

ESTIMATIVA DO TRANSPORTE LITORÂNEO EM TORNO DA
EMBOCADURA DO RIO SERGIPE

Jefferson Vianna Bandeira.

INSTITUTO DE PESQUISAS RADIOATIVAS

U. F. M. G. - C. N. E. N.

Cidade Universitária - Pampulha

BELO HORIZONTE - BRASIL

CURSO DE CIÊNCIAS E TÉCNICAS NUCLEARES
INSTITUTO DE PESQUISAS RADIOATIVAS
U.F.M.G. - C.N.E.N

ESTIMATIVA DO TRANSPORTE LITORÂNEO EM TORNO DA
EMBOCADURA DO RIO SERGIPE

POR

JEFFERSON VIANNA BANDEIRA

ORIENTADOR: VICTOR FREIRE MOTTA

TESE APRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA A OBTENÇÃO
DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS E TÉCNICAS NUCLEARES.

Belo Horizonte
Novembro de 1972.

AGRADECIMENTOS

Quero expressar aqui o meu mais sincero reconhecimento ao Engenheiro Victor Freire Motta, Chefe da Divisão Marítima do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pela extrema dedicação e interesse com que orientou este trabalho, pela proposição do mesmo e também pelos ensinamentos transmitidos no campo da Hidráulica Marítima e Engenharia de Costas. Obrigado, Victor!

Pela precisa orientação e estímulo que vem dando às aplicações de radioisótopos em sedimentologia em nosso país, quero agradecer ao Engenheiro Pedro Edmundo Aun, Chefe da Seção de Hidrologia da Divisão de Radioisótopos, Instituto de Pesquisas Radioativas, da qual faço parte.

Agradeço ao Engenheiro Angelo Alberto Maestrini, Chefe da Divisão de Radioisótopos do Instituto de Pesquisas Radioativas, por ter possibilitado o nosso curso de Hidráulica Marítima e Engenharia de Costas, e a realização deste trabalho no Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS.

Ao Engenheiro Geraldo Wilson Junior e ao técnico José Carlos Marques, um agradecimento especial pela dedicação colaboração prestada no processamento dos programas de computador deste trabalho.

Os desenhos que aqui se encontram foram executados com carinho e presteza pelo Lúcio Araujo de Quadros, desenhista-chefe do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS, a quem sinceramente agradeço com um: obrigado, Baixinho!

Um agradecimento especial à Sra. Lêda Maria Jú
lia de Carvalhò Glória pela eficiência, cuidado e dedica-
ção na datilografia deste trabalho.

Ao técnico Luiz Raphael Aun e ao Sr. José Alves
dos Santos, agradeço pela colaboração na confecção deste
trabalho.

A
Minha mãe
Em memória e
Lembrança dedico
Isto, com muito
Amor

Em memória de meu tio,
Engenheiro Francisco Sanches

A meu pai

I N D I C E

| CAPÍTULOS | RESUMO | PÁGINAS |
|-----------|---|---------|
| | ABSTRACT | |
| | LISTA DE SÍMBOLOS | |
| 1 | INTRODUÇÃO | 1 |
| 2 | A EXPERIÊNCIA COM TRAÇADORES RADIOATIVOS EM ARACAJU | |
| | 2.1. Considerações prévias | 10 |
| | 2.2. Descrição da experiência | 11 |
| | 2.3. Determinação quantitativa do transporte por arraste de sedimentos com a utilização de traçadores radioativos | 13 |
| | 2.3.1 Método do balanço das taxas de contagem | 14 |
| | 2.4. Resultados obtidos na experiência de Aracaju | 22 |
| | 2.5. Comentários sobre os resultados | 24 |
| 3 | AS FÓRMULAS PARA O CÁLCULO DO TRANSPORTE LITORÂNEO | |
| | 3.1. Considerações prévias | 30 |
| | 3.2. Resumo das fórmulas existentes e suas limitações | 31 |
| 4 | EXPOSIÇÃO DA FÓRMULA DE CASTANHO | |
| | 4.1. Considerações prévias | 38 |
| | 4.2. Desenvolvimento da fórmula com base nas características dos agentes transportadores | 38 |

CAPÍTULOS

PÁGINAS

| | | |
|-------|--|----|
| 4.2.1 | Transporte por arraste | 39 |
| 4.2.2 | Transporte em suspensão | 43 |
| 4.2.3 | Transporte total | 44 |
| 4.3. | Determinação do parâmetro S | 46 |
| 4.3.1 | Velocidade da corrente litorânea | 46 |
| 4.3.2 | Balanco de