no sentido da varredura (Silva, et al., 1978).

Na fase de reprodução, as faixas contínuas de varreduras são cortadas em imagens regulares de 185 Km x 185 Km,com recobrimento longitudinal de 10%. Devido à dimensão de cada linha (185 Km), o recobrimento lateral entre faixas adjacentes varia de acordo com a latitude, tendo o menor valor de 14% no Equador (Figura II.3).

Em resumo, o imageador multiespectral MSS-LANDSAT possui as seguintes características técnicas (NASA, 1976; Bernstein,1976):

a) Intervalo de oscilação do espelho	± 2.89 graus
b) Frequência de oscilação do espelho	13.62 H_z
c) Linhas imageadas por oscilação	6
d) Ângulo de Campo	11,56 graus

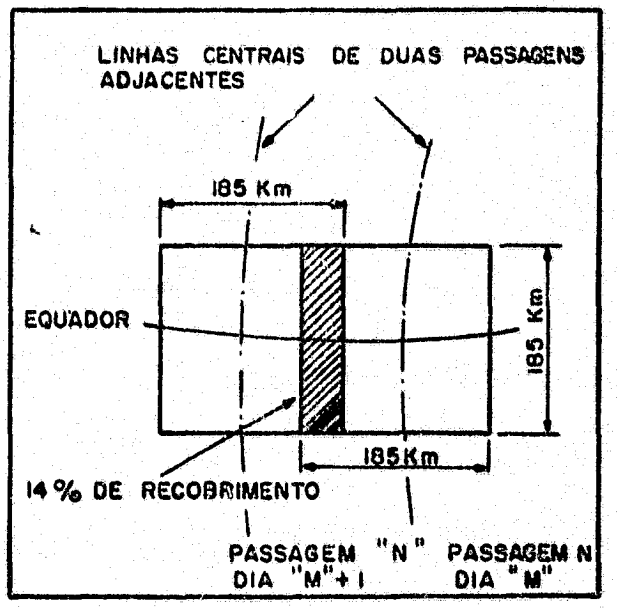


Fig. II.3 - Passagens adjacentes e recobrimento no Equador
Fonte: Silva et al. (1978), p. 14

e) Comprimento de cada linha imageada	185 Km
f) Área imageada em cada cena	185 x 185 Km
g) Recobrimento longitudinal	10%
h) Recobrimento total	14% no Equador
i) Nº de detectores	24 (6 por canal)

j) Intervalo espectral dos canais:

4 - 0.5-0.6 μm

5 - 0.6-0.7 μm

6 - 0.7-0.8 μm

7 - 0.8-1.1 μm

l) Ângulo de visada instantâneo de cada detetor	0.086 m rad
m) Campo de visada instantâneo (IFOV) ou "pixel"	79 x 79 m
n) Recobrimento entre dois "pixels" adjacentes	29%
o) Campo de visada instantâneo efetivo	56 x 79 m
p) Nº de linhas em cada imagem	2340
q) Nº de "pixels" em cada linha	3240
r) Tamanho da palavra em que vem armazenada a informação de cada "pixel"	6 bits ou 1 "byte"
s) Informações por banda	7.6×10^6 "bytes"
t) Informações por cena	30.4×10^6 bytes

2.2 - FOTOGRAFIAS

As fotografias analisadas foram obtidas na missão Hidrosere-II, realizada em setembro de 1977 (Meireles, 1978), que reuniu dados de dois sistemas fotográficos: câmara métrica Wild RC-10 e câmara multiespectral I^2S.

No presente estudo foram utilizadas somente as fotos obtidas pela câmara métrica Wild RC-10, a qual estava calibrada de forma que tivesse o maior rendimento possível na obtenção de dados submersos. Os parâmetros da câmara foram calculados a partir de uma análise das propriedades físico-óticas da água do mar e da bibliografia consultada. Esta tentativa de otimização do sistema sensor visava principalmente adquirir a informação numa região do espectro visível, onde a atenuação da radiação pela água do mar (local) fosse mínima; com isso, teríamos uma maior penetração da luz, e consequentemente, o sinal de re

torno ao sensor seria de uma profundidade maior.

Então, primeiro será feita uma revisão das propriedades físico-óticas da água do mar, a fim de se justificar a calibração de câmara Wild RC-10 utilizada na missão, e a seguir, será apresentado um resumo da missão. A análise dos dados obtidos será apresentada junto com a discussão geral dos resultados fotográficos deste trabalho.

2.2.1 - ATENUAÇÃO DA LUZ NA ÁGUA DO MAR

A interação da luz solar, através de suas várias formas (radiação direta, radiação espalhada pela atmosfera) com a água do mar já foi bem estudada por diversos autores, e um fato bem conhecido é a existência de uma região de maior transmissão ou menor atenuação, na região do azul-verde, com pequenas variações dependendo do tipo de água.

Duntley (1963) identifica dois mecanismos básicos independentes para esta atenuação: absorção e espalhamento.

A absorção é a perda de fótons por conversão em outra forma de energia como calor, energia potencial química, etc.; o espalhamento esta associado à perda dos fótons que tiveram a direção da sua trajetória original modificada, de tal forma que não possam contribuir para a formação da imagem.

O efeito global deste dois efeitos é expresso pelo coeficiente de atenuação volumétrico (α) que é definido por:

$$P_z^o = P_o \; e^{-\alpha z}$$

P_o - Fluxo radiante total de um raio colimado de luz monocromática incidindo em uma água macroscopicamente homogênea.

P_z^0 = Fluxo radiante residual que alcança um detetor colocado a uma distância z da fonte. O índice zero (0) indica espalhamento de ordem zero, ou seja, a luz que foi espalhada para fora do raio não alcança o detetor;

z = distância entre a fonte e o detetor;

α = coeficiente espectral de atenuação volumétrica, expresso em unidades de logaritmo natural por metro ($ln/_m$), ou unidades de logaritmo natural por pé ($ln/_{ft}$), dependendo das unidades métricas utilizadas.

Como citado anteriormente, α engloba os efeitos de absorção e espalhamento, podendo ser expresso por:

$$\alpha = a + s$$

α = coeficiente de absorção volumétrico

s = coeficiente de espalhamento volumétrico.

Clarke e James (1939) mediram a atenuação de várias amostras de água do mar e da água bidestilada.

As amostras de água do mar foram filtradas através de um filtro Berkefeld, de modo que este removesse todas as partículas em suspensão e fosse obtida água do mar pura.

As partículas em suspensão ("suspensoids") foram definidas como todas as partículas que são removidas por um filtro Berkefeld fino.

Os materiais que conseguiram passar pelo filtro ("filter--passing material") incluem substâncias em solução na água do mar, assim como matéria em suspensão tão pequena que não pode ser removida

pelo filtro. Ambos podem ser imaginados como produto da decomposição de "planckton", o qual é mais abundante nas regiões costeiras do que nas regiões oceânicas.

As amostras foram coletadas em diversas regiões do mar, desde a água costeira até a água oceânica. Foi obtida também água do mar artifical, adicionando-se sais à água bi-destilada, na seguinte proporção:

NaCl	26.40 g
K Cl	75 g
$Mg\ Cl_2$	3.15 g
$Mg\ SO_4$	2.07 g
$Ca\ SO_4$	1.33 g
	33.70 g
H_2O	966.30 g
	1 000.00 g

Algumas de suas conclusões foram:

a) A água do mar artificial exibe uma atenuação idêntica à água bidestilada, exceto para os pequenos comprimentos de onda, onde a atenuação é maior, provavelmente por causa das impurezas óticas (partículas em suspensão - Figura II.4).

b) A atenuação da água do mar pura, representada por amostras oceânicas, é praticamente idêntica à da água destilada (Figura II.5).

c) A atenuação de amostras medidas em laboratórios foi maior do que a observada no mar. Este fato, indubitavelmente causado pela decomposição das partículas orgânicas, que de semi

- Transparentes tornam-se opacas com o seu armazenamento, demonstra a necessidade de observações "in situ" para o preciso conhecimento das propriedades óticas da água do mar.

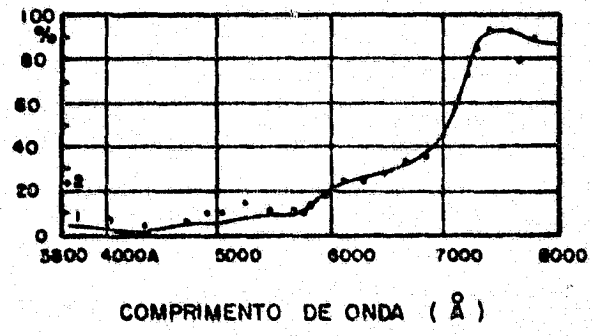


Fig. II.4 - Curva 1 - percentagem de absorção, por metro, de água bidestilada. Curva 2 - percentagem de absorção por metro da água do mar artificial.
Fonte: Clarke e James (1939), p. 49.

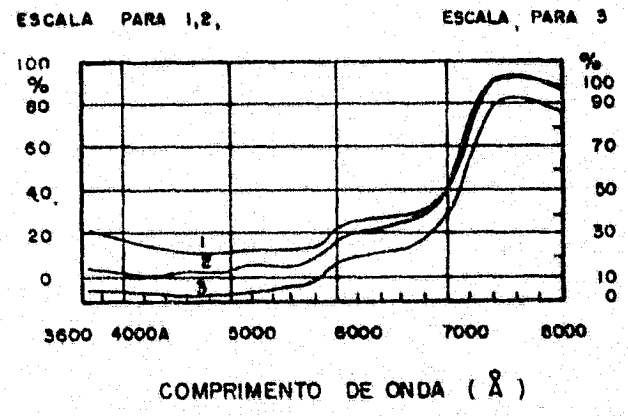


Fig. II.5 - Percentagem de absorção, por metro, da água do mar de Sargasso (água oceânica), e da água bidestilada. Curva 1- água do mar filtrada quando coletada e agitada. Curva 2 - água do mar filtrada após coletada. Curva 3 - água destilada.
Fonte: Clarke e James (1939), p. 46.

d) A diferença entre a atenuação de amostras da água do mar e da água destilada é causada, principalmente, pelos sólidos em suspensão ("suspensoids") nos comprimentos de onda de 8000 Å a 4730 Å, e entre 4730 Å e 3650 Å para águas oceânicas (Figura II.5). Entre 4730 Å e 3650 Å para as águas costeiras, torna-se efetiva a influência das partículas finas ("filter passing material") que, junto com as partículas em suspensão, exercem uma grande ação seletiva nos comprimentos de ondas menores (Figura II.6).

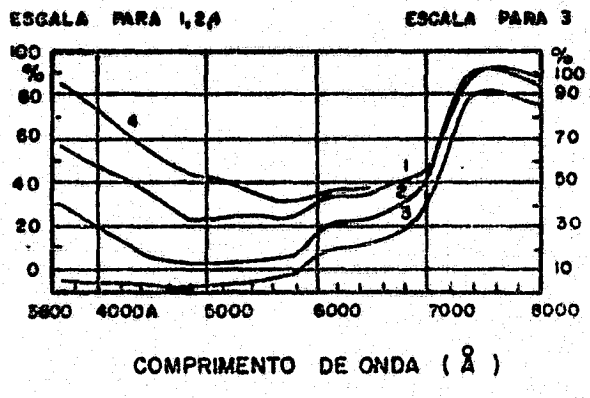


Fig. II.6 - Percentagem de absorção, por metro da água da plataforma continental (água costeira), e da água bidestilada. Curva 1 - não filtrada, agitada. Curva 2 - filtrada quando coletada, e antes de medir (filtro Berkefeld). Curva 3 - água bidestilada. Curva 4 - filtrada quando coletada e agitada. Fonte: Clarke e James (1939), p. 47.

Foi observado pelos autores que o aumento da atenuação da luz de menor comprimento de onda, nas águas costeiras, é devido principalmente, à maior presença das partículas finas ("filter-passing material"), ou a uma absorção seletiva dos pigmentos em solução, derivados da desintegração de células vegetais, ou a um processo de espalhamento seletivo, já que se tratam de partículas discretas bem pequenas (Figura II.6).

Hulburt (1945) mede os valores espectrais de α para três águas diferentes em todo o espectro visível:

a) Água pura ou água destilada: é uma água bidestilada, colocada em repouso durante vários dias, a fim de que suas impurezas óticas (partículas em suspensão) sejam decantadas e possam ser retidadas. Composta basicamente de moléculas de água.

b) Água costeira: coletada a 2.5 milhas náuticas a Leste da Costa da Flórida, U.S.A.

c) Água de baía: coletada na baia de, Chesapeake, U.S.A.

Os resultados são apresentados na Figura II.7.

A maior atenuação da água de baía, na região do azul, é indicada pelo autor como consequência da maior presença de materiais coloridos dentro da água, identificados como "plankton", através da absorção seletiva nos menores comprimentos de onda.

Duntley (1963) observa que a água possui uma importante janela de transmissão com o pico próximo a 450 nm, a menos que seja desviado para comprimentos de ondas maiores pelas substâncias amarelas dissolvidas ("yellow substances"). Estas substâncias, predominantes nas águas costeiras, consistem de ácidos húmicos, melanóides e outros componentes resultantes da decomposição de matéria orgânica. Lankes (1970) concorda com esta definição e adiciona ainda a propriedade das mesmas absorverem fortemente a radiação azul.

Kullenberg (1974), capítulo 2, observa que o espalhamento da luz no mar é, predominantemente, determinado por partículas em suspensão, maiores que os comprimentos de onda da região do visível ("particulate matter"), aonde se incluem os organismos biológicos transparentes ("plankton"). Em virtude disto, o espalhamento é virtualmente independente do comprimento de onda. Kullenberg, ainda, cita a maior concentração destas partículas em suspensão nas águas costeiras.

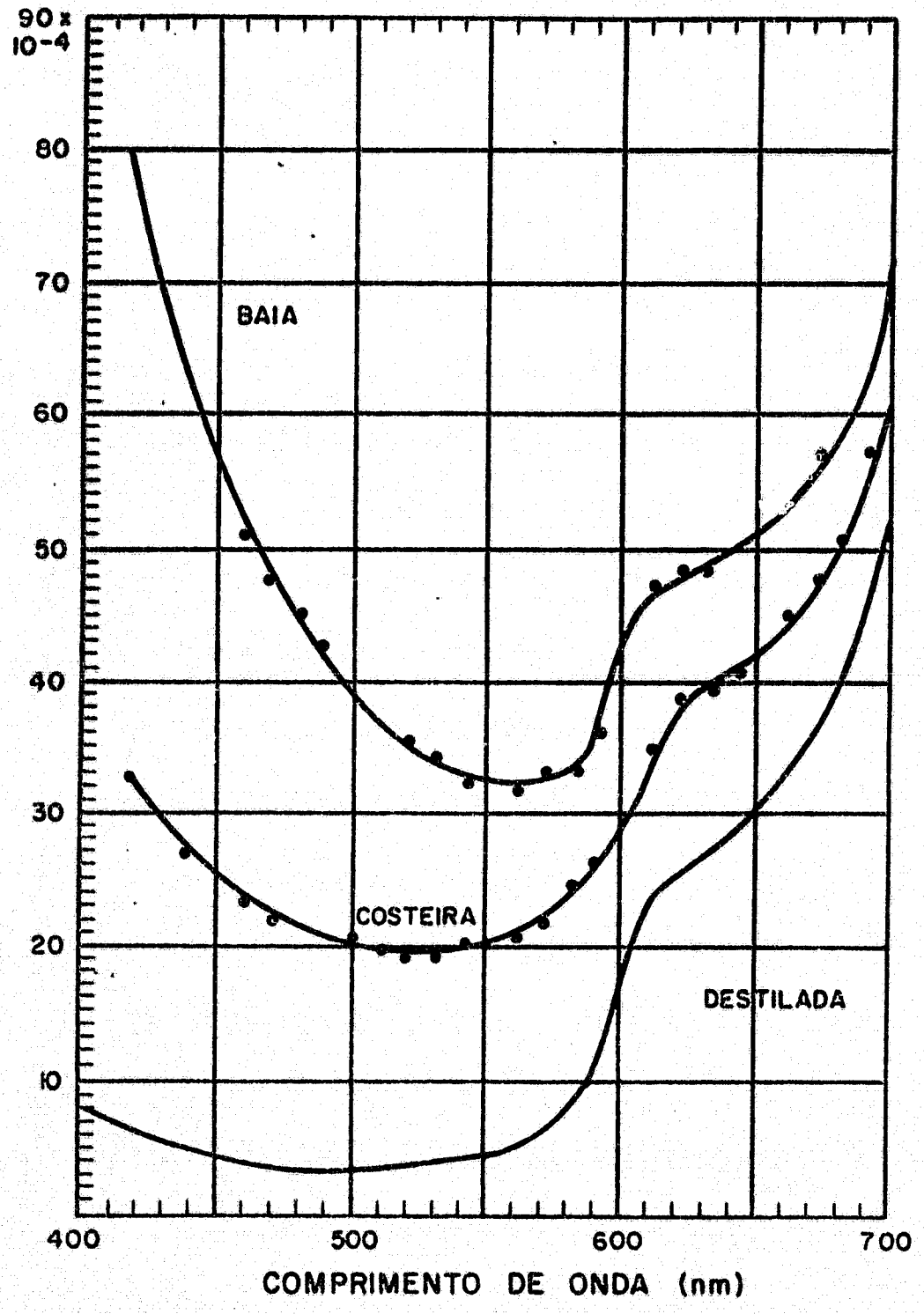


Fig. II.7 - Coeficiente de Atenuação (α) para amostras de água do mar e água destilada.
Fonte: Hulbert (1945), p. 700.

Specht et al. (1973) reunem os dados de atenuação dos quatro tipos de água, e os transformam em dados de transmitância para uma camada de 10 metros de água de cada tipo. Esta forma de apresentação oferece uma melhor visualização da atenuação sofrida pela luz incidir em determinado tipo de água (Figura II.8).

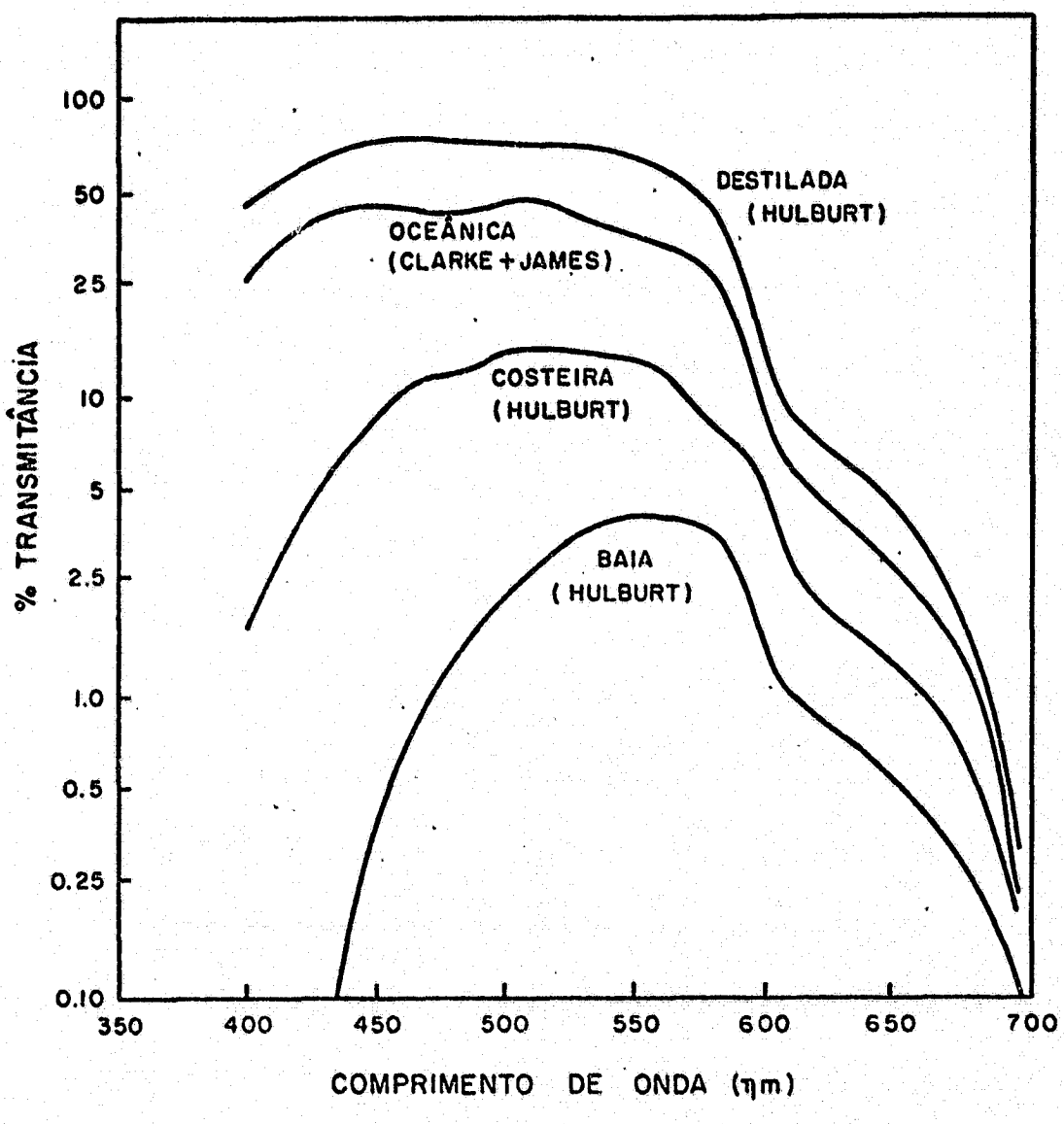


Fig. II.8 - Transmitância espectral para 10 metros di diversos tipos de água.
Fonte: Spetch et al. (1973), p. 24

Na Figura II.8, vê-se que à medida que se aproxima da costa, a atenuação da luz na água do mar aumenta em todos os comprimentos de onda, com um efeito sensivelmente maior nos comprimentos de onda menores (azul).

Este aumento geral pode ser provocado pelo aumento do espalhamento não seletivo (espalhamento Mie), devido à maior concentração das partículas em suspensão ("particulate matter", para Kullenberg; "suspensoids" para Clark e James). O espalhamento destas partículas é preferencialmente para a frente (Jerlov, 1968).

O maior aumento na região do azul deve ser consequência da maior concentração das substâncias amarelas dissolvidas ("yellow substances"), e das próprias partículas em suspensão, já que ambas absorvem fortemente esta radiação (Jerlov, 1968). É bom notar, ainda, que as partículas muito pequenas ("filter-passing material") podem provocar um espalhamento seletivo, proporcional a λ^{-4}, isto é, maior nos menores comprimentos de onda (espalhamento Rayleigh).

O espalhamento molecular total pode ser desprezado, pois, representa 7% do total e é fortemente mascarado pelo espalhamento não seletivo, devido às partículas em suspensão (Duntley, 1963; Kullenberg, 1974). Contudo, para grandes ângulos de espalhamento (retro-espalhamento), ele tem uma significativa contribuição (Jerlov, 1968; Kullenberg, 1974).

Conclui-se, então, que a água do mar, através dos seus mecanismos de absorção e espalhamento, atua como um filtro ótico para a energia radiante do visível, atenuando fortemente os comprimentos de onda do vermelho e do azul, estes últimos dependendo do tipo de água. O máximo de transmissão da água oceânica clara coincide com o da água destilada e ocorre nas proximidades do comprimento de onda de 480 nm. As águas de baía têm uma atenuação maior, e o seu máximo de transmissão é deslocado para cerca de 550 nm ou mais, devido, principalmente,

à maior presença de produtos dissolvidos da decomposição de materiais orgânicos ("yellow substances") e de partículas em suspensão.

A transmissão da luz na água do mar é um assunto muito mais complexo do que foi colocado aqui, inclusive com a existência de variáveis importantes que não foram citadas, como o coeficiente de atenuação da irradiância difusa (k). Porém para o objetivo deste trabalho, as noções fundamentais obtidas através as simplificações feitas, tornam-se satisfatórias.

2.2.2 - MISSÃO HIDROSERE-II

2.2.2.1 - DESENVOLVIMENTO GERAL DA MISSÃO

A missão Hidrosere-II foi realizada no período de 22 a 30 de setembro de 1977, na área de estudo do Banco das Enseadas do Cabo Frio (Figura II.9).

Constou basicamente de três sobrevôos a 3000 pés de altitude obtendo dados de dois sistemas fotográficos, câmera métrica Wild RC-10 e câmara multiespectral I^2S. Além dos sobrevôos foram realizadas medições de irradiância solar incidente na área, radiância emergente da água do mar e sondagens batimétricas.

Na Tabela II.1 segue um quadro geral dos vôos realizados.

Por ocasião da missão foram lançados na área oito alvos de superfície, a fim de auxiliar o posicionamento das fotos. Foram confeccionados com pranchas de ISOPOR de 1,0m x 0.5m, e fixados com poitas de aproximadamente 30 kg (latas de 20 l cheias de concreto). Destes oito (8) alvos, dois (2) se perderam poucas horas após o lançamento, sendo que seis (6) resistiram até o final da missão.

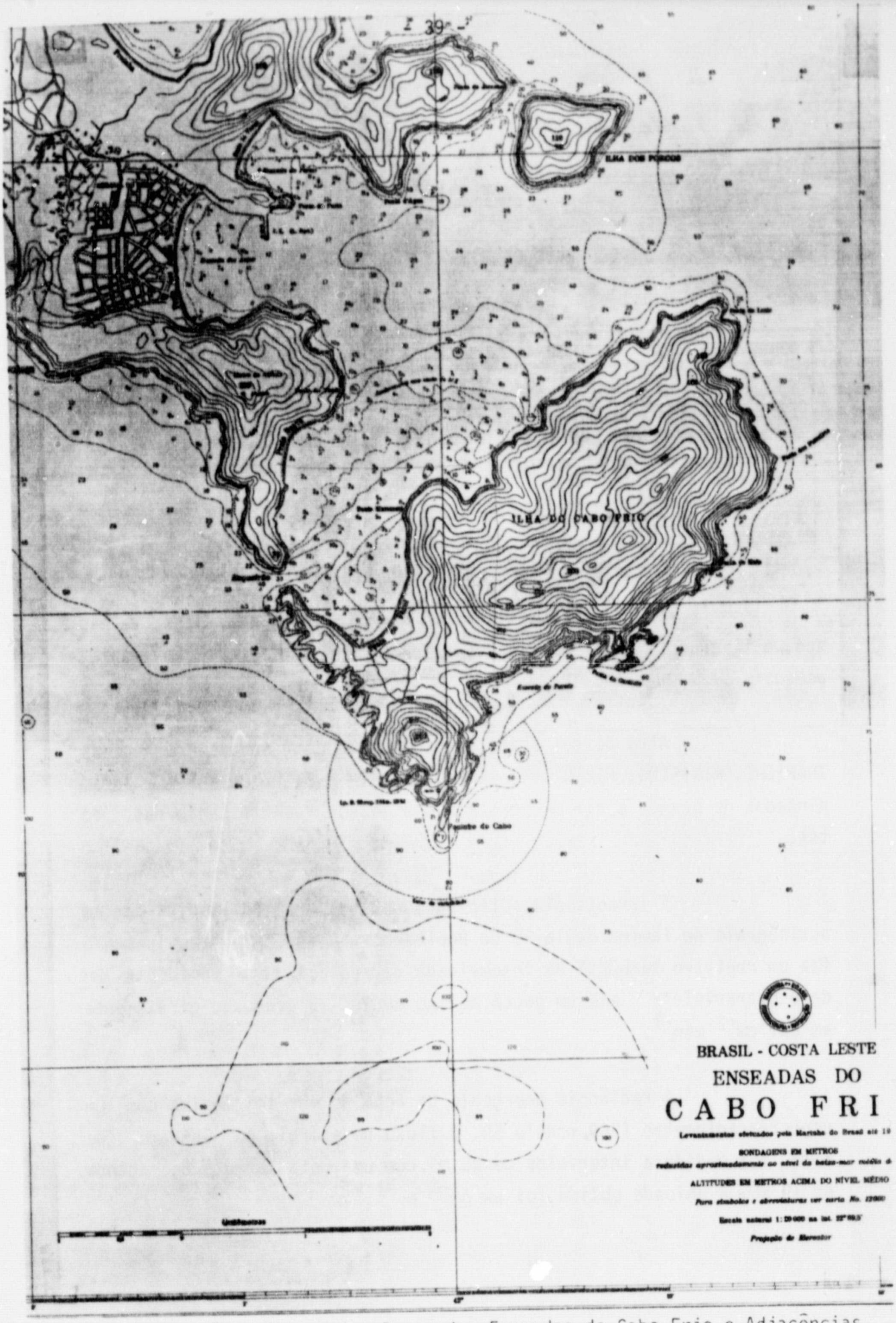


Fig. II.9 - Área de Estudo: Banco das Enseadas do Cabo Frio e Adjacências
Escala 1:400000.
Fonte: Carta DHN-1503 - Enseadas do Cabo Frio - escala 1:20000

TABELA II.2

SOBREVÔO DA MISSÃO HIDROSERE-II

SOBREVÔO	DIA	HORA INÍCIO	DURAÇÃO	ALTITUDE (PÉS)	OBSERVAÇÃO
Alfa-1	27/09/77	$09^h:00^m$	$00^h:50^m$	3.000	
Alfa-2	28/09/77	$09^h:05^m$	$00^h:55^m$	3.000	
Alfa-3	29/09/77	$08^h:55^m$	$00^h:45^m$	3.000	

Os seis restantes foram identificados nas fotos da missão, e tiveram as suas coordenadas determinadas por interseção à vante, as quais se seguem na Tabela II.3.

Além destes alvos, os pontos de coordenadas conhecidas TRAPICHE, MINISTRO, FILTRADOR, IKEDA, ATALAIA E PEDRA DO MASCA, foram pintados de branco a fim de permitir uma melhor identificação nas fotos.

A irradiância solar incidente na área foi medida com um actinógrafo de lâmina dupla 58 dc Robitzch - Fuess. Este equipamento faz um registro temporal da intensidade de radiação total incidente, desde o ultravioleta até um pouco abaixo de 2μ. É graduado diretamente em cal cm^{-2} min^{-1}.

A radiância emergente da água do mar foi medida com um espectroradiômetro ISCO, modelo SR. O fluxo de energia por unidade de área foi medido a intervalos de 25 mμ, com uma meia largura de banda de 15 mμ. A unidade obtida foi μw cm^{-2} $m\mu^{-1}$.

TABELA II.2

COORDENADAS GEOGRÁFICAS E UTM DOS ALVOS DE SUPERFÍCIE

	LATITUDE (SUL)	LONGITUDE (OESTE)	N	E
BOIA nº 1	22°58'47".364	042°00'03".805	7455536.888	807492.976
BOIA nº 2	22°58'41".830	041°59'48".966	7455698.586	807919.364
BOIA nº 3	22°58'44".214	041°59'26".132	7455611.844	808568.[illegible]
BOIA nº 4	22°59'00".997	041°59'42".411	7455104.800	808094.093
BOIA nº 5	22°59'01".085	042°00'01".826	7455113.429	807540.724
BOIA nº 6	22°59'13".455	042°00"00".225	7454731.721	807578.563

A área de estudo foi sondada com um ecobatímetro Kelvin-Hughes MS-26-F, portátil. Este equipamento obtém um registro contínuo da profundidade, com precisão de 20 cm.

Informações mais detalhadas sobre a missão, poderão ser encontradas no relatório de Meireles et al.(1978).

2.2.2.2 - FOTOS DA CÂMARA MÉTRICA WILD RC-10

Na Tabela II.4 estão os parâmetros da câmara RC-10, na missão Hidrosere-II. O excesso de recobrimento foi para evitar os efeitos da reflexão solar direta ("sungliter").

TABELA II.4

CÂMARA MÉTRICA RC-10

OBJETIVA	FILME	FILTRO	ESCALA	RECOBRIMENTO LONGITUDINAL	RECOBRIMENTO LATERAL
152 mm	KODAK 2403	W58	1/6000	65%	65%

Em cada um dos sobrevôos foi utilizada uma exposição diferente (Tabela II.5), fixando-se a abertura e variando o tempo de exposição.

TABELA II.5

SOBREVÔOS COM RESPECTIVAS EXPOSIÇÕES

SOBREVÔO	f	TEMPO DE EXPOSIÇÃO
ALFA-1	5.6	1/300
ALFA-2	5.6	1/400
ALFA-3	5.6	1/200

Ao se planejar a missão, calibrou-se a câmara com o propósito de alcançar o máximo rendimento do sistema, na obtenção de informações da profundidade do mar, isto é, que fosse detectada a maior profunidade possível.

A energia do sol penetra na camada de água, sofre uma atenuação seletiva, como explicado no item 2.2.1 deste trabalho, e se reflete no fundo. Esta energia refletida, que traz informações do fundo, retorna à superfície, sofrendo as mesmas atenuações da energia incidente (camada de água, atmosfera, etc). Em consequência, o fluxo radiante que alcança o sistema sensor é duplamente atenuado pela camada de água nas suas duas trajetórias: a de penetração até o fundo e a de retorno do fundo. À medida que a profundidade vai aumentando, o nível desta energia vai decrescendo, até um ponto em que estará tão baixo que a sensibilidade do sistema não conseguirá separar os sinais provenientes de duas profundidades diferentes. Chega-se assim, a uma saturação do sistema para obtenção de dados de profundidade.

Então, o que se tentou realmente na missão foi otimizar o sistema sensor, de modo que este ponto de saturação ocorresse na maior profundidade possível. Partiu-se de várias premissas, algumas retiradas da revisão bibliográfica sobre o assunto e outras explorando o aspecto lógico da questão, que explicam a escolha de diversos parâmetros da missão: filme, filtro, altitude de vôo, exposição, condições meteorológicas, hora do vôo.

a) Filme

O filme deveria ser uma emulsão com sensitividade na região do visível e bem rápido (muito sensível), devido ao baixo nível de radiância que se pretendia detetar, mesmo que se perdesse um pouco na resolução do sistema. Outra característica é que o filme deveria ser facilmente obtido, de acordo com as necessidades práticas explanadas no ítem 2.1.

O filme selecionado foi o "KODAK TRI - X AEROGRAPHIC FILM 2403 (ESTAR BASE)" que, segundo o fabricante, é definido como um filme pancromático, negativo, com alta sensibilidade e sensitividade, estendida até o vermelho (KODAK, 1971). A emulsão foi processada na máquina "KODAK VERSAMAT FILM PEOCESSOR", modelo 11, química 641, a 81° F, (1 RACK), 5FPM.

b) Filtro

A principal função do filtro seria retirar do detetor a energia que não conseque penetrar na camada de água, oriunda de outras fontes, principalmente da reflexão superficial no mar.

Esta energia é indesejável porque aumenta o nível da irradiância na emulsão, mascarando a informação de baixo nível que vem das profundidades maiores (perda de contraste).

Deveria ser uma filtro com uma banda de transmissão coincidente com a janela de transmissão da água da área de estudo (item 2.2.1). Como não se tinha nenhum dado conhecido sobre as condições da água da área, a não ser a sua ótima transparência comprovada por inspeção visual, resolveu-se adotá-la como uma água entre o tipo costeira e o tipo de baía, logo, com um máximo de transmissão entre 500 nm e 550 nm.

O filtro selecionado foi o WRATTEN-58, cuja banda de transmissão está compreendida entre 470 nm e 610 nm, e com o máximo situado nas proximidades de 525 nm, o que concorda com os dados de água costeira e de baía, apresentados na Figura II.8.

A Figura II.10 apresenta a curva de transmissão do filtro WRATTEN-58 (EASTMAN KODAK COMPANY, 1970 a).

c) Altitude de vôo

A altitude de vôo foi calculada para ser a menor altitude em que se poderia voar, sem haver problema de efeito de arrastamento na imagem.

Este procedimento visava exclusivamente colocar entre o avião e a superfície do mar a menor camada atmosférica possível, a fim

de diminuir ao máximo a interferência desta sobra o fluxo de energia, no percurso superfície do mar sensor.

A altitude determinada foi de 3.000 pés ou aproximadamente 100 metros.

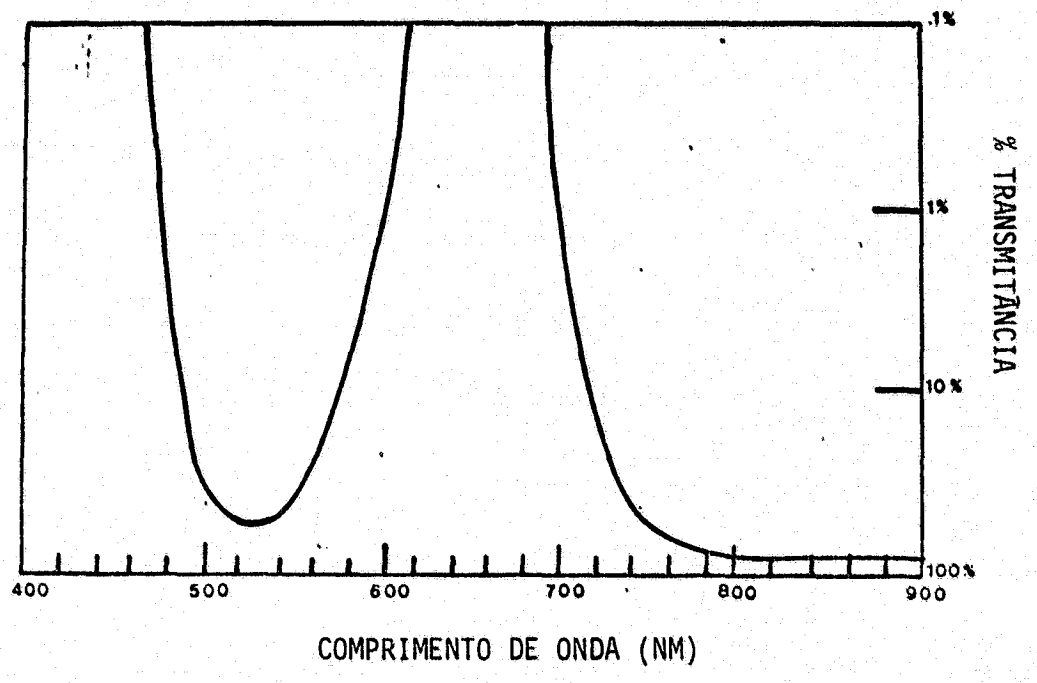


Fig. II.10 - Curva de transmissão do filtro WRATTEN-58
Fonte: EASTMAN KODAK COMPANY (1970a),p. 78

d) Exposição

Yost e Wenderoth (1968, 1970b) assinalam a necessidade de se trabalhar com fotografias superexpostas, quando o objetivo é a deteção de objetos submersos. Isto é facilmente compreensível devido ao baixo nível de radiância da informação desejada, fazendo com que a mesma fique na parte não linear do pé da curva característica, diminuindo o contraste.

Utilizando-se o computador de vôo (EASTMAN KODAK COMPANY, 1970b), foi determinada uma exposiçaõ base (abertura e tempo de exposição), como se o vôo fosse realizado para fotografar alvos de superfície. Os valores determinados foram f/8 para a abertura, e 1/300 para o tempo de exposição.

A abertura base f/8, foi aumentada para f 5.6, procedendo-se à superexposição. Devido à necessidade de se garantir que as exposições relativas aos pontos do banco caíssem na parte reta da curva característica do filme utilizado, condição necessária ao desenvolvimento do modelo linear do item 2.4, e devido ao não conhecimento dos valores destas exposições, selecionou-se, a partir do tempo de exposição base (1/300), um maior (1/200) e um menor (1/400), sendo realizado um sobrevôo com cada um deles.

Os vôos com as respectivas exposições são apresentados na Tabela II.5.

e) Condições meteorológicas

As condições ideais são de um dia com o céu totalmente limpo, e o mar calmo.

O céu limpo é devido à necessidade da maior iluminação possível sobre a área.

O mar calmo é desejado, a fim de que não se tenha nenhuma rugosidade na superfície, que dificulta a penetração da luz e aumenta a reflexão superficial, condições não ideais para este trabalho.

A época selecionada foi o mês de setembro, onde existe a menor presença de nuvens na área, segundo uma análise dos dados meteorológicos da região, fornecidos pela Companhia Álcalis do Rio de Janeiro, sediada em Arraial do Cabo.

A condição de mar clamo era esperada para os dois dias que antecedem a passagem de uma frente fria, em que há uma "rondada" do vento Nordeste para Sudoeste, ocorrendo neste intervalo uma parada do mesmo.

f) Hora do vôo

Era desejada a hora em que o sol estivesse mais alto, sem provocar uma reflexão direta na câmara. Este procedimento visava a maior quantidade possível de energia incidente sobre a área.

A hora foi obtida através de nomogramas de altura solar (Steffen, 1978), e determinada como limite máximo para um vôo pela manhã, 10 h e, como limite mínimo para um vôo à tarde, 15 h, isto para a época da realização da missão.

2.3 - IMAGENS LANDSAT

As imagens analisadas do MSS-LANDSAT (item 2.1.2) foram da órbita 122, ponto 28, que cobrem aproximadamente a costa Sudeste entre Cabo de S. Tomé e a Baía de Guanabara. As imagens efetivamente utilizadas estão apresentadas na Tabela II.6.

Todas as três imagens foram obtidas em baixo ganho ("Low-Gain Mode"), pelo satélite LANDSAT-2. Foi solicitado à NASA que a passagem de 25 de setembro de 1977, coincidindo com a presença da missão Hidrosere-II na área, fosse obtida em alto ganho ("High-Gain Mode"), originando uma espécie de imagem superexposta (o ganho dos amplificadores é aumentado de uma fator 4). Infelizmente estas imagens não puderam ser utilizadas devido à grande quantidade de nuvens presentes na área, no momento da passagem do satélite.

TABELA II.6

IMAGENS LANDSAT UTILIZADAS

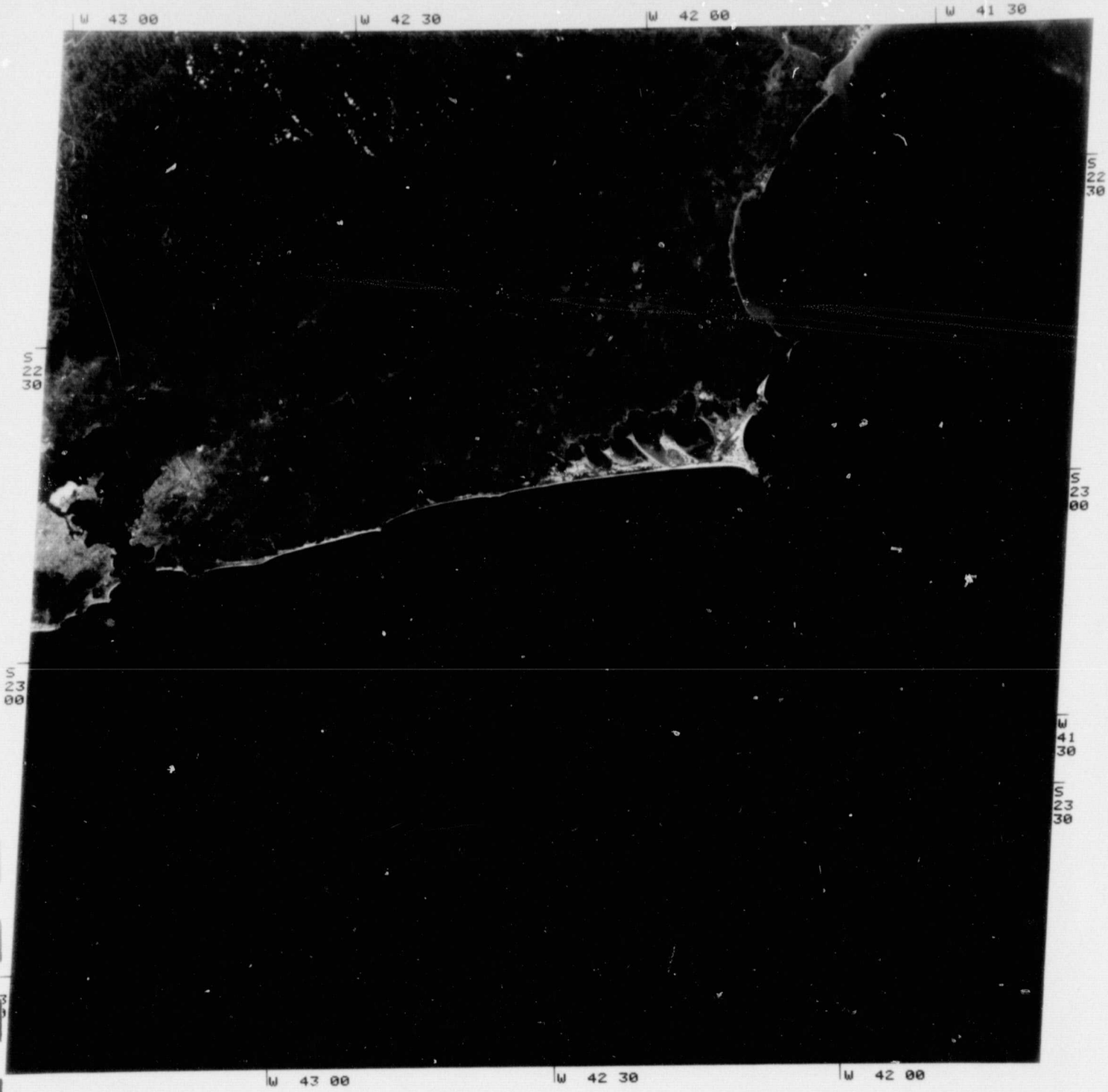
IMAGENS LANDSAT Nº	DATA DA PASSAGEM	COBERTURA DE NUVENS
2-77070/114922	11.03.77	0%
2-77160/114444	09.06.77	10%
2-77196/114257	15.07.77	20%

As três imagens compreendem três situações distintas, as quais podem ser vistas em uma análise visual das cópias em papel fotográfico preto e branco na escala 1:500.000, canal 4.

1) Imagem 11/03/77: foi a melhor das três imagens, com pouca presença de nuvens, e uma concentração de particulas em suspensão, relativamente baixa na área de estudo (Figura II.11).

2) Imagem 09/06/77: esta imagem possui uma cobertura de 10% de nuvens, que se limita ao canto inferior direito da imagem, sem atingir a área de estudo. Pode-se notar porém, uma presença maior de sedimentos na área (Figura II.12).

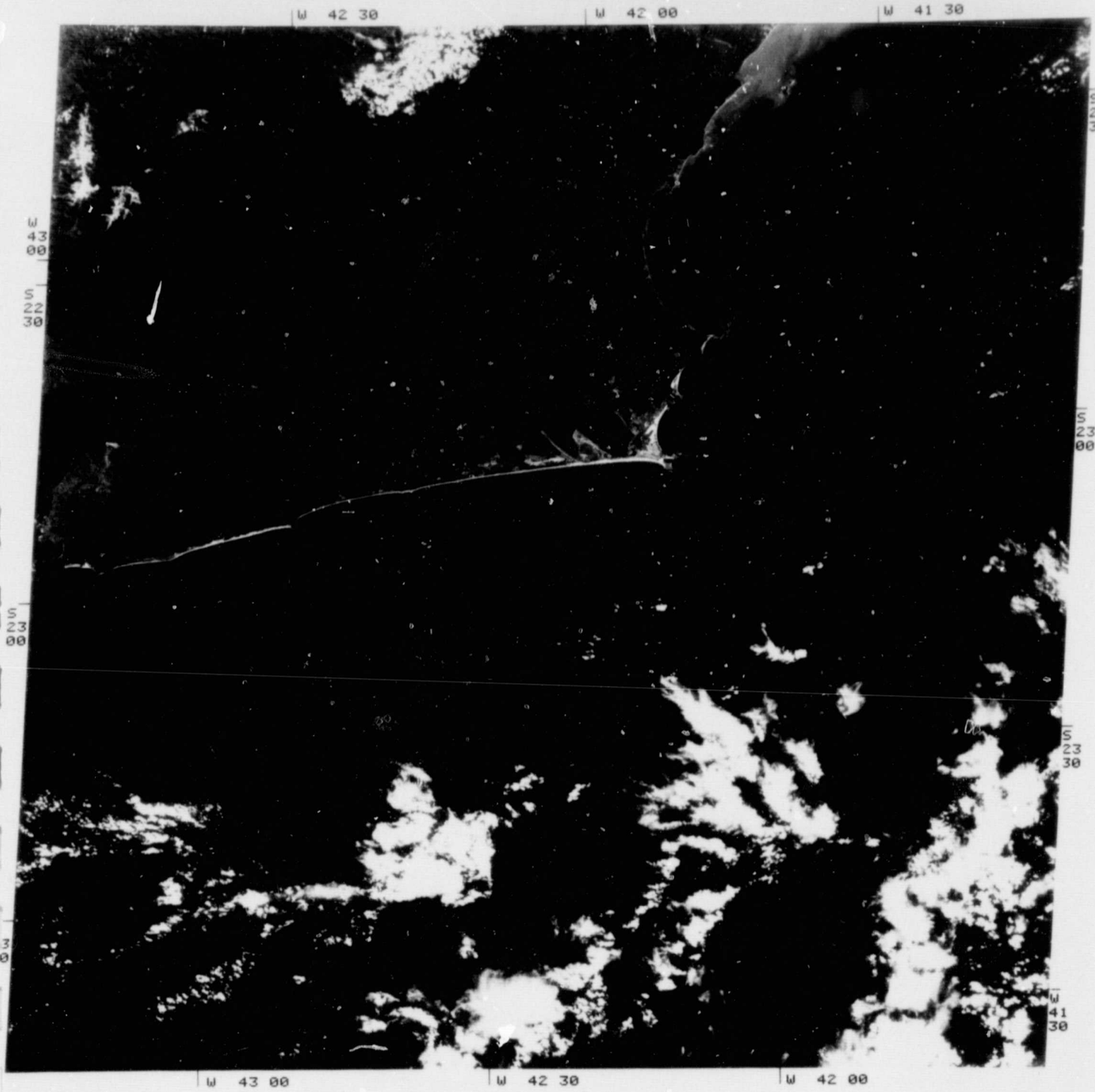
É interessante notar que este sedimento não provém do Norte (descarga do rio Paraíba do Sul), como é mais comum nesta região devido à maior frequência de vento do quadrante Norte, e sim do Oeste (descarga da Baía da Guanabara). Isto pode ser explicado pela presença, na área, de um vento Oeste, como pode ser visto pela direção da fumaça da chaminé da Companhia Álcalis do Rio de Janeiro. A análise dos dados



ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

11MAR77 ORB 122 PT 28+ N: S22-58/W042-20 MSS 4 SOL: EL40 A2074 B 190 LC 10859 INPE/LANDSAT 277070-114922-4
CORR. GEOM. PARC. R01 N =BRASIL= 22DE277 CENA 004

Fig. II.11 - Cópia em papel fotográfico preto e branco da imagem MSS - LANDSAT do dia 11/03/77 - Canal 4



09JUN77 ORB 122 PT 28 C: S23-04/W042-13 MSS 4 SOL: EL25 A2047 B 190 LC 12114 INPE/LANDSAT 277160-114444-4
N: S23-01/W042-16 R02 N =BRASIL= 27SET77 CENA 004

Fig. II.12 - Cópia em papel fotográfico preto e branco da imagem MSS - LANDSAT do dia 09/06/77 - Canal 4

meteorológicos da própria companhia confirma o fato, e indica a presença de vento Sul rondando para Oeste nos dois dias anteriores.

d) Imagens 15/07/77: esta imagem apresenta grande quantidade de nuvens, em forma de névoa, inclusive sobre a área de estudo. A presença ou não de sedimentos ficou mascarada por esta névoa (figura II.13).

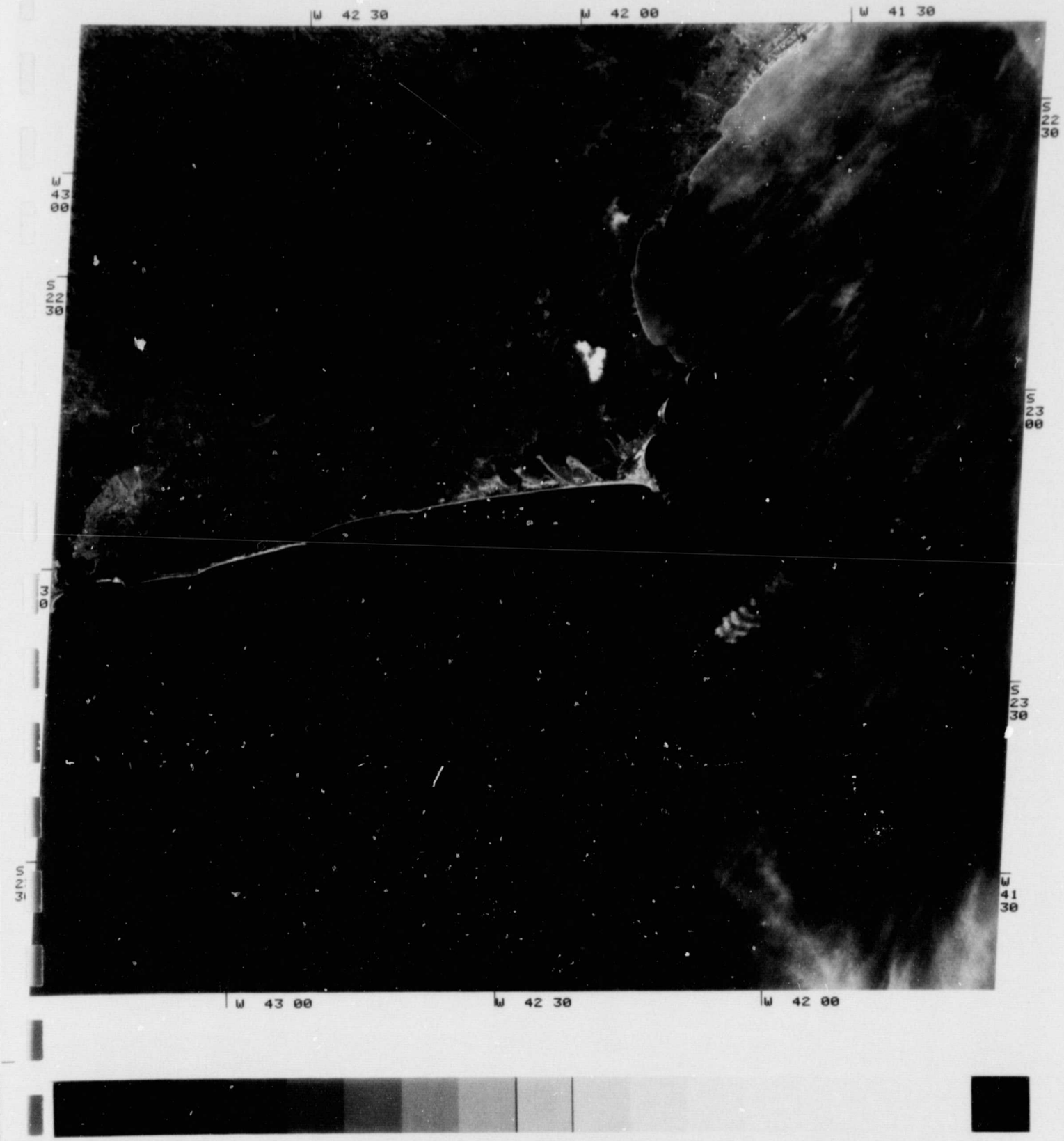
As imagens para a análise estão na forma de fitas magnéticas compatíveis com computador (CCT). As cópias em papel fotográfico ou as transparências, mesmo na escala de 1:250.000, não fornecem condições de uma interpretação visual do Banco das Enseadas do Cabo Frio, devido às reduzidas dimensões do mesmo. Entretanto, as fitas magnéticas CCT, analisadas no sistema I-100 (item 2.5.1), permitiram o trabalho em uma escala aproximada de 1:20.000.

2.4 - MÉTODO FOTOGRÁFICO

A luz do sol, ao incidir sobre uma superfície de água, nela penetra sofrendo as mais variadas interações (item 2.2.1). Parte desta energia consegue alcançar o fundo, é refletida, e retorna à superfície, podendo ser detetada por um sistema sensor. Esta parte, ao alcançar o sistema, leva vários tipos de informações, inclusive da espessura da camada de água que atravessou (profundidade), devido à atenuação sofrida (Figura II.14).

Diversos autores tentaram relacionar, matematicamente, a interação desta energia radiante com a água do mar. Diferentes simplificações e métodos empregados resultaram em modelos diversos, mas existe um consenso quanto à existencia de uma *relação exponencial* entre a energia resultante e o comprimento da camada de água atravessada (profundidade).

Moore (1947) propõe um modelo, relacionando o brilho da fotografia, de um ponto submerso, a uma profundidade z (B_z), para um determinado comprimento de onda:



5JUL77 ORB 122 PT 28 C: S23-03/W042-14 MSS 4 SOL: EL25 A2049 B 190 LC 12616 INPE/LANDSAT 277196-114257-4
N: S23-00/W042-17 R01 N =BRASIL= 09DE277 CENA 009

LANDSAT do dia 09/06/77 - Canal 4

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

64

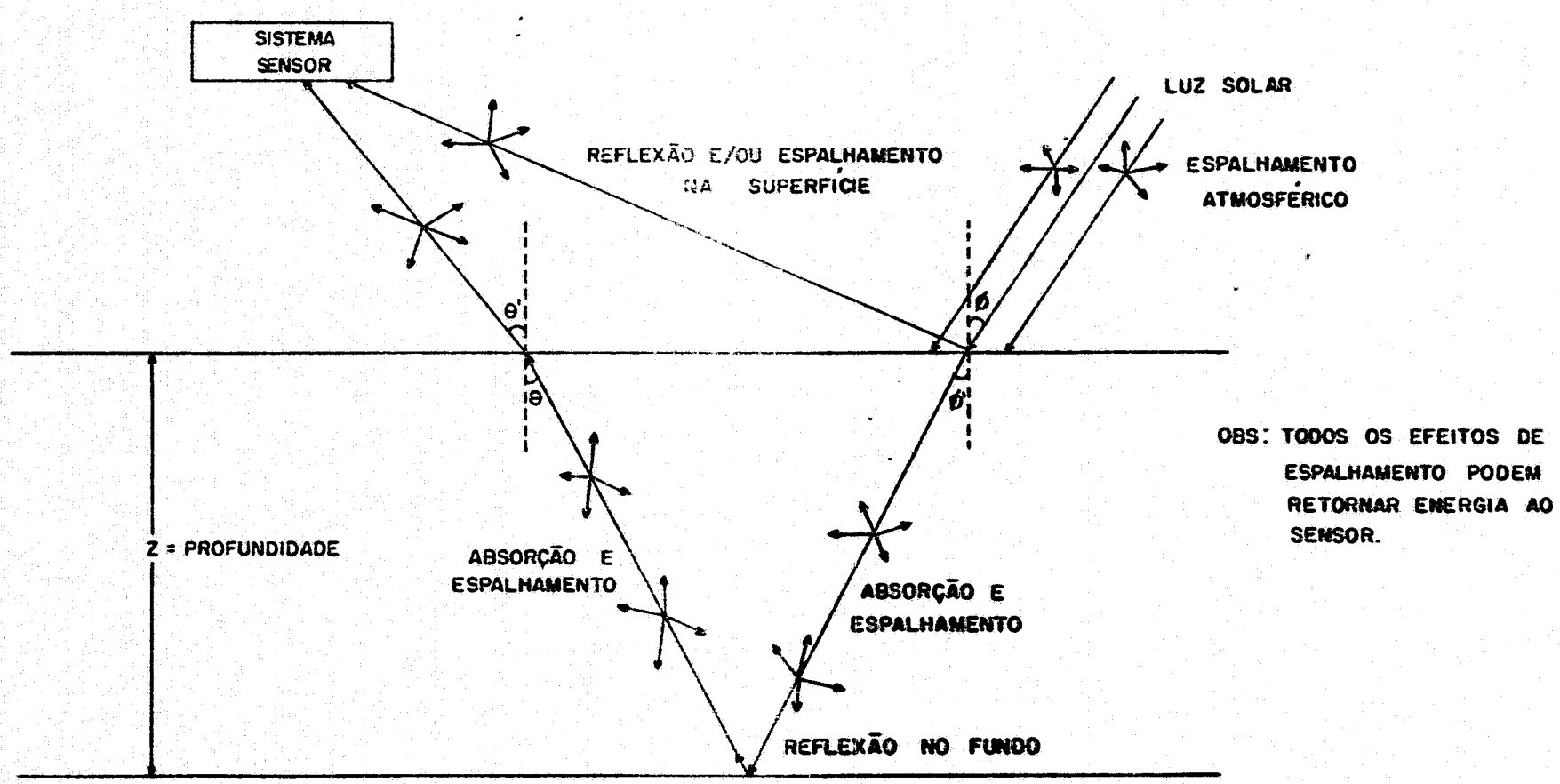


Fig. II.14 - Interações de um raio de luz solar com a camada de água

$$B_z = I_0 \left((a + b)\ 10^{-2(\alpha + \beta)z}\right)$$

onde:

I_0 = intensidade da luz em uma superfície horizontal a nível do observador, incidindo sobre uma superfície de água.

$(\alpha + \beta)$ = coeficiente de extinção

a e b = constantes relativas a cada situação ambiental

Prewett et al. (1973) apresentam um modêlo para a radiância emergente da superfície do mar em uma determinada direção θ' $(L'(\theta'))$, resultante da incidência da energia solar em um ponto de profundidade z, tomando em consideração somente os efeitos de refração, absorção da água e reflexão no fundo, da radiação solar.

$$L'(\theta') = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \frac{\rho E}{\pi} e^{-\alpha(\sec\theta + \sec\phi)z}$$

n_1 = índice de refração do ar

n_2 = índice de refração da água

ρ = reflectância difusa do fundo

E = irradiância incidente na superfície da água

α = coeficiente de atenuação da água

θ = ângulo que raio refletido no fundo faz com a normal, ao alcançar a superfície do mar.

66

ϕ = ângulo zenital da radiação solar.

Austin (1974) deduz uma fórmula para a irradiância, que deixa a superfície do mar logo acima dela (E_w), em relação à irradiância que incide neste mesmo nível (E_s). Após diversas simplificações, tem-se:

$$E_w = E_s \cdot R(s,w,b)$$

onde:

$$R(s,w,b) = 0.02 + 0.52 \left[R_w + T_w^2 R_b \right]$$

$$T_w = e^{-kz}$$

então:

$$R(s,w,b) = 0.02 + 0.52 \left[R_w + e^{-2kz} Rb \right]$$

R_w = reflectância da água (independe da profundidade)

R_b = reflectância do fundo

k = coeficiente de atenuação total da irradiância

z = profundidade da região

Pode-se citar ainda Duntley (1963), Williams (1970), como autores que se dedicaram ao estudo deste tipo de problema.

Se forem considerados somente os efeitos de refração, absorção da água e reflexão no fundo, negligenciando-se os efeitos de espalhamento e reflexão superficial tem-se o modelo de Prewett et al. (1973), que pode ser escrito na forma:

$$E_e = A \; e^{-Bz} \qquad \text{(II.1)}$$

E_e ⟶ Energia emergente de um ponto na superfície do mar, oriunda da incidência da energia solar em um ponto de profundidade z.

A e B ⟶ Constantes relativas à cada ponto. Considerando-se que na área de estudo existe uma uniformidade de condições de iluminação, qualidade da água, fundo, etc., A e B serão considerados constantes para toda a área.

Esta quantidade de energia (E_e) alcança o detetor de um sistema fotográfico após interagir com a camada atmosférica, com as lentes da objetiva e com os filtros, dando a exposição daquele ponto na foto. Admitindo que os efeitos citados são multiplicativos, isto é, não adicionam nenhum termo à equação (II.1), pode-se escrever, para a exposição: que:

$$E_i = C \; e^{-Fz_i}$$

E_i ⟶ exposição no filme correspondente a um ponto no fundo do mar.

C e F ⟶ constantes relativas à cada ponto. Considerando-se a uniformidade de condições ambientais, C e F são constantes para toda uma área.

68

Da curva característica do filme, pode-se retirar uma relação linear entre a densidade e o logaritmo da exposição, num determinado intervalo de valores de exposição (porção reta da curva - Figura II.15).

Logo:

$$D_i = a + \gamma \log_{10} E_i \qquad (II.3)$$

Substituindo II.2 em II.3

$$D_i = a + \gamma \log_{10} C \; e^{-Fz_i}$$

$$D_i = a + \gamma \log_{10} C + \gamma \log_{10} e^{-Fz_i}$$

$$D_i = a + \log C - \gamma Fz_i \log_{10} e$$

Reunindo-se os termos constantes

$$D_i = b - c\, z_i \qquad (II.4)$$

Ou, de uma forma mais geral:

$$D_i = a' + b' z_i$$

$a' \rightarrow$ coeficiente linear da reta

$b' \rightarrow$ coeficiente angular da reta

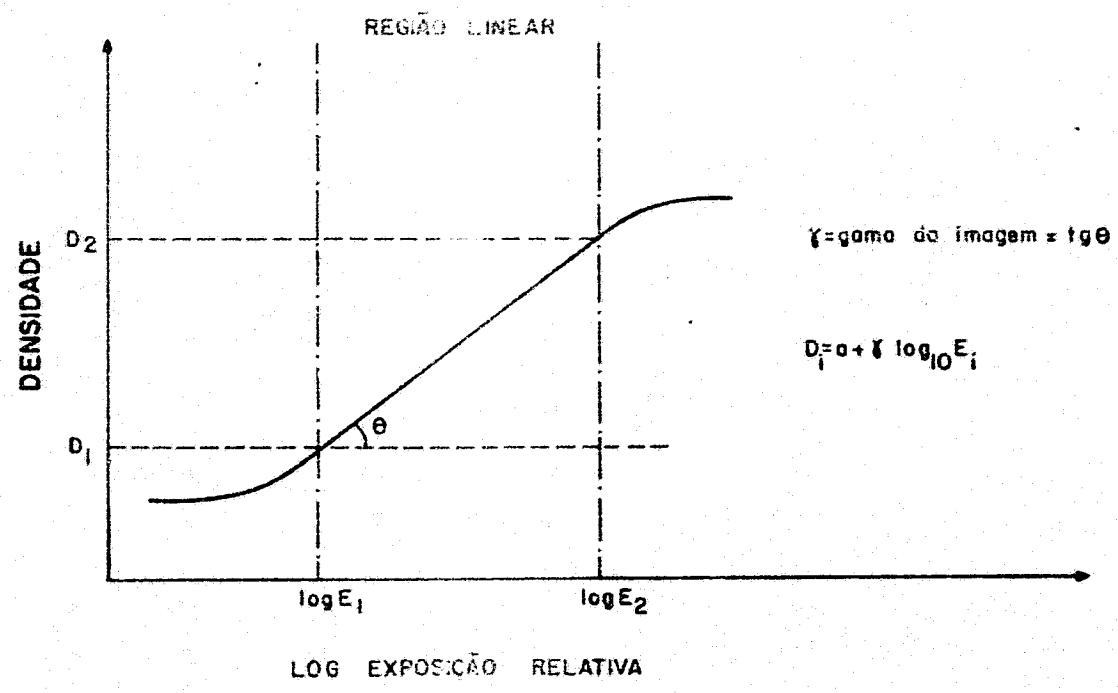


Fig. II.15 - Curva característica de um filme

De acordo com as simplificações feitas, existe uma relação linear entre a profundidade de um ponto e a sua respectiva densidade fotográfica. Assim, a flutuação dos valores reais em torno da reta, serão devidos a erros introduzidos pela variação das condições ambientais de um ponto para o outro, pela reflexão superficial e pelos efeitos de espalhamento, parâmetros não considerados no desenvolvimento do modêlo linear.

Então, o método de análise das fotografias consistiu em se fazer uma amostragem de pontos sobre a área de estudo, de profundidades conhecidas, e medir a densidade fotográfica relativa aos mesmos pontos nas fotos obtidas pela missão Hidrosere-II.

De posse deste dados, fez-se uma regressão linear entre as variáveis (tanto a variável dependente sendo a densidade, e a variável independente sendo a profundidade, como vice-versa), e determinou-se o quanto as equações lineares obtidas descrevem a relação existente entre as duas variáveis, ou seja, a correlação entre elas (Spiegel, 1976).

Os pares de valores (densidade-profundidade) para os pontos de amostragem, foram retirados da superposição de uma transparência positiva, que imageia a área através uma projeção cônica, à Folha de Bordo B - 1500-2/72 - Banco das Enseadas do Cabo Frio, que posiciona os pontos através uma projeção ortogonal.

Esta diferença de projeções, ocasiona um deslocamento horizontal nos pontos de profundidade (Figura II.16) devido à reflexão no fundo e refração, o qual foi desprezado em virtude da técnica de obtenção dos dados, como explicado nos ítens posteriores.

Do coeficiente de correlação obtido, pode-se perceber o quanto a variação na densidade entre dois pontos, é explicada pelas diferentes profundidades dos mesmos (variação explicada). Os efeitos simplificados no desenvolvimento do modêlo linear, introduzem para cada

ponto de uma variação, que é a parte não explicada da variação total.

Do modelo linear, em que a profundidade é função da densidade, pode-se inferir a profundidade desconhecida de um ponto, através da sua densidade fotográfica medida em laboratório. O erro cometido nesta inferência foi determinado pelo cálculo dos limites de confiança de 95% para o valor previsto. Estes limites subentendem um intervalo de valores de profundidade, dentro do qual pode-se dizer que está o valor correto para o ponto com 95% de certeza.

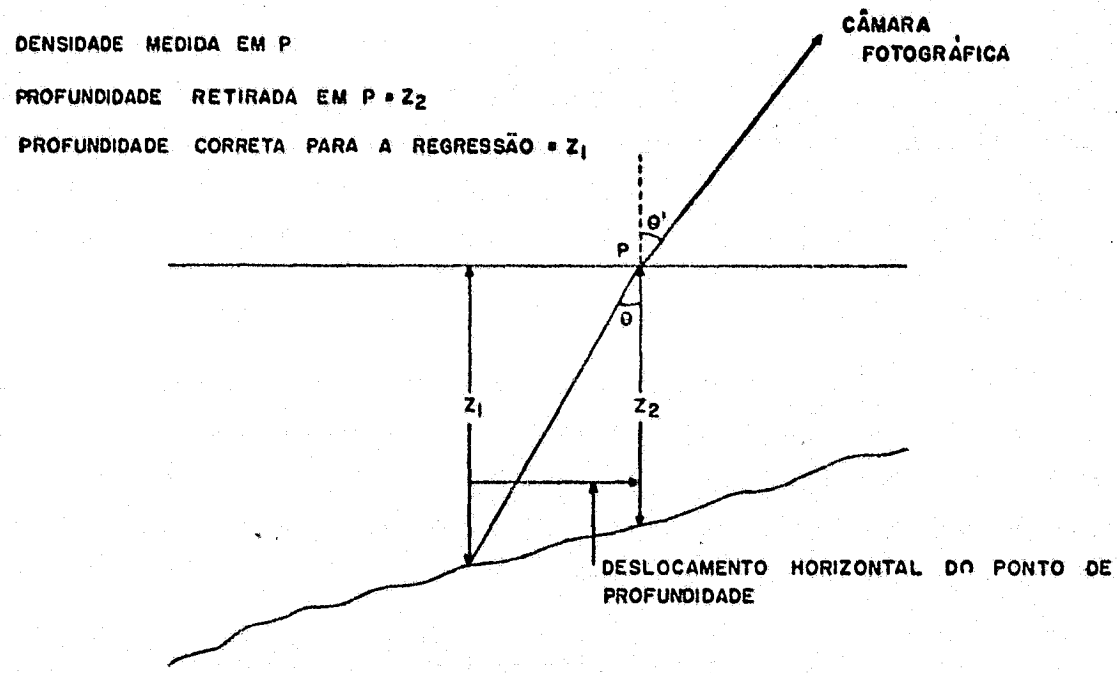


Fig. II.16 - Deslocamento Horizontal do ponto de profundidade.

72

Resumindo, foram adotados os seguintes procedimentos:

a) Selecionou-se a foto de nº 2994 (Figura II.17) por razões explicadas posteriormente, e fez-se uma amostragem de pontos, obtendo-se um par de valores (densidade - profundidade) para cada ponto. Fez-se uma regressão linear entre as duas variáveis, calculando-se o coeficiente de correlação, e os limites de confiança de 95% para um valor previsto de profundidade a partir de um valor de densidade.

b) Selecionou-se outra foto, a de nº 2980 (Figura II.18), considerando-se que seus pontos pertenciam à mesma população da área de amostragem. Medida a densidade de vários pontos, inferiu-se a profundidade dos mesmos, a partir do modelo obtido no item a. O ajuste dos resultados foi verificado visualmente.

2.4.1 - OBTENÇÃO DOS DADOS DE DENSIDADE FOTOGRÁFICA

Densidade, D, é definida como o logaritmo da opacidade, O, onde opacidade é o recíproco da transmitância T, (Slater,1975).

$$D = \log_{10} O = - \log_{10} T = \log_{10} \frac{1}{T}$$

As densidades dos pontos foram medidas em transparências positivas em preto e branco, geradas na copiadora Log E, existente no laboratório fotográfico do INPE, em Cachoeira Paulista. Não se mediu diretamente no negativo, a fim de não degradar a informação orginal.

O sistema Log E reproduz o negativo original através de um feixe luminoso (oriundo de uma fonte central fixa), que varre uma mesa transparente localizada em cima da fonte, onde são colocados o negativo original e sobre ele o filme duplicador. De acordo com a transparência (transmitância) de um determinado ponto do negativo, este

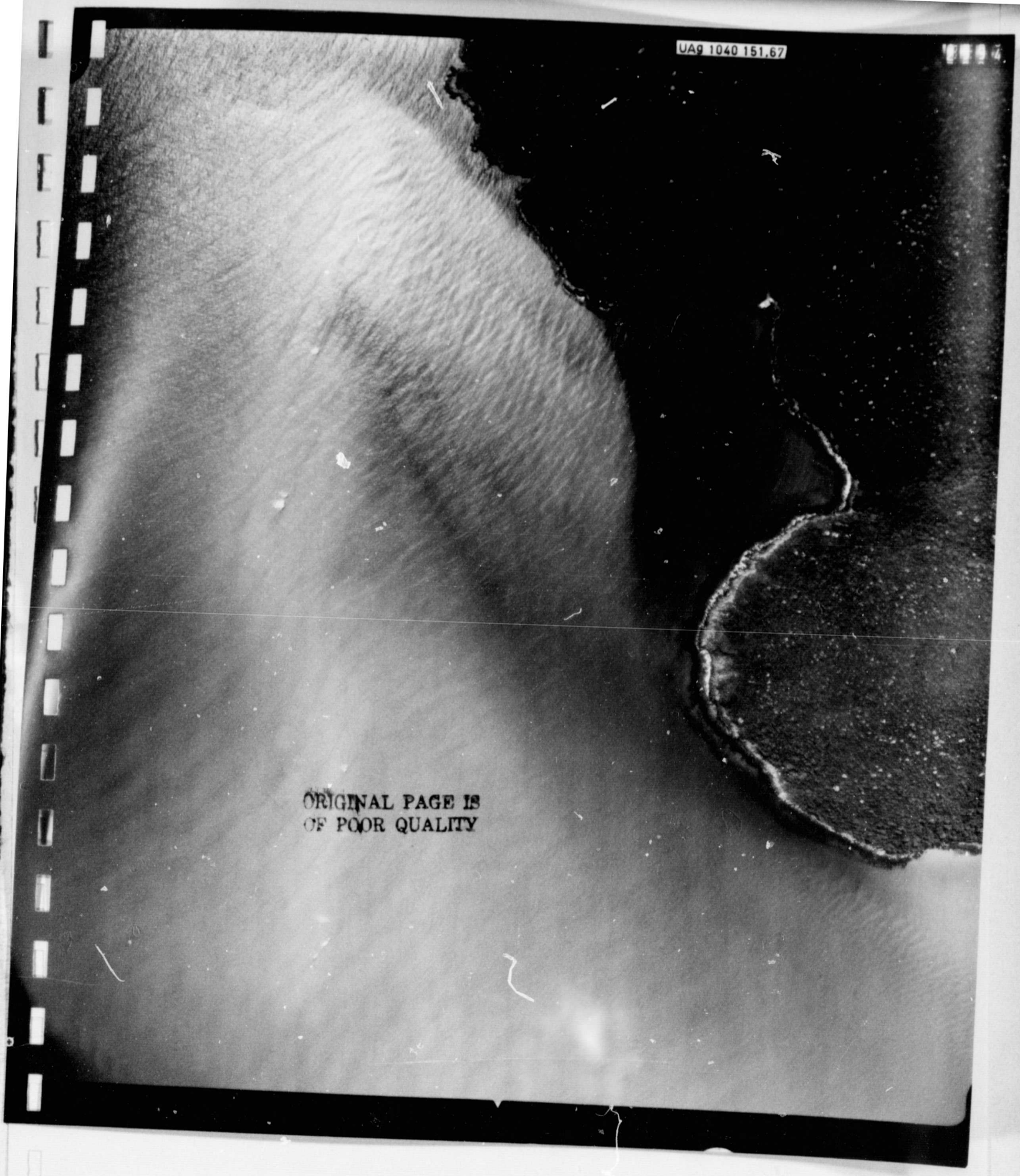


Fig. II.17 - Cópia em papel fotográfico preto e branco, da foto 2994, da missão Hidrosere II.

Fig. II.18 - Cópia em papel fotográfico preto e branco da foto 2980 da missão Hidrosere II.

deixa passar mais ou menos luz para o filme duplicador.

Após processado, o filme duplicador gera uma transparência positiva, cujo brilho de cada ponto está associado à transparência do negativo original.

O ajuste de exposição do sitema Log E regula a velocidade com que o feixe luminoso executa a varredura, controlando a quantidade de luz que cada ponto da mesa recebe. Um maior ajuste de exposição corresponde a uma menor velocidade de varredura. Logo, cada ponto da mesa recebe uma quantidade de luz maior. A um menor ajuste de exposição, ocorre o oposto.

O instrumento utilizado para a medida de densidade foi o densitômetro Macbeth TD-504, que mede uma densidade difusa por contato (Arnold et al. 1974). A abertura usada foi a de 1mm, ou seja, a densidade é calculada em relação à luz que consegue atravessar a transparência (transmitância da transparência naquele ponto), em uma área equivalente a uma circunferência de 1mm de diâmetro. A precisão deste densitômetro é $\pm$ 0.02 D.

Os pontos da imagem onde houve uma maior incidência de energia radiante no detetor (filme), correspondem a: a) pontos mais claros ou de maior brilho em uma cópia fotográfica em papel preto e branco; b) pontos mais claros ou de menor densidade na transparência positiva; c) pontos mais escuros ou de maior densidade no negativo. Em relação a uma fotografia do banco, é fácil perceber que estes pontos correspondem a regiões mais rasas.

Para os pontos de menor incidência da energia radiante ocorre exatamente o oposto em todos os processos.

2.4.1.1 - TRANSPARÊNCIAS POSITIVAS EM PRETO E BRANCO

Foram feitos dois conjuntos de cópias distintos, os quais serão chamados de 1ª experiência e 2ª experiência.

a) 1ª experiência: reprodução da fotografia nº 2994, com um controle empírico. Foram identificados no negativo original dois pontos, correspondentes aproximadamente a menor e maior densidade do banco, e mediu-se as suas respectivas densidades. Em seguida, o mesmo negativo foi levado para a copiadora Log E e reproduzido sob diversas exposições, selecionando-se aquela que melhor manteve o mesmo intervalo de densidade entre os pontos citados acima.

Este procedimento visava não alterar a inclinação da curva característica (exposição x densidade), já que as do negativo original e da transparência positiva são invertidas (Figura II.19).

Os pontos no negativo tinham as densidades de 0.84 e 0.58, e na transparência positiva 0.61 e 0.88, respectivamente, mantendo um intervalo igual em torno de 0.26 D.

A copiadora Log E operou com a exposição de 1400. O filme utilizado foi o "KODAK AEROGRAPHIC DUPLICATING FILM 2421 (ESTAR BASE)", sendo processado na "KODAK VERSAMAT Film Processor", modelo 11, com química KODAK VERSAMAT 641, revelador a 85° F, 1 RACK, 5 FPM (pés por minuto).

Nesta experiência foi calculado somente o modelo de regressão e os parâmetros estatísticos de interesse.

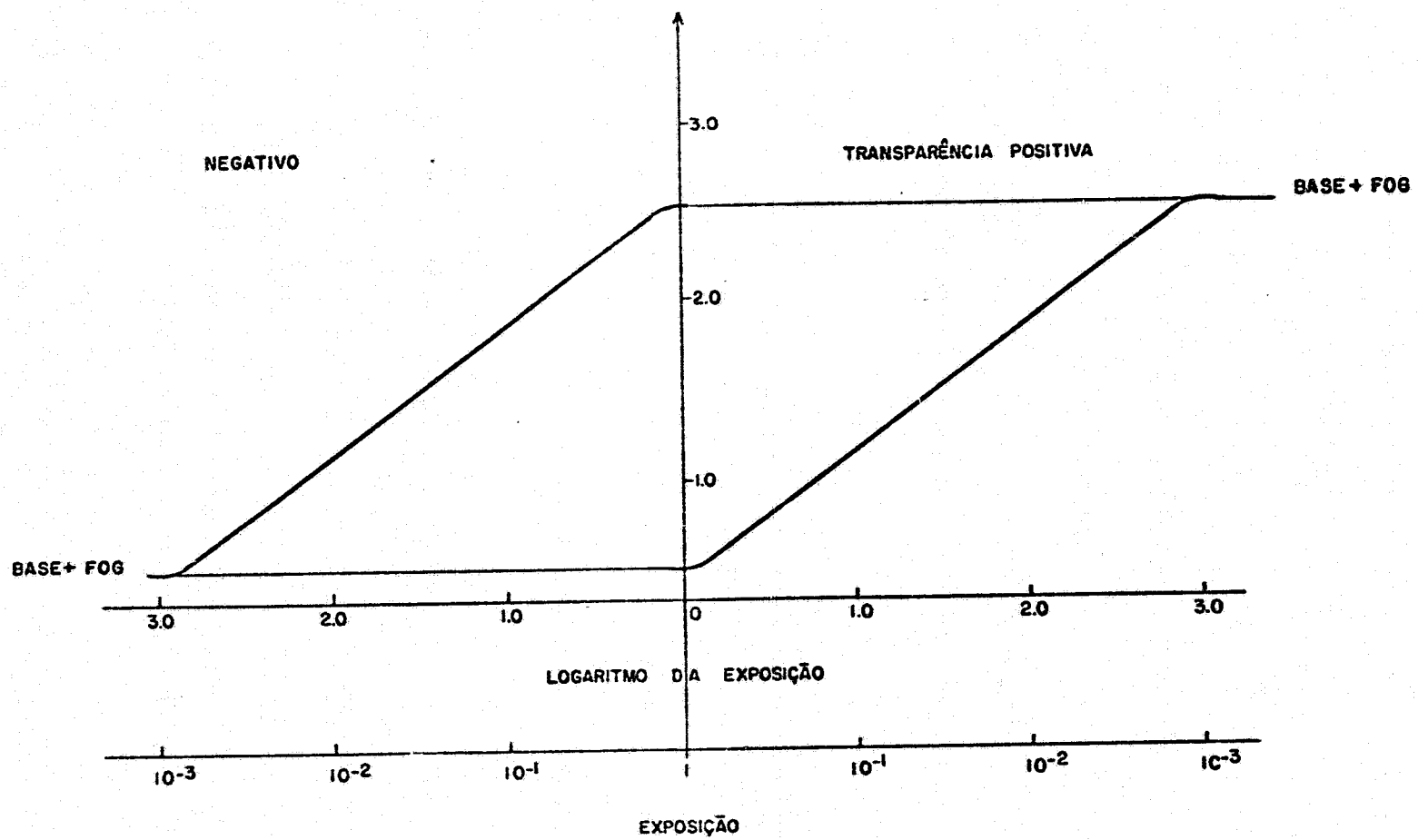


Fig. II.19 - Curvas características de um negativo e de uma transparência positiva

b) 2ª Experiência: reprodução das fotografias 2994 e 2980. O controle destas cópias foi feito em relação às transparências da 1ª experiência, através de medidas de densidades em vários pontos. As novas cópias sairam um pouco superexpostas em comparação com as primeiras. O filme e o processador utilizados foram os mesmos da 1ª experiência, sendo que a Log E operou com a exposição de 1320.

A idéia inicial era conseguir na segunda experiência as mesmas densidades da primeira, tomando por base as transparências da foto 2994. Porém, com a exposição original de 1400, a Log E não conseguiu mais realizar a mesma reprodução em termos de densidades dos pontos, que acabaram ficando mais densos (subexpostos), devido ao desgaste da fonte. Foram testadas novamente várias exposições, e optou-se pela de 1320, ficando os pontos levemente menos densos (superexpostos).

Nesta experiência calculou-se o modelo de regressão e os parâmetros estatísticos de interesse, através dos dados da foto 2994. Depois o modelo foi transportado para a foto 2980, e tentou-se inferir a profundidade de alguns pontos da mesma.

2.4.1.2 - TÉCNICA DE MEDIÇÃO DAS DENSIDADES

O ideal para se fazer as medidas seria um densitômetro de varredura, que obtivesse o registro contínuo de toda uma linha. Porém, o densitômetro Macbeth TD-504 mede a densidade em pontos discretos, obrigando o emprego de um artifício abaixo na obtenção dos dados de densidade.

As metades esquerdas das transparências foram divididas em quadrados de 5mm x 5mm. Mediu-se a densidade no meio de cada quadrado (através da abertura de 1mm de diâmetro do densitômetro), e admitiu-se que qualquer ponto, deste, teria o mesmo valor de densidade. Como, na amostragem feita, cada valor de densidade corresponde a um valor de profundidade, este artifício considera que, na escala de

trabalho (aproximadamente 1/6000),a profundidade se mantém constante numa área de 30m x 30m. Isto é uma simplificação, mas seus efeitos podem ser minimizados por uma escolha conveniente dos pontos de amostragem, como será explicado posteriormente no item 2.4.3.1.

Em virtude desta simplificação, foi desprezado o deslocamento horizontal dos pontos devido à reflexão no fundo e a refração (Figura II.16).

As metades direitas das transparências não foram utilizadas,devido à presença de um "sunglitter" no canto superior direito das fotos, e também à presença de terra.

2.4.2 - OBTENÇÃO DOS DADOS DE PROFUNDIDADE E CORREÇÃO DE MARÉ

As profundidades foram retiradas da FB-1500-2/72 - BANCO DAS ENSEADAS DO CABO FRIO, ESC 1:2000, PROJEÇÃO UTM, confeccionada pelo Av. Hi. ITACURUSSÁ da Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil (Figura III.3). Estes dados de profundidade foram obtidos em 1972, mas considera-se que os mesmos não se modificaram até a data da realização da missão. Isto não deve introduzir nenhum erro apreciável, porque se esta batimetria for comparada com a anterior,que data de 1948, vê-se que não existem profundas modificações.

Para a correção de maré foi utilizado o marégrafo do Instituto de Pesquisas da Marinha, localizado no cais da Petrobrás, no porto do Arraial do Cabo, RJ. Os dados batimétricos estavam reduzidos ao nível de redução (NR), que está localizado 1,97 m acima do zero da régua, sendo determinado pela Diretoria de Hidrografia e Navegação,por intermédio de uma análise de 62 dias consecutivos de observações. A maré no momento da realização da missão (09^h:15m do dia 29/09/78) estava 2,11m acima do zero da régua (Figura II.20)

80

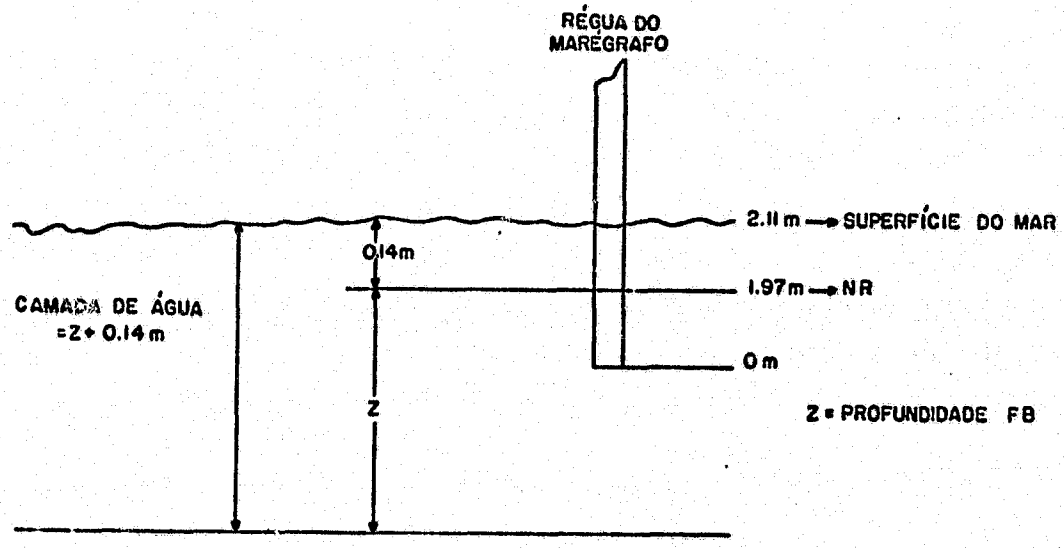


Fig. II.20 - Correção de Maré para os dados de profundidade

Então, a todos os dados de profundidade retirados da folha de bordo adicionou-se 0.14 m, para obter-se a espessura da camada de água (profundidade real) durante a realização da missão Hidrosere -II. Esta profundidade real é que será o dado utilizado na regressão.

A folha de bordo foi reduzida para a escala da transparência, usando-se como controle os pontos FILTRADOR, TRAPICHE E MINISTRO, e as bóias nºs 5 e 6 (ver item 2.2.2.1), pontos de coordenadas conhecidas e que foram identificadas nas transparências.

Os dados de profundidade foram retirados da superposição da transparência positiva à folha de bordo reduzida para a mesma escala. A transparência estava quadriculada e tinha-se um valor de den

sidade para cada quadrado (ver item 2.4.1.2). Ao se fazer a superposição, via-se qual a profundidade que correspondia a um determinado quadrado, e tinha-se um par de valores, uma densidade relativa a cada profundidade.

Esta superposição foi o fator que limitou o uso de somente duas fotos, a 2994 e a 2980, está última com algumas restrições.

Devido à pequena altitude de vôo, obtiveram-se as fotos em uma escala relativamente grande (aprox. 1/6000), ocasionando que, em cada uma delas, aparecessem poucos pontos notáveis, dificultando o controle da redução na escala, na maioria delas.

A única foto que apresentou condições satisfatórias para este controle, ou seja, para uma superposição com a devida precisão, foi a de nºs 5 e 6, totalizando quatro(4) pontos de controle.

Na foto de nº 2980, só foram identificados os pontos TRAPICHE E FILTRADOR, o que não possibilitou um controle adequado, sendo isto a causa de não ter sido usada para se fazer a amostragem dos pontos, e sim, para a inferência da profundidade, cujo acerto do resultado pode ser verificado, visualmente, através da forma e da localização das curvas isobatimétricas.

2.4.3 - TÉCNICA DE REGRESSÃO LINEAR EMPREGADA

A regressão linear entre a profundidade (P) e a densidade (D) foi feita pelo método dos mínimos quadrados, sendo variável dependente a profundidade, e independente a densidade, e vice-versa.

Isto gerou duas retas com coeficientes lineares e angulares diferentes, mas o coeficiente de correlação é o mesmo para os dois modelos (Spiegel, 1976).

82

Os limites de confiança para a inferência foram determinados pelo modelo de Acton (1959) que, em seu Capítulo II, desenvolve a teoria de uma regressão linear onde se conheça a variável independente sem erro, e a variável dependente com um erro de média zero e variância constante.

No caso do modelo linear deste trabalho (item 2.4)

$$D = f(P, X_1, X_2, X_3, \ldots\ldots, X_n)$$

$$D = a + b\,P + h(X_1, X_2, X_3, \ldots. X_n)$$

Para um i- ésimo ponto

$$D_i = a + b\,P_i \pm e_i$$

$e_i \longrightarrow$ erro introduzido pelas variáveis não consideradas no desenvolvimento do modelo linear.

Logo:

$$D_i \pm e_i = a + b\,P_i$$

o que concorda com o modelo, se os valores de e_i forem considerados aleatórios, com média igual a zero e variância constante.

$$e \longrightarrow N(0;\ \sigma_e^2)$$

Existe um grande acerto na consideração de que o erro (e_i) seja de caráter aleatório, porque o mesmo provém de variações das condições ambientais, efeitos de retroespalhamento, variação das condições atmosféricas, etc., que de um ponto para outro podem ser supostos totalmente aleatórios, em função da sua variabilidade no tempo e no espaço.

Este modelo também pode ser encontrando em Johnston (1971). Para o caso da profundidade (P) ser a variável dependente (P em função de D), o mesmo raciocinio é válido, bastando para isto explicitá-la em função da densidade (D).

Para um modelo genérico:

$$Y_{comp} = \alpha' + \beta' x$$

Os limites de confiança para α' são:

$$t_{n-2} = \frac{(a - \alpha')\sqrt{n-2}\ \sqrt{n}\ \sqrt{Sxx}}{\sqrt{SSD}\ \sqrt{\Sigma x^2}}$$

onde: n = nº de amostras

$$Sxx = \Sigma x^2 - \frac{(\Sigma x)^2}{n} = \Sigma (x - \bar{x})^2$$

$$SSD = \Sigma (Y_{obs} - Y_{comp})^2$$

t_{n-2} = valor apropriado para o nível de confiança desejado

Para β':

$$t_{n-2} = \frac{(b-\beta')\sqrt{n-2}\ \sqrt{Sxx}}{\sqrt{SSD}}$$

Os limites de confiança de um valor real de y, para qualquer valor de x é:

$$t^2_{n-2} = \frac{d^2(n-2)\ Sxx}{SSD\left[\frac{Sxx}{n} + (x - \bar{x})^2\right]}$$

onde $d = Y_{real} - Y_{comp}$

Observe-se que à medida que o ponto x se afasta da média, o valor de d aumenta, ou seja, aumenta o intervalo de aceitação para os verdadeiros valores de y. Isto é explicável, porque todos os valores introduzidos (y e x) garantem a média, mesmo afastados dela.

O intervalo de confiança adotado no trabalho é de 95%. Os cálculos foram feitos no computador BURROUGHS-6700, através de um programa já existente, desenvolvido pelo Dr. Gilberto Amaral professor titular do Instituto de Geociências da USP. Seu programa resolve este modelo, porém, sofreu algumas modificações, a fim de adaptá-lo ao tipo de problema enfrentado no presente trabalho.

2.4.3.1 - OBTENÇÃO DOS PONTOS AMOSTRAIS

Em função das simplificações feitas na obtenção dos dados de profundidade e densidade, os pontos amostrais para a regressão foram obtidos em áreas onde não existe uma grande variação de profundidade.

Isto torna consistente a premissa de que a profundidade não varia em uma área de 30 m x 30 m, feita na obtenção dos dados de densidade.

Da mesma forma, as sondagens da folha de bordo em que se trabalhou já haviam sido selecionadas e estavam representadas por um nº de 4 mm de altura, na escala de trabalho, o que corresponde a uma área de 24 m x 24 m no terreno. Assim, a seleção dos pontos amostrais, como citado acima, elimina este tipo de problema.

2.5 - METODO ORBITAL

Admitindo-se que:

a) a radiância que deixa a superfície do mar em um ponto está relacionada com a profundidade (item 2.4);

b) a radiância vinda de um "pixel" da cena de uma imagem do MSS-LANDSAT, é transformada em um sinal digital, ou nível de cinza, o qual é proporcional a essa radiância (item 2.1.2);

c) a iluminação da área de estudo é igual em todos os pontos;

d) a camada atmosférica sobre o banco é homogênea; então, o efeito de atenuação da energia incidente no sensor, durante o percurso da superfície mar/sensor, é igual para a energia emergente de cada ponto da área de estudo;

e) o fundo é homogêneo; então, os efeitos de reflexão no fundo são os mesmos para todos os pontos da área de estudo;

f) o estado do mar é o mesmo para toda a área; então, os efeitos de reflexão superficial e refração (quanto ao deslocamento horizontal dos pontos de profundidade - Figura II.16) são iguais em todos os pontos;

g) a profundidade se mantém constante em uma área de 70 m x 70 m. Logo para cada "pixel" tem-se um valor de profundidade;

Pode-se afirmar que o nível de cinza de um "pixel", localizado em uma área sobre o Banco das Enseadas do Cabo Frio, está diretamente relacionado com a profundidade desta área, e que diferentes níveis de cinza correspondem a diferentes profundidades.

Então, se em uma imagem LANDSAT,da área de estudo, separam-se subáreas cujos "pixels" têm os níveis de cinza dentro de um determinado intervalo, obtém-se subáreas cujos pontos possuem uma profundidade dentro de um mesmo intervalo. Esta é a base do método de análise das imagens orbitais empregado neste trabalho para a identificação de feições subsuperficiais do mar.

As feições superficiais foram determinadas a partir da propriedade da água em absorver fortemente a radiação infravermelha.

O emprego das imagens LANDSAT no planejamento de uma missão hidrográfica será avaliado a partir dos resultados obtidos na identificação de feições superficiais e subsuperficiais, e discutido nos capítulos posteriores.

As imagens foram analisadas no sistema interativo de análise multiespectral I-100, sendo obtidos os contornos das feições de superfície e das subáreas de pontos com a mesma profundidade.

Após a interpretação automática pelo sistema I-100, foi utilizado um modelo matemático (Prewett et al., 1973; Polcyn, 1976; Bina et al, 1978),que calcula a profundidade de um local em função do nível de cinza relativo ao mesmo. Daí, foram determinados os valores de profundidade para os limites de cada subárea,obtida com a classificação automática.

Diferentemente do método fotográfico, não foi tentada a correspondência direta entre o nível de cinza de um "pixel" e a profundidade, principalmente pela falta de precisão geométrica do MSS-LANDSAT. Esta impede a localização exata do "pixel" no terreno, não sendo possível uma boa precisão na obtenção do dado de profundidade. Além disso, é difícil admitir um único valor de profundidade para uma área de 70 m x 70 m,como citado na simplificação e. Esta é decorrente da resolução, no terreno da imagem do MSS-LANDSAT, sendo ainda uma das

maiores limitações do emprego deste sistema sensor na determinação de características hidrográficas.

As outras simplificações a,b,c e d podem ser facilmente admitidas, principalmente pela pequena dimensão do banco em estudo (4,2 km^2). Entretanto, vale a pena observar-se ainda o seguinte:

- Para os itens a e b existe uma variação temporal, mas a mesma é desprezível, porque o MSS-LANDSAT leva 28 segundos para obter uma imagem de 185 km x 185 km (Silva, et al. 1978), e no caso, a área de estudo é de 4,2 km^2.

- Para o item c sempre existe uma pequena variação de um ponto para o outro. Porém, a pouca resolução do MSS-LANDSAT (79m x 79m) faz com que em um "pixel" haja um efeito médio, que pode ser considerado o mesmo para todos os outros (Polcyn, 1976).

- Para o item d , se o mar estiver muito rugoso, existe uma grande variação na inclinação da superfície do mar de um ponto para o outro, ocasionando uma reflexão superficial e uma refração diferente para cada um. Raciocinando-se em termos médios, a pouca resolução do MSS-LANDSAT aparece novamente como vantagem, permitindo que estes efeitos sejam considerados iguais para todos os "pixels".

- Para o item e sempre existe uma variação de um ponto para o outro, devido à presença de sedimentos na área. Com ventos Norte ou próximos a este, aparecem sedimentos oriundos da descarga do rio Paraíba do Sul, e com ventos Oeste ou próximos, aparecem sedimentos devido à descarga da Baía de Guanabara. No presente estudo, a concentração de sedimentos será objeto de um estudo mais detalhado.

A presença de sedimentos em uma área é um fato crítico para a determinação de profundidade por sensoriamento remoto. Uma maior concentração de partículas em suspensão aumenta a atenuação da

energia (item 2.2.1), tanto no percurso superfície/fundo, como no percurso fundo/superfície do mar, diminuindo a máxima profundidade possível de ser sensoriada. Além disso, é aumentado o efeito de espalhamento múltiplo (Herz, 1977), aumentando a probabilidade de uma quantidade de energia espalhada alcançar o sistema sensor. Isto provoca um acréscimo no sinal de fundo ("background"), que mascara o sinal de baixo nível das profundidades maiores, diminuindo mais ainda a profundidade máxima que pode ser investigada. Uma análise mais detalhada da influência dos sedimentos no sinal de retorno, aos canais do MSS-LANDSAT, é feita no item 2.5.2.2.

2.5.1 - SISTEMA I-100 E PROGRAMAS DE CLASSIFICAÇÃO UTILIZADOS

O sistema interativo de análise de imagem multiespectral (Image-100, ou simplesmente I-100) é um sistema que realiza a classificação automática de imagens, extraindo informações temáticas de partes da cena, ou de toda a cena.

A entrada da imagem no sistema se dá por meio de fitas magnéticas compatíveis com computadores (CCT), que fornecem:

a) o nível de cinza em cada canal do MSS-LANDSAT, para cada "pixel". O sistema acessa os quatro canais ao mesmo tempo;

b) as coordenadas de cada "pixel" em relação à matriz de 3240 x 2340 "pixels", que compõe uma imagem.

A imagem, depois de ter sido armazenada, pode ser transferida totalmente ou parcialmente para um terminal vídeo colorido. Este terminal funciona como uma tela de televisão e possui 512 x 512 pontos ("pixels" do I-100), sendo que para cada ponto é transferido um "pixel" da imagem. Dependendo do tamanho da área, que foi transferida para o vídeo, ocorrerá uma ampliação maior ou menor da imagem.

O sistema realiza a classificação automática das imagens segundo um método interativo (análise/máquina), baseado em:

a) informações fornecidas pelo analista, as quais são introduzidas por meio de áreas de treinamento, ou seja, áreas de características multiespectrais conhecidas.

b) programas de classificação, através dos quais o analista processa os dados introduzidos e procura alcançar os resultados desejados.

O resultado da classificação aparece em tempo real no terminal vídeo colorido. Neste ponto o analista interpreta o resultado, e se quiser, pode modifica-lo através da utilização de um outro programa, até alcançar um resultado satisfatório. Há uma interação total entre o analista e a máquina, proporcionando uma realimentação do sistema em um curto espaço de tempo.

Uma descrição geral do sistema, e os principais programas de classificação poderão ser obtidos no Apêndice A de Hernandez e Shimabukuro (1978), ou no manual do usuário do equipamento (General Eletric Company, 1975).

A seguir são resumidos só os programas efetivamente utilizados:

a) Programa Célula Única("Single Cell")

Este programa identifica na imagem áreas que possuem as mesmas características multiespectrais de um hiperparalelepípedo, definido a partir de uma área de treinamento, introduzida pelo analista através do cursor*.

---

* *CURSOR: Dispositivo que permite selecionar áreas de interesse no terminal vídeo colorido do sistema (chamadas áreas de treinamento). Permite variação de forma, tamanho e movimento.*

O sistema analisa os "pixels" da área de treinamento e determina os valores máximo e mínimo dos níveis de cinza, para cada canal contido nestes "pixels". A partir destes limites, é construído um paralelepípedo no espaço hiperdimensional de 4 eixos (4 canais, um eixo para cada canal), cujas faces são limitadas pelo valor máximo e mínimo de nível de cinza, no canal ao qual corresponde o eixo. Para exemplificar, mostra-se na Figura II.21 como ele seria em um espaço tridimensional. Este paralelepípedo é chamado *célula única*, e define uma classe de acordo com a área de treinamento utilizada.

Após a definição desta célula única, o sistema varre todos os "pixels" que estão armazenados na memória de imagens do I-100, e informa ao analista quais os "pixels" que ficaram dentro da célula. Estes "pixels" são chamados "pixels alarmados", e são realçados no terminal vídeo por uma função especial "ALARM", tomando uma cor verde sempre que a mesma for solicitada.

É bom notar que um "pixel" para ser alarmado precisa ter ao mesmo tempo valores de nível de cinza nos quatro canais, permitindo seu posicionamento dentro da célula. Se o nível de cinza de um canal estiver dentro dos limites da célula, mas o dos outros canais não estiverem, este "pixel" não será alarmado.

b) Programa Subáreas de nível de cinza ("Grey Level Slicer")

Este programa divide uma área selecionada, da imagem, de um determinado canal, apresentada no terminal vídeo colorido, em diversas subáreas (no máximo 8). A área a ser dividida pode ser selecionada pelo cursor, ou ser toda a área do vídeo.

Os "pixels" que compõem cada subárea têm a propriedade de possuirem o valor de nível de cinza, para o referido canal, dentro de um determinado intervalo, sendo que a cada subárea corresponde um intervalo de níveis de cinza.

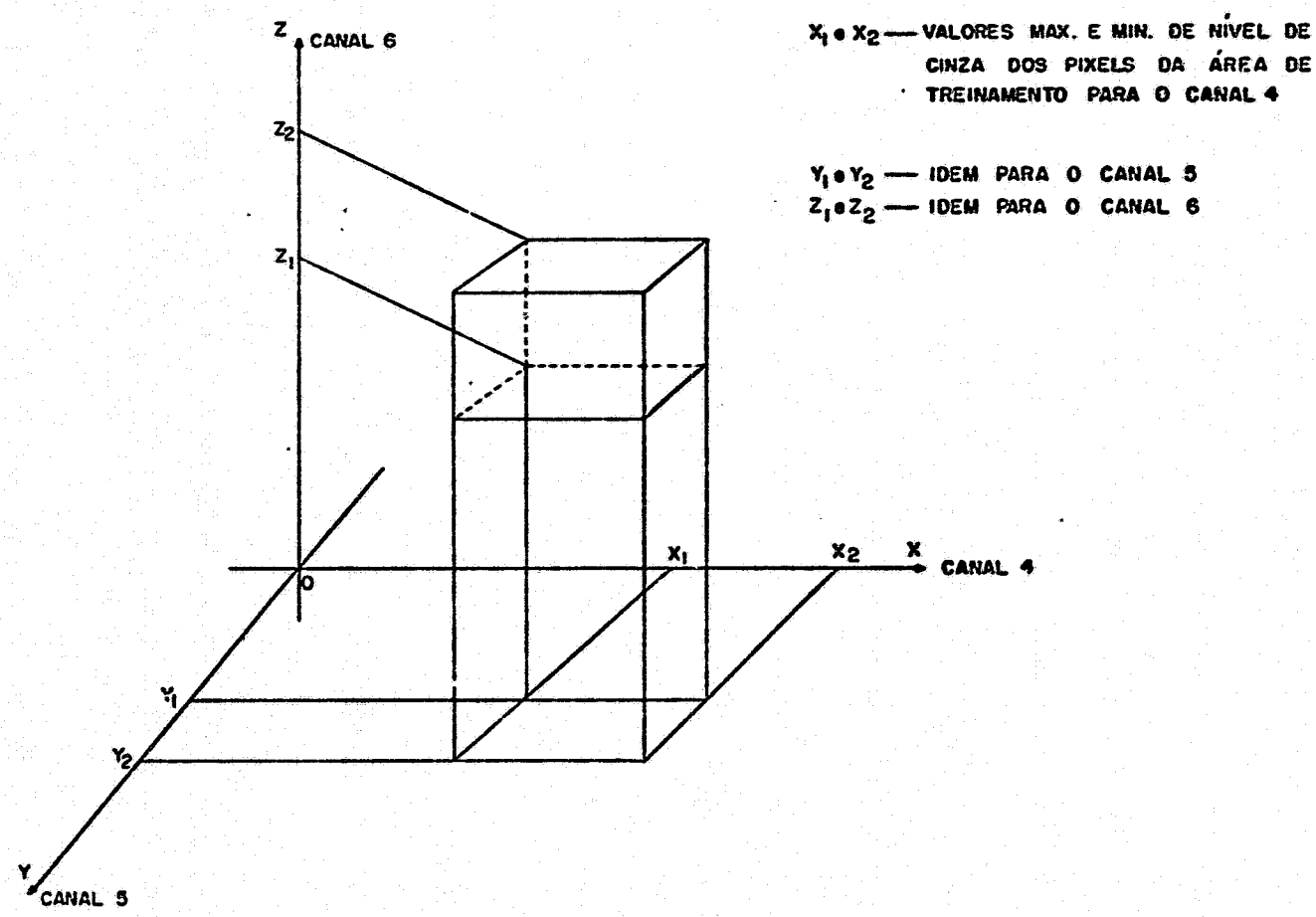


Fig. II.21 - Definição da Célula Única para um espaço de 3 canais (Tridimensional)

Os intervalos podem ser equidistantes, a partir dos valores máximo e minimos de nível de cinza presente nos "pixels" da área, para o canal analisado. Se intervalos não equidistantes, forem desejados, os valores máximo e mínimo de cada por o podem ser introduzidos no sistema.

Os "pixels" pertencentes a uma subárea são armazenados em uma das oito funções TEMA do sistema. Ao ser solicitada uma destas funções, os "pixels" correspondentes aparecerão na tela do terminal vídeo colorido com a cor relativa à função (existe uma cor para cada função TEMA).

c) Programa Tabela de Classificação (TABCLS)

Antes de ser utilizado o programa TABCLS propriamente dito, várias operações têm de ser realizadas, como explicadas na sequencia abaixo.

Inicialmente, utiliza-se o programa aquisição de assinatura multicélula ("Multi-Cell Signature Acquisition") Hernandes e Shimabukuro, 1978; General Electric Company, 1975), que divide a célula única citada no ítem a, em diversas células unitárias, e faz a contagem do número de "pixels" presentes na área de treinamento, pertencentes a cada uma. É definido um histograma multidimensional (4 canais) da área de treinamento. Uma projeção em dois eixos (canais) deste histograma pode ser conseguida graficamente, através da impressora de linhas do sistema, pelo programa "Impressão em duas dimensões de um histograma N-dimensional" ("N-Dimensional Histogram Two-Dimension Print"- General Electric Company, 1975). Cada eixo é graduado com valores de nível de cinza para um determinado canal, e, no encontro de dois valores (um de cada eixo), existe um carácter alfa numérico que expressa a quantidade de "pixels" da área de treinamento, que possuem simultâneamente o par de valores, citados acima, para níveis de cinza nos canais a que se referem os eixos. Os eixos são graduados de 0 a 63, havendo necessidade de se comprimir a fita CCT original, que vem em 256 níveis de cinza.

Este diagrama bidimensional, denominado "espaço de atributos", pode ser jogado na tela do terminal vídeo colorido pelo programa "VIDHIS". Na tela, o analista, utilizando o cursor, pode dividir a área do espaço de atributos em subáreas (no máximo 8) de diferentes tamanho e forma.

Finalmente, através do programa TABCLS, cada subárea determinada pode ser associada a uma das funções TEMA. Quando uma destas funções for solicitada aparecerão na tela do terminal vídeo, com a cor relativa à mesma - todos os "pixels" que possuem simultaneamente, nos dois canais analisados, um par de valores de níveis de cinza, localizado na subárea definida para o referido TEMA.

Todos os resultados da interpretação realizada neste trabalho, com o sistema I-100, apresentam-se em forma gráfica ("print--out") obtida na impressora de linhas, na qual se tem um símbolo gráfico diferente para cada uma das funções TEMA. O resultado do programa Célula Única, que fica na função ALARM, pode ser jogado em qualquer uma das funções TEMA, e os resultados dos programas restantes são armazenados diretamente nas mesmas.

O produto final é um mapa, na escala aproximada de 1:20.000, onde as regiões de terra e as diversas subárea de mesma profundidade, obtidas pela interpretação automática, estão indicadas por gráficos diferentes.

A obtenção do "print-out" em uma escala aproximada foi desenvolvida por ocasião deste trabalho com a participação do Sr. José Carlos Moreira do laboratório de Interpretação Automática de Imagens, do INPE. O objetivo era facilitar a comparação dos resultados obtidos, com a carta náutica da área, a de nº 1503 - Enseadas de Cabo Frio da Diretoria de Hidrografia e Navegação - escala 1.20.000. O desenvolvimento é apresentado no Apêndice A.

2.5.2 - TÉCNICA DE ANÁLISE DAS IMAGENS LANDSAT

Conforme os objetivos propostos, o trabalho se dividiu na determinação de feições superficiais e subsuperficiais de interesse à Hidrografia, utilizando-se a interpretação automática de imagens MSS-LANDSAT, através do sistema I-100.

Para a análise efetiva das imagens, foi separada uma área correspondente a 127 x 127 "pixels" da tela do terminal vídeo colorido do sistema I-100, na qual está incluída toda a área de estudo- o Banco das Enseadas do Cabo Frio, e que será chamado daqui por diante de "área efetivamente analisada". Nas três imagens utilizadas, analisou-se aproximadamente a mesma área, através do posicionamento do cursor na tela, tomando-se com referência pontos notáveis da terra.

Esta área corresponde a um trecho da carta 1503 - Banco das Enseadas do Cabo Frio da Diretoria de Hidrografia e Navegação (Figura II.9) e está compreendida, aproximadamente, entre as coordenadas citadas na Tabela II.7.

TABELA II.7

LIMITES DA ÁREA EFETIVAMENTE ANALISADA NO SISTEMA I-100

EXTREMO	LATITUDE	LONGITUDE
Norte	22° 56' 36" S	
Leste	—	041° 58' 00" W
Sul	23° 01' 24" S	
Oeste	—	042° 01' 42" W

C-2

2.5.2.1 - DETERMINAÇÃO DAS FEIÇÕES SUPERFICIAIS

Mower (1974) realizou experiência em várias faixas do espectro eletromagnético, visando a separação de superfície de água e terra. Conclui que, áreas de água salgada foram melhor discriminadas, quando os dados dos canais infravermelhos foram usados. Afirma que isto aconteceu, não porque a água tinha alta reflectância ou emissão na porção infravermelho do espectro, mas porque a radiação deste tipo é altamente absorvida pela água, e como resultado, dados de áreas com água são facilmente distintos das outras áreas.

Isto concorda com os dados de diversos autores, alguns já citados. Nas Figuras II.5, II.6 e II.7 pode-se observar os resultados obtidos por Clarke e James (1939), para a atenuação da água do mar nos comprimentos de onda do visível.

Jerlov (1968) reproduz as curvas de absorção da água pura na região de 0.8 a 2.5 μ, onde se observa que a absorção aumenta à medida em que se desloca na direção de comprimentos de onda maiores (Figura II.22).

Polcyn e Rollin (1969b) apresentam uma curva de atenuação sofrida pela energia radiante na região do infravermelho próximo. Esta maior atenuação é explicada pela maior absorção, já que os efeitos de espalhamento das partículas em suspensão é virtualmente independente do comprimento de onda (Kullenberg, 1974 - item 2.2.1).

Então, para a determinação das feições superficiais, utilizou-se o canal do infravermelho próximo do MSS-LANDSAT, canal 7 (0.8 μ - 1.1 μ). Vários autores trabalhando com este sistema sensor e visando objetivos semelhantes, adotaram o mesmo procedimento; entre eles Polcyn e Lysenga (1973 a), e Willians Jr. (1973).

No sistema I-100, foi empregado o programa Célula Única ("Single-Cell"), utilizando-se como área de treinamento uma região de

96

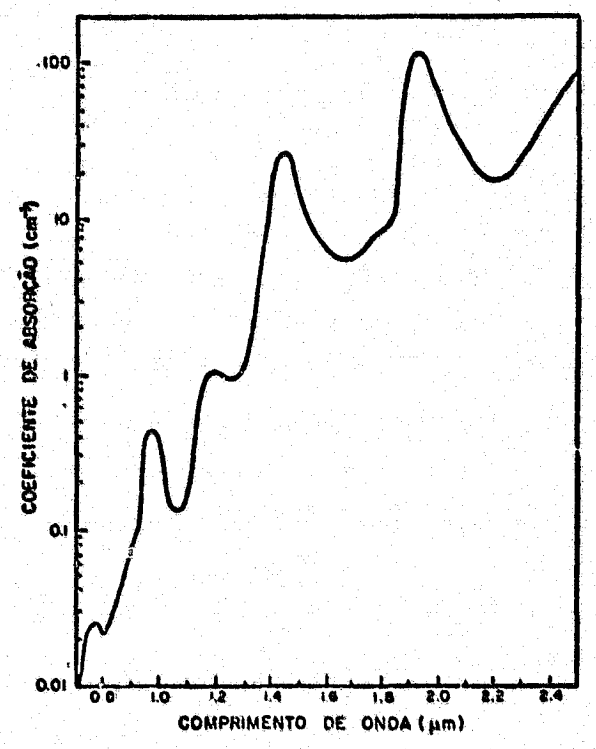


Fig. II.22 - Curva de absorção da água pura para o infravermelho
Fonte : Jerlov (1968), p.52

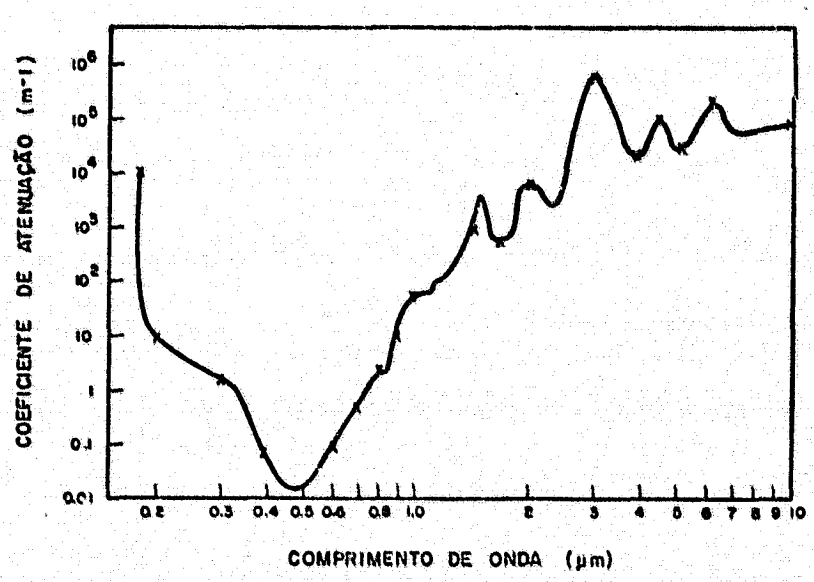


Fig. II.23 - Curva de atenuação da radiação pela água do mar entre 10^{-1} e 10 μ.
Fonte: Polcyn e Rollin (1969), p.6.

água. Esta região foi localizada longe da costa, a fim de se evitar algum ponto próximo à ela, onde poderia haver uma grande concentração de sedimentos, o que aumentaria o sinal de retorno ao MSS-LANDSAT, no canal 7.

O programa Célula Única foi aplicado somente no canal 7, através do artifício de se reduzir a resolução dos outros canais, 4, 5 e 6, a um nível de cinza. Isto equivale a fazer com que todos os "pixels" possuam, nos canais 4, 5 e 6, o nível de cinza igual a 1, e só exista variação no nível de cinza dos "pixels" no canal 7, que operou com uma resolução de 256 níveis de cinza. O esperado era que as porções de terra da imagem tivessem um nível de cinza mais elevado que as porções de água, devido à maior reflexão superficial.

No resultado do programa Célula Única, todos os "pixels" alarmados correspondem a superfícies de água. Consequentemente, o negativo do ALARM correspondente às superfícies de terra, sendo transferido para a função TEMA 8. Assim, ao ser solicitada a função TEMA 8, tem-se a separação entre terra e água, e a determinação do contorno da linha da costa.

2.5.2.2 - DETERMINAÇÃO DAS FEIÇÕES SUBSUPERFICIAIS

Conforme o item 2.2.1, existe uma janela de transmissão da água do mar na região do azul-verde, com o máximo variando de 480 mμ para a água destilada, até 550 mμ, ou proximidades, para águas com maior presença de particulas em supenção. Reproduzem-se, na Figura II.24, as curvas apresentadas por Polcyn e Rollin (1969b), para os dados de atenuação espectral de vários tipos de água, adicionando-se os intervalos de atenuação das bandas 4 (500 - 600 mμ) e 5(600 - 700 mμ) do MSS- LANDSAT.

Como pode ser visto, tanto nestas curvas como nas apresentadas anteriormente na Figura II.8, o melhor canal do MSS - LANDSAT para a determinação de feições subsuperficiais, em qualquer tipo de

98

água, é o 4 (500 - 600 nm), onde se encontra a menor atenuação da energia eletromagnética pela água do mar.

No canal 5, a atenuação já é bem maior, mas existem resultados de vários autores que conseguiram detetar regiões rasas com este canal (Ross, 1973; Polcyn e Lynzenga, 1973a).

Nos canais 6 e 7, existe uma grande absorção pela água (Figura II.22) não se prestando para a determinação de feições subsuperficiais. A energia é absorvida pelas primeira camadas de água, ficando com a penetração restrita à superfície, ou próximo a seta.

Um ponto importante, já citado anteriormente (item 2.5) é a presença de sedimentos na área. Uma maior concentração de sedimentos diminui a penetração da energia, aumentando o sinal do fundo ("back ground") o que mascara o sinal das profundidades maiores.

Ritchie et al. (1974) apresentam os dados obtidos da medida da radiação solar refletida sobre reservatórios de água, com diversas concentrações de sólidos em suspenção, em pontos cuja profundidade é 10 vezes maior que a profundidade Sechi. Concluem que, em 400 nm e entre 900 e 1150 nm, a radiação solar refletida pouco para as várias concentrações, mas, entre 500 e 800 nm, a radiação solar refletida aumenta quando a concentração aumenta. Os resultados estão na Figura II.25, onde foram adicionadas as regiões de atenuação dos canais MSS--LANDSAT.

Da análise destas curvas, pode-se perceber que:

a) em presença de maiores concentrações de sólidos em suspensão, ou sedimentos, há um maior retorno de energia ao sensor em todos os canais;

b) no canal 7, para haver um considerável acréscimo no sinal de retorno, deve haver um grande aumento na concentração;

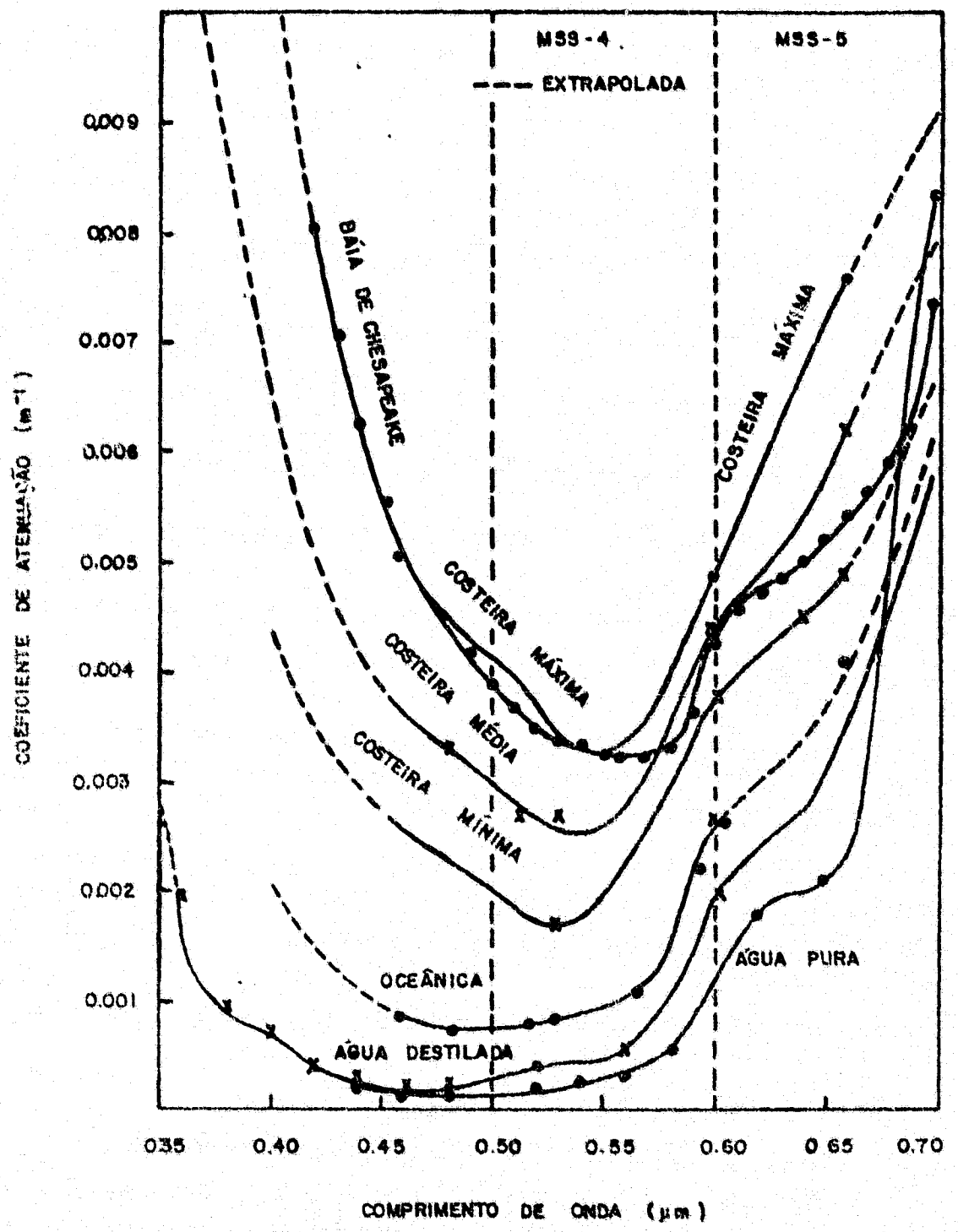


Fig. II.24 - Curvas de atenuação de vários tipos de água do mar, com a faixa de atuação dos canais 4 e 5 do MSS - LANDSAT, baseado em Polcyn e Rollin (1969b), p.10.

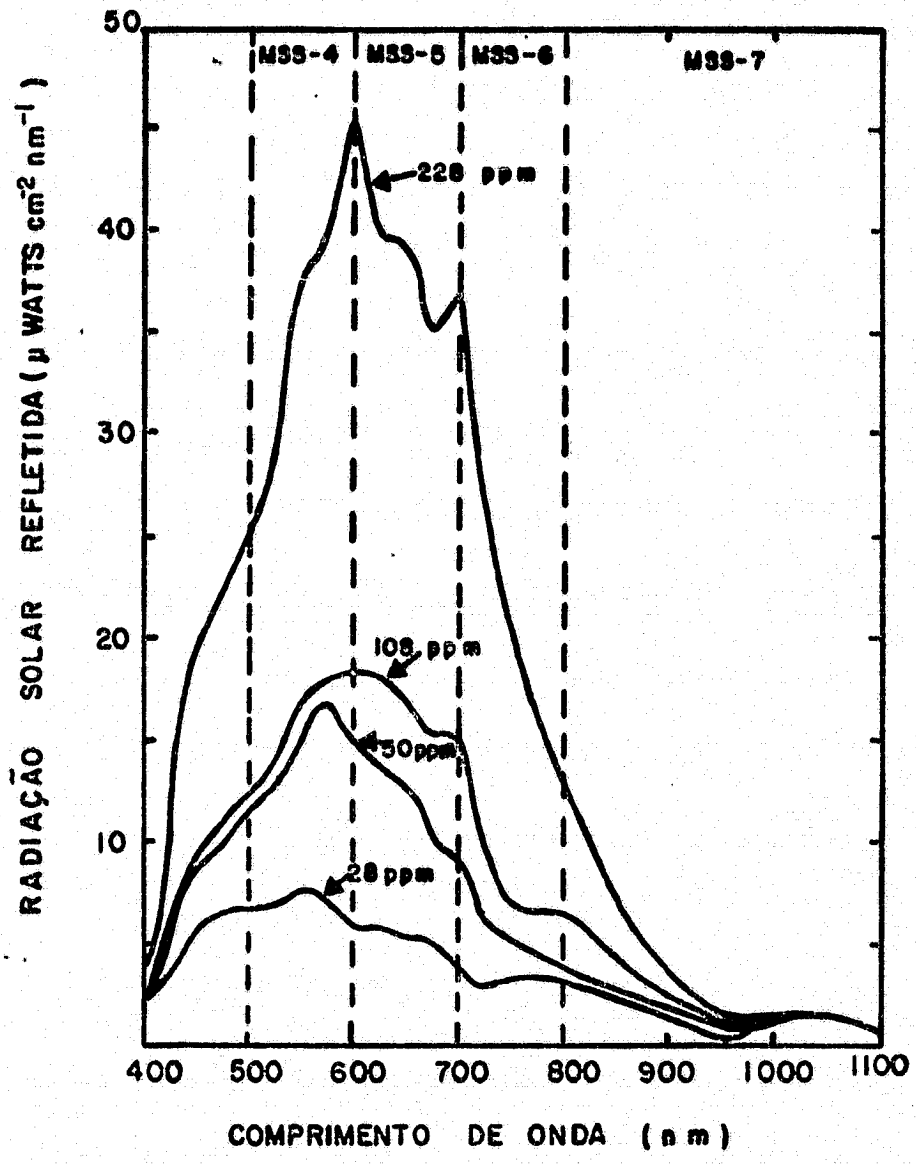


Fig. II.25 - Relação entre a quantidade de radiação solar refletida, comprimento de onda e concentração de sólidos em suspensão, em superfícies de água, com as faixas de atuação dos 4 canais do MSS-LANDSAT, baseado em Ritchie et al (1974), p.65.

c) no canal 6, um aumento na concentração provoca um acréscimo razoável no sinal de retorno;

d) no canal 5, o aumento na concentração provoca grande aumento no sinal de retorno. Isto pode ser explicado em virtude da maior penetração da energia eletromagnética dessa faixa nas águas, o que aumenta a probabilidade de ocorrência de espalhamentos múltiplos, aumentando o retroespalhamento. Vários autores citam o canal 5 como o melhor para a identificação de padrões de sedimentação em superfícies de água (Ritchie et al., 1976); Kritikos e Yorinkos, 1974; Klemas et al., 1973; Herz, 1977);

e) no canal 4, devido à maior penetração, seria esperado um sinal de retorno ainda maior que no 5. Isto acontence para as concentrações mais baixas, mas nas concentrações altas, o sinal de retorno do canal 5 é maior do que no 4. Este fato pode ser explicado pela maior reflexão dos sedimentos, presentes na área, aos comprimentos de onda do canal 5, já que aumentando-se a concentração, a penetração diminui, ficando o sinal de retorno cada vez mais restrito às camadas superiores e dependente da interação física entre a energia e o tipo de sedimento. Klemas et al., (1973) visando a deteção de padrões sedimentares com o MSS-LANDSAT, citam o canal 4 apresentando um padrão muito complexo de sedimentos, agravado pelo efeito de mascaramento, devido ao espalhamento atmosférico.

Pode-se concluir que, para a determinação de feições subsuperficiais, a presença de sedimentos é crítica, já que a sua maior resposta é nos canais de maior penetração, o 4 (500 - 600 nm) e o 5 (600 - 700 nm).

Primeiramente, foi feita uma análise de condição de sedimentação da área de estudo, utilizando-se os canais 4, 5 e 6. Nos dois últimos, a penetração da radiação é pouca, principalmente no canal 6, e uma variação nos níveis de cinza dos "pixels", de uma região de água, indicam uma variação na concentração dos sedimentos presentes nos diversos pontos da área, se houver uma condição de tal em que toda

a área tenha uma mesma e alta concentração, não havendo variação entre os pontos, o nível de cinza dos canais 6 e 5 serão maiores nas imagens que possuírem uma maior concentração. Foram abstraídos todos os outros efeitos como estado do mar, condições atmosféricas, etc.

O programa utilizado foi o subárea de nível de cinza ("Gray-Level Slicer"), dando como resultado uma visualização sinótica da homogeneidade ou não da água presente na área efetivamente analisada. Se não houver variação na concentração de sedimentos entre os pontos de área, toda a parte de água aparecerá dentro de um mesmo intervalo de baixos níveis de cinza. Se existir variação, os "pixels" com uma maior concentração terão um nível de cinza maior, ficando em um intervalo superior aos dos pontos com uma bbaixa concentração. Como só interessava a parte de água, toda a terra classificada, conforme o item anterior, foi excluida da área efetivamente analisada.

Este mesmo programa, aplicado no canal 4, determinou as subáreas de mesma profundidade. A partir dos resultados obtidos com as 3 imagens, selecionou-se uma como sendo a melhor para a determinação de feições subsuperficiais. Nesta, aplicou-se o programa TABCLS, conjugando-se os canais 4 e 5, e obtiveram-se novamente subáreas com a mesma profundidade.

A interpretação conjunta dos canais 4 e 5 visava um refinamento de resultado obtido com o canal 4 isoladamente. Adicionando-se o canal 5, pode ser feita uma análise de concentração de sedimentos de cada "pixels", e obter-se uma melhor classificação das feições subsuperficiais.

Finalmente, foi aplicado aos níveis de cinza, que limitam cada subárea determinada, um modelo matemático que relaciona a profundidade de um ponto com o respectivo nível de cinza em um canal do MSS-LANDSAT.

A equação empregada foi obtida da Bina et al (1978) que citam a sua origem em Polcyn e Lyzenga, em 1975. Ela é uma forma simplificada da equação de fundo, desenvolvida no Apêndice A, de Prewett et al., (1973), a qual já foi utilizada por diversos autores (Polcyn e Rollin, 1969b; Polcyn et al., 1970; Brown et al., 1971a, etc). A forma utilizada neste trabalho é:

$$z = \frac{1}{\alpha_i\ (\sec\theta + \sec\phi)} \quad n \frac{\Delta V_{oi}}{\Delta V_i}$$

$$\Delta V_i = V_i - V_{bi}$$

$$\Delta V_{oi} = V_{oi} - V_{bi}$$

onde:

z = profundidade;

α_i = coeficiente de atenuação da água para a banda i do MSS-LANDSAT;

θ = ângulo que o raio emergente do fundo, após a reflexão, faz com a normal, no ponto de incindência da superfície do mar (Figura II.17)

ϕ = ângulo que o raio incidente na superfície faz com a normal, após refratado (Figura II.17).

ΔV_{oi} = nível de cinza no canal i do MSS-LANDSAT, de um ponto de profundidade zero - sinal de fundo ("background") já subtraido;

ΔV_i = nível de cinza no canl i do MSS-LANDSAT, de um ponto de profundidade z - sinal de fundo (background") já subtraído:

Vb_i = sinal de fundo (background"). Nível de cinza correspondente a um ponto de profundidade infinita.

O ponto de profundidade infinita foi identificado numa região de água muito profunda.

O ponto de profundidade zero foi identificado como o de maior nível de cinza obtido dentro da água. Corresponde a um ponto perto da praia.

O fator α_i (secθ + secϕ) foi determinado a partir de um ponto identificado na imagem, com profundidade conhecida. Este ponto foi apanhado na região em frente à Praia Brava, onde se tem uma grande área com o fundo de aproximadamente 2,5 m na carta 1503.

Foi aplicada a correção de maré às profundidades obtidas, conforme explicado no item 2.4.2. A leitura da régua na hora da tomada de imagem era 2,17 m dando uma correção de + 0,20 m às profundidades da carta 1503, para se obter a espessura da camada de água.

CAPÍTULO III

RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 - FOTOGRAFIAS

3.1.1 - RESULTADOS E DISCUSSÃO DA 1ª ESPERIÊNCIA.

A 1ª experiência consistiu em se fazer uma regressão linear entre a profundidade e a densidade relativa a um mesmo ponto. O O par de valores foi obtido da superposição de uma cópia em transparência positiva em preto e branco da foto 2994 - Missão Hidrosere II, onde foram medidas as densidades, à folha de bordo B-1500-2172- Banco das Enseadas do Cabo Frio, de onde foram retiradas as profundidades.

De acordo com o artifício utilizado para as medidas de densidade, item 2.4.1.2, a imagem 2994 (Figura II.17), foi quadriculada, como mostra a Figura III.1, formando uma matriz de 45 linhas (de 1 a 45), por 22 colunas (de A a V).

Os valores de densidade medidos no centro de cada quadrado são mostrados na Figura III.2, referenciados pela letra da coluna e o número da linha, correspondente a cada um.

Da superposição à folha de bordo (Figura III.3), amostraram-se pares de valores de densidade e profundidade (Tabela III.1). Os dados de profundidade já estão corrigidos do efeito da maré (item 2.4.2).

A regressão linear entre as duas variáveis, com a densidade em função da profundidade, apresentou os resultados que podem ser vistos na Figura III.4

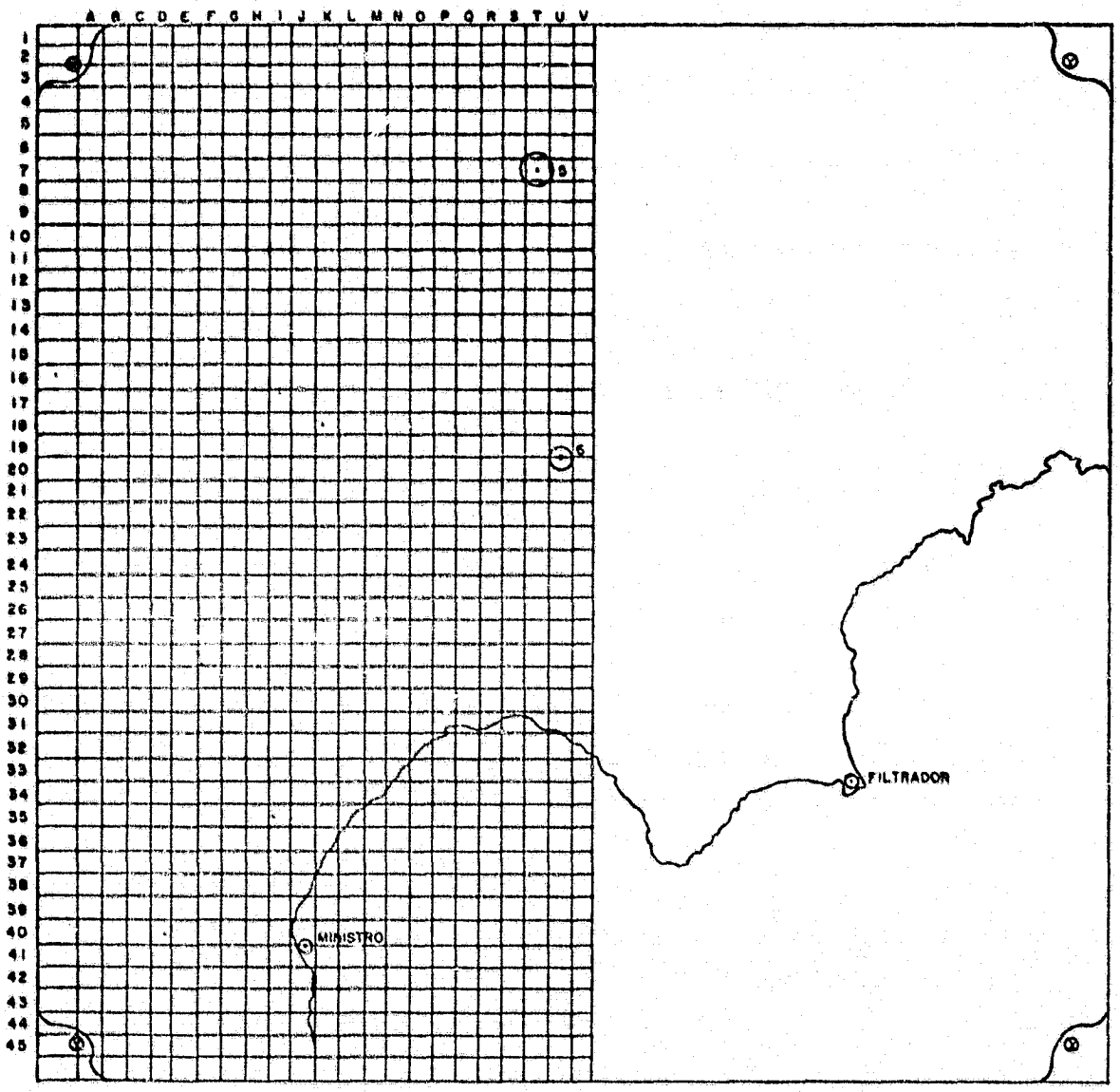


Fig. III.1 - Quadriculado da foto 2994, utilizado na medição de densidade

107

VALORES DE DENSIDADE OBSERVADOS

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
1	0.00	0.97	0.99	0.98	0.97	0.96	0.92	0.91	0.90	0.88	0.88	0.75	0.72	0.71	0.71	0.69	0.69	0.67	0.69	0.69	0.68	0.68
2	0.00	0.98	0.98	0.97	0.93	0.80	0.72	0.86	0.85	0.85	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.69	0.69	0.68	0.69	0.68	0.69	0.69
3	0.00	0.95	0.75	0.72	0.71	0.70	0.69	0.67	0.68	0.71	0.72	0.70	0.70	0.69	0.68	0.70	0.71	0.70	0.68	0.70	0.68	0.68
4	0.93	0.73	0.71	0.70	0.68	0.67	0.66	0.66	0.67	0.70	0.68	0.66	0.68	0.68	0.68	0.67	0.66	0.66	0.67	0.68	0.66	0.66
5	0.93	0.72	0.69	0.69	0.66	0.66	0.66	0.65	0.66	0.68	0.68	0.65	0.67	0.67	0.67	0.66	0.66	0.66	0.67	0.69	0.66	0.65
6	0.72	0.70	0.65	0.65	0.64	0.64	0.62	0.63	0.63	0.64	0.64	0.65	0.65	0.65	0.64	0.66	0.65	0.64	0.64	0.66	0.62	0.64
7	0.70	0.66	0.64	0.62	0.60	0.60	0.60	0.58	0.59	0.61	0.59	0.63	0.59	0.61	0.62	0.59	0.61	0.60	0.58	0.55	0.58	0.58
8	0.68	0.65	0.62	0.61	0.60	0.57	0.58	0.58	0.57	0.59	0.60	0.58	0.58	0.59	0.60	0.60	0.58	0.57	0.57	0.57	0.56	0.55
9	0.64	0.62	0.58	0.57	0.56	0.57	0.56	0.58	0.55	0.56	0.56	0.56	0.56	0.57	0.57	0.58	0.57	0.56	0.56	0.56	0.55	0.51
10	0.64	0.60	0.58	0.57	0.55	0.56	0.56	0.55	0.56	0.57	0.55	0.56	0.55	0.55	0.56	0.56	0.55	0.55	0.56	0.53	0.52	0.51
11	0.61	0.58	0.56	0.56	0.53	0.52	0.53	0.53	0.56	0.54	0.53	0.54	0.56	0.55	0.56	0.56	0.55	0.56	0.56	0.52	0.52	0.49
12	0.58	0.56	0.56	0.53	0.51	0.52	0.50	0.52	0.51	0.51	0.50	0.52	0.54	0.54	0.54	0.55	0.54	0.54	0.52	0.50	0.49	0.47
13	0.55	0.56	0.53	0.51	0.49	0.49	0.50	0.51	0.49	0.49	0.51	0.52	0.53	0.54	0.54	0.53	0.51	0.51	0.49	0.47	0.46	0.46
14	0.55	0.52	0.49	0.47	0.47	0.47	0.48	0.46	0.49	0.48	0.50	0.50	0.53	0.53	0.51	0.50	0.49	0.50	0.49	0.49	0.49	0.48
15	0.55	0.53	0.47	0.46	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.47	0.49	0.48	0.48	0.48	0.49	0.48	0.49	0.49	0.50	0.51	0.51
16	0.55	0.52	0.46	0.46	0.45	0.45	0.44	0.46	0.45	0.45	0.48	0.49	0.49	0.48	0.48	0.49	0.48	0.49	0.49	0.50	0.51	0.51
17	0.52	0.51	0.50	0.47	0.46	0.45	0.46	0.47	0.46	0.44	0.46	0.47	0.46	0.47	0.49	0.50	0.50	0.50	0.52	0.53	0.57	0.57

Fig. III.2 - Densidade observadas na foto 2994 - 1ª Experiência

Figura III.2 (Continuação)

18	0.52	0.50	0.51	0.48	0.47	0.47	0.50	0.50	0.51	0.51	0.51	0.52	0.55	0.53	0.53	0.53	0.54	0.55	0.58	0.59	0.59	0.61
19	0.50	0.53	0.51	0.49	0.48	0.49	0.48	0.51	0.52	0.51	0.51	0.52	0.53	0.54	0.55	0.56	0.54	0.56	0.60	0.61	0.61	0.63
20	0.49	0.47	0.48	0.48	0.46	0.47	0.47	0.50	0.51	0.52	0.51	0.51	0.53	0.56	0.58	0.58	0.58	0.58	0.61	0.62	0.64	0.67
21	0.49	0.49	0.49	0.49	0.48	0.49	0.50	0.51	0.52	0.51	0.52	0.53	0.53	0.56	0.56	0.56	0.59	0.61	0.62	0.65	0.67	0.68
22	0.47	0.49	0.49	0.49	0.49	0.51	0.50	0.52	0.53	0.55	0.54	0.56	0.55	0.55	0.57	0.58	0.62	0.62	0.67	0.67	0.71	0.69
23	0.48	0.49	0.49	0.50	0.50	0.52	0.54	0.53	0.56	0.54	0.56	0.55	0.56	0.57	0.61	0.63	0.67	0.68	0.72	0.71	0.72	0.69
24	0.50	0.51	0.50	0.50	0.51	0.52	0.54	0.55	0.56	0.56	0.57	0.57	0.60	0.62	0.65	0.66	0.71	0.72	0.73	0.72	0.71	0.70
25	0.52	0.50	0.50	0.52	0.52	0.53	0.54	0.55	0.56	0.56	0.58	0.61	0.64	0.67	0.68	0.70	0.73	0.72	0.72	0.71	0.71	0.68
26	0.53	0.51	0.53	0.51	0.52	0.53	0.53	0.55	0.56	0.59	0.61	0.63	0.66	0.67	0.70	0.71	0.73	0.74	0.76	0.71	0.70	0.68
27	0.53	0.52	0.51	0.52	0.53	0.53	0.57	0.58	0.60	0.60	0.60	0.63	0.67	0.68	0.71	0.72	0.74	0.74	0.72	0.70	0.69	0.69
28	0.52	0.51	0.53	0.52	0.53	0.54	0.56	0.58	0.59	0.60	0.62	0.64	0.64	0.67	0.72	0.73	0.74	0.74	0.71	0.70	0.69	0.69
29	0.51	0.50	0.51	0.51	0.51	0.54	0.55	0.58	0.57	0.58	0.61	0.63	0.66	0.68	0.71	0.72	0.74	0.74	0.70	0.73	0.74	0.77
30	0.52	0.51	0.51	0.53	0.54	0.55	0.57	0.59	0.59	0.59	0.63	0.66	0.65	0.69	0.70	0.72	0.74	0.71	0.72	0.74	0.79	0.86
31	0.51	0.52	0.53	0.54	0.54	0.56	0.58	0.59	0.60	0.61	0.63	0.66	0.67	0.67	0.70	0.74	0.69	0.71	0.84	0.72	0.76	0.81
32	0.53	0.52	0.55	0.55	0.56	0.56	0.58	0.58	0.60	0.60	0.62	0.66	0.68	0.69	0.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
33	0.54	0.54	0.57	0.56	0.55	0.59	0.60	0.60	0.61	0.61	0.64	0.67	0.73	0.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
34	0.57	0.56	0.56	0.55	0.56	0.57	0.60	0.59	0.59	0.60	0.66	0.73	0.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
35	0.54	0.55	0.55	0.56	0.56	0.58	0.58	0.58	0.59	0.61	0.69	0.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
36	0.55	0.56	0.56	0.57	0.58	0.58	0.57	0.58	0.60	0.64	0.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
37	0.56	0.57	0.57	0.58	0.58	0.58	0.58	0.59	0.60	0.66	0.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Figura III.2 (Continuação)

38	0.57	0.55	0.58	0.58	0.57	0.57	0.57	0.59	0.63	0.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
39	0.58	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.57	0.58	0.63	0.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
40	0.58	0.57	0.56	0.55	0.56	0.56	0.56	0.54	0.56	0.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
41	0.57	0.56	0.56	0.55	0.56	0.54	0.51	0.53	0.50	0.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
42	0.57	0.56	0.55	0.56	0.53	0.51	0.49	0.47	0.48	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
43	0.57	0.56	0.53	0.53	0.52	0.48	0.46	0.45	0.46	0.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
44	0.56	0.53	0.51	0.50	0.48	0.45	0.43	0.42	0.45	0.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
45	0.00	0.49	0.49	0.49	0.45	0.42	0.42	0.41	0.41	0.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

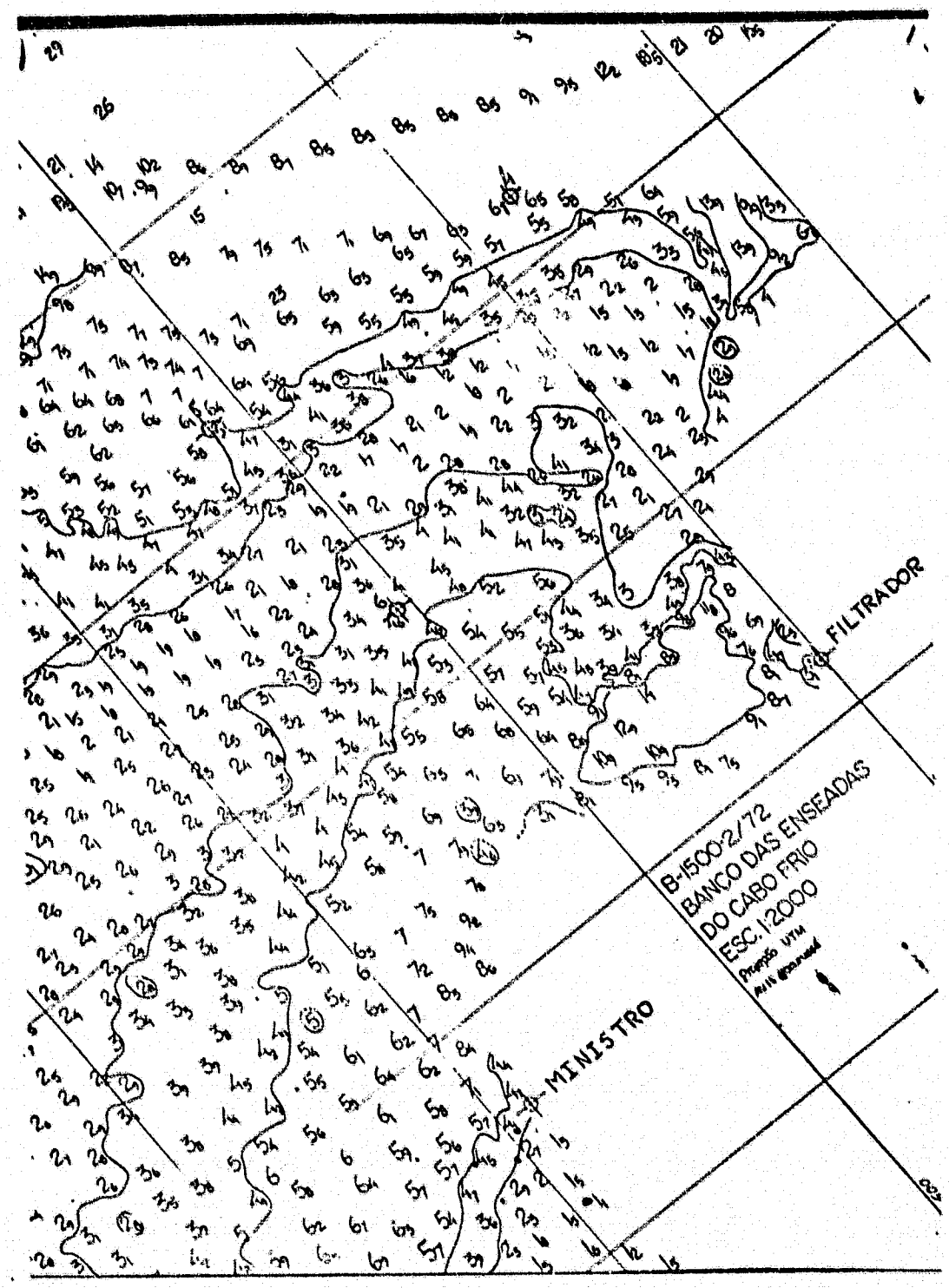


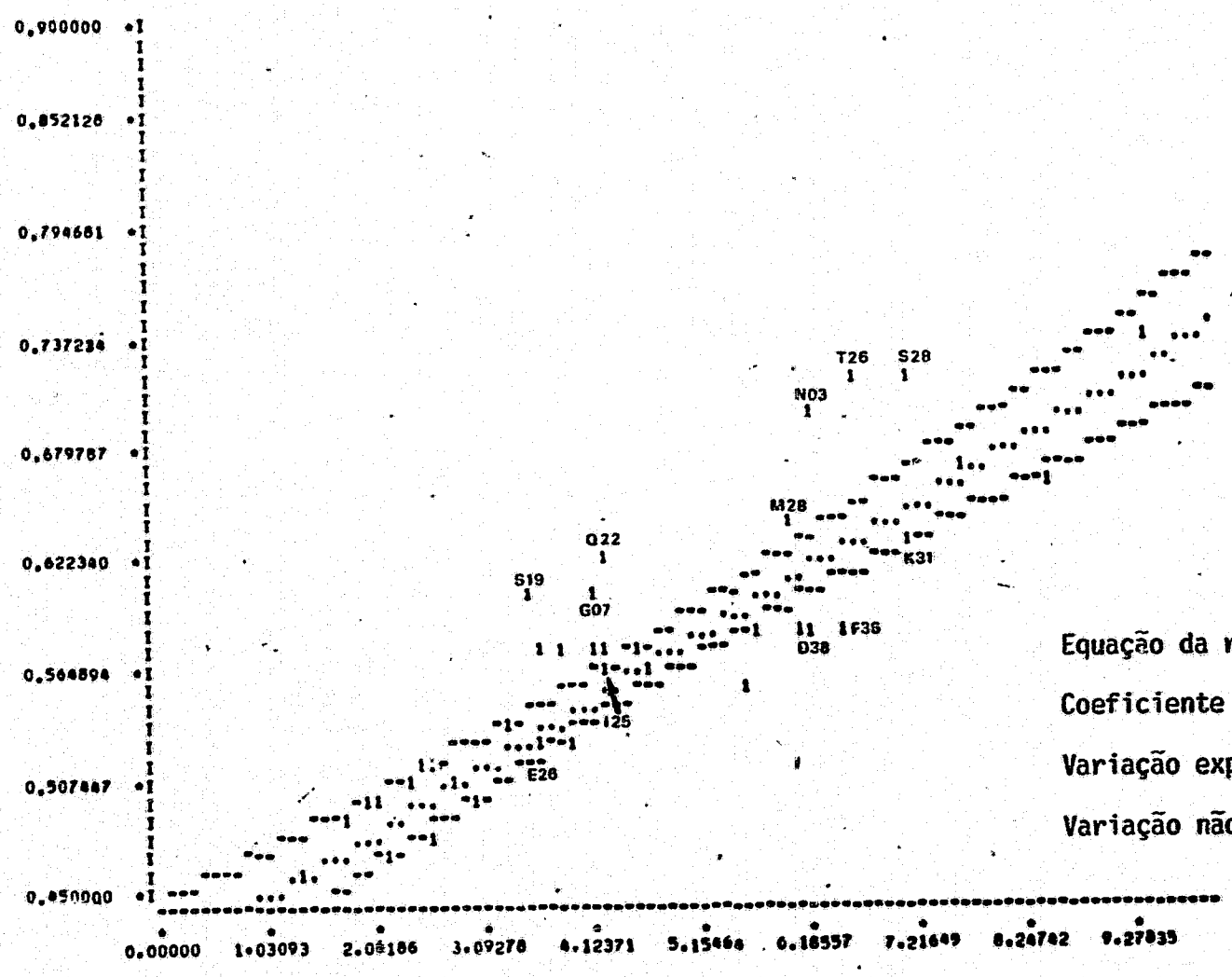
Fig. III.3 - Trecho da Folha de Bordo B-1500-2/72, reduzida para a escala da foto 2994. Indicados os pontos Ministro, Filtrada, Bõia nº 5 e Bõia nº 6, utilizados no controle da superposição.

TABELA III.1

VALORES DE DENSIDADE E PROFUNDIDADE PARA OS PONTOS DE AMOSTRAGEM DA FOTO 2994, SEM CORREÇÃO DAS DENSIDADES

NOME	PROF.	DENS.
J15	1.44	0.45
O15	1.84	0.48
L15	2.04	0.49
T14	2.14	0.49
H16	2.24	0.46
Q17	2.44	0.50
K20	2.54	0.51
F18	2.64	0.47
K18	2.64	0.51
H18	2.84	0.50
E22	3.04	0.49
H23	3.34	0.53
S19	3.54	0.60
O22	3.64	0.57
E26	3.64	0.52
F09	3.84	0.57
A30	3.94	0.52
L24	4.14	0.57

NOME	PROF.	DENS.
G07	4.14	0.60
I25	4.24	0.56
Q22	4.24	0.62
J10	4.24	0.57
G27	4.54	0.57
L09	4.64	0.56
C35	5.64	0.55
Q08	5.74	0.58
M28	6.04	0.64
D38	6.14	0.58
H32	6.24	0.58
N03	6.24	0.69
F36	6.54	0.58
T26	6.64	0.71
S28	7.14	0.71
K31	7.14	0.63
M31	7.64	0.67
J37	8.54	0.66
M33	9.44	0.73



Equação da reta → D = 0.42 + 0.03 P

Coeficiente de correlação = 0.89

Variação explicada = 0.16

Variação não explicada = 0.04

Fig. III.4 - Reta da regressão linear, densidade em função da profundidade, e parâmetros estatísticos

É notável que pontos de mesma profundidade, ou de profundidades próximas, ficam menos densos à medida que se afastam do centro, como pode ser comprovado pela análise comparativa entre os pontos S28 e K31, T26 e F36, M28 e D38, S19 e E26, Q22 e I25 (Figura III.4).

Este fato pode ser explicado pela forma de reprodução do sistema Log E (item 2.4.1). Sendo uma fonte central fixa, posicionada na linha perpendicular à mesa e que passa pelo centro do negativo, os pontos deste, à medida que se deslocam do centro para a borda, recebem menos luz devido ao efeito conjugado de dois fatores:

a) maior percurso ótico do feixe luminoso: a distância entre a fonte e um ponto da borda, é maior que entre a fonte e o centro da foto. Isto ocasiona uma maior atenuação do feixe luminoso que atinge um ponto extremo da cena.

b) maior reflexão do feixe luminoso na parte inferior da mesa: os pontos da borda são iluminados por um ângulo de incidência maior, ocasionando um aumento na perda de luz que atravessa a mesa, pela reflexão do feixe luminoso na sua parte inferior.

Como exceção, tem-se os pontos N03 e G07, com densidades maiores do que esperado. Isto pode ser causado pela presença dos mesmos em regiões de declividade acentuada, exagerando o efeito do deslocamento horizontal dos pontos de profundidade (Figura II.16), ou mesmo por efeitos locais.

Esta não homogeneidade na quantidade de luz que atinge a mesa de reprodução foi contornada através de uma correção aditiva à densidade medida em cada quadrado, calculada da seguinte forma:

a) realizou-se uma reprodução em que foi colocado sobre a mesa somente o filme duplicador (sem nenhum negativo original). Obteve-se uma "imagem" da quantidade de luz que a fonte do sistema Log E faz incidir em cada ponto da mesa de reprodução;

b) selecionaram-se vários pontos da cópia obtida coincidentes com o quadriculado da foto 2994, e mediu-se a densidade dos mesmos.

(Tabela III.2). Observou-se que, realmente, os pontos das bordas possuem valores de densidade menores que o do centro;

c) foi fixado para o ponto mais denso (centro da foto) um valor de correção zero, e calculou-se uma correção para todos os outros pontos expressa pela diferença entre a sua densidade, e a do ponto fixado. Esta correção foi sempre aditiva, pois o ponto fixado era o de maior densidade. Este procedimento visava adicionar, aos pontos fora da linha central uma quantidade de densidade relativa à menor quantidade de luz que eles receberam, homogeneizando-se todos os pontos. As correções para os pontos selecionados estão na Tabela III.2;

d) a partir destes pontos, calculou-se uma superfície de regressão interpoladora, pelo método dos mínimos quadrados, entrando-se com o valor da linha de 1 a 45 e o valor da coluna de 1 a 22 (A a V, respectivamente) como variáveis independentes, e o valor da correção como variável dependente;

e) através da superfície de regressão obtida, calcularam-se os valores de correção para todos os pontos da matriz de 44 x 22 pontos, que representa os dados de densidade medidos na foto 2994. Os valores de correção interpolados para toda a matriz estão na Figura III.5;

f) a cada densidade medida, adicionou-se a respectiva correção. Os valores de densidade corretos estão na Figura III.6.

Para o cálculo da superfície de regressão foi utilizada parte do programa "Trend Surface Analysis", desenvolvido pelo Professor Gilberto Amaral, que calcula uma superfície de regressão até o 6º grau. As correções propriamente ditas e o formato de saída, foram modificações introduzidas visando os objetivos deste trabalho.

TABELA III.2

PONTOS SELECIONADOS NA "IMAGEM" DA FONTE DO SISTEMA LOG E - FOTO 2994 - 1ª EXPERIÊNCIA. DENSIDADE MEDIDA EM CADA PONTO, COM O VALOR DA RESPECTIVA CORREÇÃO

NOME	DENS.	CORR.
A1	1.70	+0.30
H1	1.73	+0.17
M1	1.85	+0.15
S1	1.85	+0.15
V1	1.85	+0.15
E3	1.81	+0.19
P3	1.86	+0.14
A5	1.79	+0.21
H5	1.87	+0.13
M5	1.87	+0.13
S5	1.88	+0.12
V5	1.89	+0.11
A10	1.83	+0.17
H10	1.91	+0.09
M10	1.92	+0.08
S10	1.93	+0.07
V10	1.93	+0.07
E13	1.89	+0.11
P13	1.95	+0.05
A15	1.84	+0.16
H15	1.92	+0.08

NOME	DENS.	CORR.
M15	1.94	+0.06
S15	1.96	+0.04
V15	1.96	+0.04
A20	1.85	+0.15
H20	1.93	+0.07
M20	1.95	+0.05
S20	1.97	+0.03
V20	1.99	+0.01
E23	1.91	+0.09
K23	1.93	+0.07
P23	1.96	+0.04
V23 CENTRO	2.00	0.00
V24	2.00	0.00
A25	1.84	+0.16
H25	1.90	+0.10
M25	1.96	+0.04
S25	1.97	+0.03
A30	1.81	+0.19
H30	1.90	+0.10
M30	1.92	+0.08
S30	1.96	+0.04

NOME	DENS.	CORR.
V30	1.96	+0.04
E33	1.84	+0.16
P33	1.92	+0.08
A35	1.77	+0.23
H35	1.86	+0.14
M35	1.88	+0.12
S35	1.90	+0.10
V35	1.90	+0.10
A40	1.72	+0.28
H40	1.82	+0.18
M40	1.83	+0.17
S40	1.85	+0.15
V40	1.83	+0.17
E43	1.74	+0.26
P43	1.80	+0.20
A45	1.58	+0.42
H45	1.73	+0.27
M45	1.77	+0.23
S45	1.78	+0.22
V45	1.77	+0.23

MAIOR COEFICIENTE DE DETERMINACAO=0,9942
SUPERFICIE DE GRAU 6

VALORES DE CORRECAO INTERPOLADOS

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
1	0.30	0.28	0.26	0.24	0.22	0.20	0.19	0.17	0.17	0.16	0.16	0.16	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
2	0.27	0.26	0.24	0.22	0.20	0.18	0.17	0.16	0.15	0.15	0.15	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
3	0.25	0.24	0.22	0.20	0.19	0.17	0.16	0.15	0.14	0.14	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
4	0.24	0.22	0.21	0.19	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
5	0.22	0.21	0.19	0.18	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11
6	0.21	0.20	0.18	0.17	0.15	0.14	0.13	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.10
7	0.20	0.19	0.17	0.16	0.14	0.13	0.12	0.11	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
8	0.19	0.18	0.16	0.15	0.13	0.12	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
9	0.18	0.17	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
10	0.17	0.16	0.15	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07
11	0.16	0.15	0.14	0.13	0.11	0.10	0.10	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.06	0.06
12	0.16	0.15	0.14	0.12	0.11	0.10	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.05
13	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
14	0.15	0.14	0.13	0.12	0.10	0.09	0.09	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04
15	0.15	0.14	0.13	0.11	0.10	0.09	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03

Fig. III.5 - Valores de correção interpolados para a foto 2994 - 1ª Experiência

Figura III.5 (Continuação)

16	0.15	0.14	0.13	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03
17	0.15	0.14	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02
18	0.15	0.14	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02
19	0.15	0.14	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.07	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01
20	0.15	0.14	0.13	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.07	0.06	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01
21	0.15	0.14	0.13	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.07	0.06	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
22	0.16	0.14	0.13	0.12	0.10	0.09	0.08	0.08	0.07	0.07	0.06	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00
23	0.16	0.15	0.13	0.12	0.11	0.09	0.09	0.08	0.07	0.07	0.06	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00
24	0.16	0.15	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.08	0.07	0.06	0.06	0.05	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
25	0.17	0.15	0.14	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.08	0.07	0.07	0.06	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01
26	0.17	0.16	0.14	0.13	0.11	0.10	0.10	0.09	0.08	0.08	0.07	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01
27	0.18	0.16	0.15	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.09	0.08	0.07	0.07	0.06	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02
28	0.18	0.17	0.15	0.14	0.12	0.11	0.10	0.10	0.09	0.09	0.08	0.07	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02
29	0.18	0.17	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.10	0.09	0.08	0.08	0.07	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03
30	0.19	0.17	0.16	0.14	0.13	0.12	0.11	0.11	0.10	0.10	0.09	0.09	0.08	0.07	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04
31	0.20	0.18	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.11	0.10	0.10	0.09	0.09	0.08	0.07	0.07	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05
32	0.20	0.19	0.17	0.16	0.14	0.13	0.13	0.12	0.11	0.11	0.10	0.10	0.09	0.09	0.08	0.08	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06
33	0.21	0.19	0.18	0.16	0.15	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12	0.11	0.11	0.10	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07
34	0.22	0.20	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12	0.11	0.11	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08
35	0.22	0.21	0.19	0.17	0.16	0.15	0.15	0.14	0.13	0.13	0.13	0.12	0.12	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
36	0.23	0.21	0.20	0.18	0.17	0.16	0.15	0.15	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11

Figura III.5 (Continuação)

37	0.24	0.22	0.21	0.19	0.18	0.17	0.16	0.16	0.15	0.15	0.14	0.14	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
38	0.26	0.24	0.22	0.20	0.19	0.18	0.17	0.17	0.16	0.16	0.15	0.15	0.15	0.14	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13	0.13	0.14	0.14
39	0.27	0.25	0.23	0.21	0.20	0.19	0.18	0.18	0.17	0.17	0.16	0.16	0.16	0.15	0.15	0.15	0.14	0.14	0.15	0.15	0.15	0.15
40	0.29	0.26	0.24	0.23	0.21	0.20	0.19	0.19	0.18	0.18	0.17	0.17	0.17	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.17
41	0.30	0.28	0.26	0.24	0.23	0.21	0.21	0.20	0.19	0.19	0.19	0.18	0.18	0.18	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.18	0.18
42	0.33	0.30	0.28	0.26	0.24	0.23	0.22	0.21	0.21	0.20	0.20	0.19	0.19	0.19	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.19	0.19	0.20
43	0.35	0.32	0.30	0.28	0.26	0.25	0.24	0.23	0.22	0.22	0.21	0.21	0.20	0.20	0.20	0.19	0.19	0.19	0.20	0.20	0.20	0.21
44	0.38	0.35	0.32	0.30	0.28	0.27	0.26	0.25	0.24	0.23	0.23	0.22	0.22	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.22	0.22
45	0.42	0.38	0.35	0.33	0.31	0.29	0.28	0.27	0.26	0.25	0.24	0.24	0.23	0.23	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.23	0.23

VALORES DE DENSIDADE CORRETOS

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
1	0.30	1.23	1.25	1.22	1.19	1.16	1.11	1.08	1.07	1.08	1.04	0.91	0.87	0.86	0.86	0.84	0.84	0.82	0.84	0.84	0.83	0.83
2	0.27	1.26	1.22	1.19	1.13	0.98	0.89	1.02	1.00	1.00	0.96	0.85	0.85	0.85	0.85	0.83	0.83	0.82	0.83	0.82	0.83	0.83
3	0.25	1.19	0.98	0.92	0.90	0.87	0.85	0.82	0.82	0.85	0.86	0.84	0.83	0.82	0.81	0.83	0.86	0.83	0.81	0.83	0.81	0.81
4	1.17	0.95	0.92	0.89	0.85	0.83	0.84	0.80	0.80	0.83	0.81	0.79	0.81	0.81	0.81	0.80	0.79	0.78	0.79	0.80	0.78	0.78
5	1.15	0.93	0.88	0.87	0.82	0.81	0.80	0.78	0.78	0.80	0.80	0.77	0.79	0.79	0.79	0.78	0.78	0.78	0.79	0.79	0.77	0.76
6	0.93	0.90	0.87	0.82	0.79	0.78	0.75	0.75	0.75	0.75	0.73	0.76	0.76	0.78	0.75	0.75	0.78	0.75	0.75	0.77	0.73	0.76
7	0.90	0.85	0.81	0.78	0.74	0.73	0.72	0.69	0.70	0.72	0.69	0.73	0.69	0.71	0.72	0.69	0.71	0.70	0.68	0.65	0.68	0.68
8	0.87	0.83	0.78	0.76	0.73	0.69	0.69	0.69	0.67	0.69	0.70	0.68	0.68	0.69	0.70	0.69	0.67	0.66	0.66	0.66	0.63	0.60
9	0.82	0.79	0.73	0.71	0.69	0.69	0.67	0.68	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.66	0.66	0.67	0.66	0.64	0.64	0.62	0.63	0.59
10	0.81	0.76	0.73	0.70	0.67	0.65	0.64	0.66	0.63	0.66	0.66	0.65	0.63	0.63	0.60	0.62	0.63	0.63	0.61	0.60	0.59	0.58
11	0.[illegible]	0.73	0.70	0.67	0.66	0.62	0.63	0.62	0.63	0.62	0.61	0.62	0.62	0.63	0.60	0.63	0.62	0.63	0.61	0.59	0.58	0.55
12	0.74	0.71	0.68	0.65	0.62	0.62	0.59	0.61	0.59	0.59	0.58	0.60	0.61	0.61	0.61	0.62	0.60	0.60	0.58	0.58	0.55	0.52
13	0.70	0.69	0.66	0.63	0.60	0.59	0.59	0.59	0.57	0.58	0.58	0.59	0.60	0.61	0.60	0.59	0.57	0.56	0.58	0.52	0.51	0.51
14	0.70	0.68	0.62	0.59	0.57	0.58	0.57	0.58	0.54	0.55	0.57	0.57	0.59	0.59	0.57	0.56	0.56	0.55	0.58	0.53	0.53	0.52
15	0.70	0.67	0.60	0.57	0.55	0.58	0.53	0.53	0.52	0.52	0.54	0.55	0.56	0.58	0.53	0.58	0.53	0.53	0.53	0.54	0.58	0.58
16	0.70	0.66	0.59	0.57	0.55	0.58	0.52	0.53	0.52	0.52	0.54	0.55	0.55	0.53	0.53	0.53	0.52	0.53	0.52	0.53	0.54	0.58
17	0.67	0.65	0.62	0.58	0.56	0.58	0.54	0.54	0.53	0.56	0.52	0.53	0.51	0.52	0.58	0.54	0.56	0.57	0.55	0.55	0.59	0.59

Fig. III.6 - Valores de densidade corretos para a foto 2994 - 1ª Experiência

Figura III.6 (Continuação)

18	0.67	0.64	0.63	0.59	0.57	0.56	0.58	0.57	0.58	0.57	0.57	0.58	0.60	0.58	0.57	0.57	0.57	0.58	0.58	0.61	0.61	0.63
19	0.65	0.67	0.63	0.60	0.58	0.58	0.56	0.58	0.59	0.57	0.57	0.57	0.58	0.59	0.59	0.57	0.57	0.58	0.62	0.63	0.62	0.64
20	0.64	0.61	0.61	0.59	0.56	0.56	0.55	0.57	0.58	0.58	0.57	0.56	0.58	0.58	0.58	0.57	0.59	0.60	0.63	0.63	0.65	0.68
21	0.66	0.63	0.62	0.60	0.58	0.58	0.58	0.58	0.59	0.57	0.58	0.58	0.59	0.58	0.60	0.59	0.61	0.63	0.63	0.65	0.66	0.69
22	0.63	0.63	0.62	0.61	0.59	0.60	0.58	0.60	0.60	0.62	0.60	0.62	0.63	0.59	0.61	0.61	0.64	0.64	0.68	0.68	0.72	0.69
23	0.64	0.64	0.62	0.62	0.61	0.61	0.63	0.61	0.63	0.6[illegible]	0.68	0.61	0.61	0.61	0.65	0.66	0.69	0.70	0.73	0.72	0.73	0.69
24	0.66	0.66	0.63	0.62	0.62	0.62	0.63	0.63	0.64	0.63	0.63	0.63	0.65	0.67	0.69	0.69	0.74	0.74	0.74	0.73	0.72	0.71
25	0.69	0.65	0.66	0.64	0.63	0.63	0.63	0.63	0.66	0.63	0.65	0.67	0.70	0.72	0.72	0.73	0.76	0.74	0.74	0.72	0.72	0.69
26	0.70	0.67	0.67	0.64	0.63	0.63	0.63	0.66	0.66	0.67	0.68	0.70	0.72	0.72	0.75	0.75	0.[illegible]6	0.77	0.76	0.73	0.71	0.69
27	0.71	0.68	0.66	0.65	0.65	0.66	0.67	0.67	0.69	0.68	0.67	0.70	0.73	0.74	0.76	0.76	0.78	0.77	0.75	0.72	0.70	0.71
28	0.70	0.68	0.68	0.66	0.65	0.65	0.66	0.68	0.68	0.69	0.70	0.71	0.71	0.73	0.77	0.78	0.78	0.76	0.76	0.73	0.72	0.71
29	0.69	0.67	0.66	0.65	0.68	0.66	0.66	0.68	0.67	0.67	0.69	0.71	0.73	0.75	0.77	0.77	0.75	0.74	0.76	0.76	0.77	0.80
30	0.71	0.68	0.67	0.67	0.67	0.67	0.68	0.70	0.69	0.69	0.73	0.75	0.76	0.76	0.77	0.78	0.79	0.76	0.76	0.78	0.80	0.78
31	0.71	0.70	0.70	0.69	0.68	0.69	0.70	0.70	0.71	0.71	0.73	0.75	0.7[illegible]	0.75	0.77	0.81	0.75	0.77	0.80	0.77	0.81	0.86
32	0.73	0.71	0.72	0.71	0.70	0.69	0.71	0.70	0.71	0.71	0.72	0.76	0.77	0.78	0.79	0.88	0.87	0.87	0.86	0.86	0.86	0.86
33	0.75	0.73	0.75	0.72	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.75	0.78	0.83	0.75	0.89	0.88	0.88	0.88	0.87	0.87	0.87	0.87
34	0.79	0.76	0.76	0.72	0.72	0.72	0.74	0.72	0.72	0.72	0.76	0.88	0.85	0.10	0.10	0.09	0.89	0.89	0.88	0.88	0.88	0.89
35	0.76	0.76	0.74	0.73	0.72	0.73	0.73	0.72	0.72	0.74	0.82	0.84	0.12	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
36	0.78	0.77	0.76	0.75	0.75	0.74	0.72	0.73	0.74	0.78	0.98	0.13	0.13	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
37	0.80	0.79	0.78	0.77	0.76	0.75	0.74	0.75	0.75	0.81	0.90	0.14	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12

Figura III.6 (Continuação)

38	0.83	0.79	0.80	0.78	0.76	0.75	0.74	0.76	0.79	0.83	0.15	0.15	0.15	0.14	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13	0.13	0.14	0.14
39	0.85	0.81	0.79	0.77	0.76	0.75	0.75	0.76	0.80	0.83	0.16	0.16	0.16	0.15	0.15	0.15	0.14	0.14	0.15	0.15	0.15	0.15
40	0.87	0.83	0.80	0.78	0.77	0.76	0.75	0.73	0.74	0.76	0.17	0.17	0.17	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.17
41	0.87	0.84	0.80	0.79	0.77	0.75	0.72	0.73	0.69	0.74	0.19	0.18	0.18	0.18	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.18	0.18
42	0.90	0.86	0.83	0.80	0.77	0.74	0.71	0.68	0.69	0.60	0.20	0.19	0.19	0.19	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.19	0.19	0.20
43	0.92	0.88	0.83	0.81	0.78	0.73	0.70	0.68	0.68	0.64	0.21	0.21	0.20	0.20	0.20	0.19	0.19	0.19	0.20	0.20	0.20	0.21
44	0.94	0.88	0.83	0.80	0.76	0.72	0.69	0.67	0.69	0.64	0.23	0.22	0.22	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.22	0.22
45	0.92	0.87	0.84	0.82	0.76	0.71	0.70	0.68	0.67	0.66	0.24	0.24	0.23	0.23	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.23	0.23

Mantendo-se os mesmos pontos da Tabela III.1, e trabalhando-se agora com os valores de densidade corretos, obtém-se um novo conjunto de valores de densidade/profundidade, expressos na Tabela III.3.

A regressão linear entre as duas variáveis, com a densidade correta em função da profundidade, apresentou os resultados que podem ser vistos na Figura III.7.

O coeficiente de correlação entre as duas variáveis aumentou de 0.89 para 0.93, comprovando a eficiência da correção introduzida.

Nota-se, agora, que os pontos mais dispersos da reta obtida: N3, D38, C35, F9, A30 e G7, apresentam uma densidade maior do que a esperada, e correspondem a pontos localizados longe do centro da foto.

Isto pode ser explicado pela presença de algum efeito do "vignetting" nas fotos da missão Hidrosere, apesar das mesmas terem sido obtidas com um filtro "anti-vignetting" A.V. 1.4.

Segundo dados obtidos de Duddek (1967), com a calibração da câmara "Wild RC-10" utilizada na missão, tem-se que a exposição do ponto extremo de uma foto (distante 15 cm do centro) é de 45% da exposição do centro da mesma. Isto quer dizer que existe uma perda de iluminação, do centro da foto para o seu ponto mais distante, cerca de 55%.

TABELA III.3

VALORES DE PROFUNDIDADE E DENSIDADE CORRETAS PARA OS PONTOS DE AMOSTRAGEM DA FOTO 2994 - 1ª EXPERIÊNCIA, COM LIMITAÇÃO DA ÁREA DE AMOSTRAGEM

NOME	PROF.	DENS.
I15	1.44	0.52
O15	1.84	0.53
L15	2.04	0.55
T14	2.14	0.53
H16	2.24	0.53
Q17	2.44	0.54
K20	2.54	0.57
F18	2.64	0.56
K18	2.64	0.57
H18	2.84	0.57
E22	3.04	0.59
H23	3.34	0.61
S19	3.54	0.62
O22	3.64	0.61
E26	3.64	0.63
F09	3.84	0.69
A30	3.94	0.71
L24	4.14	0.63

NOME	PROF.	DENS
G07	4.14	0.72
I25	4.24	0.64
Q22	4.24	0.64
J10	4.24	0.66
G27	4.54	0.67
L09	4.64	0.65
C35	5.64	0.74
Q08	5.74	0.67
M28	6.04	0.71
D38	6.14	0.78
H32	6.24	0.70
N03	6.24	0.82
F36	6.54	0.74
T26	6.64	0.73
S28	7.14	0.74
K31	7.14	0.73
M31	7.64	0.76
J37	8.54	0.81
M33	9.44	0.83

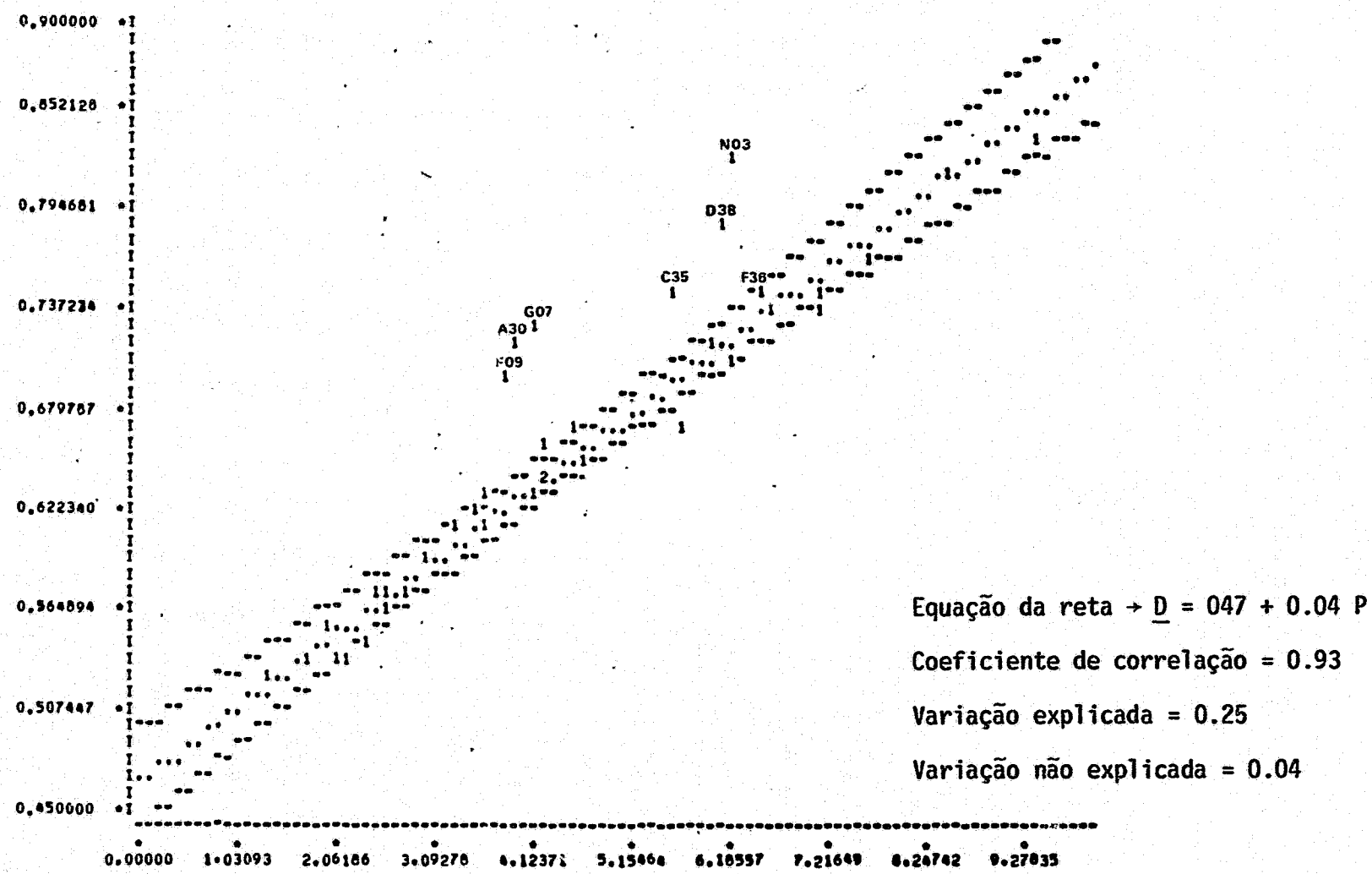


Fig. III.7 - Reta da regressão linear, densidade correta em função da profundidade, e parâmetros estatísticos

Como não foi realizado o controle radiométrico das fotos obtidas na missão Hidrosere, não foi possível calcular-se uma correção para o efeito de "vignetting".

O artifício utilizado para minimizá-lo foi limitar a amostragem dos pontos para aqueles que estivessem no máximo a 9 cm do centro da foto. Isto equivaleu a se limitar a área de amostragem a um círculo de 9 cm de raio, traçado a partir do centro da foto, fazendo com que se trabalhase com pontos que tivessem uma perda de iluminação em relação ao centro da foto, de no máximo 25%.

Aplicando-se o artifício, determinou-se um novo conjunto de valores de densidade/profundidade, correspondente a todos os pontos amostrais da Tabela III.3, com exceção dos seguintes: F09, F30, G07, C35, D38, N03 e F36.

A regressão linear entre a densidade e a profundidade, realizada com os pontos deste novo conjunto, apresentou os resultados constantes da Figura III.8.

Apesar da limitação da área, nota-se ainda que os pontos mais dispersos da reta calculada, apresentando uma densidade maior do que a esperada, são, em sua maioria, pontos afastados do centro. Isto mostra a persistência do efeito de "vignetting", só que agora em menor escala (menor dispersão). Pode-se citar os pontos: E22, H23, E26, G27, H32, I10.

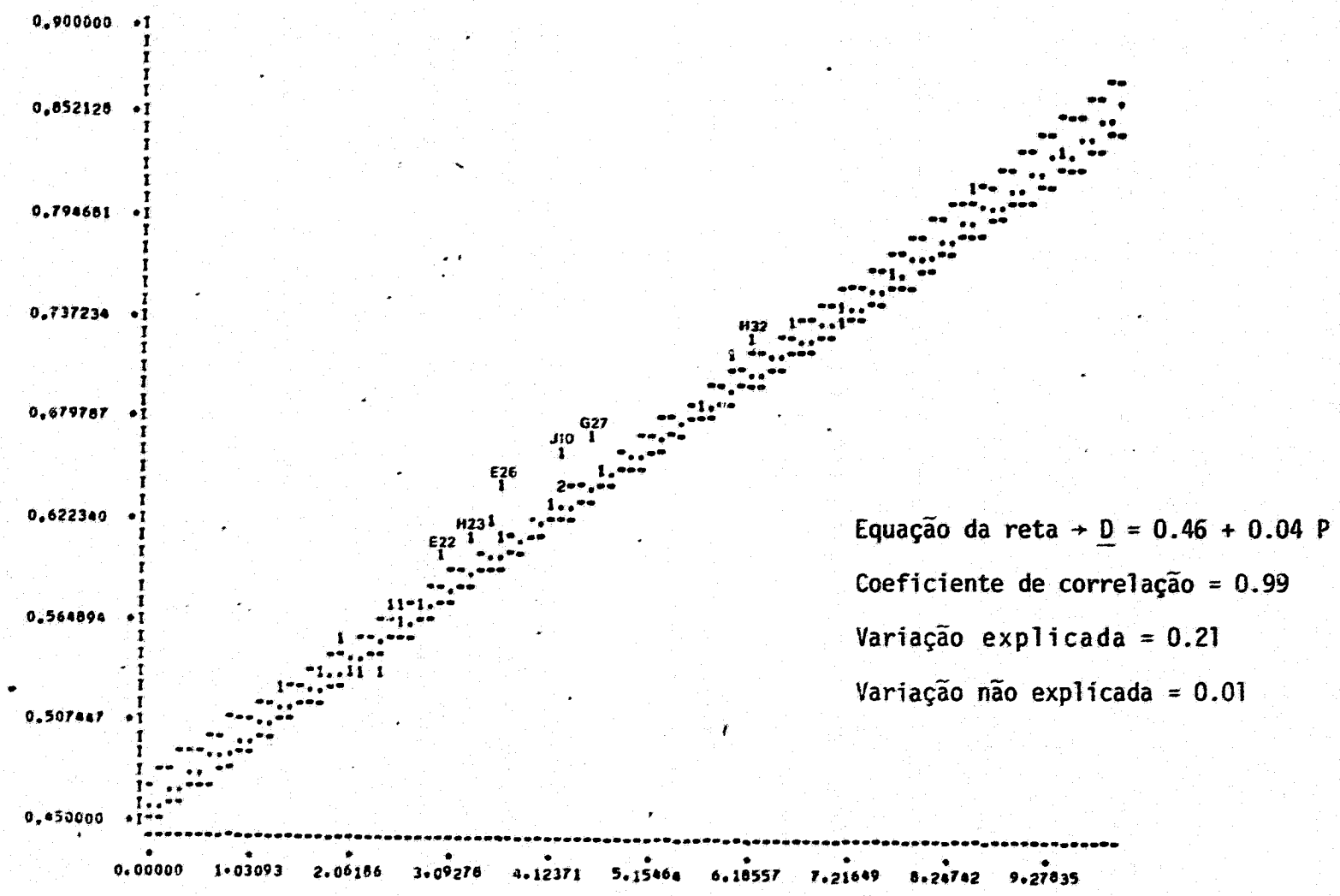


Fig. III.8 - Reta da regressão linear, densidade correta em função da profundidade, com limitação da área de amostragem, e parâmetros estatísticos - 1ª Experiência

O aumento no coeficiente de correlação entre as variáveis, de 0.93 (Figura III.7) para 0.99, ao ser minimizado o efeito de "vignetting", demonstra a sua importância na relação existente entre as duas variáveis: a profundidade de um ponto e a sua densidade medida em uma foto onde tenha sido imageado.

O coeficiente de correlação entre a densidade e a profundidade de um ponto, igual a 0.99, mostra como estas duas variáveis são altamente correlacionadas. É bom lembrar que este valor foi obtido após uma correção e uma simplificação; estas, porém, podem se tornar desnecessárias, se forem tomadas as devidas precauções, discutidas a seguir.

A correção devida à não homogeneidade de projeção de luz do sistema Log E pode ser abolida, simplesmente, pela não utilização deste sistema. Para isto surgem duas soluções:

a) Uma ideal, que seria a de se trabalhar direto em cima do negativo original. Isto acarretaria a necessidade de um densitômetro de varredura, a fim de não ser necessário quadricular o produto (transparência positiva, negativa, etc.) que vai ser efetivamente analisado, como foi o caso deste trabalho, onde foi utilizado um densitômetro que mede pontos discretos. Qualquer coisa que se escreva sobre o negativo, pode por a perder a informação nele contida.

A utilização de um densitômetro de varredura tem ainda a vantagem de aumentar a resolução da análise realizada, pois não é necessário trabalhar-se dentro de um quadro de amostra, podendo-se operar diretamente com a abertura do sistema de medição de densidades empregado.

b) A outra solução, no caso de se ter que trabalhar com uma cópia, é empregar um sistema que a realize de tal forma que não haja varredura de feixe de luz, ou seja, que a distância

entre a fonte e o negativo a ser copiado, fique constante durante todo o processo. Este é o caso da copiadora Colorado, existente no Laboratório de Processamento Fotográfico do INPE, em Cachoeira Paulista, onde a fonte é estática, e o negativo e o filme duplicador é que correm, acoplados a um tambor giratório.

A simplificação de limitar a área de amostragem dos pontos devido ao efeito de "vignetting", torna-se desnecessária, se for realizado um rigoroso controle radiométrico do sistema fotográfico, de onde pode ser retirada uma correção exata para este efeito. Com isto pode-se trabalhar perfeitamente com toda a área da foto, e esperar-se um resultado igual ou melhor ao obtido com a área limitada.

Do alto coeficiente de correlação obtido, pode-se afirmar que a diferença entre a profundidade de dois pontos é a maior responsável pelas diferentes densidades relativas aos mesmos, medidas em uma foto onde os dois tenham sido imageados. A variação nas condições ambientais de um ponto para o outro introduz, no valor de densidade, um efeito que pode ser considerado desprezível, valendo as simplificações adotadas de homogeneidade destas condições (item 2.4).

Isto pode ser visto na Figura III.8, pela análise comparativa entre os valores da variação explicada, pela qual a profundidade é a responsável; e da variação não explicada, decorrente das variações nas condições entre um ponto e outro. Nesta variação, além das condições ambientais, estão incluídos os efeitos de obtenção, processamento e cópias das fotos.

Estes efeitos são de grande importância, haja visto que, ao serem minimizados, provocaram um aumento no coeficiente de correlação entre a densidade fotográfica e a profundidade, relativas a um mesmo ponto, da ordem de 12%, isto é, de 0.89 para 0.99.

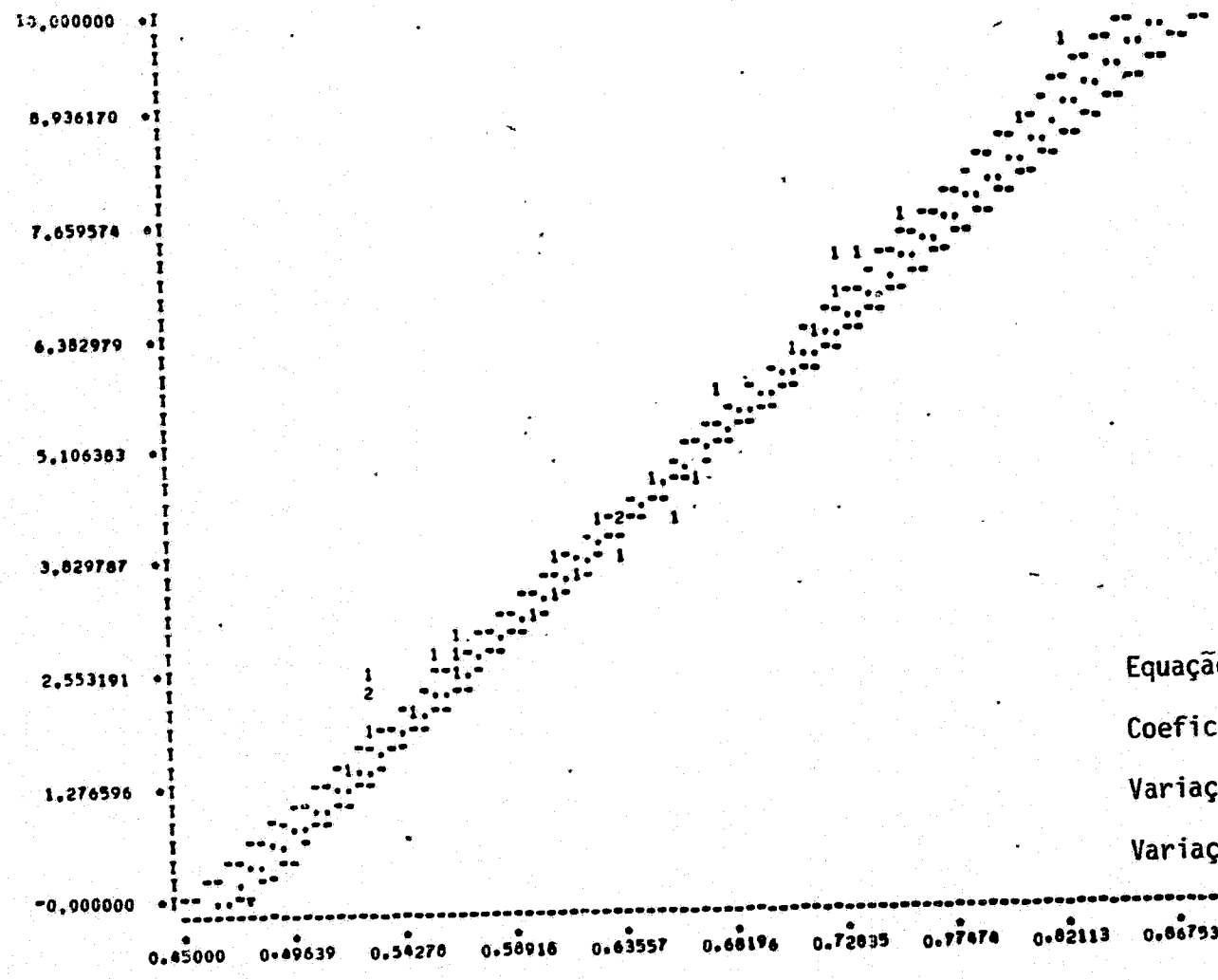
Do mesmo conjunto de pontos, utilizado para o cálculo da reta da Figura III.8, fêz-se uma nova regressão, agora com a profundidade em função da densidade. Foram calculados os intervalos de confiança de 95%, para a inferência de um valor de profundidade a partir de um valor qualquer de densidade, utilizando-se a reta calculada.

A reta calculada e os parâmetros estatísticos estão na Figura III.9. Seguem nesta figura as hipérboles que delimitam o intervalo de confiança de 95% para a inferência de profundidade.

Os intervalos de confiança de 95% para a inferência da profundidade, estão na Figura III.10. Nesta figura, para cada valor de densidade, existem um valor de profundidade e um intervalo. O valor de profundidade é calculado a partir da reta de regressão, entrando-se com o valor da densidade. O intervalo, somado e subtraído ao valor de profundidade, dá para esta variável dois valores entre os quais se tem 95% de confiança de que se encontra a profundidade correta, para um ponto da imagem que tenha aquela densidade.

Estes valores apresentados são válidos a uma inferência, somente para a população a que pertencem os pontos da área de amostragem, equivalente a dizer que ela é *válida somente para a área de amostragem*.

O intervalo dá a dimensão do erro que pode estar sendo cometido ao se inferir para a profundidade de um determinado ponto, o valor calculado através da reta de regressão determinada, entrando-se com a sua respectiva densidade.



Equação da reta → P = -11.24 + 24.44 D

Coeficiente de correlação = 0.99

Variação explicada = 128.86

Variação não explicada = 0,37

Fig. III.9 - Reta da regressão linear, profundidade em função da densidade correta, com limitação da área de amostragem; e parâmetros estatísticos - 1ª Experiência

DENSIDADE	PROFUNDIDADE		INTERVALO
0.45000	-0.24189	± ou =	0.33050
0.45454	-0.12850	± ou =	0.32374
0.45228	-0.01511	± ou =	0.31731
0.46392	0.09829	± ou =	0.31031
0.46856	0.21168	± ou =	0.30364
0.47320	0.32508	± ou =	0.29701
0.47784	0.43847	± ou =	0.29062
0.48247	0.55186	± ou =	0.28387
0.48711	0.66526	± ou =	0.27737
0.49175	0.77865	± ou =	0.27091
0.49639	0.89205	± ou =	0.26450
0.50103	1.00544	± ou =	0.25815
0.50567	1.11883	± ou =	0.25186
0.51031	1.23223	± ou =	0.24564
0.51495	1.34562	± ou =	0.23948
0.51959	1.45902	± ou =	0.23339
0.52423	1.57241	± ou =	0.22739
0.52887	1.68580	± ou =	0.22147
0.53351	1.79920	± ou =	0.21565
0.53814	1.91259	± ou =	0.20993
0.54278	2.02599	± ou =	0.20432
0.54742	2.13938	± ou =	0.19883
0.55206	2.25277	± ou =	0.19347
0.55670	2.36617	± ou =	0.18825
0.56134	2.47956	± ou =	0.18318
0.56598	2.59296	± ou =	0.17828
0.57062	2.70635	± ou =	0.17356
0.57526	2.81974	± ou =	0.16904
0.57990	2.93314	± ou =	0.16472
0.58454	3.04653	± ou =	0.16064
0.58918	3.15993	± ou =	0.15680
0.59381	3.27332	± ou =	0.15322
0.59845	3.38671	± ou =	0.14993
0.60309	3.50011	± ou =	0.14694
0.60773	3.61350	± ou =	0.14428
0.61237	3.72689	± ou =	0.14195
0.61701	3.84029	± ou =	0.13998
0.62165	3.95368	± ou =	0.13839
0.62629	4.06708	± ou =	0.13717
0.63093	4.18047	± ou =	0.13635
0.63557	4.29386	± ou =	0.13594
0.64021	4.40726	± ou =	0.13593
0.64485	4.52065	± ou =	0.13632
0.64948	4.63405	± ou =	0.13712
0.65412	4.74744	± ou =	0.13831
0.65876	4.86083	± ou =	0.13987
0.66340	4.97423	± ou =	0.14185
0.66804	5.08762	± ou =	0.14410
0.67268	5.20102	± ou =	0.14681
0.67732	5.31401	± ou =	0.14978
0.68196	5.42780	± ou =	0.15306
0.68660	5.54120	± ou =	0.15662
0.69124	5.65459	± ou =	0.16044
0.69588	5.76799	± ou =	0.16452
0.70052	5.88138	± ou =	0.16882
0.70515	5.99477	± ou =	0.17336
0.70979	6.10817	± ou =	0.17805
0.71443	6.22156	± ou =	0.18298

DENSIDADE	PROFUNDIDADE		INTERVALO
0.71907	6.33496	± ou =	0.18803
0.72371	6.44835	± ou =	0.19321
0.72835	6.56174	± ou =	0.19856
0.73299	6.67514	± ou =	0.20405
0.73763	6.78853	± ou =	0.20965
0.74227	6.90193	± ou =	0.21537
0.74691	7.01532	± ou =	0.22119
0.75155	7.12871	± ou =	0.22710
0.75619	7.24211	± ou =	0.23310
0.76082	7.35550	± ou =	0.23918
0.76546	7.46889	± ou =	0.24533
0.77010	7.58229	± ou =	0.25156
0.77474	7.69568	± ou =	0.25786
0.77938	7.80908	± ou =	0.26419
0.78402	7.92247	± ou =	0.27059
0.78866	8.03586	± ou =	0.27705
0.79330	8.14926	± ou =	0.28355
0.79794	8.26265	± ou =	0.29010
0.80258	8.37605	± ou =	0.29669
0.80722	8.48944	± ou =	0.30332
0.81186	8.60283	± ou =	0.30998
0.81649	8.71623	± ou =	0.31668
0.82113	8.82962	± ou =	0.32341
0.82577	8.94302	± ou =	0.33017
0.83041	9.05641	± ou =	0.33696
0.83505	9.16980	± ou =	0.34378
0.83969	9.28320	± ou =	0.35062
0.84433	9.39659	± ou =	0.35748
0.84897	9.50999	± ou =	0.36437
0.85361	9.62338	± ou =	0.37128
0.85825	9.73677	± ou =	0.37821
0.86289	9.85017	± ou =	0.38516
0.86753	9.96356	± ou =	0.39212
0.87216	10.07696	± ou =	0.39910
0.87680	10.19035	± ou =	0.40610
0.88144	10.30374	± ou =	0.41312
0.88608	10.41714	± ou =	0.42016
0.89072	10.53053	± ou =	0.42718
0.89536	10.64392	± ou =	0.43420
0.90000	10.75732	± ou =	0.44131

Fig. III.10 - Valores de densidade e valores de profundidade relativos à reta de regressão calculada, com os respectivos intervalos de confiança de 95%, para a inferência da profundidade de um ponto a partir da sua densidade -- 1ª Experiência.

Por exemplo, se na imagem for selecionado um ponto com densidade igual a 0.63, a sua profundidade será fixada em 4.18 metros, afirmando-se que existe 5% de chance da profundidade correta estar fora do intervalo de 4.32 metros a 4.05 metros, ou seja, 4,18 ± 0.136. Ao se fixar o valor de 4,18 metros, assume-se 95% de certeza de estar sendo cometido um erro de no máximo 0.136 metros, que é o intervalo determinado e será adotado como o valor do erro cometido.

Dentro da faixa de profundidades amostradas, 1.44 m a 9.44 m, o erro máximo cometido seria 0.36 m em 9.44 m de profundidade, sendo que o mesmo decresce até 0.136 m em torno de 4.2 m.

A assimetria do erro pode ser explicada pela maior ocorrência de pontos com pouca profundidade, dando uma maior garantia a estes valores.

Não foi possível determinar a profundidade máxima que poderia ser investigada, devido à conjunção de vários fatores:

a) a não realização da curva característica correspondente ao filme e processamento utilizados na missão. A partir desta curva, poder-se-ia determinar corretamente o ponto de saturação do sistema empregado;

b) a não realização de um controle sensitométrico na confecção das cópias positivas em preto e branco (o item a torna isto impraticável). A utilização direta do negativo original para a análise elimina este passo;

c) a não inclusão na área de amostragem de pontos de grande profundidade. Este fato está ligado às dificuldades apresentadas no item 2.4.2, relativas ao difícil posicionamento das fotos no terreno devido à baixa altitude do vôo. Se fossem analisadas grandes profundidades, seria possível determinar aquela em que o sistema saturaria.

Entretanto, em face do alto coeficiente de correlação obtido, pode-se dizer que o sistema estava bem otimizado para a investigação de feições de subsuperfície. Os diversos itens em particular, serão analisados posteriormente.

3.1.2 - RESULTADOS E DISCUSSÃO DA 2ª EXPERIÊNCIA

A 2ª experiência consistiu em se transportar uma reta de regressão, profundidade em função da densidade, de uma foto para outra, a fim de se inferir as profundidades de pontos da segunda, a partir de suas densidades.

A reta de regressão foi obtida pela foto 2994, adotando-se o mesmo procedimento da 1ª experiência, já incluídas a correção e a simplificação de limite da área de amostragem dos pontos.

A inferência da profundidade foi realizada na foto 2980.

Para isto, admitiu-se que *os pontos da foto 2980 pertenciam à mesma população dos pontos da foto 2994.*

A fim de facilitar a análise, não foram determinadas profundidades para pontos discretos, e sim linhas de isodensidade. Estes valores de densidade, introduzidos na reta de regressão, obtida na 2ª experiência, correspondem a profundidades, transformando aquelas linhas em isobatimétricas.

Todo o processo de confecção das transparências positivas em preto e branco foi repetido, a fim de não haver diferenças entre a cópia e o processamento das imagens envolvidas. As fotos 2994 e 2980 foram copiadas e processadas simultaneamente.

Como citado no capítulo anterior, item 2.4.1, a 2ª experiência foi realizada com um ajuste de exposição do sistema Log E, 1320, diferente do utilizado na 1ª experiência, 1400.

3.1.2.1 - ANÁLISE DA FOTO 2994 E CÁLCULO DA RETA DE REGRESSÃO PARA A INFERÊNCIA

A nova cópia em transparência positiva em preto e branco, da imagem 2994, foi quadriculada como na 1ª experiência (Figura III.1), e as densidades medidas no centro de cada quadrado são mostradas na Figura III.11, referenciadas pela letra da coluna e o número da linha, correspondentes a cada um.

Para o cálculo da superfície interpoladora, visando a correção do efeito de não homogeneidade da projeção de luz do sistema Log E, foram selecionados os pontos mostrados na Tabela III.4. Estão na referida tabela, as densidades medidas em cada ponto e as respectivas correções relativas ao ponto mais denso (centro da foto).

Os valores de correção interpolados para a 2ª experiência estão na Figura III.12.

Os valores de densidade corretos para a foto 2994, estão na Figura III.13.

A cópia da foto 2994, na 2ª experiência, ficou levemente menos densa do que a cópia da 1ª experiência. Isto já era esperado, conforme citado no item 2.4.1 do capítulo anterior, e pode ser verificado pela comparação das Figuras III.2 e III.11, onde se tem as densidades observadas na primeira e na segunda experiência, respectivamente.

Porém, pode ser notado que alguns pontos, localizados próximo às bordas da foto, tiveram uma densidade maior na 2ª experiência. Isto concorda com os valores de densidade medidos na imagem da quantidade de luz,que a fonte do sistema Log E fez incidir em cada ponto da mesa de reprodução,durante as duas experiências, conforme pode ser visto nas Tabelas III.2 e III.4.

VALORES DE DENSIDADE OBSERVADOS

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.00	1.06	1.02	1.03	1.02	0.97	0.92	0.93	0.93	0.90	0.82	0.77	0.76	0.76	0.75	0.74	0.73	0.71	0.73	0.72	0.70	0.71
3	1.06	1.06	1.02	0.78	0.74	0.72	0.70	0.69	0.70	0.73	0.74	0.73	0.74	0.74	0.73	0.74	0.73	0.73	0.71	0.71	0.69	0.69
4	1.04	0.98	0.78	0.75	0.71	0.70	0.69	0.69	0.69	0.69	0.68	0.68	0.68	0.70	0.70	0.69	0.68	0.67	0.67	0.67	0.66	0.65
5	0.81	0.77	0.74	0.72	0.70	0.66	0.66	0.66	0.65	0.63	0.64	0.65	0.66	0.67	0.68	0.66	0.67	0.66	0.65	0.64	0.62	0.61
6	0.76	0.74	0.71	0.68	0.65	0.65	0.63	0.64	0.63	0.61	0.62	0.61	0.64	0.65	0.66	0.65	0.62	0.62	0.61	0.62	0.62	0.60
7	0.73	0.69	0.66	0.63	0.61	0.59	0.60	0.59	0.59	0.60	0.59	0.61	0.59	0.60	0.59	0.58	0.59	0.59	0.58	0.58	0.55	0.55
8	0.70	0.66	0.64	0.63	0.61	0.60	0.59	0.58	0.57	0.56	0.57	0.56	0.57	0.57	0.57	0.57	0.56	0.55	0.55	0.55	0.52	0.52
9	0.68	0.63	0.60	0.59	0.58	0.57	0.56	0.55	0.55	0.55	0.54	0.54	0.54	0.55	0.54	0.55	0.54	0.53	0.53	0.52	0.50	0.49
10	0.65	0.63	0.62	0.59	0.57	0.55	0.56	0.54	0.53	0.54	0.54	0.53	0.54	0.54	0.53	0.54	0.54	0.52	0.49	0.49	0.47	0.46
11	0.63	0.60	0.57	0.55	0.53	0.53	0.54	0.53	0.54	0.53	0.52	0.52	0.53	0.54	0.53	0.52	0.51	0.51	0.49	0.47	0.46	0.43
12	0.60	0.59	0.55	0.53	0.53	0.51	0.53	0.53	0.53	0.52	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.48	0.47	0.45	0.44	0.42	0.41
13	0.58	0.56	0.53	0.52	0.52	0.53	0.51	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.48	0.50	0.48	0.47	0.45	0.44	0.43	0.42	0.41	0.41
14	0.56	0.53	0.50	0.47	0.50	0.50	0.49	0.47	0.48	0.49	0.49	0.48	0.49	0.48	0.46	0.45	0.45	0.45	0.44	0.42	0.42	0.41
15	0.56	0.52	0.47	0.46	0.45	0.46	0.45	0.46	0.44	0.44	0.45	0.46	0.45	0.45	0.44	0.43	0.44	0.44	0.45	0.43	0.45	0.44
16	0.53	0.49	0.49	0.47	0.46	0.46	0.45	0.44	0.44	0.43	0.42	0.43	0.43	0.44	0.43	0.44	0.44	0.45	0.47	0.48	0.51	0.49
17	0.53	0.50	0.49	0.47	0.47	0.48	0.48	0.49	0.48	0.47	0.46	0.46	0.47	0.48	0.46	0.45	0.46	0.47	0.50	0.48	0.51	0.51

Fig. III.11 - Densidades observadas na foto 2994 - 2ª Experiência

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

136

Figura III.11 (Continuação)

18	0.54	0.59	0.50	0.47	0.48	0.47	0.50	0.48	0.49	0.48	0.48	0.47	0.50	0.49	0.49	0.48	0.49	0.50	0.50	0.52	0.52	0.54
19	0.50	0.52	0.50	0.49	0.47	0.49	0.49	0.48	0.50	0.48	0.48	0.48	0.49	0.50	0.49	0.49	0.50	0.51	0.55	0.57	0.57	0.57
20	0.50	0.49	0.49	0.47	0.48	0.48	0.48	0.49	0.49	0.48	0.47	0.49	0.50	0.51	0.50	0.49	0.52	0.54	0.59	[illegible]	0.60	0.62
21	0.50	0.48	0.48	0.49	0.49	0.50	0.48	0.50	0.50	0.49	0.49	0.51	0.51	0.53	0.53	0.52	0.55	0.57	0.60	0.60	0.62	0.63
22	0.48	0.47	0.48	0.49	0.50	0.51	0.50	0.52	0.51	0.51	0.52	0.52	0.52	0.52	0.55	0.55	0.58	0.58	0.64	0.64	0.66	0.64
23	0.48	0.49	0.50	0.53	0.52	0.51	0.52	0.53	0.53	0.52	0.53	0.53	0.53	0.55	0.58	0.60	0.61	0.63	0.66	0.66	0.66	0.64
24	0.49	0.49	0.50	0.52	0.52	0.52	0.53	0.54	0.53	0.54	0.54	0.55	0.57	0.59	0.61	0.64	0.67	0.67	0.66	0.66	0.63	0.65
25	0.50	0.50	0.49	0.50	0.51	0.53	0.54	0.52	0.56	0.52	0.56	0.58	0.60	0.63	0.65	0.66	0.68	0.69	0.67	0.63	0.62	0.62
26	0.51	0.51	0.51	0.51	0.53	0.54	0.55	0.56	0.57	0.59	0.61	0.61	0.62	0.63	0.66	0.68	0.69	0.70	0.70	0.68	0.64	0.62
27	0.52	0.51	0.52	0.54	0.54	0.54	0.58	0.58	0.61	0.60	0.61	0.62	0.64	0.64	0.66	0.67	0.71	0.71	0.68	0.68	0.66	0.66
28	0.52	0.51	0.54	0.56	0.56	0.56	0.59	0.61	0.63	0.63	0.62	0.65	0.65	0.66	0.67	0.66	0.69	0.70	0.69	0.67	0.66	0.66
29	0.52	0.51	0.51	0.54	0.54	0.59	0.58	0.61	0.62	0.62	0.62	0.67	0.68	0.70	0.72	0.70	0.69	0.69	0.67	0.69	0.71	0.70
30	0.55	0.58	0.54	0.56	0.59	0.58	0.60	0.61	0.60	0.64	0.65	0.67	0.70	0.68	0.71	0.71	0.72	0.67	0.70	0.70	0.75	0.70
31	0.54	0.56	0.57	0.58	0.59	0.60	0.60	0.63	0.60	0.65	0.67	0.69	0.71	0.72	0.74	0.77	0.72	0.71	0.06	0.72	0.77	0.73
32	0.56	0.57	0.59	0.58	0.62	0.60	0.60	0.61	0.61	0.60	0.60	0.69	0.72	0.72	0.77	0.82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
33	0.58	0.57	0.58	0.59	0.60	0.62	0.61	0.62	0.63	0.67	0.68	0.70	0.75	0.79	0.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
34	0.60	0.60	0.59	0.60	0.59	0.61	0.64	0.64	0.63	0.64	0.67	0.73	0.51	0.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
35	0.58	0.59	0.59	0.61	0.60	0.63	0.61	0.62	0.63	0.65	0.73	0.80	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
36	0.61	0.61	0.60	0.61	0.61	0.61	0.60	0.62	0.60	0.69	0.81	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
37	0.63	0.63	0.62	0.63	0.61	0.61	0.60	0.62	0.65	0.60	0.82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Figura III.11(Continuação)

38	0.63	0.63	0.64	0.63	0.62	0.61	0.60	0.63	0.66	0.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
39	0.64	0.68	0.64	0.64	0.62	0.62	0.61	0.62	0.67	0.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
40	0.66	0.66	0.65	0.62	0.63	0.63	0.61	0.62	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
41	0.71	0.68	0.66	0.66	0.65	0.63	0.58	0.60	0.58	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
42	0.74	0.70	0.69	0.69	0.66	0.60	0.58	0.57	0.55	0.51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
43	0.74	0.71	0.68	0.67	0.65	0.59	0.57	0.53	0.53	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
44	0.70	0.66	0.64	0.60	0.56	0.54	0.51	0.51	0.50	0.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
45	0.66	0.62	0.61	0.58	0.52	0.49	0.47	0.47	0.48	0.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
1	0.22	0.22	0.21	0.19	0.18	0.16	0.15	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
2	0.21	0.21	0.20	0.18	0.17	0.16	0.14	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
3	0.20	0.19	0.19	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.13	0.13	0.13
4	0.18	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
5	0.17	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
6	0.16	0.16	0.15	0.14	0.13	0.13	0.12	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.12
7	0.15	0.15	0.14	0.14	0.13	0.12	0.11	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
8	0.14	0.14	0.14	0.13	0.12	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
9	0.14	0.13	0.13	0.12	0.11	0.10	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
10	0.13	0.13	0.12	0.11	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
11	0.12	0.12	0.11	0.11	0.10	0.09	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
12	0.12	0.11	0.11	0.10	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
13	0.11	0.11	0.10	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.05
14	0.11	0.10	0.10	0.09	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
15	0.11	0.10	0.09	0.09	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04

Fig. III.12 - Valores de correção interpolados para a foto 2994 - 2ª Experiência

Figura III.12 (Continuação)

16	0.11	0.10	0.09	0.08	0.08	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
17	0.10	0.10	0.09	0.08	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02
18	0.10	0.09	0.09	0.08	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
19	0.10	0.09	0.08	0.08	0.07	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01
20	0.10	0.09	0.08	0.08	0.07	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
21	0.10	0.09	0.08	0.08	0.07	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
22	0.11	0.09	0.08	0.08	0.07	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
23	0.11	0.09	0.08	0.08	0.07	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
24	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
25	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
26	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.07	0.06	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
27	0.12	0.10	0.09	0.08	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
28	0.12	0.11	0.09	0.08	0.08	0.07	0.07	0.06	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
29	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.07	0.07	0.06	0.06	0.05	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01
30	0.13	0.11	0.10	0.09	0.08	0.08	0.07	0.07	0.06	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
31	0.13	0.12	0.10	0.09	0.09	0.08	0.08	0.07	0.07	0.06	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02
32	0.14	0.12	0.11	0.10	0.09	0.09	0.08	0.08	0.07	0.07	0.06	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.03	0.04	0.04	0.03	0.03
33	0.14	0.13	0.11	0.10	0.10	0.09	0.09	0.08	0.08	0.07	0.07	0.06	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
34	0.15	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.09	0.09	0.08	0.08	0.07	0.07	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04
35	0.15	0.14	0.12	0.11	0.11	0.10	0.10	0.09	0.09	0.08	0.08	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.05
36	0.16	0.14	0.13	0.12	0.11	0.11	0.10	0.10	0.09	0.09	0.08	0.08	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.06

140

Figura III.12 (Continuação)

37	0.17	0.15	0.13	0.12	0.12	0.11	0.11	0.10	0.10	0.09	0.09	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.07
38	0.17	0.15	0.14	0.13	0.12	0.12	0.11	0.11	0.10	0.10	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09	0.08
39	0.18	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.12	0.11	0.11	0.10	0.10	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
40	0.18	0.17	0.15	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12	0.11	0.11	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.10	0.10	0.10	0.09
41	0.19	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12	0.11	0.11	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09	0.10	0.10	0.11	0.11	0.10
42	0.20	0.18	0.16	0.15	0.14	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11	0.11	0.11	0.10
43	0.20	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.14	0.13	0.12	0.12	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11	0.11	0.11	0.11	0.10
44	0.21	0.19	0.17	0.16	0.15	0.14	0.14	0.13	0.13	0.12	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11	0.11	0.11	0.11	0.10
45	0.21	0.19	0.17	0.16	0.15	0.14	0.14	0.13	0.12	0.12	0.11	0.10	0.10	0.10	0.09	0.09	0.10	0.10	0.11	0.11	0.11	0.10

TABELA III.4

PONTOS SELECIONADOS NA "IMAGEM" DA FONTE DO SISTEMA LOG E - FOTO 2994 E 2980 - 2ª EXPERIÊNCIA. DENSIDADE MEDIDA EM CADA PONTO, COM O VALOR DA RESPECTIVA CORREÇÃO

NOME	DENS.	CORR.
A1	1.70	+0.22
H1	1.78	+0.14
M1	1.80	+0.12
S1	1.80	+0.12
V1	1.80	+0.12
E3	1.76	+0.16
P3	1.80	+0.12
A5	1.74	+0.18
H5	1.80	+0.12
M5	1.80	+0.12
S5	1.80	+0.12
V5	1.80	+0.12
A10	1.80	+0.12
H10	1.83	+0.09
M10	1.84	+0.08
S10	1.84	+0.08
V10	1.84	+0.08
E13	1.83	+0.09
P13	1.86	+0.06
A15	1.81	+0.11

NOME	DENS.	CORR.
H15	1.86	+0.06
M15	1.86	+0.06
S15	1.87	+0.05
V15	1.88	+0.04
A20	1.81	+0.11
H20	1.86	+0.06
M20	1.88	+0.04
S20	1.91	+0.01
V20	1.92	+0.00
E23	1.85	+0.07
P23	1.90	+0.02
V23	1.92	+0.00
A25	1.82	+0.10
H25	1.86	+0.06
M25	1.89	+0.03
S25	1.92	+0.00
V25	1.92	+0.00
A30	1.79	+0.13
H30	1.85	+0.07
M30	1.88	+0.04

NOME	DENS.	CORR.
S30	1.90	+0.02
V30	1.90	+0.02
E33	1.83	+0.09
P33	1.88	+0.04
A35	1.76	+0.16
H35	1.83	+0.09
M35	1.85	+0.07
S35	1.85	+0.07
V35	1.87	+0.05
A40	1.74	+0.18
H40	1.80	+0.12
M40	1.83	+0.09
S40	1.83	+0.09
V40	1.83	+0.09
E43	1.77	+0.15
P43	1.82	+0.10
A45	1.71	+0.21
H45	1.79	+0.13
M45	1.82	+0.10
S45	1.82	+0.10
V45	1.82	+0.10

VALORES DE DENSIDADE CORRETOS

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
1	0.22	0.22	0.21	0.19	0.18	0.16	0.15	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
2	0.21	1.25	1.22	1.21	1.19	1.13	1.06	1.07	1.06	1.03	0.94	0.89	0.88	0.88	0.87	0.86	0.85	0.83	0.85	0.84	0.82	0.83
3	1.26	1.25	1.21	0.95	0.90	0.87	0.84	0.82	0.83	0.85	0.86	0.85	0.86	0.86	0.85	0.86	0.85	0.85	0.83	0.84	0.82	0.82
4	1.02	1.16	0.95	0.91	0.86	0.84	0.82	0.82	0.81	0.81	0.80	0.80	0.80	0.82	0.82	0.81	0.80	0.79	0.79	0.79	0.78	0.77
5	0.98	0.94	0.90	0.87	0.82	0.79	0.79	0.78	0.77	0.75	0.75	0.76	0.77	0.79	0.80	0.78	0.79	0.78	0.77	0.76	0.74	0.73
6	0.92	0.90	0.86	0.82	0.78	0.78	0.75	0.75	0.74	0.72	0.73	0.72	0.75	0.76	0.77	0.76	0.73	0.73	0.72	0.73	0.73	0.72
7	0.88	0.84	0.80	0.77	0.74	0.71	0.71	0.70	0.70	0.70	0.69	0.71	0.69	0.70	0.70	0.69	0.70	0.70	0.69	0.67	0.66	0.66
8	0.84	0.80	0.78	0.76	0.73	0.71	0.70	0.68	0.67	0.66	0.67	0.66	0.67	0.67	0.67	0.67	0.66	0.65	0.65	0.65	0.62	0.62
9	0.82	0.76	0.73	0.71	0.69	0.67	0.66	0.65	0.64	0.64	0.63	0.63	0.63	0.66	0.63	0.66	0.63	0.62	0.62	0.61	0.59	0.58
10	0.78	0.76	0.74	0.70	0.67	0.65	0.65	0.63	0.62	0.63	0.63	0.62	0.63	0.63	0.61	0.62	0.62	0.60	0.57	0.57	0.55	0.56
11	0.75	0.72	0.68	0.66	0.63	0.62	0.63	0.62	0.62	0.61	0.60	0.60	0.61	0.62	0.61	0.60	0.58	0.58	0.56	0.56	0.53	0.50
12	0.72	0.70	0.66	0.63	0.62	0.60	0.61	0.61	0.61	0.60	0.59	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.55	0.53	0.51	0.50	0.48	0.47
13	0.69	0.67	0.63	0.61	0.61	0.61	0.59	0.58	0.57	0.57	0.57	0.57	0.55	0.57	0.56	0.53	0.51	0.50	0.49	0.48	0.47	0.46
14	0.67	0.63	0.60	0.56	0.58	0.58	0.56	0.56	0.55	0.56	0.56	0.56	0.55	0.56	0.52	0.50	0.50	0.50	0.49	0.47	0.47	0.46
15	0.67	0.62	0.56	0.55	0.53	0.53	0.52	0.53	0.51	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.49	0.48	0.48	0.48	0.49	0.47	0.49	0.48
16	0.64	0.59	0.58	0.55	0.56	0.53	0.52	0.50	0.50	0.49	0.48	0.48	0.49	0.49	0.47	0.48	0.46	0.48	0.50	0.51	0.50	0.52
17	0.63	0.60	0.58	0.55	0.56	0.55	0.54	0.55	0.56	0.53	0.51	0.51	0.52	0.50	0.50	0.49	0.49	0.50	0.53	0.51	0.53	0.53

Fig. III.13 - Valores de densidade corretos para a foto 2994 - 2ª Experiência

Figura III.13 (Continuação)

18	0.64	0.59	0.59	0.55	0.55	0.54	0.56	0.54	0.55	0.53	0.51	0.52	0.54	0.53	0.52	0.51	0.52	0.52	0.52	0.54	0.54	0.56
19	0.60	0.61	0.58	0.57	0.54	0.55	0.55	0.54	0.55	0.53	0.53	0.52	0.53	0.54	0.52	0.52	0.52	0.53	0.57	[illegible]	0.58	0.58
20	0.60	0.58	0.57	0.55	0.55	0.54	0.54	0.55	0.54	0.53	0.54	0.53	0.54	0.54	0.53	0.51	0.54	0.55	0.60	0.59	0.61	0.63
21	0.60	0.57	0.54	0.57	0.56	0.56	0.54	0.56	0.55	0.54	0.53	0.55	0.53	0.56	0.55	0.54	0.57	0.58	0.61	0.61	0.63	0.63
22	0.59	0.56	0.56	0.57	0.57	0.57	0.56	0.57	0.56	0.56	0.56	0.56	0.55	0.55	0.57	0.57	0.59	0.59	0.65	0.65	0.66	0.66
23	0.59	0.58	0.58	0.61	0.59	0.57	0.58	0.58	0.58	0.57	0.57	0.57	0.56	0.58	0.60	0.62	0.62	0.64	0.67	0.66	0.66	0.66
24	0.60	0.59	0.59	0.60	0.59	0.58	0.59	0.60	0.58	0.5[illegible]	0.58	0.59	0.60	0.62	0.63	0.66	0.68	0.68	0.67	[illegible]	0.63	0.65
25	0.61	0.60	0.58	0.58	0.58	0.59	0.60	0.58	0.61	0.57	0.60	0.6[illegible]	0.63	0.66	0.67	0.68	0.69	0.70	0.68	0.63	0.62	0.62
26	0.62	0.61	0.60	0.59	0.60	0.61	0.61	0.62	0.62	0.64	0.65	0.65	0.65	0.66	0.68	0.70	0.70	0.71	0.71	0.69	0.66	0.62
27	0.64	0.61	0.61	0.62	0.61	0.61	0.64	0.64	0.67	0.65	0.66	0.66	0.68	0.67	0.66	0.69	0.72	0.72	0.69	0.69	0.67	0.66
28	0.64	0.62	0.63	0.64	0.64	0.63	0.66	0.67	0.69	0.68	0.67	0.69	0.69	0.69	0.70	0.68	0.71	0.71	0.70	0.68	0.67	0.67
29	0.64	0.62	0.61	0.63	0.62	0.66	0.65	0.68	0.68	0.68	0.67	0.72	0.72	0.73	0.75	0.72	0.71	0.71	0.69	0.71	0.73	0.71
30	0.68	0.65	0.64	0.65	0.67	0.66	0.67	0.68	0.70	0.70	0.70	0.72	0.74	0.72	0.74	0.76	0.74	0.69	0.72	0.72	0.77	0.80
31	0.67	0.68	0.67	0.67	0.68	0.68	0.68	0.70	0.71	0.71	0.73	0.76	0.76	0.76	0.78	0.80	0.75	0.76	0.87	0.75	0.80	0.75
32	0.70	0.69	0.70	0.68	0.71	0.69	0.68	0.69	0.68	0.71	0.72	0.75	0.77	0.77	0.81	0.86	0.08	0.03	0.08	0.08	0.03	0.03
33	0.72	0.70	0.69	0.69	0.70	0.71	0.70	0.70	0.71	0.74	0.75	0.76	0.81	0.86	0.76	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
34	0.75	0.73	0.71	0.71	0.69	0.70	0.73	0.73	0.71	0.72	0.74	0.80	0.07	0.08	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.08
35	0.73	0.73	0.71	0.72	0.71	0.71	0.71	0.71	0.72	0.73	0.81	0.87	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.05
36	0.77	0.75	0.73	0.73	0.72	0.72	0.70	0.72	0.69	0.76	0.89	0.09	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.06
37	0.80	0.78	0.75	0.75	0.73	0.72	0.71	0.72	0.75	0.77	0.91	0.09	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.07

144

Figura III.13 (Continuação)

38	0.80	0.78	0.78	0.75	0.74	0.73	0.71	0.74	0.76	0.79	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09	0.08
39	0.82	0.80	0.79	0.78	0.75	0.74	0.73	0.73	0.78	0.86	0.10	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
40	0.84	0.83	0.80	0.76	0.76	0.76	0.73	0.74	0.71	0.11	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.0[illegible]	0.10	0.10	0.10	0.09
41	0.90	0.85	0.82	0.81	0.79	0.76	0.71	0.72	0.70	0.79	0.11	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09	0.10	0.10	0.11	0.11	0.10
42	0.94	0.88	0.85	0.84	0.80	0.74	0.71	0.70	0.67	0.63	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11	0.11	0.11	0.10
43	0.94	0.89	0.85	0.83	0.80	0.73	0.71	0.66	0.65	0.62	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11	0.11	0.11	0.11	0.10
44	0.91	0.85	0.81	0.76	0.71	0.68	0.65	0.64	0.63	0.61	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11	0.11	0.11	0.11	0.10
45	0.87	0.81	0.78	0.74	0.67	0.63	0.61	0.60	0.60	0.58	0.11	0.10	0.10	0.10	0.09	0.09	0.10	0.10	0.[illegible]	0.11	0.11	0.10

Na 1ª experiência, os pontos do centro ficaram mais densos que os da segunda: o ponto V23 teve uma densidade de 2.00 para a primeira experiência, e 1.92 para a segunda. À medida em que se aproximarem das bordas, os pontos da 1ª experiência ficaram menos densos que os da segunda: o ponto A45 teve uma densidade de 1.58 m na primeira experiência, para 1.71 na segunda.

Isto pode ser explicado por diversos fatores, como: utilização,nas duas experiências,de filmes duplicadores de lotes diferentes, com curvas características diferentes; modificação total na forma de reprodução do sistema Log E, inclusive devido a um possível desgaste heterogêneo da fonte (a segunda cópia foi feita 3 meses após a primeira). Não se pode afirmar nada neste sentido,devido à falta de controle necessário para este tipo de conclusão, o que não tem nenhuma consequência para o resultado do trabalho, e fugiria por demais ao seu objetivo.

Para o cálculo da reta de regressão,entre a densidade correta e a profundidade, foram amostrados os mesmos pontos da 1ª experiência,com limitação na área de amostragem, a fim de minimizar o efeito de "vignetting". Os pares de valores densidade/profundidade de cada ponto, estão na Tabela III.5.

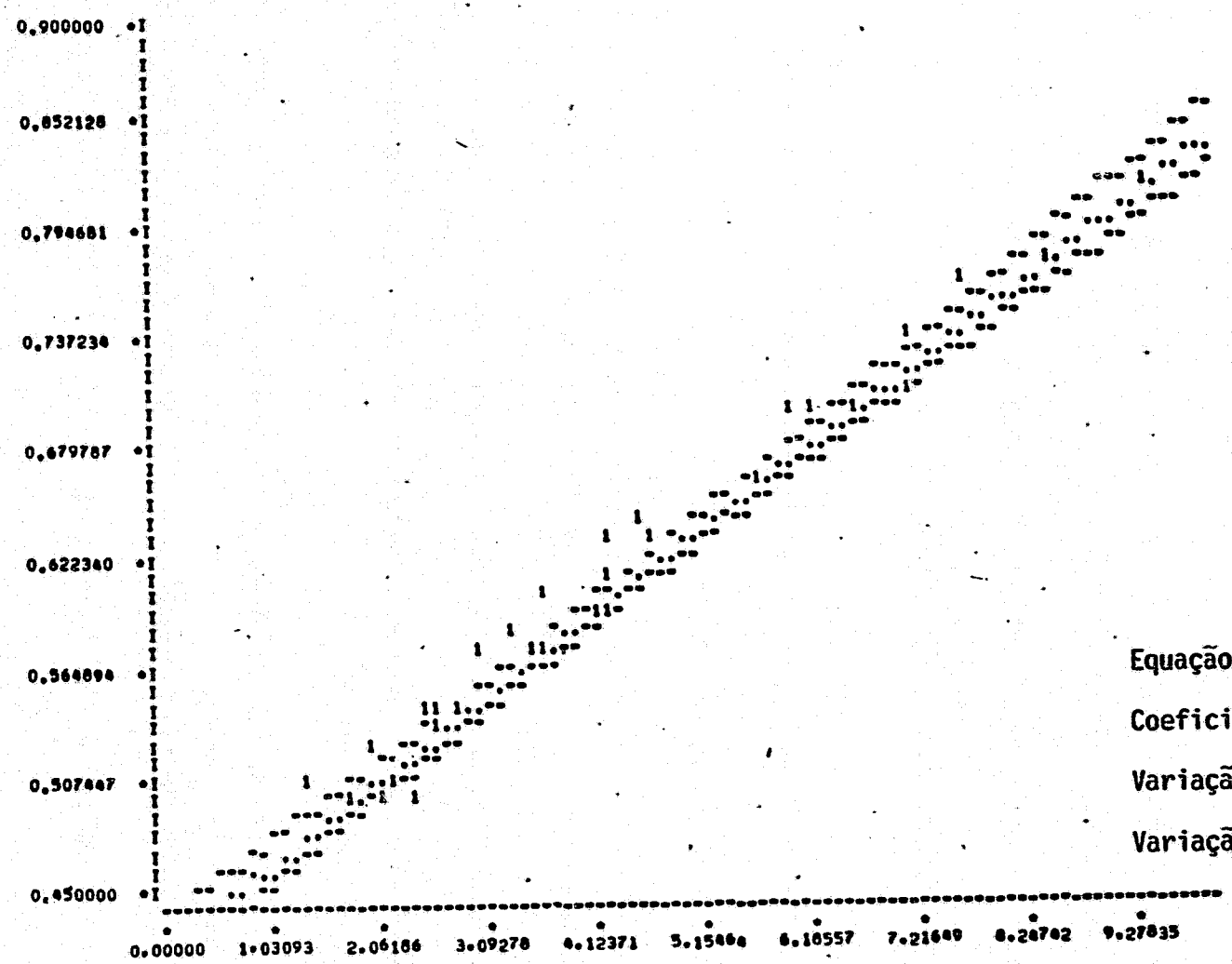
A regressão linear entre a densidade e a profundidade, a primeira em função da segunda, para os pontos da Tabela III.5, apresentou os resultados mostrados na Figura III.14.

TABELA III.5

VALORES DE PROFUNDIDADE E DENSIDADE CORRETAS PARA OS PONTOS DE AMOSTRAGEM DA FOTO 2994 - 2ª EXPERIÊNCIA, COM LIMITAÇÃO DA ÁREA DE AMOSTRAGEM

NOME	PROF.	DENS.
J15	1.44	0.50
O15	1.84	0.49
L15	2.04	0.52
T14	2.14	0.49
H16	2.24	0.50
Q17	2.44	0.49
K20	2.54	0.54
F18	2.64	0.54
K18	2.64	0.53
H18	2.84	0.54
E22	3.04	0.57
H23	3.34	0.58
S19	3.54	0.57
O22	3.64	0.57
E26	3.64	0.60

NOME	PROF.	DENS.
L24	4.14	0.59
I25	4.24	0.61
Q22	4.24	0.59
J10	4.24	0.63
G27	4.54	0.64
L09	4.64	0.63
Q08	5.74	0.66
M28	6.04	0.69
H32	6.24	0.69
T26	6.64	0.69
S28	7.14	0.70
K31	7.14	0.73
M31	7.64	0.76
J37	8.54	0.77
M33	9.44	0.81



Equação da reta → D = 0.43 + 0.04 P

Coeficiente de correlação = 0.98

Variação explicada = 0.23

Variação não-explicada = 0.01

Fig. III.14 - Reta de regressão linear, densidade correta em função da profundidade, com limitação da área de amostragem, e parâmetros estatísticos - 2ª Experiência.

148

Comparando-se os resultados da 1ª experiência, Figura III.9, com os da 2ª experiência, Figura III.14, nota-se que eles foram praticamente.

A inclinação da reta de regressão na 2ª experiência (coeficiente angular ≅ 0.042) ficou um pouco maior que a da 1ª experiência (coeficiente angular ≅ 0.039). Isto sugere um maior contraste da informação na 2ª experiência, ou seja, duas profundidades próximas originam duas densidades, com um intervalo maior entre elas.

Este aumento de contraste seria desejável pelo maior poder de separação de duas profundidades próximas. Porém, na 2ª experiência, o coeficiente de correlação (i ≅ 0.9845) foi menor que na primeira (i ≅ 0.9860), indicando uma maior dispersão dos pontos em torno da reta calculada, o que não é desejado pelo consequente aumento no erro da inferência, como será visto posteriormente.

Estas diferenças são devidas aos diferentes ajustes de exposição do sistema Log E. É notável a dependência existente entre este ajuste e os resultados obtidos, o que obriga a utilização de um controle na reprodução das cópias.

No presente trabalho, o controle foi realizado através de dois pontos identificáveis, de forma que os mesmos mantivessem uma diferença de densidade igual a do negativo original (item 2.4.1). Isto visou a não alteração da informação original contida no negativo, considerando-se que em todo o processo se trabalhou dentro das regiões lineares das curvas características, tanto do filme utilizado na missão, como do filme duplicador.

As considerações acima sugerem um aumento na sofisticação do método, reforçando a idéia da não utilização de cópias, e sim, a utilização direta do negativo original, como citado no item 3.1.1.

Para o cálculo da reta de regressão da 2ª experiência, profundidade em função da densidade, foram utilizados os mesmos pontos e valores da Figura III.14, e os resultados são apresentados na Figura III.15.

Os valores de profundidade para cada densidade da 2ª experiência, com os respectivos intervalos de confiança de 95% para a inferência, estão na Figura III.16. Comparar estes valores com os dados na Figura III.10, onde estão os valores da 1ª Experiência.

Nota-se que em relação à 1ª Experiência, dentro da faixa de profundidades amostradas (1,44 m a 9,44 m), o erro aumentou levemente, como era esperado, devido ao menor coeficiente de correlação da 2ª Experiência. Seu valor seria 0.38 m em 9.44 m de profundidade, alcançando um mínimo de 0.142 m em torno de 4.2 metros. Os valores de profundidade, onde ocorrem os erros máximos e mínimos, mantiveram-se os mesmos da 1ª Experiência.

3.1.2.2 - ANÁLISE DA FOTO 2980 E INFERÊNCIA DA PROFUNDIDADE A PARTIR DA DENSIDADE

Para a inferência da profundidade, a foto 2980 foi quadriculada como mostra a Figura III.17, formando uma matriz de 34 linhas (de 1 a 34), por 15 colunas (de A a O).

Só foi quadriculada a região central da foto, porque para a inferência admitiu-se que os pontos da foto 2980 pertenciam à mesma população da foto 2994, de onde foi retirada a reta de regressão. Como a área de amostragem foi limitada ao centro desta última, manteve-se a mesma área de trabalho para a foto 2980.

As densidades observadas no centro de cada quadrado estão na Figura III.18, referenciados pela letra da coluna e pelo número da linha correspondente a cada um.

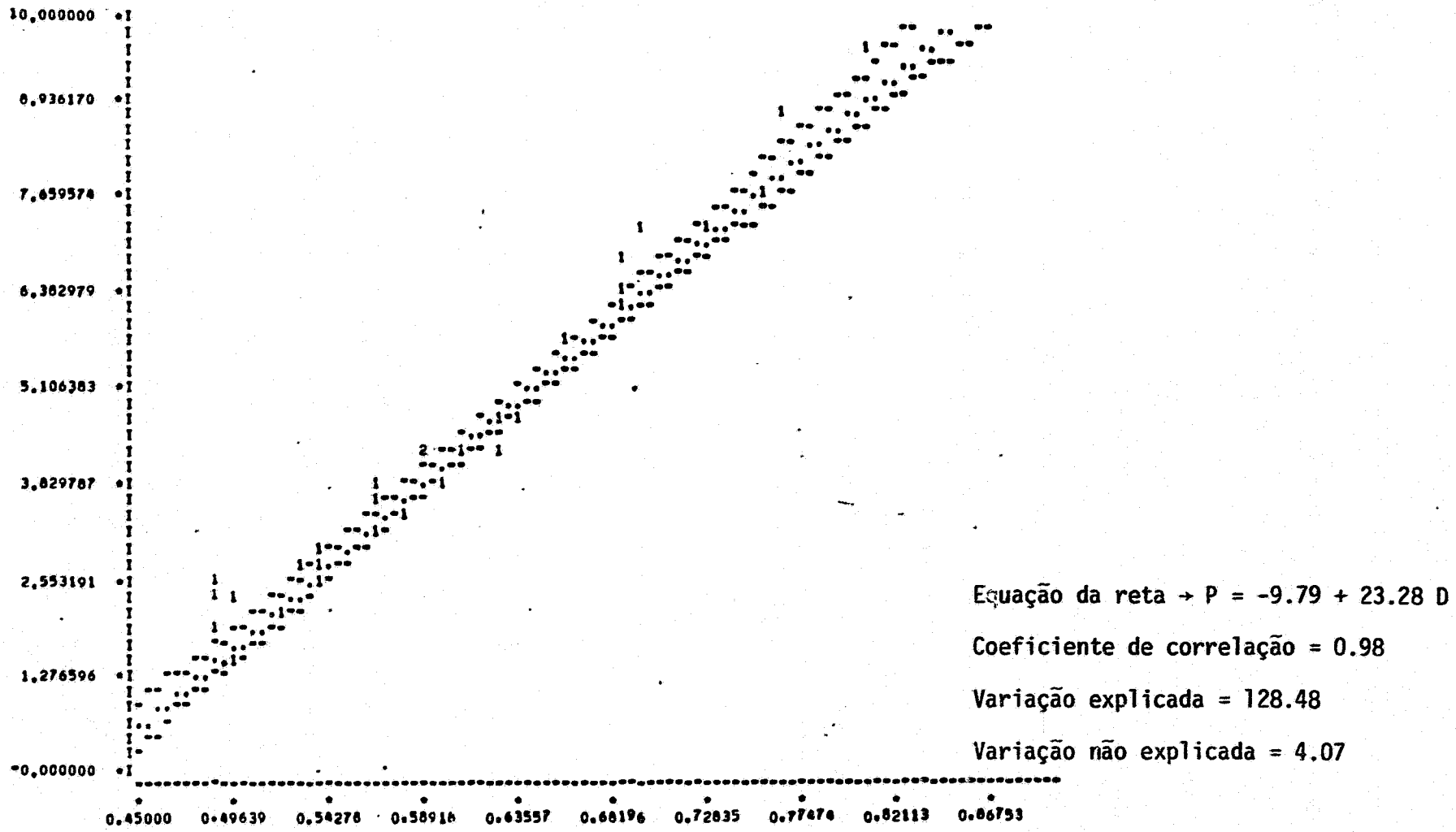


Fig. III.15 - Reta da regressão linear, profundidade em função da densidade correta, com limitação da área de amostragem, e parâmetros estatísticos - 2ª Experiência.

DENSIDADE	PROFUNDIDADE		INTERVALO
0.45000	0.68994	+ OU -	0.28985
0.45464	0.79794	+ OU -	0.28339
0.45928	0.90598	+ OU -	0.27699
0.46392	1.01400	+ OU -	0.27063
0.46856	1.12202	+ OU -	0.26434
0.47320	1.23004	+ OU -	0.25810
0.47784	1.33806	+ OU -	0.25193
0.48247	1.44608	+ OU -	0.24583
0.48711	1.55410	+ OU -	0.23981
0.49175	1.66212	+ OU -	0.23387
0.49639	1.77014	+ OU -	0.22802
0.50103	1.87816	+ OU -	0.22226
0.50567	1.98618	+ OU -	0.21660
0.51031	2.09420	+ OU -	0.21104
0.51495	2.20222	+ OU -	0.20563
0.51959	2.31024	+ OU -	0.20033
0.52423	2.41826	+ OU -	0.19518
0.52887	2.52628	+ OU -	0.19017
0.53351	2.63430	+ OU -	0.18533
0.53814	2.74232	+ OU -	0.18067
0.54278	2.85034	+ OU -	0.17619
0.54742	2.95836	+ OU -	0.17193
0.55206	3.06638	+ OU -	0.16788
0.55670	3.17440	+ OU -	0.16407
0.56134	3.28242	+ OU -	0.16052
0.56598	3.39044	+ OU -	0.15724
0.57062	3.49846	+ OU -	0.15425
0.57526	3.60648	+ OU -	0.15156
0.57990	3.71450	+ OU -	0.14920
0.58454	3.82252	+ OU -	0.14718
0.58918	3.93054	+ OU -	0.14551
0.59381	4.03856	+ OU -	0.14420
0.59845	4.14658	+ OU -	0.14327
0.60309	4.25460	+ OU -	0.14273
0.60773	4.36262	+ OU -	0.14256
0.61237	4.47063	+ OU -	0.14279
0.61701	4.57865	+ OU -	0.14341
0.62165	4.68667	+ OU -	0.14440
0.62629	4.79469	+ OU -	0.14577
0.63093	4.90271	+ OU -	0.14750
0.63557	5.01073	+ OU -	0.14958
0.64021	5.11875	+ OU -	0.15200
0.64485	5.22677	+ OU -	0.15474
0.64948	5.33479	+ OU -	0.15778
0.65412	5.44281	+ OU -	0.16111
0.65876	5.55083	+ OU -	0.16471
0.66340	5.65885	+ OU -	0.16856
0.66804	5.76687	+ OU	0.17265
0.67268	5.87489	+ OU -	0.17695
0.67732	5.98291	+ OU -	0.18146
0.68196	6.09093	+ OU -	0.18615
0.68660	6.19895	+ OU -	0.19102
0.69124	6.30697	+ OU -	0.19605
0.69588	6.41499	+ OU -	0.20123
0.70052	6.52301	+ OU -	0.20655
0.70515	6.63103	+ OU -	0.21200
0.70979	6.73905	+ OU -	0.21754
0.71443	6.84707	+ OU -	0.22324

DENSIDADE	PROFUNDIDADE		INTERVALO
0.71907	6.95509	+ OU -	0.22901
0.72371	7.06311	+ OU -	0.23488
0.72835	7.17113	+ OU -	0.24084
0.73299	7.27915	+ OU -	0.24688
0.73763	7.38717	+ OU -	0.25299
0.74227	7.49519	+ OU -	0.25917
0.74691	7.60321	+ OU -	0.26542
0.75155	7.71123	+ OU -	0.27172
0.75619	7.81925	+ OU -	0.27808
0.76082	7.92727	+ OU -	0.28459
0.76546	8.03529	+ OU -	0.29096
0.77010	8.14331	+ OU -	0.29747
0.77474	8.25133	+ OU -	0.30402
0.77938	8.35935	+ OU -	0.31062
0.78402	8.46737	+ OU -	0.31725
0.78866	8.57539	+ OU -	0.32391
0.79330	8.68341	+ OU -	0.33061
0.79794	8.79143	+ OU -	0.33734
0.80258	8.89945	+ OU -	0.34410
0.80722	9.00747	+ OU -	0.35088
0.81186	9.11549	+ OU -	0.35769
0.81649	9.22351	+ OU -	0.36453
0.82113	9.33153	+ OU -	0.37139
0.82577	9.43955	+ OU -	0.37827
0.83041	9.54757	+ OU -	0.38518
0.83505	9.65559	+ OU -	0.39210
0.83969	9.76361	+ OU -	0.39904
0.84433	9.87163	+ OU -	0.40600
0.84897	9.97965	+ OU -	0.41297
0.85361	10.08767	+ OU -	0.41997
0.85825	10.19569	+ OU -	0.42697
0.86289	10.30371	+ OU -	0.43399
0.86753	10.41173	+ OU -	0.44103
0.87216	10.51975	+ OU -	0.44808
0.87680	10.62777	+ OU -	0.45514
0.88144	10.73579	+ OU -	0.46221
0.88608	10.84381	+ OU -	0.46929
0.89072	10.95183	+ OU -	0.47639
0.89536	11.05985	+ OU -	0.48350
0.90000	11.16787	+ OU -	0.49061

Fig. III.16 - Valores de densidade e de profundidade relativos à reta de regressão calculada, com os respectivos intervalos de confiança de 95%, para a inferência da profundidade de um ponto, a partir da sua densidade - 2ª Experiência.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	.79	.80	.81	.78	.77	.77	.78	.76	.75	.74	.72	.71	.75	.78	.84
2	.80	.78	.78	.77	.77	.76	.75	.75	.73	.73	.72	.72	.74	.79	.87
3	.80	.79	.77	.77	.76	.77	.74	.73	.72	.69	.70	.68	.71	.74	.81
4	.80	.80	.76	.77	.75	.74	.74	.73	.72	.71	.70	.67	.71	.70	.96
5	.81	.80	.78	.77	.76	.76	.73	.71	.71	.69	.68	.64	.63	.62	.86
6	.83	.82	.80	.78	.78	.76	.73	.70	.71	.68	.63	.63	.59	.60	.50
7	.84	.81	.80	.78	.77	.75	.71	.70	.69	.66	.62	.59	.57	.59	.50
8	.85	.83	.82	.77	.74	.74	.71	.67	.66	.61	.60	.56	.50	.57	.60
9	.86	.88	.83	.78	.74	.71	.71	.69	.64	.59	.57	.55	.53	.52	.51
10	.90	.83	.80	.74	.69	.65	.64	.60	.56	.53	.52	.52	.51	.48	.45
11	.89	.81	.76	.72	.65	.62	.61	.57	.53	.52	.51	.50	.50	.51	.45
12	.85	.77	.71	.65	.62	.61	.57	.53	.51	.50	.49	.49	.48	.49	.44
13	.82	.76	.68	.64	.63	.59	.56	.55	.53	.51	.50	.49	.50	.49	.44
14	.76	.70	.65	.60	.59	.59	.55	.54	.54	.52	.52	.52	.52	.52	.68
15	.71	.66	.63	.57	.57	.58	.56	.55	.54	.53	.53	.52	.51	.50	.60
16	.69	.66	.62	.61	.59	.60	.58	.56	.55	.54	.54	.53	.52	.51	.48
17	.68	.66	.63	.63	.62	.60	.58	.57	.56	.54	.54	.55	.53	.53	.45
18	.66	.64	.62	.64	.61	.60	.59	.58	.57	.56	.55	.54	.52	.53	.43
19	.66	.64	.64	.62	.62	.61	.59	.58	.57	.57	.56	.55	.53	.52	.43
20	.67	.66	.63	.64	.63	.62	.61	.60	.58	.58	.57	.57	.56	.53	.42
21	.69	.67	.64	.61	.60	.61	.62	.61	.60	.58	.58	.56	.56	.49	.41
22	.70	.66	.65	.64	.63	.62	.62	.59	.59	.58	.57	.56	.57	.45	.40
23	.70	.68	.66	.65	.63	.63	.61	.60	.59	.58	.57	.56	.56	.40	.38
24	.74	.70	.67	.66	.63	.62	.60	.59	.58	.57	.57	.55	.54	.43	.33
25	.76	.73	.71	.69	.66	.64	.62	.60	.59	.58	.55	[illegible]	.52	.40	.27
26	.82	.78	.73	.72	.69	.66	.61	.60	.58	.57	.56	.55	.47	.37	.28
27	.83	.80	.77	.74	.70	.66	.64	.62	.60	.60	.58	.54	.42	.30	.28
28	.86	.84	.80	.75	.72	.67	.64	.63	.60	.59	.55	.53	.41	.27	.25
29	.87	.85	.81	.76	.71	.67	.66	.61	.61	.59	.53	[illegible]	.56	.29	.48
30	.88	.86	.84	.78	.73	.67	.65	.63	.59	.56	.54	.43	.27		
31	.85	.82	.82	.77	.73	.67	.65	.62	.58	.55	.46	.22	.28		
32	.85	.82	.78	.78	.75	.71	.66	.61	.58	.57	.40	.28			
33	.85	.83	.79	.76	.70	.72	.69	.64	.60	.45	.32				
34	.81	.85	.77	.76	.69	.71	.64	.58	.46	.33					

MINISTRO

TRAPICHE

Fig. III.17 - Quadriculado utilizado na foto 2980, e densidade correta obtida no centro de cada quadrado.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	0.65	0.66	0.68	0.66	0.66	0.66	0.67	0.66	0.65	0.64	0.62	0.61	0.64	0.67	0.73
2	0.66	0.65	0.66	0.66	0.66	0.66	0.65	0.65	0.63	0.63	0.62	0.62	0.64	0.69	0.77
3	0.67	0.67	0.66	0.67	0.66	0.67	0.65	0.64	0.63	0.60	0.61	0.59	0.62	0.65	0.72
4	0.68	0.69	0.66	0.67	0.66	0.65	0.65	0.64	0.63	0.62	0.61	0.58	0.63	0.62	0.68
5	0.70	0.69	0.68	0.68	0.67	0.67	0.65	0.63	0.63	0.61	0.60	0.56	0.55	0.54	0.89
6	0.72	0.72	0.71	0.69	0.70	0.68	0.65	0.62	0.63	0.61	0.56	0.56	0.52	0.53	0.43
7	0.74	0.72	0.71	0.70	0.69	0.67	0.64	0.63	0.62	0.59	0.55	0.52	0.51	0.53	0.48
8	0.75	0.74	0.74	0.69	0.67	0.67	0.64	0.60	0.59	0.55	0.54	0.50	0.50	0.52	0.55
9	0.77	0.79	0.75	0.71	0.67	0.64	0.64	0.63	0.58	0.53	0.51	0.50	0.48	0.47	0.47
10	0.81	0.75	0.72	0.67	0.62	0.59	0.58	0.54	0.50	0.48	0.47	0.47	0.47	0.44	0.41
11	0.80	0.73	0.69	0.65	0.59	0.56	0.55	0.51	0.48	0.47	0.46	0.46	0.46	0.47	0.42
12	0.76	0.69	0.64	0.58	0.56	0.55	0.51	0.48	0.46	0.45	0.45	0.45	0.45	0.46	0.41
13	0.74	0.68	0.61	0.58	0.57	0.53	0.51	0.50	0.48	0.47	0.46	0.45	0.47	0.46	0.42
14	0.68	0.62	0.58	0.54	0.53	0.53	0.50	0.49	0.49	0.48	0.48	0.49	0.49	0.50	0.66
15	0.63	0.58	0.56	0.51	0.51	0.52	0.51	0.50	0.50	0.49	0.49	0.49	0.49	0.48	0.58
16	0.61	0.58	0.55	0.55	0.53	0.55	0.53	0.51	0.51	0.50	0.51	0.50	0.50	0.49	0.42
17	0.60	0.58	0.56	0.57	0.56	0.55	0.53	0.52	0.52	0.50	0.51	0.52	0.51	0.51	0.44

Fig. III.18 - Densidades observadas na foto 2980

154

Figura III.18 (Continuação)

1	0.57	0.56	0.55	0.58	0.55	0.54	0.54	0.53	0.53	0.52	0.52	0.51	0.50	0.51	0.42
1	0.57	0.56	0.57	0.56	0.56	0.55	0.54	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.51	0.50	0.42
20	0.58	0.58	0.56	0.57	0.57	0.56	0.56	0.55	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.51	0.41
21	0.60	0.59	0.57	0.58	0.54	0.55	0.56	0.56	0.55	0.54	0.54	0.53	0.54	0.47	0.40
22	0.61	0.58	0.57	0.57	0.56	0.56	0.56	0.54	0.54	0.54	0.53	0.53	0.54	0.43	0.38
23	0.60	0.59	0.58	0.58	0.56	0.56	0.55	0.54	0.54	0.53	0.53	0.53	0.53	0.38	0.36
24	0.64	0.61	0.59	0.58	0.56	0.55	0.54	0.53	0.53	0.52	0.53	0.51	0.51	0.40	0.31
25	0.66	0.64	0.62	0.61	0.58	0.57	0.55	0.54	0.53	0.53	0.50	0.51	0.48	0.37	0.26
26	0.71	0.68	0.68	0.63	0.61	0.58	0.54	0.53	0.52	0.51	0.51	0.50	0.43	0.33	0.24
27	0.72	0.70	0.67	0.65	0.61	0.58	0.56	0.55	0.53	0.54	0.52	0.49	0.37	0.26	0.24
28	0.74	0.73	0.70	0.66	0.63	0.58	0.56	0.55	0.53	0.52	0.49	0.47	0.36	0.22	0.20
29	0.75	0.74	0.70	0.66	0.61	0.58	0.57	0.53	0.53	0.52	0.46	0.39	0.30	0.23	0.42
30	0.75	0.74	0.73	0.67	0.63	0.57	0.56	0.54	0.51	0.48	0.47	0.36	0.21	0.00	0.00
31	0.72	0.70	0.70	0.66	0.62	0.57	0.55	0.53	0.49	0.47	0.38	0.25	0.21	0.00	0.00
32	0.71	0.69	0.66	0.66	0.62	0.60	0.56	0.51	0.49	0.48	0.32	0.20	0.00	0.00	0.00
33	0.70	0.69	0.66	0.64	0.58	0.61	0.58	0.54	0.50	0.36	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00
34	0.66	0.71	0.68	0.63	0.57	0.59	0.53	0.47	0.36	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Como a cópia da foto 2980 foi simultânea à da foto 2994, para a correção da não homogeneidade de projeção de luz do sistema Log E da primeira, utilizaram-se os mesmos valores de correção interpolados para a segunda, Figura III.12. Para efeito de correspondência entre as duas, o quadrado A1 da foto 2980 é coincidente com o quadrado C7 da foto 2994. Os valores corretos de densidade estão na Figura III.17, posicionados dentro do seu respectivo quadrado.

Para a inferência de profundidade, na região da foto 2980, optou-se pelas linhas isobatimétricas de 3 m e 5 m, a fim de facilitar os trabalhos de análise dos resultados. Estes foram comparados por superposição, com uma ampliação da carta 1503 - Banco das Enseadas do Cabo Frio - escala 1:20000, da Diretoria de Hidrografia e Navegação (Figura III.19), onde figuram somente as isobatimétricas citadas acima, para a região coberta pela foto 2980.

A ampliação foi controlada pelos pontos Ministro e Trapiche, identificáveis na foto, e posicionados na carta por meio de suas coordenadas.

A foto 2980 foi obtida às $09^h : 03^m$ do dia 29 de setembro de 1977. Neste momento, a maré local era de 2.15 m acima do zero da régua. Como o Nível de Redução (NR), item 2.4.2, está 1.97 m acima do zero da régua, para se achar o comprimento da camada de água existente no local, na hora da foto, deve ser adicionado 0.18 m às profundidades da carta. Então, a linha de 3 m correspondia, na verdade, a uma camada de água de 3,18 m, e a de 5 m, a 5,18 m.

As densidades da foto 2980 relativas a estas profundidades, retiradas da reta de regressão, obtida da 2ª experiência, são aproximadamente 0.56 m para 3,18 m e 0,64 m para 5,18 m, como pode ser visto na Figura III.16

Um quadro sinótico de toda a situação da inferência é mostrado na Tabela III.6.

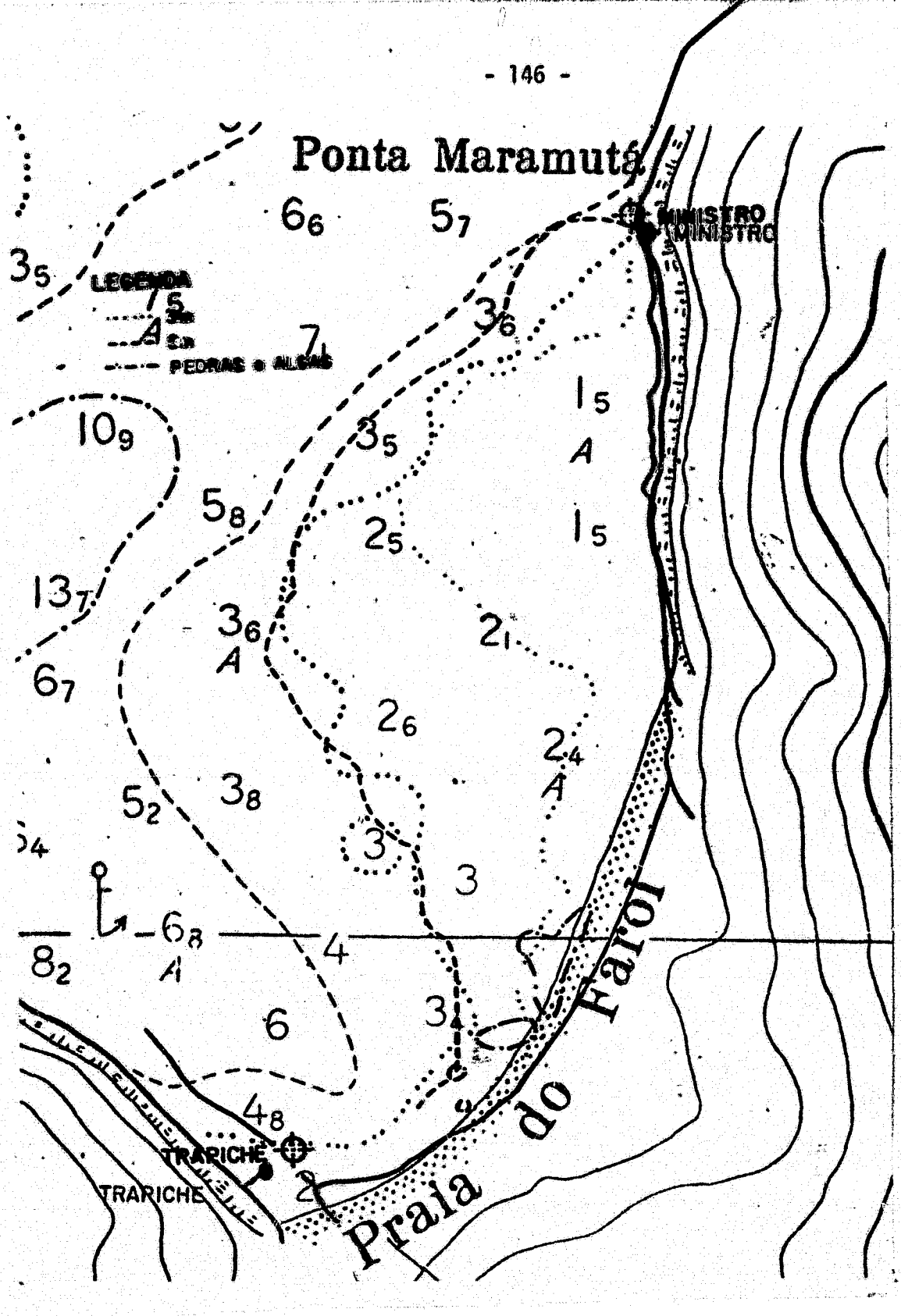


Fig. III.19 - Superposição das linhas isobatimétricas, obtidas com a foto 2980 à verdade terrestre - trecho da carta DHN-1503 - Banco das Enseadas do Cabo Frio, escala 1:20000, ampliada para a escala da foto.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

TABELA III.6

EQUAÇÃO DA RETA E VALORES DE PROFUNDIDADES PREVISTOS ATRAVÉS DA FOTO 2980

Equação da Reta → P = -9.97 + 23.28 D	
Densidade (D)	Profundidade (P)
0,56	3,18 m ± 0.16 m
0,64	5,18 m ± 0.15 m

Pelo traçado das linhas de isodensidade de 0.56 e 0.64, esperava-se obter as linhas isobatimétricas de 3 m e 5 m. O resultado pode ser visto na Figura III.19, onde se fez a superposição da carta 1503, com os resultados obtidos da foto 2980.

Nota-se uma diferença razoável entre as linhas determinadas através da foto 2980, e as isobatimétricas da carta 1503, atingindo um máximo de 4 cm, ou 240 metros no terreno. Porém, esta diferença é predominantemente em posição, sendo que em forma, as linhas determinadas pelos dois métodos apresentam uma boa concordância.

A maior declividade do fundo, no extremo sul da praia do Farol e a oeste da ponta Maramutá, e a menor declividade entre a praia do Farol e a ponta Maramutá, foram perfeitamente identificadas na fotografia.

O erro é devido à diferença de hora, ou seja, à diferença de iluminação entre a foto 2984, de onde foi retirada a reta de regressão profundidade/densidade, e a foto 2980, onde foi realizada a inferência de profundidade da densidade medida.

A foto 2980 foi obtida às $09^h : 03^m$, e a 2994 às $19^h : 15^m$, 12 minutos após. Logo, a iluminação da foto 2994 foi maior, ocasionando que, um ponto seu, com uma determinada profundidade, enviasse mais energia do que um ponto da foto 2980, com a mesma profundidade. Isto contraria a hipótese feita anteriormente de que todos os pontos pertenciam à mesma população.

Por exemplo, para a inferência, calculou-se que a densidade de 0.64 representaria 5 m, dado retirado da foto 2994. Porém, na foto 2980, um ponto com os mesmos 5 m enviou menos energia, devido à menor iluminação, sendo, por conseguinte, mais denso do que um ponto com a mesma profundidade na foto 2994.

Por uma análise visual da Figura III.19, constatou-se que a linha de 5 m concorda com a isodensidade de 0,73, apresentando um acréscimo de 16% em relação ao valor de 0,64. Para os 3m, a isobatimétrica bate com a isodensidade de 0.63, com um acréscimo de 13% em relação ao valor de 0.56, da foto 2994.

Houve um decréscimo no valor da densidade, da foto 2980 para a foto 2994, aproximadamente, 15%, que pode ser perfeitamente explicado pela variação da altura solar entre uma foto e outra, ou seja, da iluminação solar na área.

Um fato interessante foi a identificação de um campo de algas e pedras, na altura do centro da praia do Farol, encostada a esta, e que não consta da carta. Esta feição pode ser percebida na foto 2980 (Figura II.18) e a sua reambulação foi realizada por uma verificação "in situ".

3.1.3 - CONHECIMENTOS ADQUIRIDOS E DISCUSSÃO DOS PARÂMETROS E TÉCNICAS EMPREGADOS

No desenvolvimento do trabalho apareceram diversas falhas (algumas minimizadas), consideradas normais por ter sido a primeira experiência com este método realizado no INPE. Acredita-se que, se forem corrigidas, os próximos resultados obtidos serão melhorados. Entre as principais, pode-se citar:

a) Altitude de vôo da missão Hidrosere II

A baixa altitude de vôo, adotada pelas razões explicadas no item 2.2.2.2, trouxe diversos problemas, sendo o principal a dificuldade de posicionamento das fotos no terreno.

Com uma altitude maior, poder-se-ia trabalhar com uma linha de sondagem plotada em cima da foto, de modo que a amostragem dos pares de valores de densidade/profundidade para a regressão fosse mais eficiente e precisa.

Outra vantagem seria o aumento da resolução de trabalho, que fica limitada pela abertura do densitômetro utilizado, não havendo necessidade de se quadricular a foto, nem de se retirar as profundidades por superposição à folha de bordo.

Outro problema minimizado seria o da variação da altura solar entre uma foto e outra. Com uma altitude maior, toda a área poderia ser recoberta em um tempo menor, diminuindo a duração da missão.

b) Transparências positivas em preto e branco

Se fosse utilizado o negativo original para a análise, seriam eliminados os diversos problemas que aparecem em virtude da utilização de cópias positivas em transparências em preto e branco.

Entre os principais, pode-se citar:

a) o erro introduzido pela não homogeneidade de projeção de luz do sistema Log E;

b) os possíveis erros oriundos da utilização de mais uma função de transferência de tons, do negativo original para a cópia positiva;

c) a maior sofisticação do método, aumentada pela introdução de mais um passo na análise;

d) o tempo e o material gasto para a confecção das referidas cópias.

Como citado no item 2.4.1.2, a operação do negativo original fica condicionada a um densitômetro de varredura, para não haver contacto físico com o negativo a ser analisado e, consequentemente, evitar danos a ele.

c) Controle radiométricos

A falta deste tipo de controle não permitiu o cálculo de uma correção para o efeito de "vignetting", diminuindo a precisão dos resultados e a área de trabalho. Da realização de um controle radiométrico, além da correção de "vignetting", poder-se-ia trabalhar com valores de exposição, os quais permitiriam uma melhor visão dos resultados obtidos.

d) Hora da missão Hidrosere-II

A hora da missão Hidrosere-II resultou em um "sunglitter" nas metades direitas das fotos, ocasionando uma redução de meia foto na área de trabalho. É imperativo que a hora de uma missão, com o objetivo de identificação de feições subsuperficiais, seja escolhida de forma que *não haja nenhum indício de "sunglitter" na área de estudo.*

e) Estado do mar por ocasião da missão Hidrosere-II

A missão foi realizada com o mar levemente rugoso, provocando variações de até 0.03 unidades de densidade, que puderam ser identificadas quando da passagem da crista, para o cavado de uma onda. Estas variações espúrias são totalmente indesejáveis, reiterando-se a necessidade da existência de um mar absolutamente calmo durante a realização de uma missão, com os mesmos objetivos deste trabalho.

Entre os pontos positivos, responsáveis pelos bons resultados alcançados, pode-se citar: o filme e o filtro escolhido, o modelo empregado e as simplificações feitas.

As falhas identificadas também são consideradas um resultado positivo do trabalho. O seu conhecimento serve como base para um futuro trabalho, onde essas falhas poderão ser minizadas, provocando uma melhora nos resultados, principalmente na inferência de profundidades através de fotografias.

3.2 - IMAGENS MSS-LANDSAT

Como explicado anteriormente, a metodologia de análise das imagens do MSS-LANDSAT, visando a determinação de características de interesse à Hidrografia, consistiu basicamente na utilização de três programas do sistema interativo de análise multiespectral - IMAGE-100. Pela ordem de utilização foram:

a) Programa Célula Única ("Single-Cell")

Utilizado para determinar as feições superficiais e contorno da linha da costa, a partir de uma área de treinamento obtida em uma região de água profunda e longe da costa e aplicado somente no canal 7 das imagens analisadas.

b) Programa subáreas de níveis de cinza ("Gray Level Slicer" ou "Density Slice")

Utilizado na determinação do padrão de sedimentos e feições de subsuperfície (profundidade), a partir da divisão das imagens analisadas em subáreas, cujos "pixels" possuem o nível de cinza dentro de um determinado intervalo, e a aplicado nos canais 4, 5 e 6, um de cada vez.

c) Programa tabela de classificação ("TABCLAS")

Utilizado para o refinamento da classificação de feições subsuperficiais, através da análise conjunta dos canais 5 e 6. Todos os "pixels", utilizados na classificação citada acima, foram agrupados em classes de acordo com os níveis de cinza que os mesmos possuiam nos canais 4 e 5. Este programa foi aplicado somente na imagem selecionada como a melhor para a determinação de feições sub-superficiais.

Estes três programas são descritos com mais detalhes no item 2.5.1.

A metodologia de análise empregada é discutida no item 2.5.2. Os resultados obtidos são apresentados em forma de mapas, gerados na impressora de linhas do sistema I-100 ("print-out"), onde a cada feição classificada corresponde um símbolo gráfico diferente (item 2.5.1).

Os referidos mapas foram originalmente obtidos em uma escala aproximada de 1:20.000, conforme metodologia descrita no Apêndice A, sendo posteriormente reduzidos fotograficamente para a escala de 1:40.000, a fim de facilitar a sua apresentação.

O mesmo procedimento foi adotado com o trecho da carta 1503 - Banco das Enseadas do Cabo Frio, utilizado para a verificação

163

dos resultados. Esta redução é apresentada na Figura III.20, e chamada na discussão de todos os resultados.

Foram analisadas três imagens, apresentadas e descritas sucintamente no item 2.3, cujos resultados são apresentados na seguinte ordem:

1ª.) imagem do dia 09/06/77;

2ª.) imagem do dia 15/07/77;

3ª.) imagem do dia 11/03/77.

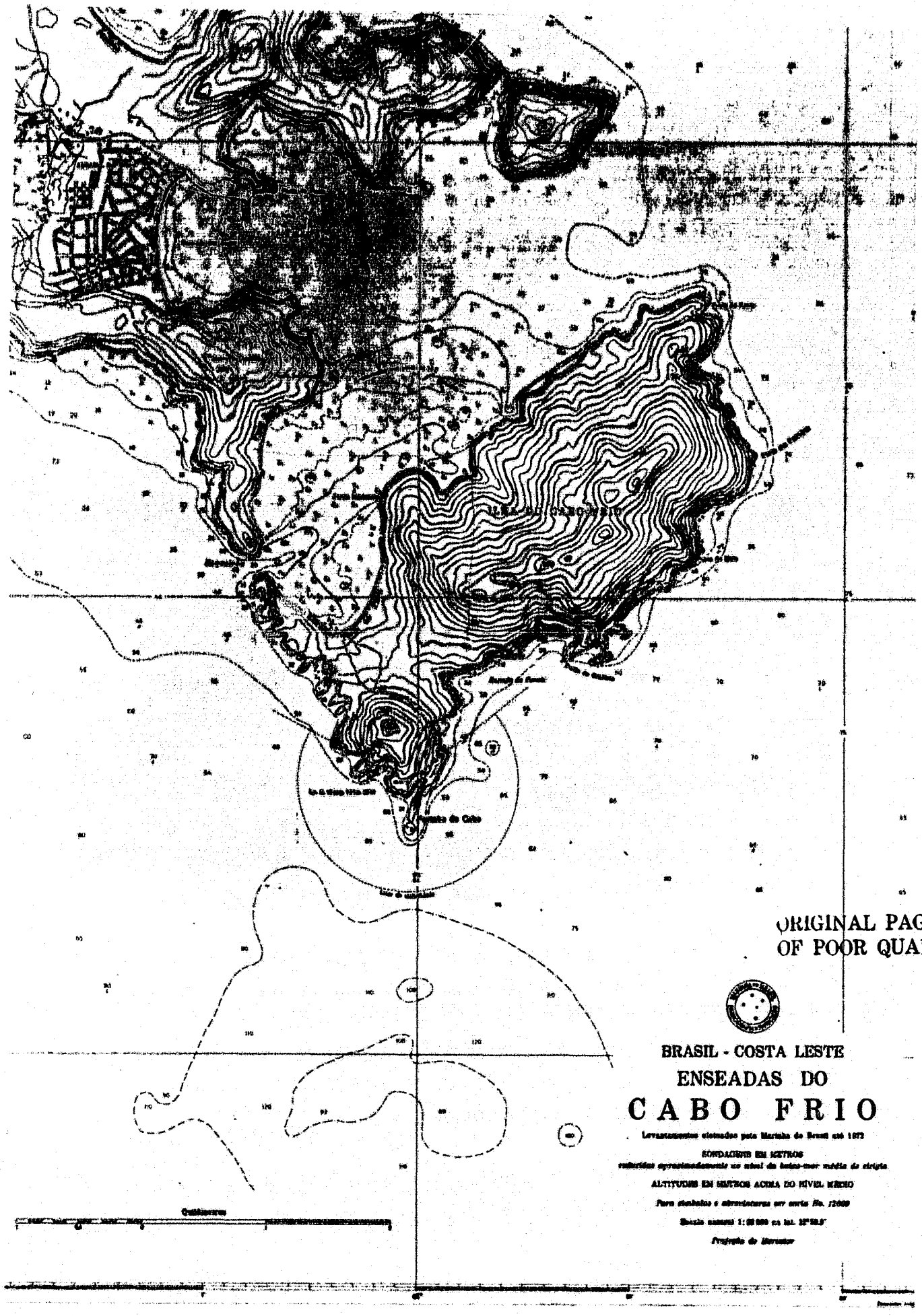
3.2.1 - RESULTADOS E DISCUSSÃO DA ANÁLISE DA IMAGEM DE 09/06/77

Os resultados obtidos com o programa Célula Única, aplicado somente ao canal 7, estão na Figura III.21. A parte da imagem classificada como terra está indicada pelo símbolo a, e deve ser comparada com a Figura III.20.

Na obtenção da assinatura espectral da água, todos os "pixels" da área de treinamento selecionada (canto superior direito da área efetivamente analisada) tiveram o nível de cinza igual a 1 (um), indicando não haver praticamente sinal de retorno destes "pixels" para o detetor do canal 7. Isto concorda com a forte absorção da radiação infravermelho no referido canal, como era esperado (item 2.5.2.1).

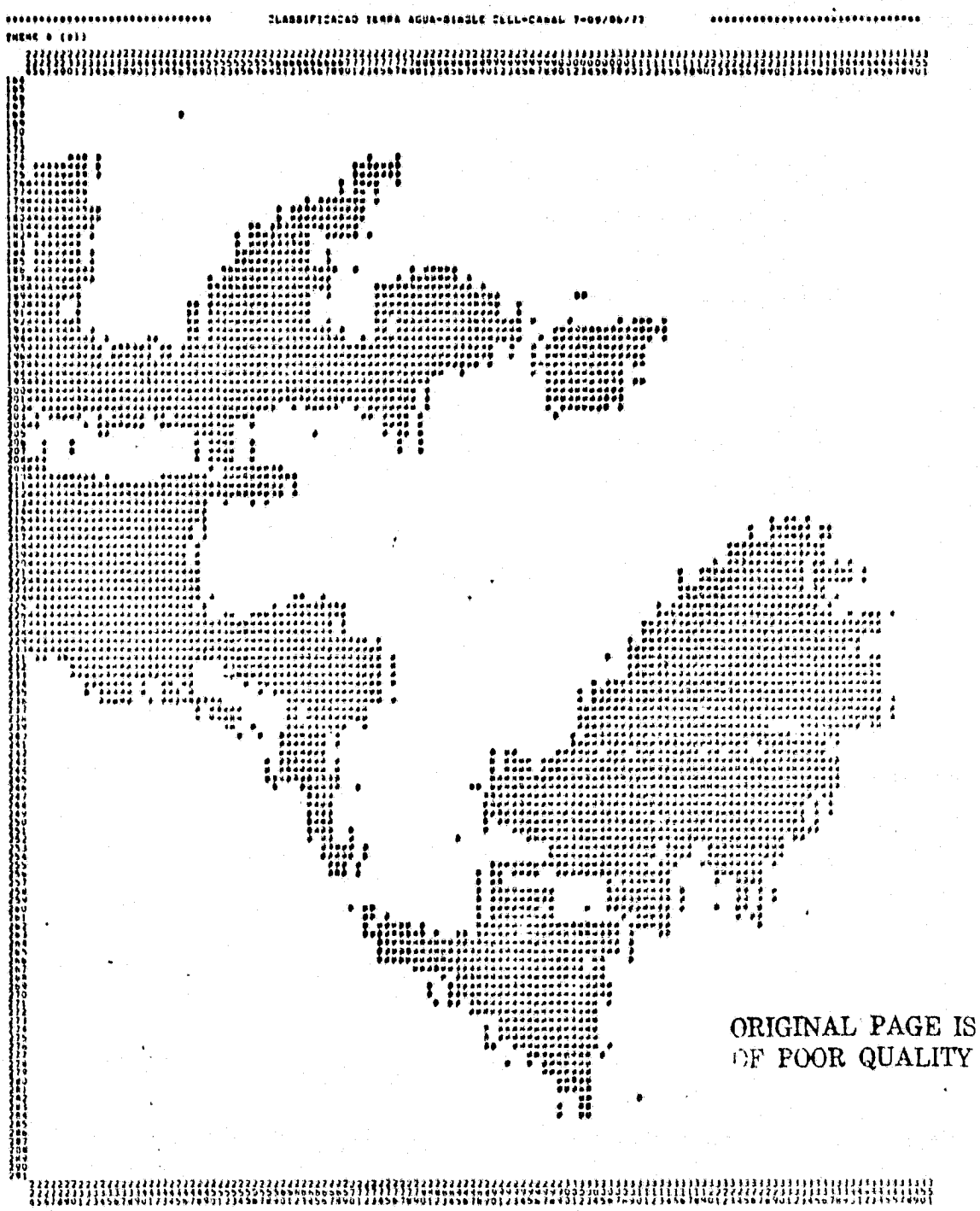
Por comparação com a Figura III.20, vê-se que os acidentes geográficos foram bem determinados, exceto aqueles de pequenas dimensões, cuja classificação precisa esbarra na pouca resolução do MSS-LANDSAT. Foram visíveis diversas feições superficiais importantes, como: Boqueirão, Ponta do Forte, Ponta de Jararaca, e todos aqueles com dimensões maiores que os apresentados.

Nota-se a existência de "pixels" sobre água, que foram classificados como terra, por exemplo, os "pixels" localizados: ao



ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

Fig. III.20 - Trecho da carta DHN-1503 - Banco das Enseadas do Cabo Frio, escala 1:40000.



a → terra

em branco → "pixels" que no canal 7 possuem o nível de cinza igual a 1 (um)

Fig. III. 21 - Classificação de Terra - Programa Célula Única aplicado no canal 7 - Imagem de 09/06/77.

norte do Saco da Prainha, ao norte da Ilha do Boi, no interior da Enseada do Forno, etc. Aparecem duas explicações para esta classificação errada:

a) existência de problemas na recepção e gravação do sinal de um determinado canal. Este fato é considerado normal no MSS - LANDSAT, e causa um ruído na obtenção da imagem. Na presente análise, basta que o nível de um "pixel" no canal 7 seja maior que 1 (um), para o mesmo ser classificado como terra;

b) existência no local de uma embarcação, podendo ser de pequeno ou grande porte. Se na área de um "pixel", estiver presente um bom refletor para a radiação infravermelha, mesmo que não ocupe toda ela, o nível de cinza do referido "pixel" seria maior do que 1 (um). Isto fará com que o "pixel" seja classificado como terra.

A causa precisa do aparecimento destas classificações erradas na imagem de 09/06/77, poderia ser determinada por uma análise do nível de cinza dos "pixels" correspondentes. Nada se quer afirmar aqui, pois não houve um acompanhamento de campo por ocasião da obtenção da imagem, de forma que se possa posicionar as embarcações presentes na área. Com este conhecimento, poder-se-ia reconhecer quais os "pixels" relativos a embarcações e, a partir daí, o quanto cada motivo apresentado aumenta o nível de cinza do canal 7, estabelecendo-se uma chave de classificação.

A presença de áreas de terra classificadas como água, por exemplo: a sudoeste do Morro da Ilha de Cabo Frio com 390 m; a sudoeste do Morro do Atalaia com 200 m; a sudoeste do morro de 180 m de altitude, localizado a nordeste da cidade do Arraial do Cabo, etc., são devidas ao efeito de sombra, como demonstrado a seguir.

Por ocasião da obtenção da imagem de 09/06/77, período outono inverno, o sol encontrava-se com 25° de altura solar e 47° de

azimute solar (dados retirados do rodapé da cópia em papel fotográfico preto e branco da imagem 09/06/77 - Figura II.12).

Estes ângulos correspondem a um sol baixo e a nordeste da área. Logo, todas as regiões que se encontravam a sudoeste de elevações ficaram na sombra, ocasionando baixo sinal de retorno ao MSS-LANDSAT, igual a 1 (um) neste caso. Todas estas regiões foram classificadas como água.

Os resultados obtidos com o programa subáreas de níveis de cinza, aplicado aos canais 6, 5 e 4, estão nas Figuras III.22, III.23, III.24, respectivamente. O intervalo de níveis de cinza em cada canal correspondente a cada uma das funções TEMA, e o respectivo símbolo no "print-out", estão na Tabela III.7. O tema 8 foi reservado para o armazenamento da parte da imagem classificada como terra.

Da análise dos resultados obtidos, pode-se dizer que:

a) Canal 6, Figura III.22

- os "pixels" de água ficaram concentrados nos temas 1 e 2, com o nível de cinza variando de 1 a 6;

- existe uma variação maior para os "pixels" localizados ao Norte da Ilha do Boi, sendo que este efeito é devido à fumaça da chaminé da Companhia Álcalis do Rio de Janeiro, localizada em Arraial do Cabo, fato discutido com mais detalhes adiante;

- não houve uma variação muito acentuada para os "pixels" de água, que ficaram concentrados em sua quase totalidade no tema 1 (um), nível de cinza de 1 a 3.

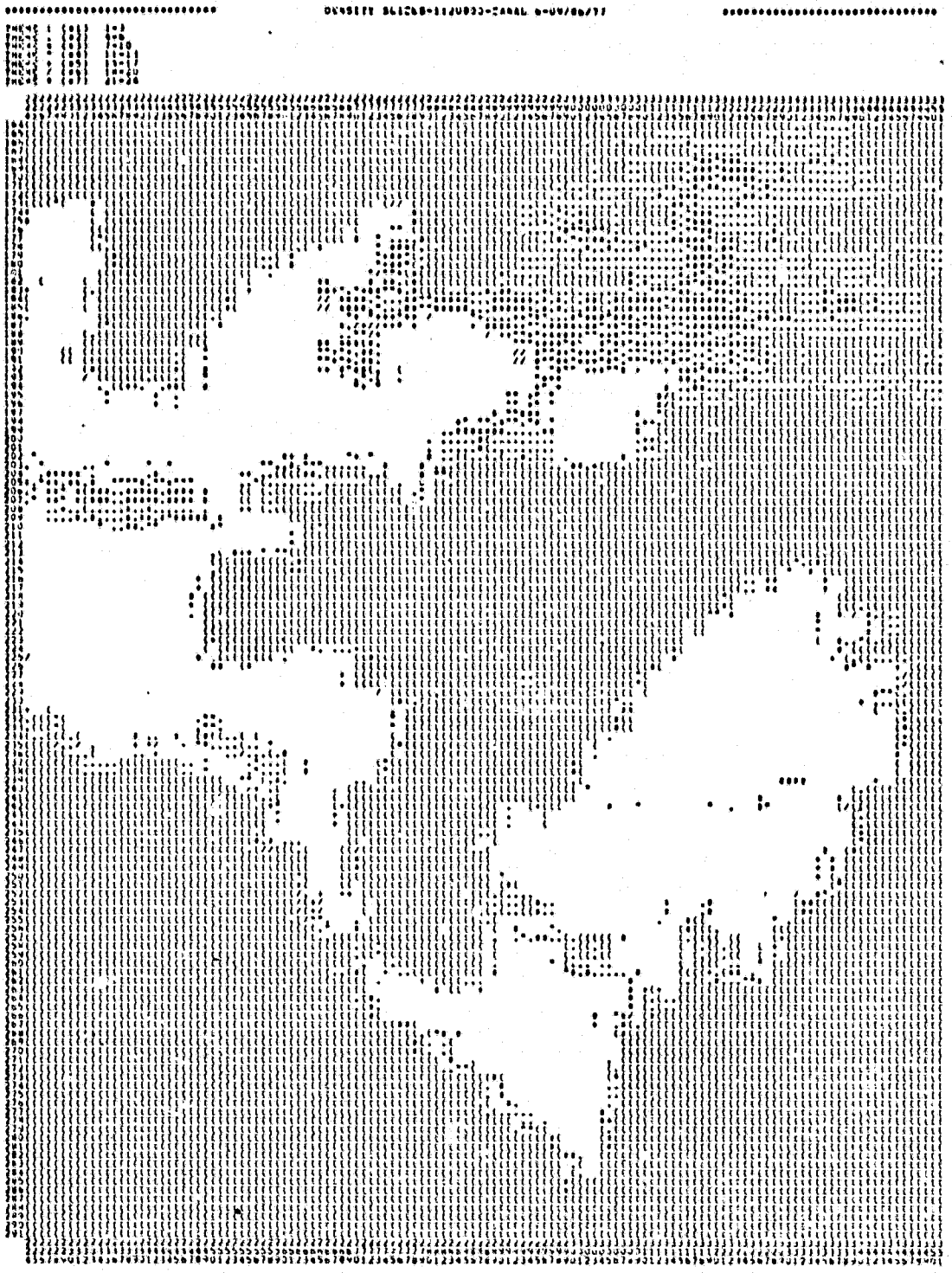


Fig. III.22 - Subáreas de níveis de cinza, canal 6 - imagem de 09/06/77

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

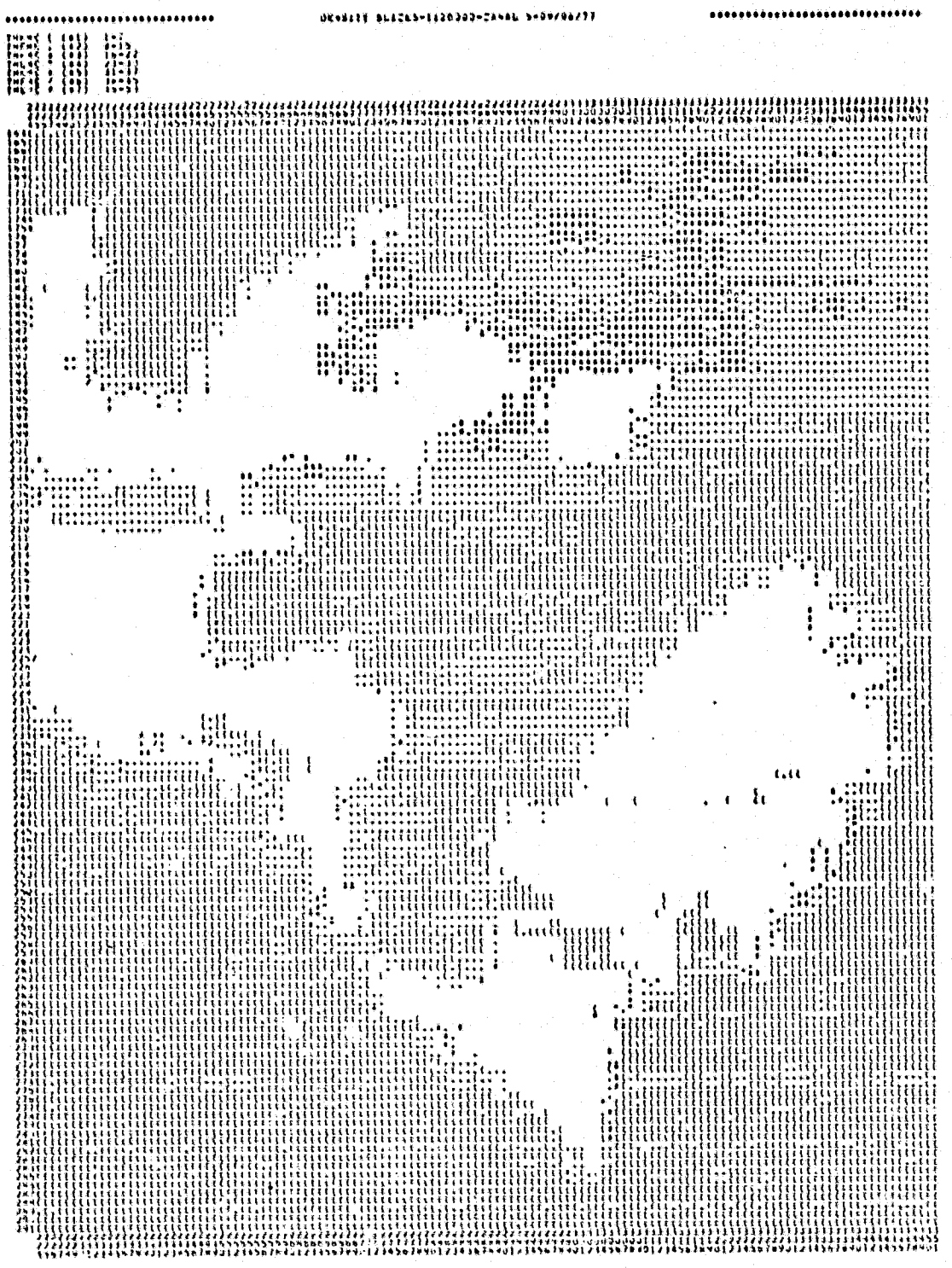


Fig. III.23 - Subáreas de níveis de cinza, canal 5 - imagem de 09/06/77

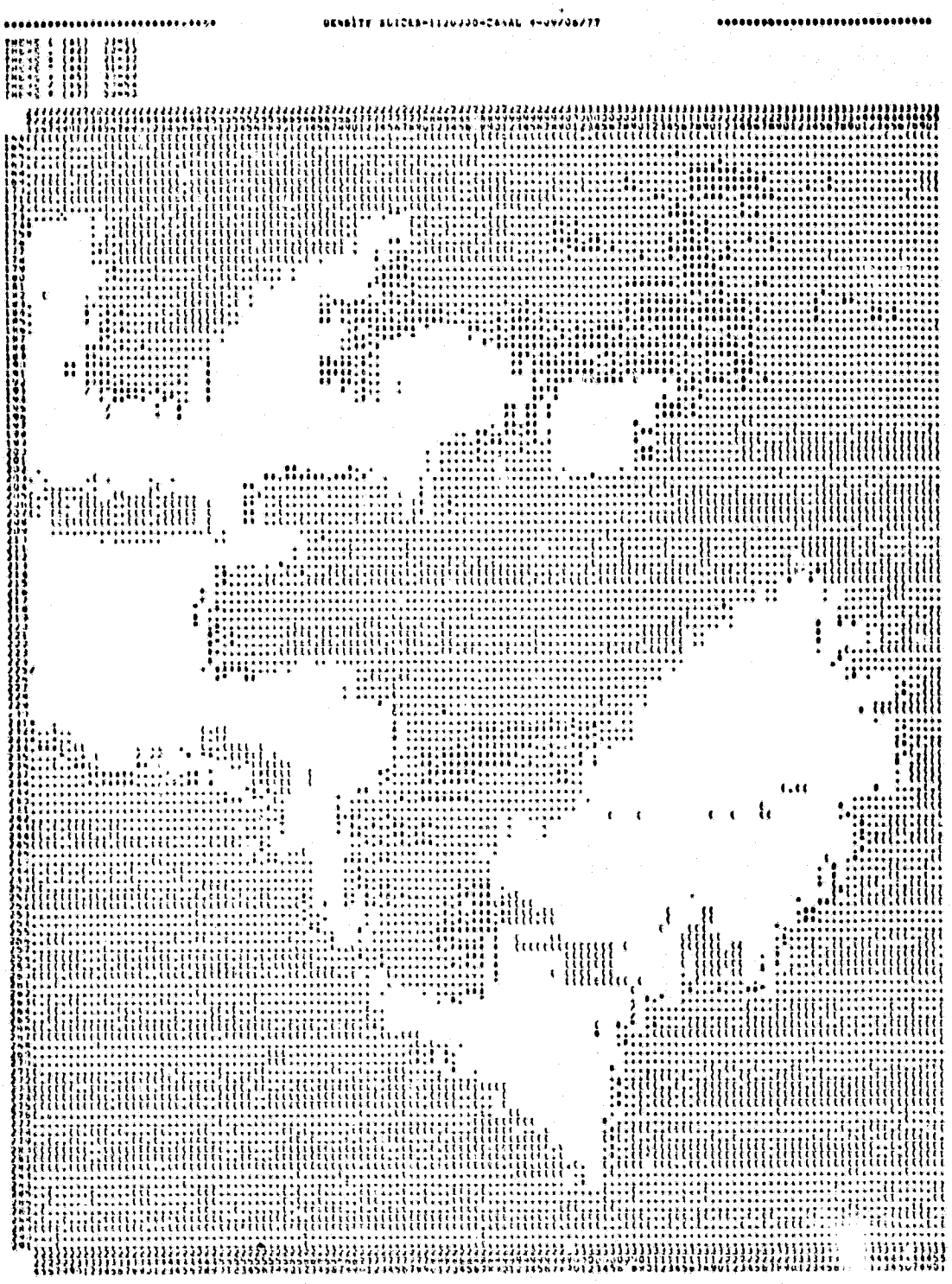


Fig. III.24 - Subáreas de níveis de cinza, canal 4 - imagem de 09/06/77

TABELA III.7

TEMAS COM OS RESPECTIVOS SÍMBOLOS E INTERVALOS DE NÍVEL DE CINZA, OBTIDOS NA APLICAÇÃO DO PROGRAMA SUB-ÁREAS DE NÍVEIS DE CINZA, NA IMAGEM DE 09/06/77

TEMA	SÍMBOLO	CANAL 4	CANAL 5	CANAL 6
1	(	03 - 11	01 - 07	01 - 03
2	.	12 - 20	08 - 15	04 - 06
3	#	21 - 30	16 - 22	07 - 10
4	"	31 - 39	23 - 30	11 - 13
5	+	40 - 49	31 - 37	14 - 17
6	/	50 - 58	38 - 45	18 - 20
7	*	59 - 60	46 - 53	21 - 24

b) Canal 5, Figura III.23

- os "pixels" de água ficaram concentrados nos temas 1 e 2, com o nível de cinza variando de 1 a 15;

- persiste a variação para os "pixels" localizados ao norte da Ilha de Boi;

- existe uma variação maior entre os "pixels" de água, havendo uma maior distribuição entre os temas 1, nível de cinza de 1 a 7, e o tema 2, nível de cinza de 8 a 15;

- os "pixels" da parte inferior da área efetivamente analisada foram concentrados nos temas 1 (um), nível de cinza de 1 a 17, existindo uma pequena variação;

- os "pixels" próximos ao efeito da fumaça detetado, ficaram concentrados no tema 2, nível de cinza de 8 a 15;

- os "pixels" sobre o banco distribuem-se igualmente entre os temas 1 e 2, porém em comparação com a carta 1503, vê-se que os correspondentes às regiões rasas do banco, ficaram no tema 2, nível de cinza de 8 a 15;

c) Canal 4, Figura III.24

- as partes rasas do banco são perfeitamente delineadas no tema 3, com o nível de cinza variando de 21 a 30;

- os "pixels" de águas restantes (águas profundas) ficaram concentrados nos temas 1 e 2, nível de cinza de 3 a 20;

- persiste a variação para os "pixels" localizados ao norte da Ilha do Boi;

- existe uma distribuição maior para os "pixels" de águas profundas, entre o tema 1, nível de cinza de 3 a 11, e o tema 2, nível de cinza de 12 a 20;

- os "pixels" localizados próximos à fumaça, ficaram concentrados no tema 2, nível de cinza de 12 a 20;

- os "pixels" da parte inferior da área efetivamente analisada tiveram uma maior verificação, distribuindo-se igualmente entre os temas 1 e 2.

A fumaça da chaminé da Companhia Álcalis do Rio de Janeiro, situada no Arraial do Cabo, a oeste da Ilha do Boi, foi identificada na análise visual da cópia em papel fotográfico preto e branco, da imagem de 09/06/77, Figura II.12. Este fato é consistente com os dados meteorológicos da área, fornecidos pela própria Companhia, que indicam para o dia e hora (aproximadamente $08^h:40^m$) da passagem do

173

satélite, um vento rondando de Sul a Oeste, com uma velocidade aproximada de 3 nós.

Este fumaça teve um efeito visível no sinal de retorno ao satélite, aumentando o nível de cinza dos "pixels" localizados na mesma, em relação ao nível de cinza localizados em águas profundas.

A maior variação do nível de cinza dos "pixels" localizados na parte inferior na área efetivamente analisada, principalmente no canal 4, indica a presença de uma sedimentação nesta área, que pode ser confirmada por uma análise visual da imagem em questão, Figura II.12.

As áreas do Banco das Enseadas do Cabo Frio não foram bem determinadas, alcançando-se com o canal 4 um máximo de penetração até, aproximadamente, 3 m. Porém, ao afirmar isto, tem-se que levar em conta três fatores:

a) as condições meteorológicas, no caso a presença de fumaça, e as condições de sedimentação, não favoráveis a uma determinação de feições de subsuperfícies;

b) a pouca iluminação da área, já que o sol encontrava-se muito baixo, como citado anteriormente, (altura solar = 25°);

c) a utilização do programa subáreas de níveis de cinza. Este programa, ao ser determinada uma área de treinamento e um canal, procura o maior e o menor nível de cinza que os "pixels" da área de treinamento possuem o referido canal. Posteriormente, ele divide este intervalo pelo número de funções TEMA solicitados, definidos as subáreas de níveis de cinza.

Se existir na área de treinamento um "pixel" com o nível de cinza não consistente com a feição água (os "pixels" classificados como terra foram excluídos da área de treinamento), oriundo de erros de recepção, gravação, classificação da feição terra, etc.,

os intervalos determinados terão uma amplitude grande. Isto pode ocasionar que feições com pouca diferença entre os seus níveis de cinza sejam classificados dentro de um mesmo tema.

O tema 2, onde ficariam localizados os "pixels" com mais de 3 m de profundidade estendeu-se até as águas profundas, ficando o máximo de penetração ligado a esta profundidade. É possível que dentro deste tema, nível de cinza 12 - 20, ainda se consigam separar níveis devidos a um sinal proveniente do fundo, permitindo a visualização de áreas mais profundas. Este procedimento não foi adotado, devido aos problemas que a imagem apresentava para a investigação de feições de sub-superfície, optando-se pela análise de outra que oferecesse melhores condições.

Apesar da desvantagem apresentada acima para o programa Sub-Áreas de Níveis de Cinza, o mesmo é indicado para o tipo de análise do presente trabalho, pela sua capacidade de realizar a classificação sem haver necessidade de se introduzir no sistema qualquer tipo de informação sobre a área. Isto permite assumir que *nada se conhece sobre a área analisada*, que é uma das principais vantagens do método empregado.

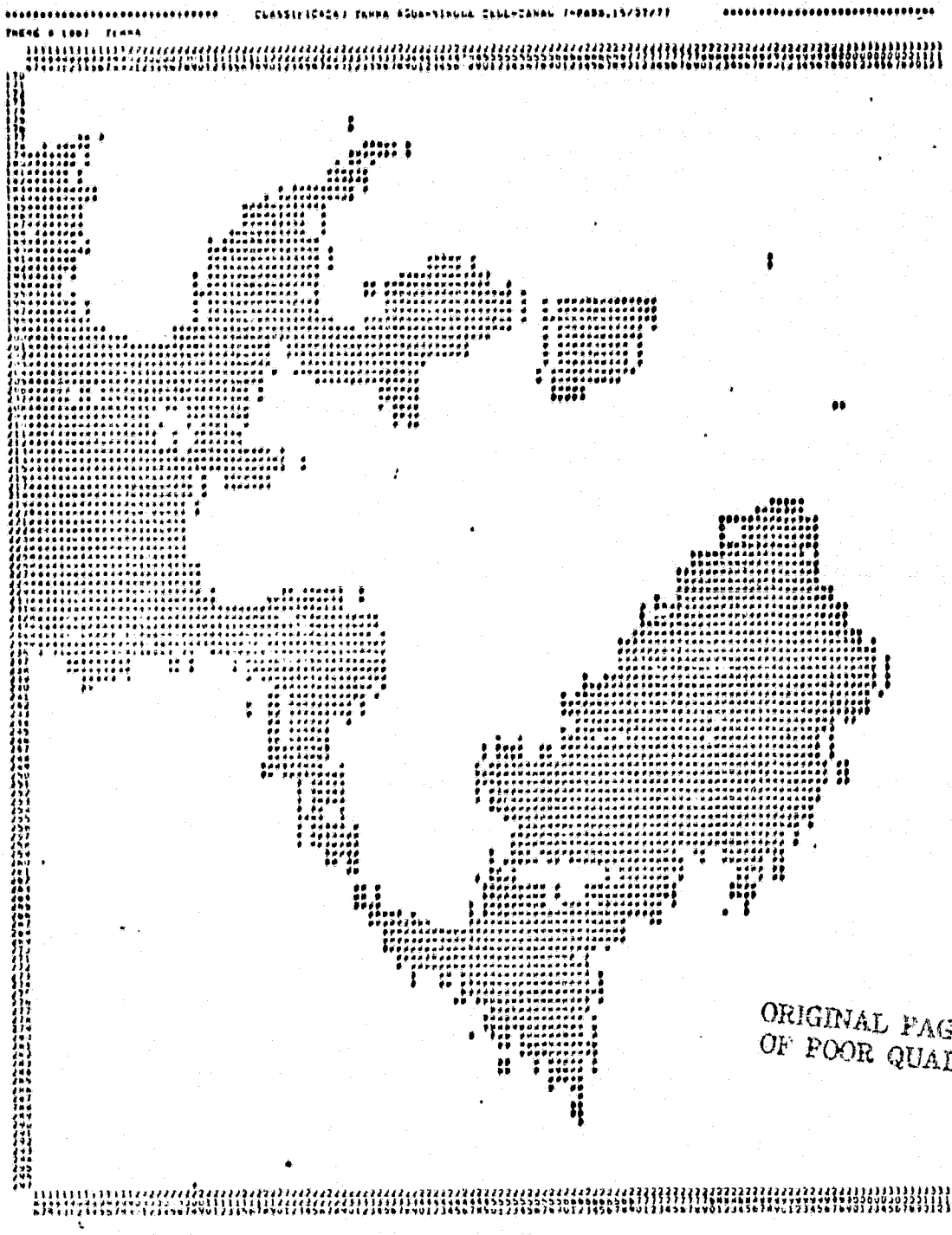
Um fato interessante foi o aumento no sinal proveniente de águas profundas ("background"), do canal 6 (01 - 02), para o canal 5 (01 - 07), atingindo um máximo no canal 4 (03 -11).

3.2.2 - RESULTADOS E DISCUSSÃO DA ANÁLISE DA IMAGEM DE 15/07/77

Os resultados obtidos com o programa Célula Única aplicado somente ao canal 7, estão na Figura III.25. A parte da imagem classificada como terra está sendo indicada pelo símbolo a, e deve ser comparada com a Figura III.20.

Basicamente, os resultados permaneceram os mesmos da imagem de 09/06/77:

175



ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

a → terra

em branco → "pixels" que no canal 7 possuem o nivel de cinza igual a 1(um)

Fig. III.25 - Classificação de Terra - Programa Célula Única aplicado no canal 7 - Imagem de 15/07/77.

- os "pixels" sobre água mantiveram o seu nível de cinza em 1 (um);

- os acidentes geográficos foram igualmente bem delineados, exceto os de pequenas dimensões, como discutido no item 3.2.1;

- os "pixels" de água classificados como terra, podem ser explicados pelos mesmos motivos apresentados no item 3.2.1;

- os "pixels" de terra classificados como água podem ser explicados pelos mesmos motivos apresentados no item 3.2.1, porém, nota-se que nesta imagem eles ocupam uma área menor.

Esta área pode ser explicada pela pequena variação no angulo de azimute solar, que de 47° em 09/06/77, passou para 49° em 15/07/77, na hora da passagem do satélite. O ângulo de altura solar manteve-se em 25° (dados retirados do rodapé da cópia em papel fotográfico preto e branco da imagem de 15/07/77 - Figura II.13), e a imagem corresponde a um período de inverno.

Os resultados obtidos com o programa subáreas de níveis de cinza, aplicado aos canais 6, 5 e 4, estão nas Figuras III.26, III.27, III.28, respectivamente. Na Tabela III.8, estão as funções TEMA, com os respectivos símbolos e intervalos de nível de cinza para cada canal.

Da análise dos resultados obtidos, pode-se dizer que:

a) Canal 6, Figura III.26

- os "pixels" de água ficaram concentrados nos temas 1, 2, e 3, com o nível de cinza de 01 a 12, tendo alguns alcançado o tema 4, nível de cinza de 13 a 17;

- existe uma variação acentuada entre os "pixels" de água neste canal, ficando a grande parte nos temas 1 e 2, nível de cinza de 01 e 08, os quais estão igualmente distribuídos;

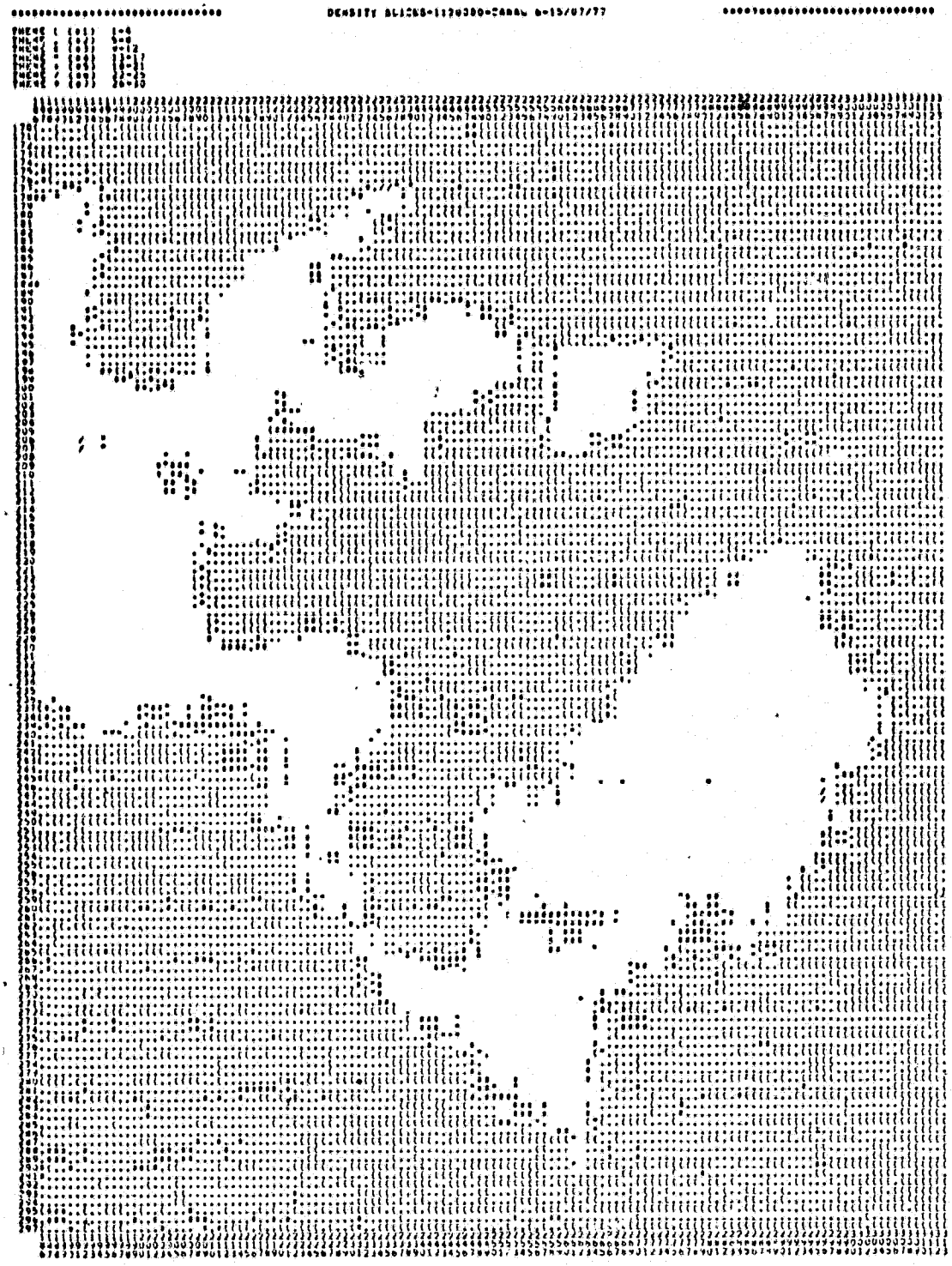


Fig. III.26 - Subáreas de níveis de cinza, canal 6 - imagem de 05/07/77

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

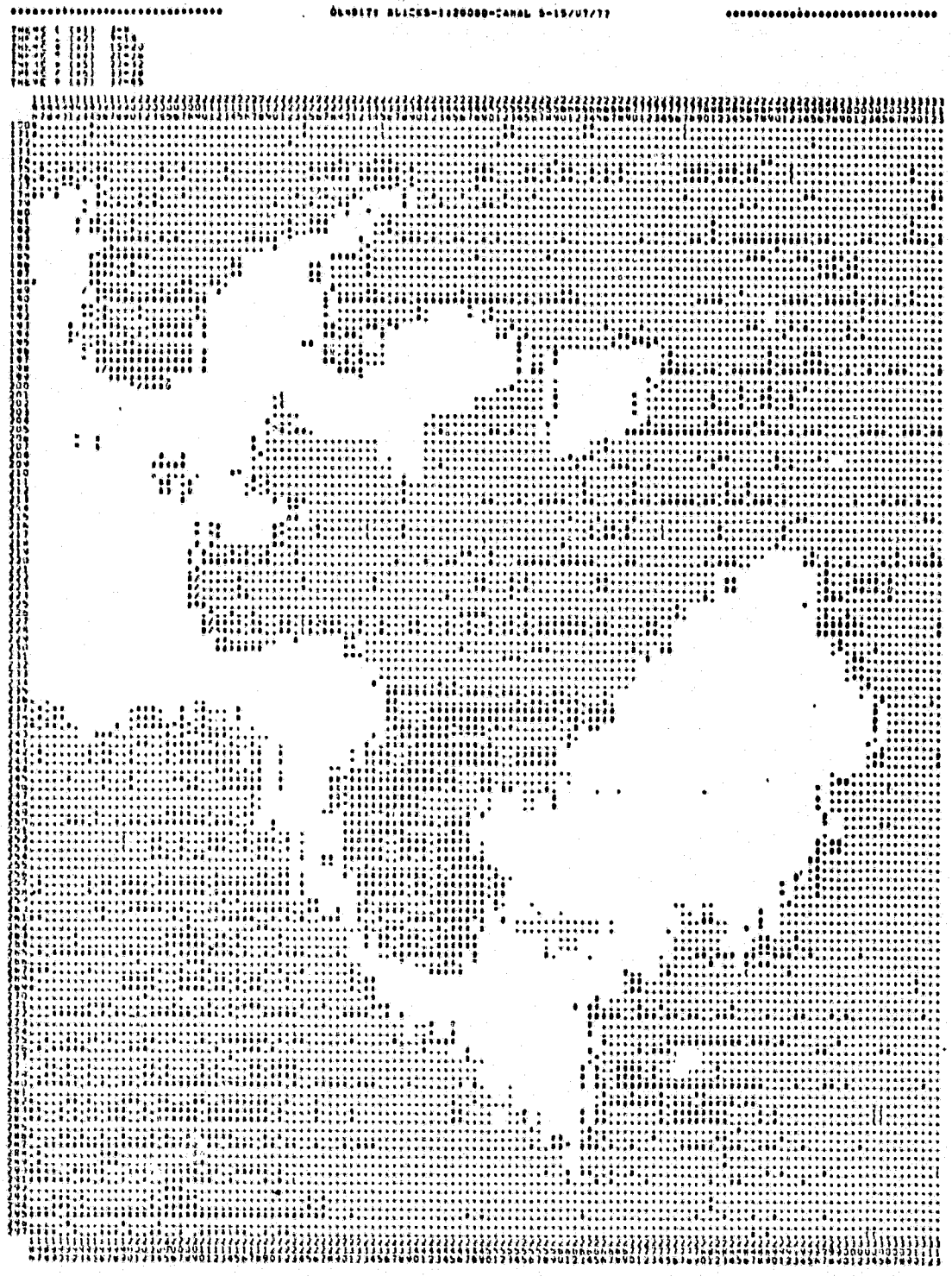


Fig. III.27 - Subáreas de níveis de cinza, canal 5 - imagem de 15/07/77

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

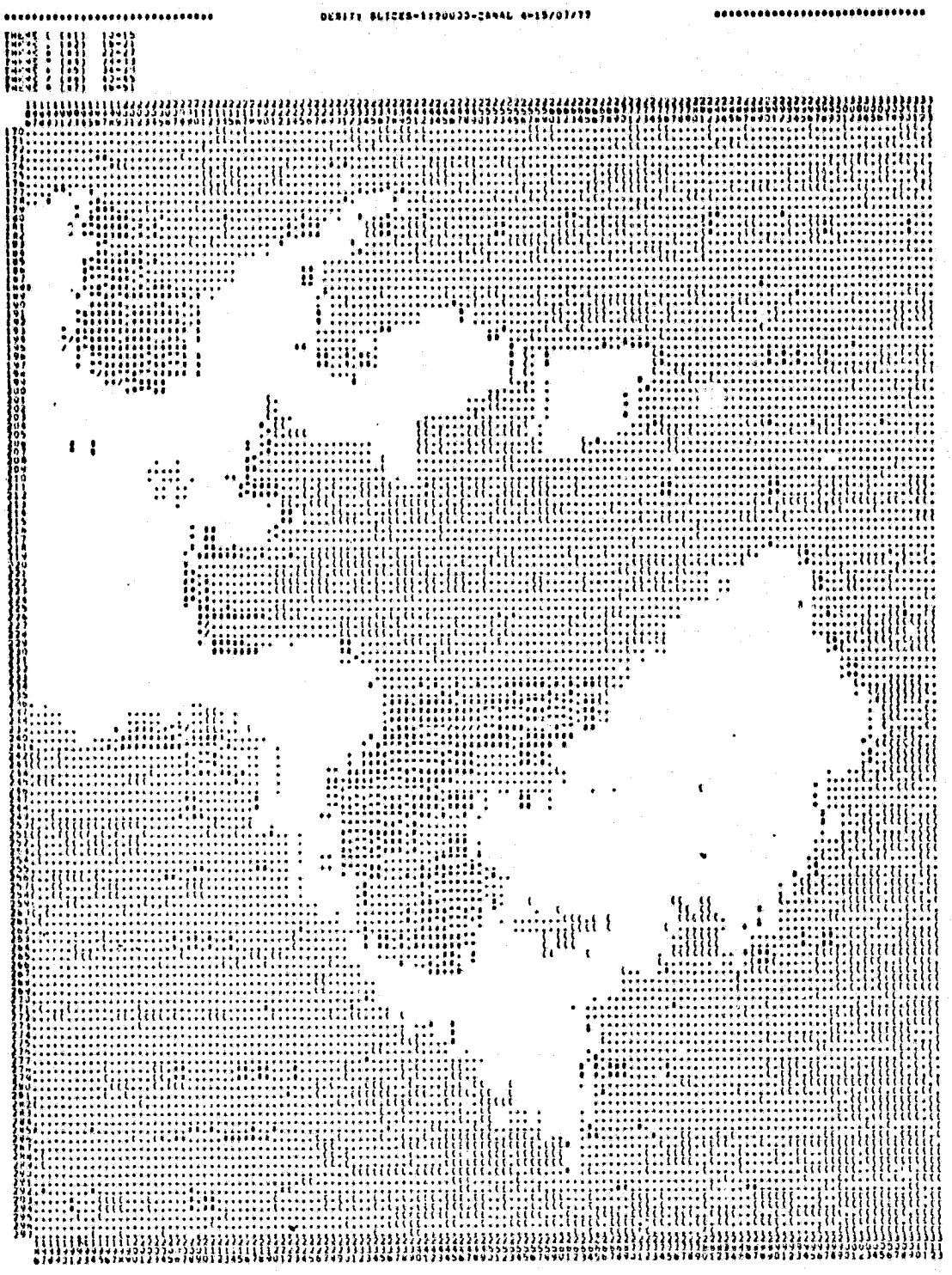


Fig. III.28 - Subáreas de níveis de cinza, canal 4 - imagem de 15/07/77

TABELA III.8

TEMAS COM OS RESPECTIVOS SÍMBOLOS E INTERVALOS DE NÍVEIS DE CINZA, OBTIDOS NA APLICAÇÃO DO PROGRAMA SUBÁREAS DE NÍVEIS DE CINZA NA IMAGEM DE 15/07/77

TEMA	SÍMBOLO	CANAL 4	CANAL 5	CANAL 6
1	(	10 - 15	03 - 08	01 - 04
2	.	16 - 21	09 - 14	05 - 08
3	#	22 - 27	15 - 20	09 - 12
4	"	28 - 33	21 - 26	13 - 17
5	+	34 - 39	27 - 32	18 - 21
6	/	40 - 45	33 - 38	22 - 25
7	*	46 - 51	39 - 45	26 - 30

- uma maior concentração de "pixels" de água no tema 3, nível de cinza de 09-12, aparece na parte inferior da área efetivamente analisada.

b) Canal 5, Figura III.27

- são delineadas as formas do banco no tema 3, nível de cinza de 15 a 20, no qual também se encontram classificados "pixels" de águas profundas. Aparecem no tema 4, nível de cinza de 21 a 26, "pixels" coincidentes com as partes mais rasas do banco;

- os "pixels" de águas profundas encontram-se concentrados nos temas 2 e 3, nível de cinza de 9 a 20;

- existe uma variação acentuada entre os "pixels" de águas profundas, sendo que o tema 3, nível de cinza de 15 a 20, aparece com mais intensidade na parte inferior da área efetivamente analisada;

c) Canal 4, Figura III.28

- são delineadas 4 diferentes áreas sobre o banco, correspondentes aos temas de 3 a 6, nível de cinza de 22 a 45;

- as áreas rasas do banco, profundidade até 1,5 m, foram indicadas nos temas 5 e 6, nível de cinza de 34 a 45;

- áreas de 1,5 m a 3 m, foram indicadas no tema 4, nível de cinza de 28 a 33;

- áreas entre 3 m e 5 m, foram indicadas no tema 3, nível de cinza de 22 a 27, existindo "pixels" de águas profundas classificadas neste tema;

- áreas com mais de 5 m no banco, tiveram uma classificação igual a de águas profundas, que estão concentradas nos temas 1, 2 e 3, nível de cinza entre 10 e 27;

- existe uma variação acentuada nos "pixels" de água profunda, havendo uma maior concentração no tema 2, nível de cinza de 15 a 21.

Nota-se que o nível de cinza das águas profundas aumentou em todos os canais, em relação à imagem de 09/06/77. A Tabela III.9 apresenta um quadro comparativo das duas imagens.

TABELA III.9

NÍVEL DE CINZA DAS ÁGUAS PROFUNDAS ("BACKGROUND") DAS IMAGENS DE 09/06/77 E 15/07/77, NOS CANAIS 4, 5 E 6

NÍVEL DE CINZA DE ÁGUAS PRO FUNDAS / IMAGEM	CANAL 4	CANAL 5	CANAL 6
09/06/77	03 - 20	01 - 15	01 - 06
01/07/77	10 - 27	09 - 20	01 - 12

Como a iluminação não teve uma variação considerável, este aumento pode ser explicado pelo aumento do sinal de retroespalhamento na atmosfera, devido à presença de nuvens tênues sobre a área. Estas nuvens podem ser identificadas pela análise visual das imagens em papel fotográfico preto e branco nos 4 canais (no presente trabalho, só e mostrado o canal 4 - Figura II.13), e seriam também responsáveis pela maior variação entre os "pixels" de águas profundas, nos 3 canais analisados.

O aumento no nível de cinza, e a maior variação dos níveis nos "pixels", de água profunda, poderiam também ser explicado pelo aumento na concentração de sedimentos na área, por ocasição da obtenção da imagem de 15/07/77. Esta diferença, entre sedimentos e nuvens tênues, deve ser feita por uma análise da textura da imagem, pois esta última feição comporta-se de maneira similar ao sedimento, havendo um aumento na resposta ao sensor, do canal 7 para o canal 4.

Este aumento do nível de cinza do canal 7 para o canal 4, pode ser explicado por um efeito de espalhamento proporcional ao inverso do comprimento de onda, indicando a possível presença, sobre a área, de partículas na atmosfera, com um diâmetro da ordem dos

comprimentos de onda da luz visível. Partículas maiores, que caracterizam as nuvens mais densas, causam um processo de espalhamento não seletivo, ocasionando que estas nuvens tenham o mesmo sinal de retorno nos 4 canais, ou seja, apareçam com o mesmo brilho nos 4 canais.

O canal 5 demonstrou novamente a capacidade de deteção das áreas rasas do banco, concentradas nos temas 3, nível de cinza de 15 a 20; e 4, nível de cinza de 21 a 26, embora vários "pixels" de água profunda tenham sido classificados no tema 3.

O canal 4 delimitou quatro (4) áreas de mesma profundidade sobre o banco, sendo conseguida uma penetração até 5 m, inclusive com uma perfeita visualização do canal existente no Banco das Enseadas do Cabo Frio.

No canal 4, como ocorrido com o canal 5, no tema em que foram classificadas as áreas, onde se teve o limite de penetração, foram classificados "pixels" de água profunda, provocando uma possível dúvida na interpretação. Este tema foi o de número 3, nível de cinza de 22 a 27.

Porém, através de uma análise da textura da imagem, os "pixels", onde existe uma componente de fundo, podem ser diferenciados daqueles onde ocorre maior nível de cinza, devido a feições de superfície (sedimentos, nuvens, etc).

Note-se que os "pixels" localizados sobre o banco, tem uma distribuição contínua em relação aos "pixels", anteriormente reconhecidos como tendo influência do fundo no sinal de retorno. Isto indica uma continuidade na declividade do fundo, dando consistência à afirmação de que o maior nível de cinza é devido a um sinal proveniente do fundo.

O mesmo não acontece com os "pixels" classificados em águas produndas, que aparecem separados, não demonstrando continuidade

a feições de profundidade. Como exceção, tem-se a possibilidade da existência de um banco de pequenas dimensões e isolado em um ponto da imagem, que apresentaria poucos "pixels" classificados como rasos no meio de águas profundas. Assim, não haveria continuidade nem consistência para se afirmar que existe neles um sinal proveniente do fundo.

Este problema seria contornável pela análise de uma outra imagem, com condição meteorológica e sedimentação diferente. Se o maior nível de cinza daquele ponto persistisse, o sinal seria proveniente do fundo; caso contrário, ele seria oriundo de nuvens tênues ou sedimentos presentes na área, por ocasião da primeira imagem.

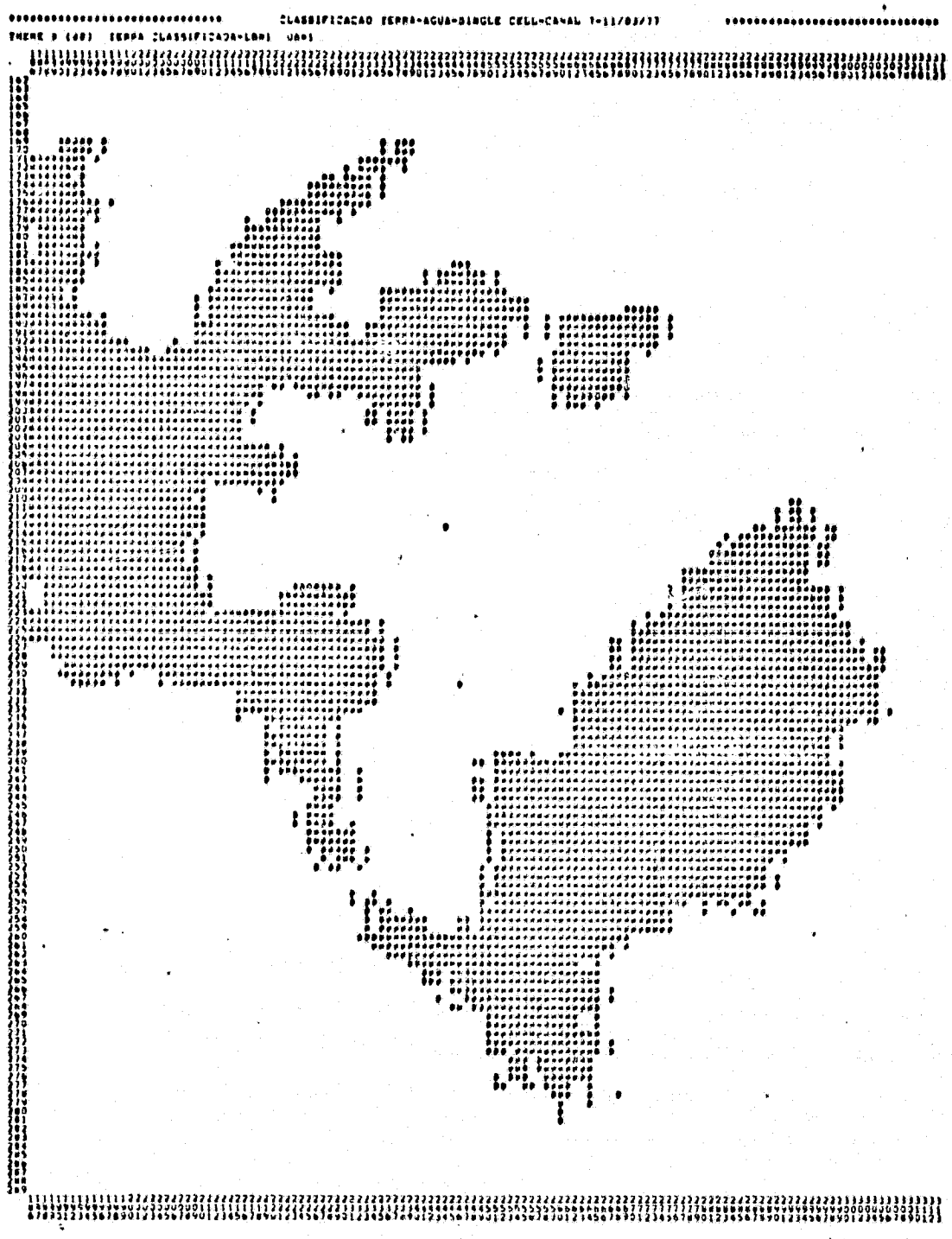
Os resultados alcançados com a imagem de 15/07/77 foram superiores aos resultados da imagem de 09/06/77, embora persistam as limitações apresentadas para esta (baixa iluminação, condições meteorológicas, programa subáreas de níveis de cinza) na deteção de feições subsuperficiais. Isto faz com que a imagem de 15/07/77 também não apresente as condições ideiais para o mesmo objetivo.

3.2.3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO DA ANÁLISE DA IMAGEM DE 11/03/77

Os resultados obtidos com o programa Célula Única, aplicado somente ao canal 7, estão na Figura III.29. A parte da imagem classificada como terra está indicada pelo símbolo a, e deve ser comparada com a Figura III.20.

De acordo com as duas imagens anteriormente apresentadas, os resultados apresentaram-se da seguinte forma:

- os "pixels de água tiveram o nível de cinza igual a 1 (um) no canal 7;
- os acidentes geográficos foram bem delineados, com uma boa determinação do contorno da linha da costa, exceção feita aos acidentes de pequenas dimensões, como discutido no item 3.2.1;



a → terra

em branco → "pixels" que no canal 7 possuem o nível de cinza igual a 1(um)

Fig. III.29 - Classificação de terra - Programa Célula Única aplicado no canal 7 - Imagem de 11/03/77

- os "pixels" de água classificados como terra podem ser explicados pelos mesmos motivos apresentados no item 3.2.1;

- os "pixels" de terra classificados como água podem ser explicados pelos mesmos motivos apresentados no item 3.2.1, porém, nota-se que nesta imagem eles ocupam uma área bem menor que nas outras duas, anteriormente analisadas.

A área ocupada pelos "pixels" de terra classificados como água diminui sensivelmente, chegando quase à eliminação total deste erro de classificação. Uma melhor visualização deste resultado pode ser obtida na Figura III.28, onde se tem a superposição do contorno da linha da costa obtido com a imagem, à carta 1503 - Enseadas do Cabo Frio, considerada a verdade terrestre do presente estudo.

Este maior acerto é devido ao maior ângulo de altura solar. No dia 11/03/77, final da estação do verão, o sol, na hora da passagem do satélite (dados retirados do rodapé da cópia em papel fotográfico preto e branco da imagem de 11/03/77 - Figura II.11), tinha os seguintes ângulos:

Altura Solar = 47°

Azimute Solar = 74°

Este aumento no ângulo da altura solar, cerca de 25° nas imagens anteriores, para 47° na presente imagem, diminui as áreas de sombra, minimizando o erro de classificação oriundo deste efeito. Algumas pequenas áreas, erradamente classificadas, podem ser notadas agora para oeste das elevações apresentadas no item 3.2.1.

Desta discussão pode-se deduzir que, para uma melhor classificação de terra, ou seja, do contorno da linha da costa, devem ser utilizadas imagens com o maior ângulo de sol possível, logo, correspondentes à época do verão. Se por acaso a região analisada não tiver uma movimentação acentuada no relevo, este cuidado pode ser desprezado.

Os resultados obtidos com o programa subáreas de níveis de cinza, aplicado aos canais 6, 5 e 4, estão nas Figuras III.30, III.31, III.32, respectivamente. Na Tabela III.10 estão as funções TEMA, com os respectivos símbolos e intervalos de nível de cinza.

Da análise dos resultados obtidos, pode-se dizer que:

a) Canal 6, Figura III.30

- os "pixels" de água ficaram concentrados nos temas 1 e 2, com o nível de cinza variando de 1 a 8;

- os "pixels" de água ficaram igualmente distribuídos entre os temas 1 e 2, em toda a área efetivamente analisada. Não houve região com uma concentração preferencial para nenhum dos temas.

b) Canal 5, Figura III.31

- são delineadas as áreas mais rasas do banco, com profundidades de 1 m a 2.5 m, no tema 3, com o nível de cinza variando de 16 a 22;

- os "pixels" de água, com profundidade superior a 2,5 m, ficaram concentrados em quase toda a sua totalidade no tema 2, nível de cinza de 8 a 15, com raríssimas exceções.

c) Canal 4, Figura III.32

- são delineadas 4 diferentes áreas sobre o banco, correspondentes aos temas de 2 a 5, com o nível de cinza variando de 24 a 65;

- as áreas rasas do banco, com profundidade de 1 m a 2 m, foram indicadas no tema 5, nível de cinza de 56 a 65;

- as áreas de 2 m a 4 m foram indicadas no tema 4, nível de cinza de 45 a 54.

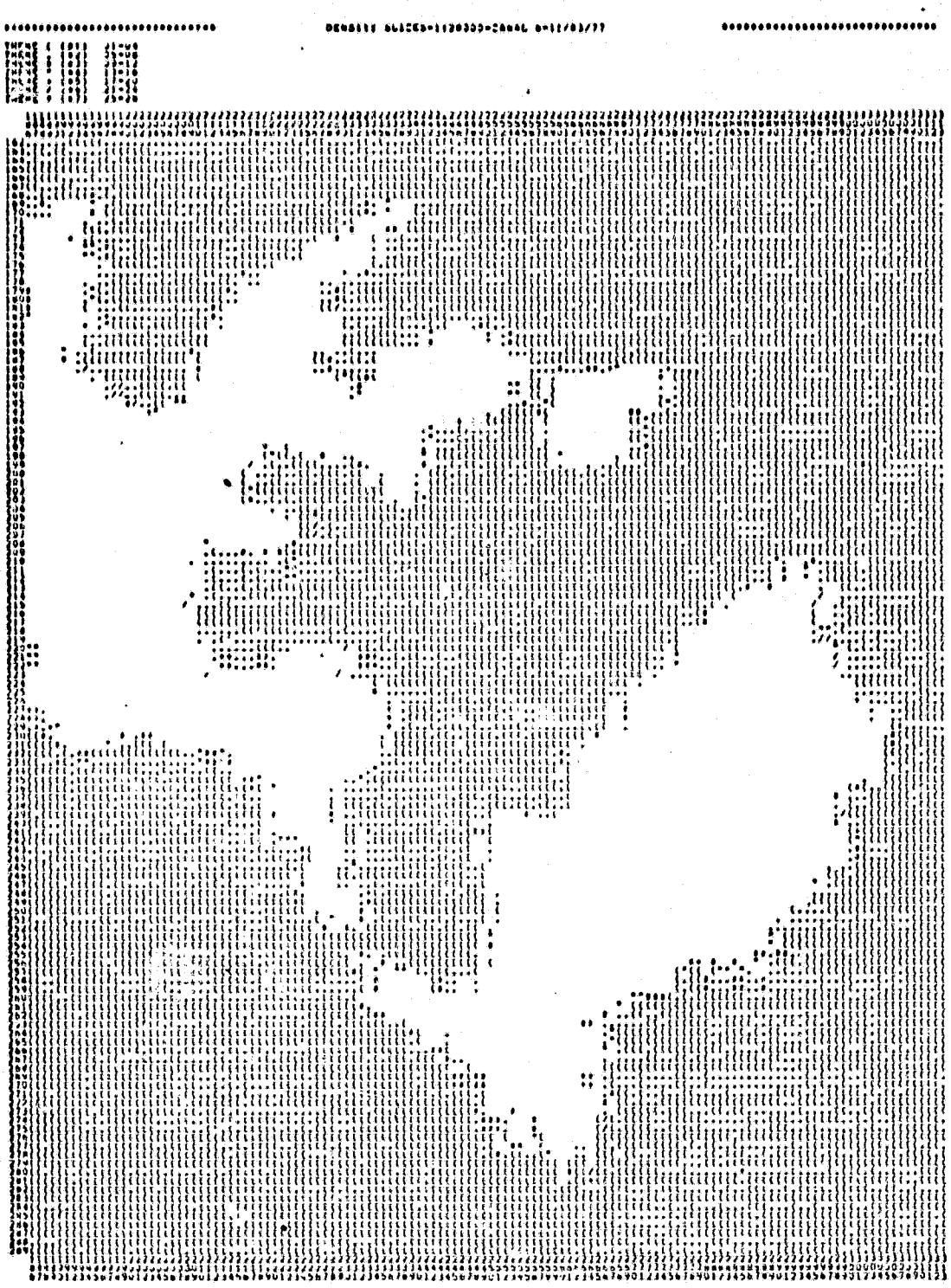


Fig. III.30 - Subáreas de níveis de cinza, canal 6 - imagem de 11/03/77

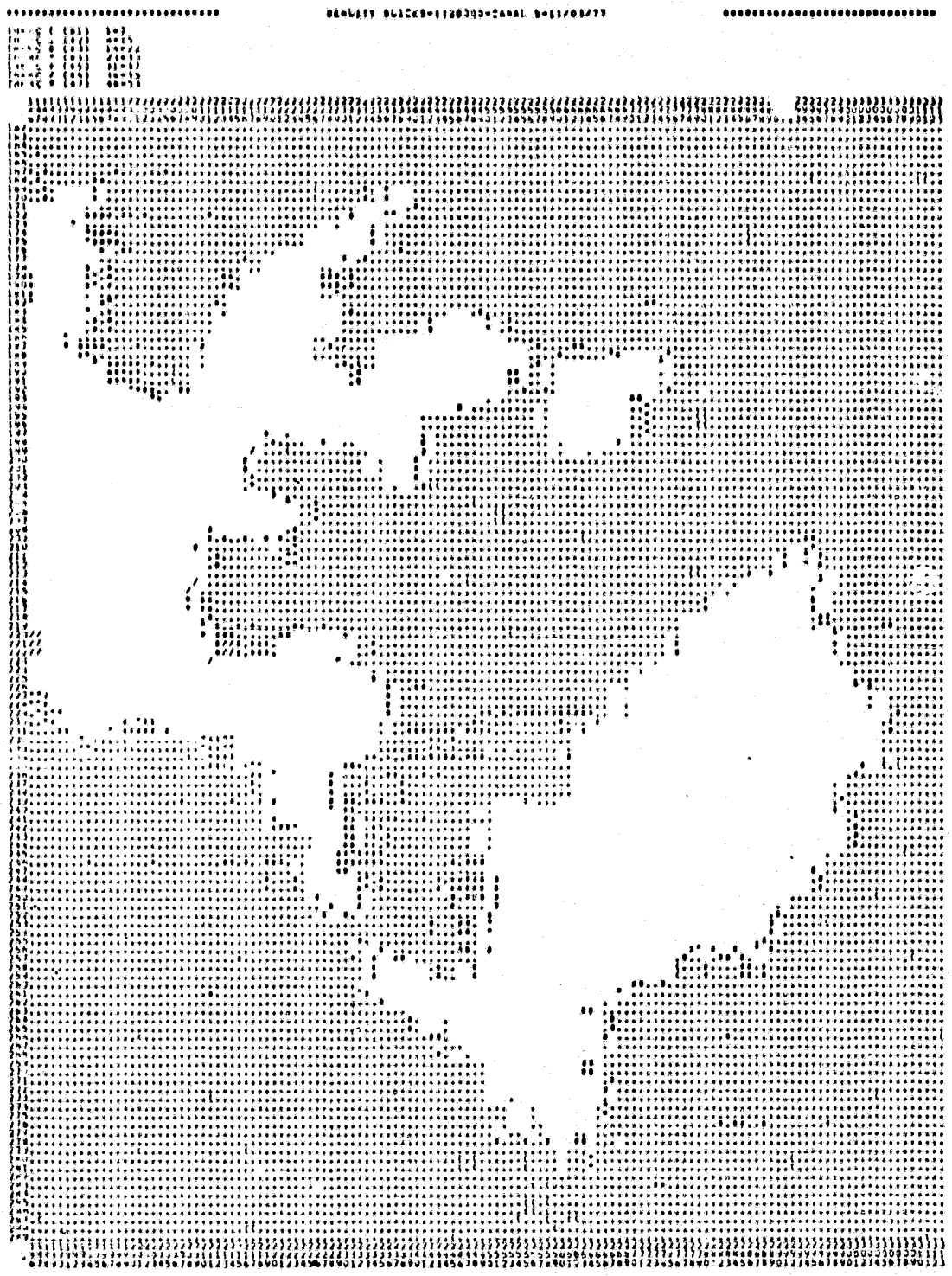


Fig. III.31 - Subáreas de níveis de cinza, canal 5 - imagem de 11/03/77

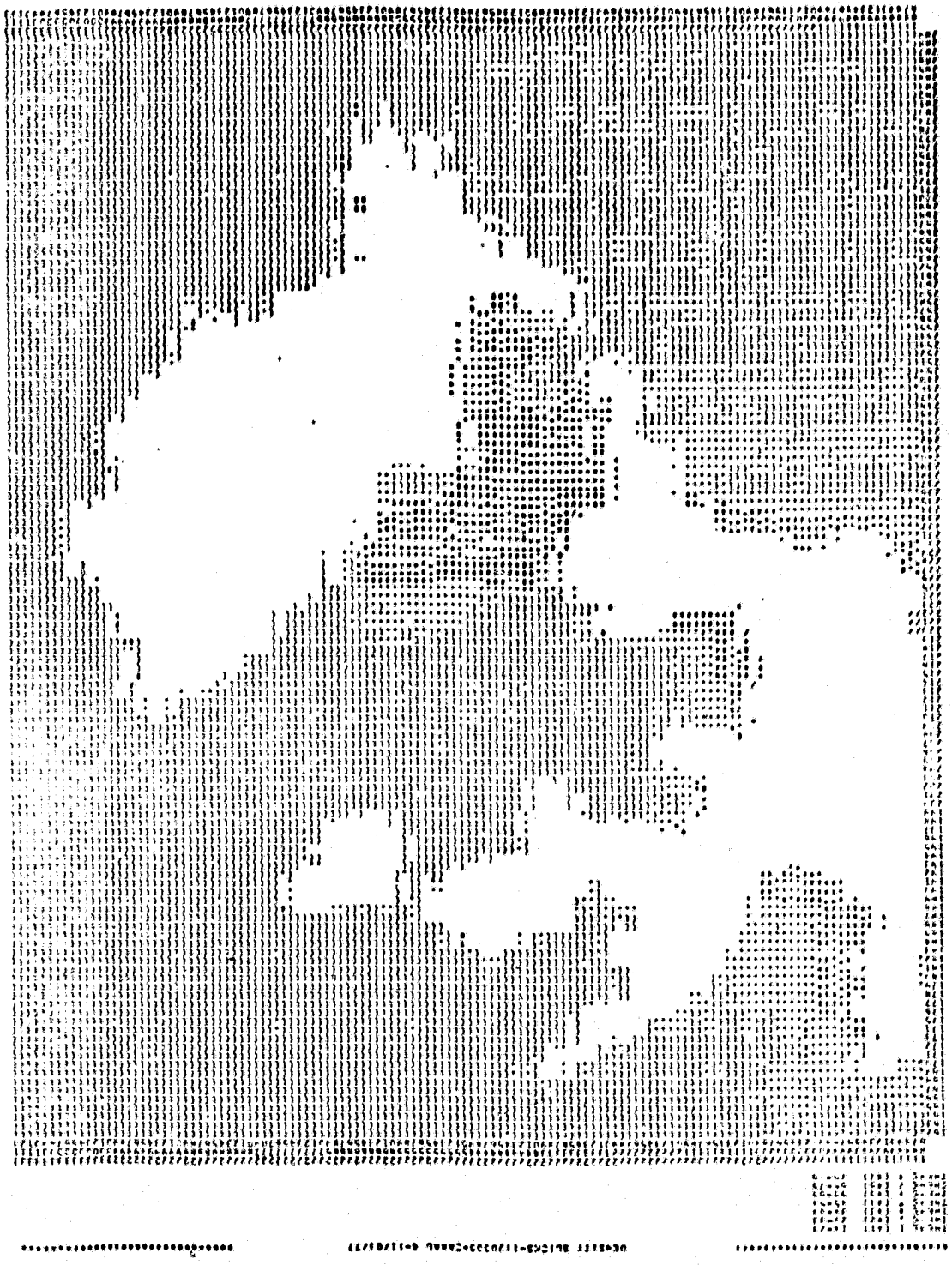


Fig. III.31 - Subáreas de níveis de cinza, canal 4 - imagem de 11/03/77

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

TABELA III.10

TEMAS COM OS RESPECTIVOS SÍMBOLOS E INTERVALOS DE NÍVEIS DE CINZA, OBTIDOS NA APLICAÇÃO DO PROGRAMA SUBÁREAS DE NÍVEIS DE CINZA, NA IMAGEM DE 11/03/77

TEMA	SÍMBOLO	CANAL 4	CANAL 5	CANAL 6
1	(	14 - 23	01 - 07	01 - 04
2	.	24 - 33	08 - 15	05 - 08
3	#	34 - 44	16 - 22	09 - 12
4	"	45 - 54	23 - 30	13 - 16
5	+	55 - 65	31 - 37	17 - 20
6	/	66 - 75	38 - 45	21 - 24
7	*	76 - 85	46 - 53	25 - 28

- as áreas de 4 m e 7 m foram indicadas no tema 3, nível de cinza de 34 a 44;

- as áreas de 7 m a 12 m foram indicadas no tema 2, nível de cinza de 24 a 33, existindo "pixels" de águas profundas classificados neste tema;

- as áreas com mais de 12 m no banco tiveram uma classificação igual a das águas profundas, que ficaram concentradas nos temas 1 e 2;

C-3

- os "pixels" de águas profundas da parte superior da imagem estão no tema 1, nível de cinza de 14 - 23, não havendo variação para o tema 2, com raríssimas exceções;

- os "pixels" de águas profundas da parte inferior-esquerda da imagem estão igualmente distribuídos entre os temas 1, nível de cinza de 14 a 23, e 2, nível de cinza de 24 - 33.

Devido à maior iluminação da área, seria esperado um aumento no sinal de retorno das águas profundas ("background"), porém, como pode ser visto na Tabela III.11, o mesmo manteve-se na mesma ordem de grandeza da imagem de 15/07/77, sendo os dois superiores aos da imagem 09/06/77.

TABELA III.11

NÍVEL DE CINZA DAS ÁGUAS PROFUNDAS ("BACKGROUND") DAS IMAGENS DE 09/06/77, 15/07/77, 11/03/77, NOS CANAIS 4, 5 E 6

NÍVEL DE CINZA DE ÁGUAS PROFUNDAS / IMAGEM	CANAL 4	CANAL 5	CANAL 6
09/06/77	03 - 20	01 - 15	01 - 06
15/07/77	10 - 27	09 - 20	01 - 12
11/03/77	14 - 33	08 - 15	01 - 08

A mesma grandeza nos níveis de cinza, das imagens de 15/07 e 11/03/77, concorda com a maior iluminação solar da área durante a obtenção da segunda, pois, como citado anteriormente, têm-se na primeira a presença de nuvens tênues que aumentam o sinal de retroespalhamento na atmosfera.

Os intervalos, aproximadamente, iguais entre os níveis de cinza para cada canal das imagens de 09/06/77 e 11/03/77, indicam uma sedimentação da mesma ordem nas duas imagens. O maior valor absoluto dos níveis, na imagem de 11/03/77, concorda com a maior iluminação solar por ocasião desta. Nas duas imagens, os baixos valores de níveis de cinza nos canais 5 e 6 mostram uma baixa concentração dos sedimentos presentes na área efetivamente analisada.

Observa-se nas três imagens, cada uma com as suas condições, que o nível de cinza das águas profundas ("background") aumentou do canal 6 para o canal 4. Como para o canal 7 têm-se sempre o nível de cinza igual a 1, deduz-se que o nível de cinza das águas profundas ("background") aumenta do canal 7 para o canal 4.

Apesar da mesma condição de sedimentos presentes nas imagens de 09/06/77 e 11/03/77, por uma análise dos resultados obtidos no canal 4, Figuras III.24 e III.32, respectivamente, pode-se ver um comportamento mais homogêneo na superfície da água, na segunda imagem. Nesta existe uma variação nos "pixels" de água profunda, limitada à parte inferior da área efetivamente analisada, havendo pouca ou nenhuma variação na parte superior.

Os sedimentos presentes na parte inferior podem ser identificados como procedentes da Baia de Guanabara, na análise visual da cópia em papel fotográfico preto e branco da referida imagem (Figura II.11). Outro fato interessante, que pode ser extraído desta análise, é a frente de sedimentos localizada, aproximadamente, no centro da imagem, que possui uma concavidade voltada para Leste, indicando a presença de um vento desta direção. Isto concorda com o vento presente na área durante a obtenção da imagem, vento Nordeste, que pode ser visualizado pela direção da fumaça da chaminé da Companhia Álcalis do Rio de Janeiro, localizada em Arraial do Cabo.

Logo, a maior homogeneidade da água presente e a maior iluminação indicam a imagem de 11/03/77 como a melhor para a identificação de feições subsuperficiais, em relação às duas imagens anteriormente analisadas.

A maior homogeneidade da água, simplificação adotada no desenvolvimento do método de análise, item 2.5, diminui o erro na classificação de um "pixel", proveniente de diferentes sinais de fundo ("background").

À maior iluminação corresponde uma maior incidência de energia solar na área, consequentemente, a uma maior capacidade de penetração da radiação eletromagnética. Com isto, aumenta-se a profundidade máxima que pode ser investigada.

As duas imagens anteriormente analisadas apresentaram problemas de condições atmosféricas (fumaça) e sedimentos na imagem de 09/06/77; e de condições atmosféricas (nuvens tênues) na imagem de 15/07/77. Estes problemas foram detetados pela análise dos resultados obtidos com o programa subáreas de nível de cinza nos canais 4, 5 e 6, e, posteriormente, confirmados na inspeção visual das cópias em papel fotográfico preto e branco das referidas imagens.

A acepção de que a imagem de 11/03/77 é a melhor para o presente trabalho, pode ser confirmada pela excelente performance obtida com os canais 5 e 4 na investigação das feições subsuperficiais.

a) no canal 5, foram claramente mostradas as regiões mais rasas do banco, conseguindo-se uma penetração até 2,5 m;

b) no canal 4, foram determinadas quatro subáreas de pontos com a mesma profundidade, alcançando-se a determinação da isóbata de 12 m.

Uma análise mais detalhada dos resultados obtidos com esta imagem e uma comparação com a verdade terrestre (carta 1503 - Banco das Enseadas do Cabo Frio), é realizada no item posterior (3.2.4). Neste item, é aplicado à imagem de 11/03/77, selecionada como a melhor para a determinação de feições subsuperficiais, o programa TABCLS, e calculada a profundidade dos "pixels" a partir do seu nível de cinza. Este procedimento concorda com a técnica de análise proposta no item 2.5.2.2.

Uma forma de se melhorar o resultado seria a subdivisão dos temas obtidos com o programa subáreas de níveis de cinza, a fim de minimizar os problemas decorrentes deste programa, conforme citado no item 3.2.1. Porém, optou-se pela utilização do programa TABCLS, pela sua capacidade de operar os canais 4 e 5, conjuntamente, permitindo uma melhor visualização da sedimentação da área.

3.2.4 - PROGRAMA TABCLS E CÁLCULO DA PROFUNDIDADE A PARTIR DO NÍVEL DE CINZA - RESULTADO FINAL E DISCUSSÃO

Conforme o método proposto, das três imagens analisadas selecionou-se a melhor para a determinação de feições de subsuperfície, e nela aplicou-se o programa TABCLS nos canais 4 e 5. A imagem selecionada foi a de 11/03/77, como explicado anteriormente.

Da aplicação do programa subáreas de níveis de cinza no canal 4, da imagem de 11/03/77, resultou uma classificação duvidosa no tema 2, onde foram incluídos "pixels" localizados em águas de 7 a 12 m de profundidade e "pixels" de águas profundas. Isto é devido ao problema dos "pixels" que estão perto do limite de penetração (profundidade máxima investigada) possuírem um baixo nível de cinza, que pode ser igual a de um "pixel" de águas profundas, onde exista uma maior concentração de sedimentos.

A aplicação do programa TABCLS visou minimizar este erro na classificação, através da operação conjunta nos canais 4 e 5

Introduzindo-se o canal 5 na análise, tentou-se separar quais os "pixels" que possuíam aquele determinado nível de cinza devido a um sinal do fundo, e aqueles que o tinham devido a um sinal de sedimentos.

Foi mantida a parte de terra classificada com o programa Célula Única aplicado ao canal 7, Figura III.29. Todos estes "pixels" foram excluídos da área efetivamente analisada com o programa TABCLS.

A sequência das operações do programa TABCLS, discutida no item 2.5.1, apresentou os seguintes resultados:

a) a Tabela de compressão dos dados dos canais 4 e 5, em 64 níveis de cinza está na Figura III.33. Os dados estão na fita CCT em 256 níveis de cinza;

b) o espaço de atributos é mostrado na Figura III.34. Os caracteres alfanuméricos são transformados em quantidades decimais, segundo a tabela apresentada na mesma figura;

c) a divisão do espaço de atributos em subáreas é mostrado na Figura III.35. Esta divisão foi realizada de acordo com critérios de classificação discutidos posteriormente. Cada sub-área é representada por um número, que corresponde à função TEMA a que foram associados os "pixels" localizados na referida sub-área;

d) o "print-out" resultante da classificação, com o símbolo correspondente a cada função TEMA utilizada, é mostrado na Figura III.36.

Uma melhor visualização do espaço de atributos dividido nas respectivas subáreas é mostrada na Figura III.37. Para a confecção desta figura, transportam-se as subáreas da Figura III.35 para o espaço de atributos da Figura III.34, ficando as subáreas delimitadas por traços. Colocou-se no interior de cada uma o número da função TEMA correspondente.

CANAL 3 58 NIVEIS

ORDEM NIVEL POPUL

ORDEM	NIVEL	N-NIVEL	POPUL
1	15	0	50
2	16	1	92
3	17	2	269
4	18	3	678
5	19	4	2503
6	20	5	549
7	21	6	1749
8	22	7	2386
9	23	8	743
10	24	9	335
11	25	10	752
12	26	11	502
13	27	12	131
14	28	13	140
15	29	14	123
16	31	15	39
17	32	16	21
18	33	17	102
19	34	18	37
20	35	19	38
21	36	20	22
22	37	21	147
23	38	22	47
24	39	23	36
25	40	24	70
26	41	25	45
27	42	26	20
28	43	27	39
29	44	28	14
30	45	29	11
31	46	30	32
32	47	31	29
33	48	32	28
34	49	33	51
35	51	34	18
36	52	35	44
37	53	36	5
38	54	37	19
39	55	38	76
40	57	39	10
41	58	40	18
42	59	41	6
43	61	42	17
44	62	43	6
45	63	44	1
46	64	45	5
47	65	46	1
48	66	47	2
49	67	48	5
50	69	49	2
51	70	50	4
52	76	51	1
53	77	52	1
54	78	53	2
55	82	54	1
56	83	55	4
57	85	56	1
58	87	57	1

CANAL 4 41 NIVEIS

ORDEM NIVEL POPUL

ORDEM	NIVEL	N-NIVEL	POPUL
1	2	0	4
2	6	1	8
3	7	2	34
4	8	3	18
5	9	4	406
6	10	5	903
7	11	6	2866
8	12	7	3938
9	13	8	1621
10	14	9	1068
11	15	10	560
12	16	11	59
13	17	12	213
14	18	13	51
15	19	14	78
16	20	15	66
17	21	16	26
18	22	17	61
19	24	18	25
20	25	19	16
21	26	20	15
22	27	21	17
23	28	22	7
24	29	23	6
25	30	24	6
26	31	25	4
27	32	26	4
28	34	27	5
29	35	28	1
30	36	29	2
31	38	30	2
32	40	31	5
33	41	32	3
34	43	33	5
35	45	34	1
36	47	35	1
37	48	36	4
38	50	37	1
39	52	38	1
40	53	39	1
41	54	40	2

CANAL 3 = Canal 4 MSS

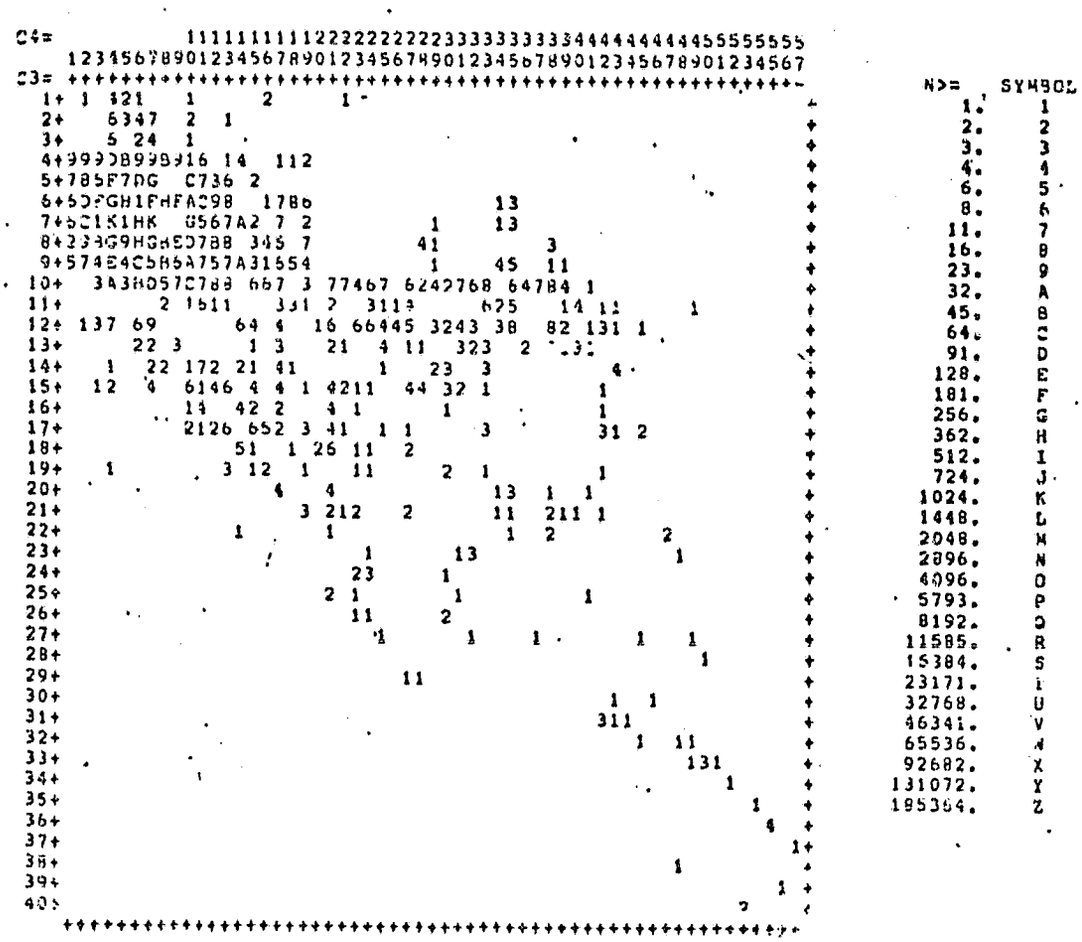
CANAL 4 = Canal 5 MSS

NÍVEL = Valor em 256 níveis

N-NÍVEL = Valor em 64 níveis

POPU = Quantidade de "pixels" na área de treinamento com aquele nível

Fig. III.33 - Compressão dos dados de 256 para 64 níveis de cinza,



EIXO VERTICAL → C4 = Canal 5 MSS

EIXO HORIZONTAL → C3 = Canal 4 MSS

SYMBOL → Caracter alfa-numérico

N > = → Quantidade decimal correspondente a cada símbolo

Fig. III.34 - Espaço de atributos e conversão dos caracteres alfa-numéricos em quantidades decimais.

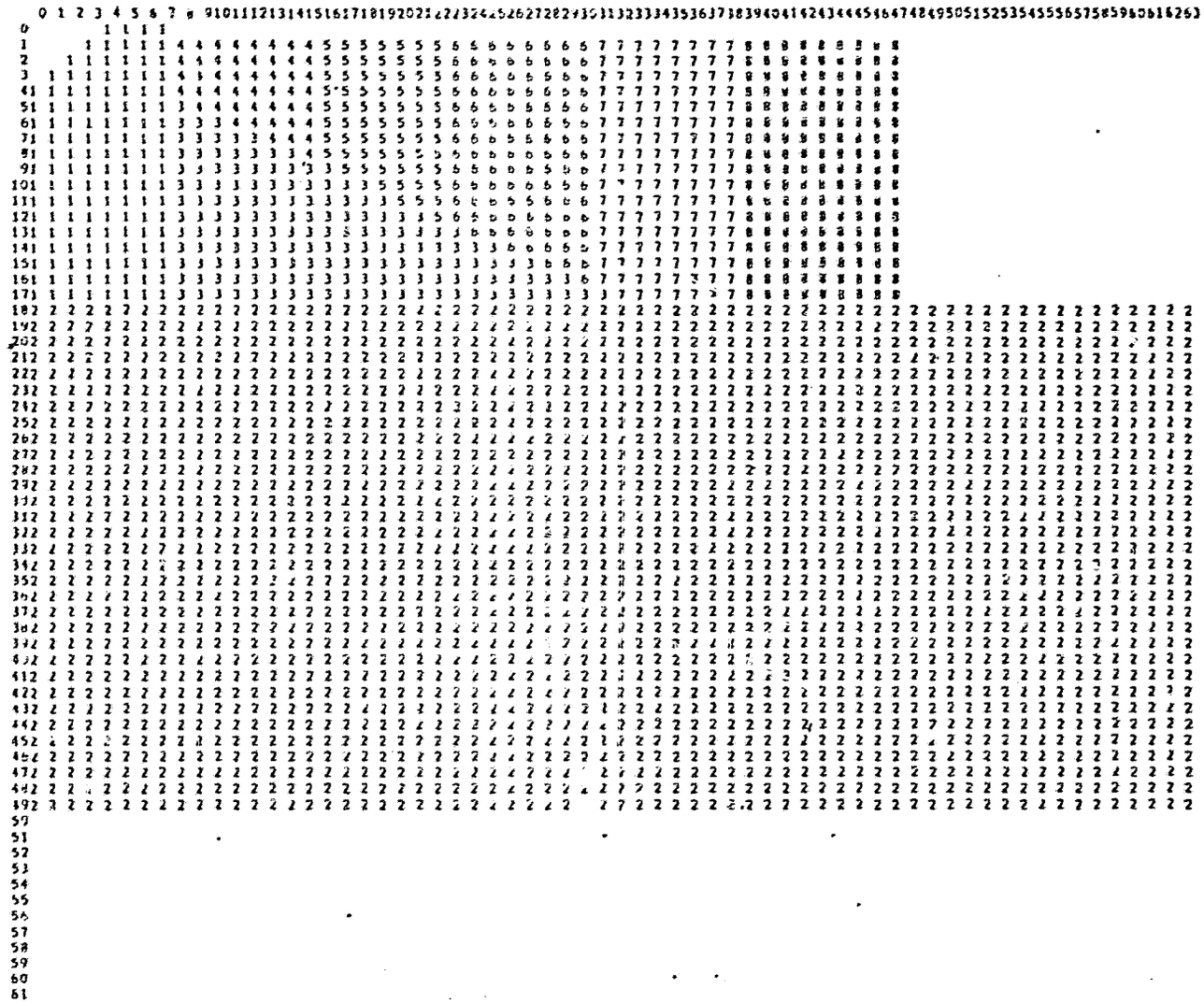


Fig. III.35 - Divisão do espaço de atributos em subáreas, e respectiva função TEMA associada a cada subárea

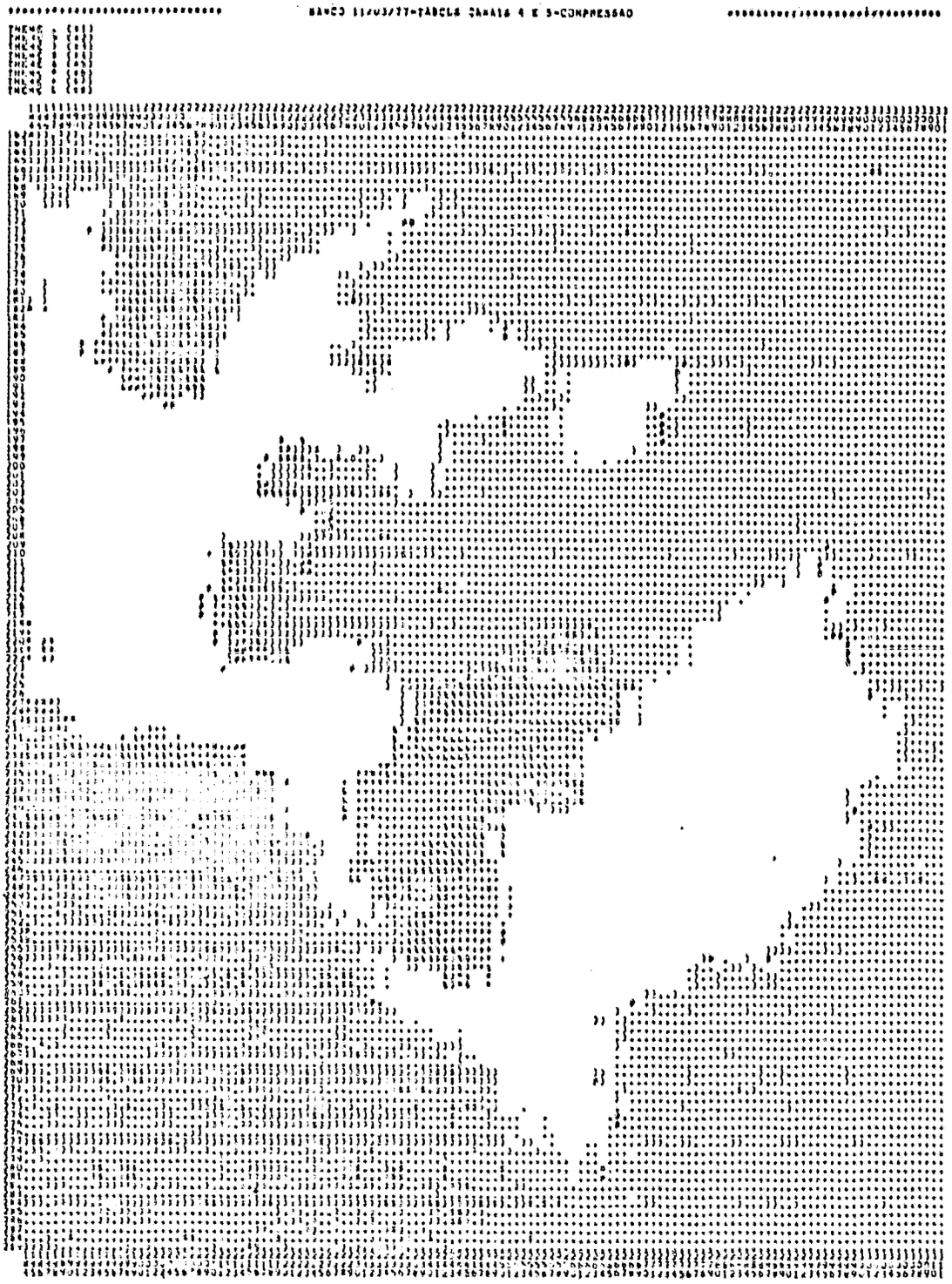


Fig. III.36 - Resultados da aplicação do programa TABCLS na imagem de 11/03/77

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

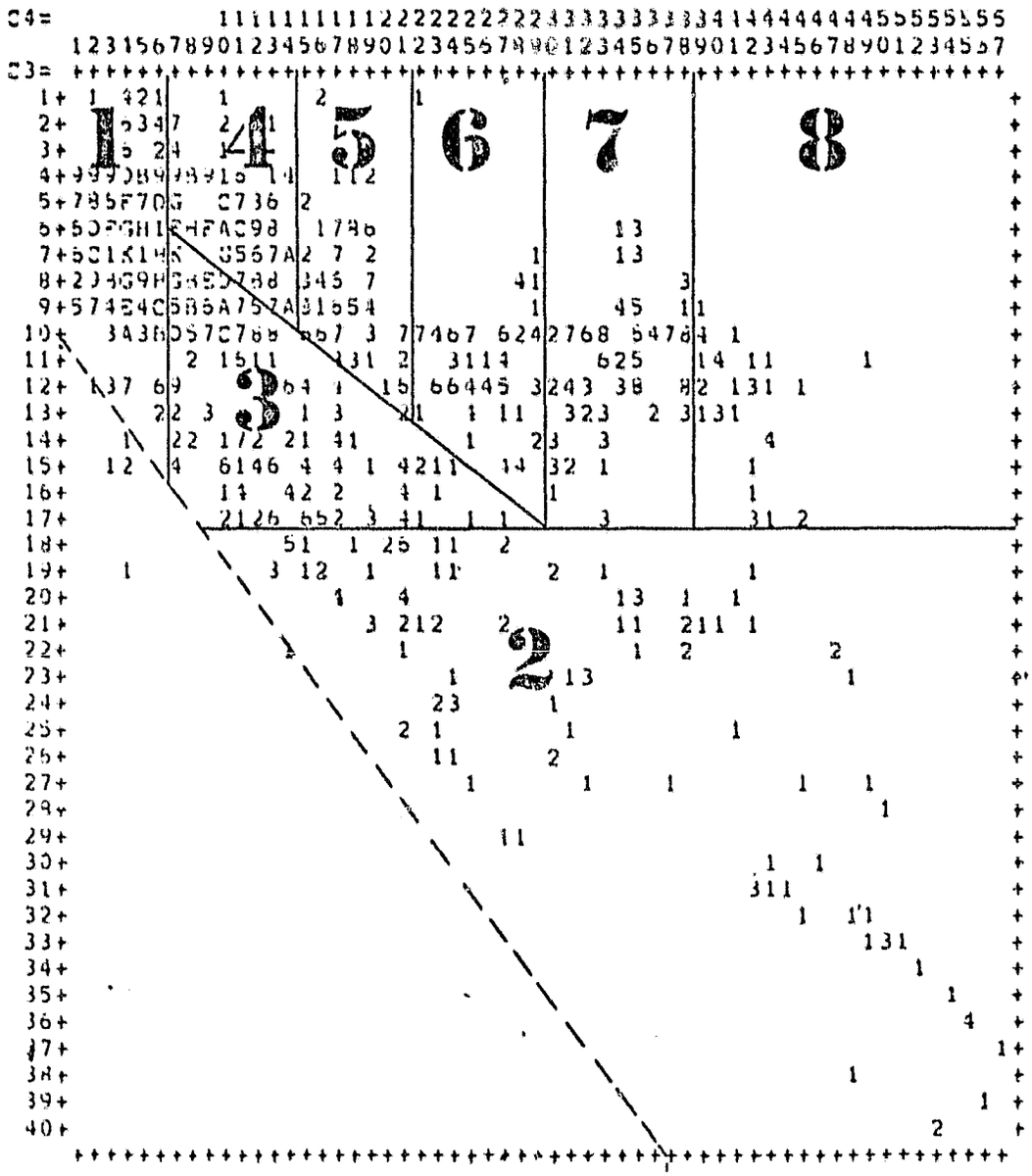


Fig. III.37 - Espaço de atributos com a respectiva divisão em subáreas

A primeira divisão do espaço de atributos foi separar os "pixels" que tinham um nível de cinza no canal 5 maior que no canal 4, a fim de detectar o sinal oriundo de um ponto com uma alta concentração de sedimentos.

Para isto traçou-se uma reta sobre a qual cairiam os "pixels" que possuíssem o mesmo nível de cinza nos canais 4 e 5 (em 256 níveis), representada por uma reta tracejada na Figura III.37. Os pontos que ficassem abaixo da reta seriam os citados acima, devendo ser retirados da classificação de profundidade, pois, todos os pontos ("pixels") onde houvesse um sinal de origem no fundo estariam acima da reta, ou seja, um nível de cinza maior no canal 4 que no canal 5.

Como pode ser visto na Figura III.37, somente quatro "pixels" ficaram abaixo da reta, confirmando a conclusão anterior de que não existe uma grande concentração dos sedimentos presentes na área efetivamente analisada.

Em seguida identificaram-se os níves de cinza que limitavam os "pixels" do banco nos canais 4 e 5, através dos resultados obtidos com o programa Subáreas de níveis de cinza, aplicado a estes canais, Figuras III.32 e III.31, respectivamente:

- o banco no canal 4 estava compreendido entre os níveis de cinza de 24 a 65, após a compressão, de 8 a 16 (Figura III.32);

- o banco no canal 5 estava compreendido entre os níveis de cinza de 8 a 22; após a compressão, de 3 a 17 (Figura III.31).

No tema 1 (Figura III.37) foram jogados os "pixels" com um nível de cinza menor que 8, no canal 4. Estes devem corresponder a "pixels" de águas profundas, já que o menor sinal de fundo detetado (profundidade máxima investigada) é relativo ao nível de cinza 8.

No tema 2 (Figura III.37) foram jogados os "pixels" com níveis de cinza maiores do que 17 no canal 5. Estes correspondem a classificações espúrias, possivelmente pontos de praia classificados como terra ou ruídos, devido ao alto nível de cinza no canal 5.

No tema 3 foram concentrados os "pixels" que tinham um nível de cinza, no canal 5, relativo a regiões rasas (alto nível), e um nível de cinza, no canal 4, relativo a regiões profundas (baixo nível). Este maior nível de cinza no canal 5, possivelmente é devido a um sinal de sedimentos.

Nos temas 4, 5, 6, 7 e 8 foram associadas 5 subáreas de mesma largura aproximadamente, concentrando-se em cada uma os "pixels" correspondentes a pontos com a mesma profundidade, ou seja, com o valor de profundidade dentro de um determinado intervalo. Não houve "pixels" com um nível de cinza alto no canal 4 (partes rasas), e um nível de cinza baixo no canal 5 (partes profundas).

Os temas 4, 5, 6, 7 e 8 tiveram como limites, no canal 4, os níveis de cinza, indicados na Tabela III.12, comprimidos e em 256 níveis.

O resultado obtido com o programa TABCLS, Figura III.36, foi praticamente o mesmo do programa Subáreas de níveis de cinza aplicado ao canal 4, Figura III.32, tendo como principal diferença a determinação de mais uma subárea de pontos com a mesma profundidade.

Os "pixels" das regiões profundas do banco, cerca de 12 m, continuaram a ser classificados em temas onde existem "pixels" de águas profundas, >>> 12 m, permanecendo a dúvida na classificação destes últimos. A diferença entre os "pixels" com sinal de profundidade e com sinal de sedimento, deve ser feita ainda pela análise da textura da imagem, como explicado no item 3.2.1.

TABELA III.12

NÍVEIS DE CINZA (COMPRIMIDOS E NÃO COMPRIMIDOS) LIMITES DOS TEMAS 4, 5, 6, 7 E 8, RESULTANTES DA CLASSIFICAÇÃO COM O PROGRAMA TABCLS

NÍVEIS DE CINZA / TEMA	COMPRIMIDOS	Ñ COMPRIMIDOS (256 NÍVEIS)
4	8 - 15	23 - 31
5	16 - 22	32 - 38
6	23 - 30	39 - 46
7	31 - 38	47 - 55
8	39 - 47	57 - 66

Acredita-se que a aplicação do programa TABCLS se torne efetiva na interpretação de uma área onde ocorram pontos com uma alta concentração dos sedimentos presentes, devido ao maior controle que o analista exerce sobre as feições a serem interpretadas, e os seus respectivos níveis de cinza. Como citado anteriormente, a imagem de 11/03/77 não possui uma condição de sedimentação muito forte nos pontos da área efetivamente analisada, ocasionando que os resultados da aplicação dos programas TABCLS, nos canais 4 e 5 e Subáreas de níveis de cinza no canal 4, não fossem muito diferentes.

O cálculo da profundidade dos "pixels" a partir do seu nível de cinza, utilizando o modelo matemático apresentado no item

2.5.2.2, originou os resultados mostrados na Tabela III.13, para os níveis de cinza limites dos temas 4, 5, 6, 7 e 8.

TABELA III.13

TEMAS 4, 5, 6, 7 E 8, NÍVEIS DE CINZA LIMITES DE CADA UM, E RESPECTIVAS PROFUNDIDADES CALCULADAS

TEMA	NÍVEIS DE CINZA (Ñ COMPRIMIDOS)	PROFUNDIDADE (m)
4	23 - 31	10.1 - 6.7
5	32 - 38	6.7 - 5.0
6	39 - 46	5.0 - 3.5
7	47 - 55	3.5 - 2.2
8	57 - 66	2.2 - 0.9

Para o cálculo foram admitidas as seguintes constantes:

a) Profundidade infinita $\rightarrow V_{\infty} = 14$

Obtida do resultado da aplicação do programa subáreas de níveis de cinza no canal 4, Figura III.32, correspondente ao menor nível de cinza obtido neste canal para "pixels" de água.

b) Profundidade zero → V_0 = 76

Obtida do programa citado no item a, correspondente ao nível de cinza mais elevado do tema posterior àquele em que foi classificado a parte mais rasa do banco (1,1 m). "Pixels" deste tema são identificáveis em regiões de praias.

c) Profundidade conhecida → V_i = 51 para 2,7 metros

Obtida pela saída do programa "Sigle Pixel Training" do sistema I-100, que fornece o nível de cinza de um "pixel", selecionado na tela através do cursor. O "pixel" foi apanhado na região vizinha à Praia Brava (Figura II.20), onde se tem uma grande área entre as profundidades de 2,5 m e 3 m.

d) Fator α (sec θ + sec ϕ) ≅ 0.19

Calculado a partir de níveis de cinza citados nos itens a, b e c, e introduzidos no modelo matemático do item 2.5.2.2. Se α for explicitado, considerando-se os ângulos θ e ϕ pequenos (Polcyn, 1976), acha-se para o coeficiente de atenuação da água da área, o valor de 0,095 De acordo com dados obtidos através da bibliografia consultada (Lankes, 1970), o valor de α médio em todo o espectro visível para a água potável é 0.05, e para as águas turvas, 0.33. Como admitiu-se que a água da área é do tipo oceânica, seu coeficiente de atenuação médio deve estar entre 0.05 e 0.33, diminuindo na faixa de maior penetração (canal 4 - maior penetração, menor atenuação), o que torna consistente o resultado obtido de 0.095.

Como resultado final, é mostrada na Figura III.38, uma superposição das informações obtidas com a imagem de 11/03/77, à carta 1503 - Enseadas do Cabo Frio, considerada como a verdade terrestre. As informaçoes são:

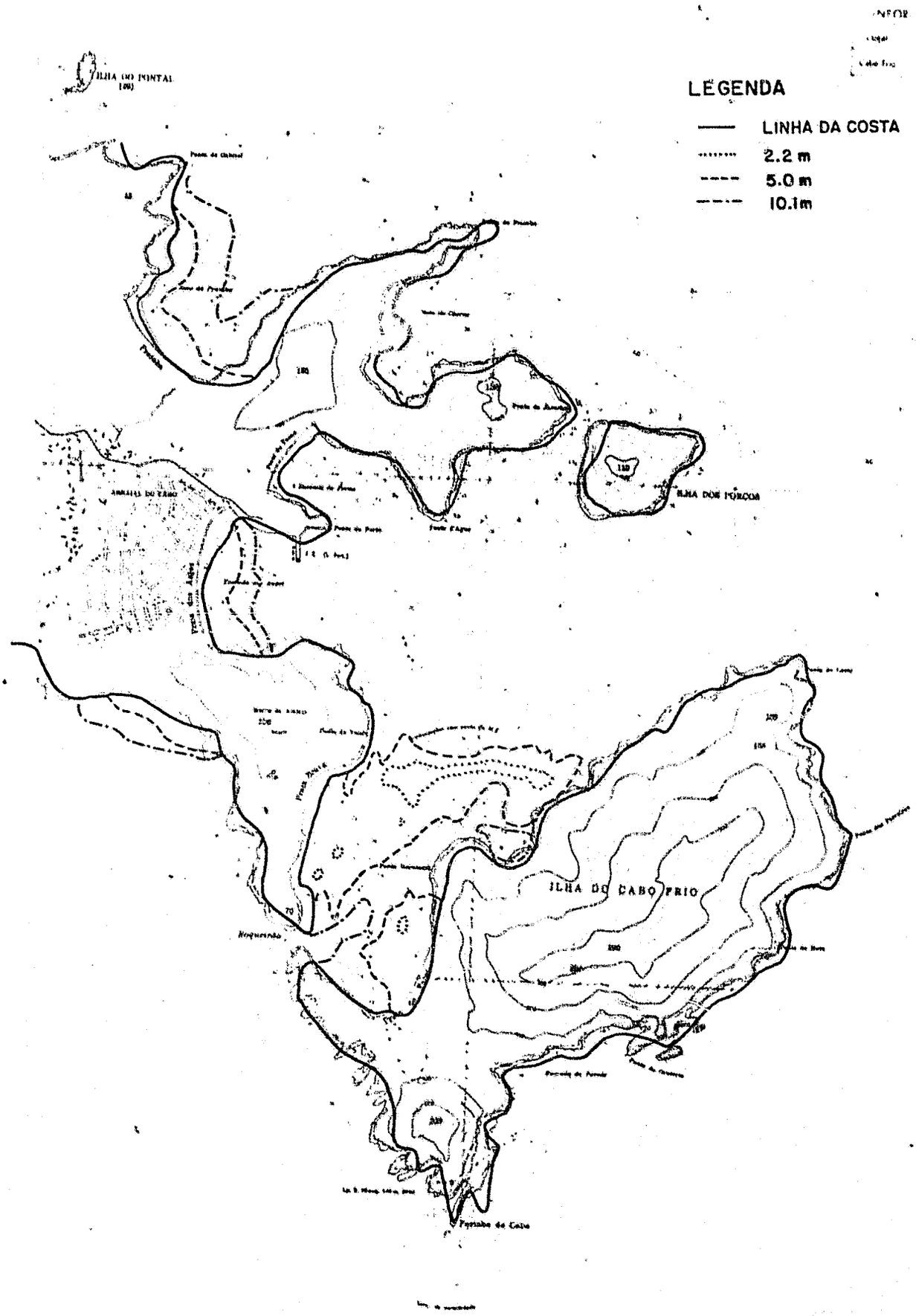


Fig. III. 38 - Superposição das informações obtidas com o MSS - LANDSAT à carta DHN - 1503 - Enseadas do Cabo Frio.

a) Contorno da linha da costa: obtido da análise do canal 7 com o programa Célula Única; Figura III.29;

b) Subáreas de mesma profundidade: obtidas através da aplicação do programa TABCLS nos canais 4 e 5; Figura III.36. A fim de se obter uma maior clareza na visualização dos resultados, as cinco subáreas determinadas foram reagrupadas em três, da seguinte forma:

- subárea relativa aos "pixels" classificados no tema 8, com um nível de cinza, no canal 4, entre 57 e 66;
- subárea relativa aos "pixels" classificados nos temas 7 e 6, com um nível de cinza, no canal 4, entre 39 e 55;
- subárea relativa aos "pixels" classificados nos temas 5 e 4, com um nível de cinza no canal 4, entre 23 e 38.

As subáreas citadas acima são mostradas na Figura III.38 através das linhas que subentendem (limitam) os "pixels" classificados em cada uma delas. Estas linhas podem ser interpretadas como isobatimétricas, com um valor de profundidade correspondente ao nível de cinza da passagem de uma subárea para a outra, ou seja, um nível de cinza cujo valor está entre o limite superior de uma subárea, e o limite inferior da seguinte.

c) Profundidade das linhas citadas no item b: obtidas a partir do modelo matemático, apresentada no item 2.5.2.2. Os resultados foram os seguintes:

- para a linha que limita os "pixels" classificados no tema 8 : 2,2 m;
- para a linha que limita os "pixels" classificados nos temas 7 e 6: 5,0 m;
- para a linha que limita os "pixels" classificados nos temas 5 e 4: 10.1 m.

A linha da costa e as isobatimétricas tiveram os seus traçados atenuados, a partir do caracter retilíneo impresso nos resultados do "print-out", o qual não corresponde à realidade.

Por uma análise da Figura III.38, pode-se comprovar o acerto dos resultados obtidos. Entre as feições da área do Arraial do Cabo - RJ, de interesse à Hidrografia, que foram reconhecidas a partir da imagem MSS-LANDSAT de 11/03/77, pode-se citar como principais:

a) reconhecimento dos grandes acidentes geográficos como a Ilha do Boi, as Enseadas dos Anjos e do Forno; o Boqueirão; as Pontas do Forte, D'água, da Prainha, Focinho do Cabo, etc.;

b) identificação e localização das partes mais rasas do Banco das Enseadas do Cabo Frio;

c) definição das isobatimétricas de 5 m e 10 m do Banco das Enseadas do Cabo Frio, e das praias da Prainha, dos Anjos, do Forte, e a que fica localizada ao Sul da cidade de Arraial do Cabo;

d) determinação do canal que liga o Boqueirão ao Saco do Filtrador;

e) reconhecimento da menor declividade ao Norte da Praia do Farol, ao Sul da praia dos Anjos, e na extremidade do Banco das Enseadas do Cabo Frio;

f) isobatimétrica de 12 m do Banco das Enseadas do Cabo Frio. Esta linha pode ser retirada da Figura III.36, através da análise de textura da imagem, proposta no item 3.2.2.

Os erros cometidos na perfeita determinação e posicionamento das feições reconhecidas são devidos às limitações do sistema sensor e do método utilizado, como: pouca resolução, distorções geométricas, simplificações feitas, etc.

É importante notar que os resultados foram obtidos, partindo-se do princípio que nada se conhecia sobre a área analisada, exceto para o cálculo da profundidade, onde seria necessário o conhecimento do valor do coeficiente de atenuação da água da área (α), a fim de se obter o fator α ($\sec\theta + \sec\phi$). Os locais de profundidade zero e profundidade infinita seriam facilmente reconhecidos.

Para a determinação do contorno da linha da costa, e do traçado das isobatimétricas, *o método apresentado independe de qualquer conhecimento prévio da área.*

Outro fato que demonstra o potencial do método empregado, é que apesar da pouca resolução do MSS - LANDSAT, o acerto dos resultados foi conseguido em uma grande escala, 1:20000, sendo analisada uma área de pequenas dimensões (4,2 km² para o banco) em comparação com a área de 185 km x 185 km coberta por uma imagem.

Todos estes resultados provam a validade das acepções feitas (item 2.5), e da técnica de análise empregada, visando o desenvolvimento de um método para a utilização das imagens MSS - LANDSAT, na determinação de características de interesse à Hidrografia.

Alguns centros hidrográficos já se utilizam dos dados do sistema MSS-LANDSAT para lançarem correções em suas cartas náuticas, introduzindo-as como existência duvidosa. Este é o caso da carta "61610 - Indic Ocean - Chagos Archipelago", confeccionada pela "Defense Mapping Agency Hydrographic Center (DMAHC) - United States of America", que utilizou imagens do MSS-LANDSAT para a deteção e correção dos limites de bancos da área.

Apesar de não ter sido conseguido um resultado que satisfaça aos padrões hidrográficos de construção da carta náutica, principalmente, devido às limitações do sistema sensor, o atual desenvolvimento de sistemas mais aperfeiçoados (maior resolução, maior sensibili

211

dade, menores distorções geométricas), projeta para o futuro possibilidade de resultados superiores aos conseguidos aqui, não se podendo desprezar a hipotêse de que algum dia tais resultados satisfaçam as condições citadas anteriormente.

Como exemplo de sistemas mais aperfeiçoados que o sistema MSS-LANDSAT, pode-se citar:

a) Sistema "Thematic Mapper" (TM): a ser colocado a bordo do satélite "LANDSAT D", cujo lançamento está previsto para 1981. Sua resolução será da ordem de 30 metros.

b) Sistema "Higher Resolution Instrument" (HRV): a ser colocado a bordo do satélite "SPOT", cujo lançamento está previsto para 1983.

CAPÍTULO IV

CONCLUSÕES

Considerando-se os resultados obtidos pela análise das fotografias e das imagens MSS-LANDSAT, isando a determinação de características de interesse à Hidrografia, chegou-se às seguintes conclusões:

4.1 - FOTOGRAFIAS

A relação existente entre a profundidade de um ponto e a sua respectiva densidade, medida em uma foto onde o mesmo tenha sido imageado, pode ser calculada através de uma regressão linear, a partir de pontos amostrais onde as duas variáveis sejam conhecidas.

O grau de ajuste da reta calculada aos pontos amostrais, ou seja, o quanto a relação existente entre as variáveis pode ser representada por uma função linear, é determinada pelo coeficiente de correlação linear obtido da regressão.

Nesta função, à cada densidade corresponde uma profundidade (a densidade só varia com a profundidade), podendo-se inferir a profundidade desconhecida de um ponto a partir da sua respectiva densidade medida. O erro desta inferência é inversamente proporcional ao valor do coeficiente de correlação obtido na regressão.

A função linear, obtida na prática, é demonstrada teoricamente através do modelo linear desenvolvido no item 2.4, para o qual foram feitas várias simplificações, admitindo-se um valor constante para variáveis conhecidas. As variáveis não consideradas introduzem, no processo real, uma variação entre a densidade dos pontos, que não é devida a diferenças de profundidade, contrariando a relação linear assumida na regressão.

Para a regressão, se as densidades forem obtidas de cópias em transparências positivas em preto e branco, a não homogeneidade de projeção de luz do sistema copiador introduz uma variação na densidade dos pontos, que não é devida a diferenças de profundidade, diminuindo o coeficiente de correlação linear entre as variáveis.

No presente trabalho, a correção deste efeito aumentou o coeficiente de correlação entre as duas variáveis de 0.89 para 0.93, melhorando o ajuste da equação linear.

Este efeito pode ser suprimido pela análise direta do negativo original, o que resolveria outros possíveis problemas, como: utilização de mais uma função de transferência de tons, maior sofisticação do método, tempo e material gasto para a confecção das cópias.

Para se operar o negativo original é necessário um densitômetro de varredura, a fim de que este produto não seja manuseado, pondo em perigo a informação original.

Este efeito ainda pode ser minimizado, pela utilização de um sistema copiador com maior homogeneidade na projeção de luz do que o sistema Log E, utilizado neste trabalho.

O efeito de "vignetting" também introduz uma variação na densidade dos pontos, que não é devida a diferenças de profundidades, diminuindo o coeficiente de correlação linear entre as variáveis.

Neste trabalho, a limitação da área de amostragem dos pontos ao centro da foto, visando-se uma minimização deste efeito, aumentou o coeficiente de correlação de 0.93 para 0.99, melhorando o ajuste da equação linear.

Este efeito pode ser suprimido através do cálculo de uma correção exata. Para isto, é necessário um rigoroso controle radiométrico das fotos obtidas, não realizado.

O coeficiente de correlação final obtido, 0.99, demonstra a relação quase linear existente entre as duas variáveis em pauta, tornando desprezível o efeito das variáveis simplificadas no desenvolvimento do modelo linear, citado anteriormente.

O coeficiente, citado acima, só é válido para a área de amostragem dos pontos, ou seja, para pontos que tenham sido imageados sob as mesmas condições que os amostrados.

O limite de confiança de 95% para a inferência de profundidade, a partir da reta de regressão obtida, apresentou, para a profundidade prevista, um erro de no máximo 0.36 metros em 9.44 metros, e no mínimo 0.14 metros em 4.2 metros.

A inferência da profundidade em uma outra foto, considerando-se que os pontos desta pertenciam à mesma população da foto de onde foi obtida a reta de regressão, apresentou, na comparação com a verdade terrestre, um erro considerável na determinação das curvas isobatimétricas da praia do Farol, Ilha de Cabo Frio.

Este erro foi devido à diferente iluminação das duas fotos, que possuiam um invervalo de 12 minutos entre as suas tomadas, ocasionando que pontos de mesma profundidade tivessem, na foto mais iluminada (2994), uma densidade cerca de 15% menor do que a obtida na foto com menos iluminação (2980).

Apesar do erro obtido no valor absoluto da profundidade inferida, as formas das curvas isobatimétricas foram perfeitamente determinadas, sendo indicadas com exatidão as regiões de maior e menor declividade da praia do Farol, Ilha de Cabo Frio.

Junto com a declividade, foi bem determinado o banco de algas e pedras existentes no meio da praia do Farol.

Acredita-se que, se a inferência fosse feita na mesma foto em que foram obtidos os pontos de amostragem, este erro seria bem menor, da ordem dos erros citados anteriormente para o intervalo de confiança de 95% da inferência.

Da missão Hidrosere-II (Meireles et al., 1978) de onde foram obtidas as fotos analisadas, pode-se dizer que:

a) a altitude de vôo de 3.000 pés foi baixa, apresentando problemas quanto ao posicionamento das fotos, e das informações obtidas. A altitude ideal é aquela em que cada foto contenha pontos de terra ou pontos de coordenadas conhecidas, que permitam o seu perfeito posicionamento;

b) o mar encontrava-se levemente agitado por ocasião da missão, o que introduziu uma variação na densidade dos pontos, que não era devida às diferentes profundidades, e sim, às diferentes rugosidades da superfície. A condição ideal é a do mar calmo, totalmente espelhado;

c) a hora da missão originou um "sunglitter" na metade direita das fotos, diminuindo a área de trabalho. A condição ideal de hora é aquela em que não ocorra nenhum indício de "sunglitter" sobre a área analisada;

d) o filme, o filtro e o recobrimento podem ser considerados bem determinados, em vista dos bons resultados obtidos.

Os resultados obtidos demonstram a potencialidade do uso da fotografia aérea na determinação da profundidade, devido à relação existente entre o brilho (densidade) fotográfico de um ponto e a sua profundidade.

O método proposto neste trabalho, através do qual, pelo conhecimento de alguns valores de profundidades de uma área, pode-se inferir a profundidade de outros pontos, é uma das muitas abordagens a

que pode ser submetido o problema. Pode-se citar outros, como: a fotobatimetria, o método das ondas, etc., discutidos no item 1.4 do presente trabalho.

Os erros considerados não tornam o método satisfatório para os rígidos padrões hidrográficos, porém, serviriam plenamente para o caso de um levantamento expedito, onde interessasse, por exemplo, a declividade do fundo nos diversos pontos da área. No futuro, com o advento de sistemas fotográficos melhores e técnicas de análise mais sofisticadas, os erros podem diminuir a ponto de se colocarem dentro dos padrões citados acima.

Como vantagens da utilização de fotografias, na determinação de profundidade, tem-se:

a) Maior resolução de trabalho

Na fotografia, a informação é contínua, não havendo claros (espaços) entre as linhas de informação, como é o caso dos levantamentos hidrográficos tradicionais, realizados através de linhas de sondagem. A resolução fica por conta do sistema sensor, filme e equipamentos de análise empregados, possibilitando a eliminação da não detecção de um alto-fundo de pequenas dimensões, que pode ficar entre duas linhas de sondagem em um levantamento hidrográfico (Figura I.1).

b) Menor custo

Para a sondagem de uma grande área, bastaria o deslocamento de um avião, portando o sistema sensor, e de uma equipe reduzida para realizar a coleta de dados de sondagem, necessários à regressão e à verificação de campo. O envolvimento de pessoal e material é bem menor que em um levantamento hidrográfico.

c) Facilidade de aquisição de dados

d) Menor tempo necessário

e) Os vários tipos de informação que podem ser recolhidos em somente uma missão, como: feições de superfície, contorno da linha de costa, modificações nas estruturas de terra, variação na qualidade do fundo, sedimentação da área, etc.

Como principal desvantagem pode-se citar a falta de precisão e a pouca confiabilidade das informações adquiridas. Entretanto, com o desenvolvimento dos sistemas fotográficos e dos métodos de análise, esta precisão só tende a aumentar, podendo perfeitamente, algum dia, ficar dentro de padrões aceitáveis pela Hidrografia.

4.2 - IMAGENS MSS-LANDSAT

A capacidade das imagens MSS-LANDSAT forneceram informações de interesse para a Hidrografia, como ficou demonstrado pelos resultados apresentados no ítem 3.2.4. As feições reconhecidas indicam a potencialidade do emprego deste sistema no planejamento de uma missão hidrográfica e/ou na correção da carta náutica, devido a sua propriedade de gerar informações atualizadas, sem que haja necessidade de se ter qualquer informação prévia sobre a área.

Os resultados obtidos não atendem aos requisitos hidrográficos de construção da carta náutica, porém, com o atual desenvolvimento de técnicas e equipamentos mais sofisticados, pode-se esperar, para o futuro, resultados bem superiores quanto à precisão das informações obtidas. Não se pode eliminar a hipótese de que se consigam dados que satisfaçam os requisitos citados acima, ocasionando com isto a implementação definitiva da técnica do sensoriamento remoto na Hidrografia.

Um resumo das conclusões obtidas com este trabalho é mostrado a seguir, sendo que as mesmas foram agrupadas em tópicos de

interesse para o planejamento e execução de um trabalho, cujo objetivo seja a determinação de características hidrográficas a partir de imagens LANDSAT, utilizando-se o método aqui proposto.

a) Procedimento na seleção da imagem para a análise

A mesma deve ser/ter:

. a mais recente possível;

. da época do verão;

. a atmosfera limpa, livre de fumaça, nuvens, etc;

. condições de sedimentação correspondentes à menor concentração e maior homogeneidade possível, dos sedimentos em suspensão na água, da área a ser analisada.

b) Canais do MSS-LANDSAT a serem utilizados

. Canal 7, para a determinação do contorno da linha da costa, através da aplicação do programa Célula única ("Single Cell") do sistema I-100;

. canal 4 para a determinação de profundidade, através da aplicação do programa Subáreas de níveis de cinza do sistema I-100;

. canais 4 e 5 para a determinação de profundidade, através da aplicação do programa TABCLS do sistema I-100;

. canal 5, para a determinação de regiões rasas, através da aplicação do programa Subáreas de Níveis de Cinza do sistema I-100;

. canais 4, 5 e 6, para a determinação da condição de sedimentação e das condições atmosféricas, através da aplicação do programa Subáreas de níveis de cinza do sistema I-100.

c) Feições interpretadas pelo método proposto

. Profundidades de até 12 m com o canal 4, ou com a análise conjunta dos canais 4 e 5, para um tipo de água igual ao presente na área analisada por ocasião da obtenção da imagem de 11/03/77;

. profundidades até 2,5 m com o canal 5, para um tipo de água igual ao presente na área analisada por ocasião da obtenção da imagem de 11/03/77;

. contorno da linha da costa;

. condição atmosférica e/ou de sedimentação da área analisada;

. aumento do nível de cinza das águas profundas ("background") do canal 7 para o canal 4.

d) Vantagens do método proposto

Os três primeiros itens estão ligados às vantagens do sistema MSS-LANDSAT.

. menor custo operacional;

. maior rapidez na obtenção da informação (8 horas do sistema I-100);

. atualização da informação dada;

. pode ser empregado no planejamento de missões hidrográficas;

. pode ser empregado na correção de cartas náuticas;

. não é necessário um conhecimento prévio de qualquer feição da área a ser analisada, para a obtenção do quarto e do quinto item.

e) Desvantagens do método proposto

Os três primeiros itens estão ligados às limitações do sistema sensor. O terceiro e o quarto item estão ligados à interação da energia eletromagnética com a água do mar.

. Não consegue determinar feições de pequenas dimensões;

. pouca precisão no posicionamento da informação obtida;

. não consegue separar feições de comportamentos espectrais próximos (sedimentos de nuvens tênues, por exemplo);

. a máxima profundidade investigada depende da concentração dos sedimentos em suspensão, presentes na água da área a ser analisada;

. necessita de um equipamento de análise sofisticada (Sistema Interativo de Análise Multiespectral I-100).

AGRADECIMENTOS

À Diretoria de Hidrografia e Navegação, pela oportunidade que me deu de realizar este trabalho, e pelas facilidades criadas à execução do mesmo.

Ao Instituto de Pesquisas Espaciais, pelo inestimável apoio prestado em todas as fases do trabalho.

Ao Capitão-de-Fragata Emmanuel Gama de Almeida, orientador e amigo, com quem tenho uma enorme dívida de gratidão, que dificilmente poderá ser paga.

A todos os meus amigos que me acompanharam com sugestões e incentivos, especialmente as Srtas Sydnéa Maluf, Myriam de Moura Abdon e Sueli Suzana Godoy, companheiras de sala que muito me ajudaram na época crítica que antecedeu a conclusão do trabalho.

BIBLIOGRAFIA

ACTON, F.S. *Analysis of straight - line data.* New York, John Wiley, c 1959.

ALMEIDA, E.G.; MASCARENHAS JR., A.S.; ALBUQUERQUE, E.J.C. *Emprego dos sensores remotos para localização de altos - fundos perigosos à navegação em zonas rasas.* São José dos Campos, INPE, Set. 1970. (INPE LAFE-135).

ARNOLD, C.R.; ROLLS, P.J.; STEWART, J.C.P. *Fotografia Aplicada.* Barcelona, Omegas, 1974.

AUSTIN, R.W. The remote sensing of spectral radiance from below the ocean surface. In: JERLOV, N.G.; NIELSEN, E.S. *Optical aspects in oceanography.* London, Academic, 1974. Cap. 14, p. 317 - 343.

AVCO EVERETT RESEARCH LABORATORY. *Laser Hydrography.* Massachussets, 1977.

BERNSTEIN, R. Digital image processing of earth observation sensor data. *IBM - Journal of research and development,* 20 (10): 40 - 57, Jan., 1976.

BINA, R.T.; JARA, R.; LIM, J.B.; CARPENTER, K.; SACHER, W. Coral reef mapping using LANDSAT data: Follow-up studies. In: *International Symposium on Remote Sensing of Environment,* 12, 1978.

BOLLER, B.K.; Mc BRIDE, C.E. Experimental black white film for underwater photography. *Photogrammetric Engineering,* 40 (6):673 - 681, Jun., 1974.

BROWN, W.L.; POLCYN, F.C.; SELMAN, A.N.; STEWART, S.R. *Water depth measurements by wave refraction and multispectral techniques.* Ann Arbor, The University of Michigan, 1971a. (Report nº 31650-31-T).

BROWN, W.L.; POLCYN, F.C.; STEWART, S.R. A method for calculating water depth attenuation coefficients and bottom reflectance characteristics. In: *International Symposium on Remote Sensing of Environment*, 7., Ann Arbor, 1971b. Proceedings, V. 1, p. 663 - 682.

CLARKE, G.L.; JAMES, H.R. Laboratory analysis of the selective absorption of light by sea water. *Journal of the Opcital Society of America*, 29 (2) : 43 - 55, Fev., 1939.

COLLEMAN, G.C.; LUNDAHL, A.C. Underwater depth determination by aerial photography. Separata de *Photogrammetric Engineering*, 14: 453 - 462, 1948.

DUDDEK, M. Practical experiences with aerial color photography. *Photogrammetric Engineering*, 33 (10) : 1117 - 1125, Out., 1967.

DUNTLEY, S.Q. Light and the sea. *Journal of the Optical Society of America*, 53 (2): 214 - 233, Fev., 1963.

EASTMAN KODAK COMPANY. *Kodak filters for scientific and technical user*. Rocherster, 1970a. (Kodak publication B-3).

———. *Kodak aerial exposure computer*. Rochester, 1970b. (Kodak publication R-10).

———. *Kodak data aerial photography*. 3. ed. Rochester, 1971. (Kodak publication M-29).

———. *Kodak water penetration color film* (Estar Base). Rochester, 1974. (Data Release).

GEARY, E.L. Coastal hydrography. *Photogrammetric Engineering*, 34 (1): 44 - 50, Jan., 1968.

GENERAL ELECTRIC COMPANY. *Image-100 Interactive multispectral analysis system: user manual*. Daytona, 1975.

GETTYS, R.F. Extraction of nautical chart information from color photography obtained on Gemini orbital flights 4, 5, and 7. In: *International Symposium on Remote Sensing of Environment*, 4.. Ann Arbor, 1967. Proceedings. V. 1, p. 457 - 461.

GIERLOFF-EMDEN, H.G. *Manual of interpretation of orbital remote sensing satellite photgraphy and imagery for coastal and offshore environment features (including lagoons, estuaries and bays).* München, Institut für Geographie du Universität München, 1976.

GROENEVELD MEIJER; W.O.J. Formula for conversion of stereoscopically observed apparent depth of water to true depth, numerical examples and discussion. *Photogrammetric Engineering*, 30 (6) : 1037 - 1045, Nov., 1964.

HAMMADK, J.C. LANDSAT goes to sea. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 43 (6) : 683 - 691, Jun., 1977.

HARRIS, W.D.; UMBACH, M.J. Underwater mapping. *Photogrammetric Engineering*, 38 (8) : 765 - 772, Ago., 1972.

HELGESON, G.A. Water depth and distance penetration. *Photogrammetric Engineering*, 36 (2) : 164 - 172, Fev., 1970.

HERNANDEZ, F.P.; SHIMABUKURO, Y.E. *Estabelecimento de metodologia para avaliação de povoamentos florestais artificiais, utilizando-se dados do LANDSAT.* São José dos Campos, INPE, 1978. (INPE-1271-TPT/089).

HERZ, R. *Circulação das águas de superfície da lagoa dos Patos.* Tese de doutoramento de Geografia, apresentada à Fac. Fil. Let. Cienc. Hum. USP. São Paulo, USP, 1977.

HUEBNER, G.L. The marine environment. In: American Society of Photogrammetry. *Manual of remote sensing.* Falls Church, 1975. V. 2, Cap. 20, p. 1553 - 1622.

HULBURT, E.O. Optics of distilled and natural water. *Journal of the Optical Society of America*, 35 (11) : 698 - 705, Nov., 1945.

JERLOV, N.G. *Optical oceanography*. Amsterdam, Elsevier, 1968. (Elsevier Oceanography Series, 5).

JOHNSTON, J. *Métodos econométricos*. |Econometric Methods|. Trad. de Seiki Kanebo Endo. São Paulo, Atlas, 1971.

KARALUS, B.J.S. Aerial photography and the use of helicopters in hydrography. In: *Hydrographic Society Symposium, Depth measurement and sand sweeping*, Southampton, 1978.

KLEMAS, V.; BORCHARDT, J.F.; TREASURE, W.W. Suspended sediment observations from ERTS-1. *Remote Sensing of Environment*, 2 (4): 205 - 221, 1973.

KRITIKOS, H.; YORINKS, L. Suspended solids analysis using ERTS-A data. *Remote Sensing of Environment*, 3 (1) : 69 - 78, 1974.

KULLENBERG, G. Observed and computed scattering function. In: JERLOV, N.G.; NIELSEN, E.S. *Optical aspects in oceanography*. London, Academic, 1974. Cap. 2, p. 25 - 48.

LANKES, R. Optical and the physical parameters of the sea. *Optical Spectra*, 4 (5) : 43 - 54, Maio, 1970.

LAYTON AND ASSOCIATES. *Marine charting by sattelite*. Perth, 1976.

LOCKWOOD, H.E.; PERRY, L.; SAVER, G.E.; LAMAR, N.T. Water depth penetration film test. *Photogrammetric Engineering*, 40 (11) : 1030 - 1314, Nov., 1974.

MAIA, J.C. *Introdução à fotogrametria*. São José dos Campos, INPE, Jul., 1975. (INPE-679-NTE/051).

MARTINS JR., P.P.; SILVA, L.R. Analyse de superficie de tendance apliquée aux donées densitométriques; une étude hydrographique. In: *United Nations Panel Meeting on the Establishment and Implementation of Research Programmes in Remote Sensing*. São José dos Campos, INPE, Nov./Dez., 1971. V. 2, report 15, p. 1 - 12.

MEIRELES, D.S.; LORENZETTI, J.A.; STEFFEN, C.A. *Missão Hidrosere II*. São José dos Campos, INPE, Jul., 1978. (INPE-1268-NTE/121).

MEYER, W.; WELCH, R.I. Water resources assessment. In: American Society of Photogrammetry. *Manual of Remote Sensing*. Falls Church, 1975. V. 2, Cap. 19, p. 1479 - 1552.

MOORE, J.G. The determination of the depths and extinction coefficients of shallow water by air photography using colour filters. *Philosofical Transactions of the Royal Society London*, 240 (816) : 163 - 217, Jan., 1947.

MOWER, R.D. Selecting appropriate airborne imagery for the discrimination of land water resources. In: SHAROKHI, F., ed. *Remote sensing of earth resources*. Tullahoma, The University of Tennessee, 1974. V. 3, p. 545 - 560.

NASA. *LANDSAT-Data users handbook*. Maryland, Goddard Space Flight Center, 1976. (Document nº 76 SDS4258).

POLCYN, F.C.; SATTINGER, I.J. Water depth determination using remote sensing techniques. In: *International Symposium on Remote Sensing Environment*, 6, Ann Arbor, 1969a. Proceedings, V. 2, p. 1017 - 1028.

———; ROLLIN, R.A. *Remote sensing techniques for the location and measurements of shallow water features*. Ann Arbor, The University of Michigan, 1969b. (Report nº 8973-10-P).

POLCYN, F.C.; BROWN, W.; SATTINGER, J. *The measurement of water depth by remote sensing techniques (Final Report).* Ann Arbor, The University of Michigan, 1970. (Report nº 8973-26-F).

———; LYZENGA, D.R. Updating coastal and navigational charts using ERTS-1 data. In: *ERTS Symposium*, 3., Symposium held in Washington, NASA. Goddard Space Flight Center, Dez. 10-14, 1973a. Proceedings. V. 1-B, p. 1333 - 1346.

———; ———. Calculations of water depth from ERTS-MSS data. In: *Symposium on Significant Results Obtained from the Earth Resources Technology Sattelite-1.* Symposium held in New Carrolton, NASA. Goddard Space Flight Center, Mar. 5 - 9, 1973b. Proceedings. V. 1-B, p. 1433 - 1441.

———. *NASA/COSTEAU ocean bathymetry experiment - Remote bathymetry using High-Gain LANDSAT data.* Greenbelt, NASA - Goddard Space Flight Center, 1976.

PREWETT, O.E.; LYZENGA, D.R.; POLCYN, F.C.; BROWN, W.L. *Techniques for measuring light absorption, scattering and particle concentrations in water.* Ann Arbor, The University of Michigan, 1973. (Final report 190500-1-F).

RINNER, I.K. Two media photogrammetry. *Photogrammetric Enginnering*, 35 (3) : 275 - 282, Mar., 1969.

RITCHIE, J.C.; Mc HENRY, J.R.; SCHIEBE, F.R.; WILSON, R. The relationship of reflected solar radiation and the concentration of sediment in the surface water of reservoirs. In: SHAROKHI, F., ed. *Remote sensing of earth resources.* Tullahoma, The University of Tennessee, 1974. V. 3, p. 57 - 71.

———; ———; ———. Remote sensing of suspended sediments in surface waters. *Photogrammetric Engineering*, 42 (12) : 1539 - 1545, Dez., 1976.

ROSENSHEIN, J.S.; GOODWIN, C.R.; JURADO, A. Bottom configuration and environment of Tampa bay. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 43 (6) : 693 - 699, Jun., 1977.

ROSS, D.S. Water depth estimation with ERTS-1 imagery. In: *Symposium on Significant Results Obtained from the Earth Resources Technology Sattelite-1.* Symposium held in New Carrolton, NASA. Goddard Space Flight Center, Mar. 5 - 9, 1973. Proceedings, V. 1-B, p. 1423 - 1431.

SILVA, P.M. *O desafio do mar.* Rio de Janeiro, Sabiá, 1970.

SILVA, W.C.C.; MAIA, J.C.; FERREIRA, L.D.D. *Estudo do imageamento e distorções geométricas das imagens LANDSAT.* São José dos Campos, INPE, Jun., 1978. (INPE-1286-PE/140).

SLATER, P.N. Photographic systems for remote sensing. In: American Society of Photogrammetry. *Manual of remote sensing.* Falls Church, 1975. V. 1, Cap. 6, p. 235 - 321.

SMITH JR., J.T. Color - A new dimension in photogrammetry. *Photogrammetric Engineering*, 29 (6) : 699 - 1013, Nov., 1963.

SONU, C.J. Study of shore process with aid of aerial photogrammetry. *Photogrammetric Engineering*, 30 (6) : 932 - 939, Nov., 1964.

SPECHT, M.R.; NEEDLER, D.; FRITZ, N.L. New color film for water penetration photography. *Photogrammetric Engineering*, 39 (4) : 359 - 369, Abr., 1973.

SPIEGEL, M.R. *Estatística.* 9 ed. |Schaum's outline of theory and problems of estatistics|. Trad. de Pedro Consentino. São Paulo, Mc Graw-Hill do Brasil, 1976. (Coleção Schaum).

STEFFEN, C.A. *Nomogramas de altura solar.* São José dos Campos, INPE, Jul., 1978. (INPE-1083-PE/069).

STRANDBERG, C.H. Hydrographic Charting. In: ———. *Aerial discovery manual.* New York, John Wiley, 1970. Cap. 4, p. 184.

SWANSON, L.W. Use of color and infrared photogrammetry-Photogrammetric surveys for nautic charting. Separata de *Photogrammetric Engineering*, 26: 237 - 141, 1960.

———. Aerial photography and photogrammetry in U.S. Coast Geodetic Survey. *Photogrammetric Engineering*, 30 (5): 699 - 726, Set., 1964.

TEWINKEL, G.C. Water depth from aerial photographs. *Photogrammetric Engineering*, 29 (6): 1037 - 1042, Nov., 1963.

UPHAM, C.D. High speed acquisition for large-scale hydrographic surveys. In: *Annual meeting - American Congress on Surveying and Mapping*, 30., Washington, 1970. Technical papers. p. 229 - 262.

VARY, W.E. Remote sensing by aerial color photography for water depth penetration and ocean bottom detail. In: *International Symposium on Remote Sensing of Environment*, 6., Ann Arbor, 1969. Proceedings. V. 2, 1045 - 1059.

WARNE, D. Low cost hydrographic surveying. In: *International Symposium on Remote Sensing of Environment*, 12., Manila, 1978a.

———. LANDSAT as an aid in the preparation of hydrographic charts. *Photogrammetric Engineering*, 44, (8): 1011 - 1016, Ago., 1978b.

WILD HEERBRUGG. *Camara universal para pelicula Wild RC-10-Modo de empleo*. S.L., 1970.

WILLIAMS, J. *Optical properties of the sea*. Annapolis, United States Naval Institute, 1970.

WILLIAMS JR., R.S. Coastal and submarine features on MSS imagery of southeastern Massachusetts: Comparison with conventional maps. In: *Symposium on Significant Results Obtained from the Earth Resources Technology Sattelite:* Symposium held in New Carrolton, NASA. Goddard Space Flight Center, Mar. 5 - 9, 1973. Proceedings. V. 1-B, p. 1413 - 1422.

YOST, E.; WENDEROTH, S. Coastal water penetration using multispectral photographic techniques. In: *International Symposium on Remote Sensing of Environment*, 5., Ann Arbor, 1968. Proceedings. p. 571 - 586.

———; ———. Agricultural and oceanographic applications of multispectral color photography. In: *International Symposium on Remote Sensing of Environment*, 6., 1969. Proceedings. V. 1, p. 145 - 173.

———; ———. Multispectral color space photography. In: *International Symposium on Photography and Navigation*. Symposium held in Columbus, ASP, maio 25 - 28, 1970a. Proceedings. P. 133 - 158.

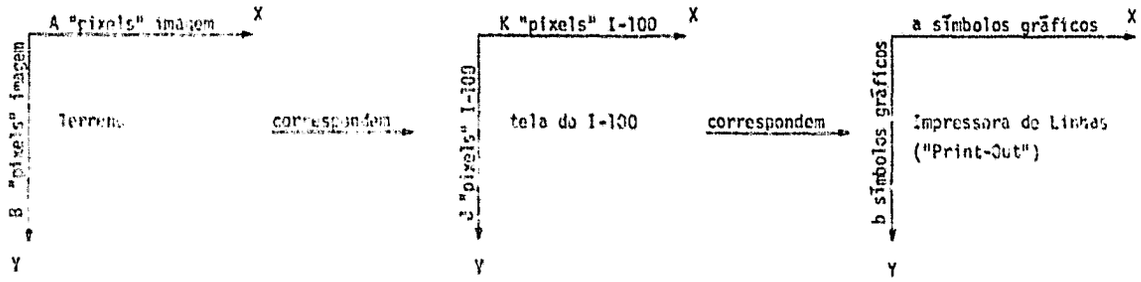
———; ———. *Remote sensing of coastal water using multispectral photographic techniques*. Long Island, Long Island University, 1970b.

APÊNDICE A

OBTENÇÃO DO "PRINT-OUT" DO SISTEMA I-100, EM UMA ESCALA APROXIMADA

A.1 - ALGORITMO DE OBTENÇÃO DO "PRINT-OUT" EM ESCALA

Uma determinada área no terreno, compreendida em AxB "pixels" do imageador MSS-LANDSAT, tem uma saída gráfica na impressora de linhas do sistema I-100 ("Print-Out"), através das seguintes transformações



Admitam-se as seguintes constantes:

a) No terreno:

. Comprimento imageado por um "pixel" na direção X = 57m

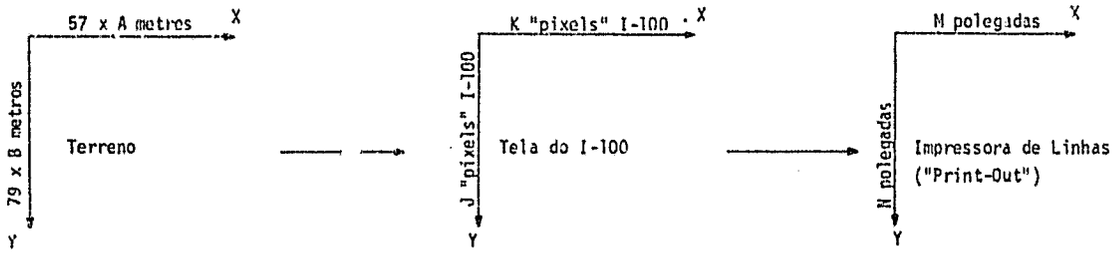
. Comprimento imageado por um "pixel" na direção Y = 79m

b) Na impressora de linhas:

. Direção X ⟶ Impressos 10 símbolos gráficos em 1 polegada

. Direção Y ⟶ Impressos 8 símbolos gráficos em 1 polegada

Sabendo-se que cada símbolo gráfico corresponde a 1 "pixel" do I-100, tem-se:



onde:

$$M = K \text{ "pixels" da tela do I-100} \times 10^{-1} \text{ polegadas}$$

$$N = J \text{ "pixels" da tela do I-100} \times 8^{-1} \text{ polegadas} \qquad (1)$$

A condição para que todo o "print-out" saia em escala, ou seja, tenha a mesma escala nas direções X e Y é:

$$\frac{M}{N} = \frac{57 \times A}{79 \times B} \qquad (2)$$

Substituindo 1 em 2, tem-se:

$$\frac{57 \times A}{79 \times B} = \frac{K \times 10^{-1}}{J \times 8^{-1}}$$

$$\frac{A}{B} = \frac{K}{J} \times \frac{79}{57} \times \frac{8}{10}$$

$$\frac{A}{B} = \frac{K}{J} \times 1{,}108771930$$

Onde: K e J são os números de "pixels" da memória do I-100 onde serão armazenados A e B "pixels" da imagem, respectivamente. Na situação de K = J (tela quadrada):

$$\frac{A}{B} = 1{,}108771930$$

$$\underline{A = 1{,}10878 \times B}$$

Então, se uma imagem for acessada em uma porção da tela do I-100, que tenha a mesma quantidade de "pixels" nas direções X e Y (512 x 512 "pixels" para toda a tela), e *forem transferidos* B *"pixels" do terreno na direção* Y *e 1,10878* B *"pixels" na direção* X *, o "print-out" sairá em escala.*

Esta escala será aproximada, devido às variações das constantes de transformação adotadas (ao longo da imagem e na impressora de linhas do I-100) e às próprias distorções geométricas inerentes ao sistema MSS-LANDSAT.

A.2 - CÁLCULO DA ESCALA

Em X:

$$\frac{1}{e_X} = \frac{\frac{K}{10} \times 0{,}0254}{A \times 57}$$

A ⟶ nº de "pixels" no terreno na direção X

K ⟶ nº de "pixels" na tela do I-100 na direção X

e_x ⟶ denominador da escala na direção X

0,0254 ⟶ valor de uma polegada em metros

Em Y:

$$\frac{1}{e_y} = \frac{\frac{J}{8} \times 0{,}0254 \text{ m}}{B \times 79\text{m}}$$

B ⟶ nº de "pixels" no terreno na direção Y

J ⟶ nº de "pixels" na tela do I-100 na direção Y

e_y ⟶ denominador da escala na direção Y

0,0254 ⟶ valor de uma polegada em metros

Para a verificação da condição do "print-out" em escala, se:

$A = 1{,}10878\ B$ e $K=J$

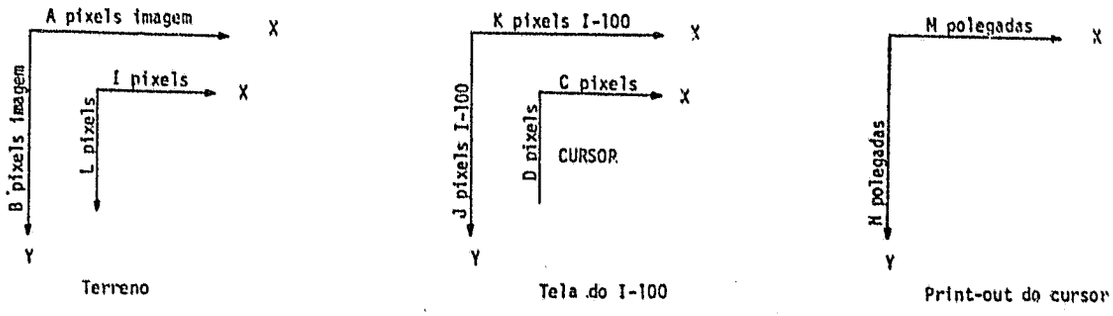
$$\frac{1}{e_x} = \frac{K \times 0{,}0254}{B \times 1{,}0878 \times 57 \times 10} = \frac{K}{B \times 4{,}01 \times 10^{-5}}$$

$$\frac{1}{e_y} = \frac{J \times 0.0254}{B \times 79 \times 8} = \frac{J}{B \times 4{,}01 \times 10^{-5}}$$

$$\frac{1}{e_x} = \frac{1}{e_y}$$

A.3 - ESCALA PARA UMA ÁREA SELECIONADA PELO CURSOR

Seja um cursor de C "pixels", da tela do I-100, na direção X e D "pixels" na direção Y, correspondente a I e L "pixels" de uma imagem MSS-LANDSAT, respectivamente.



Admitindo-se que o sistema I-100 ao acessar uma imagem, em que A e B "pixels" do terreno são diferentes de K e J "pixels" da tela do I-100, mantêm as seguintes relações

$$A \times 57 \text{ ——— } K \qquad \therefore \quad I = \frac{A \times 57 \times C}{K}$$

$$I \text{ ——— } C$$

$$B \times 79 \text{ ——— } J \qquad \therefore \quad L = \frac{B \times 79 \times D}{J}$$

$$L \text{ ——— } D$$

Como K = J, tem-se:

$$\frac{I}{L} = \frac{A \times 57 \times C}{B \times 79 \times D} \qquad (3)$$

No "print-out"

$$M = C \times 10^{-1} \text{ polegadas}$$
$$N = D \times 10^{-8} \text{ polegadas} \qquad (4)$$

Substituindo 4 em 3

$$\frac{I}{L} = \frac{A \times 57 \times 10 \times M}{B \times 79 \times 8 \times N}$$

$$\frac{I}{L} = \frac{A \times M}{B \times 1{,}10878 \times N}$$

Como A = B x 1.10878

$$\frac{I}{L} = \frac{M}{N}$$

O "print-out" estará em escala, quaisquer que sejam os valores de C e D, ou para qualquer tamanho do mapa (quadrado ou não).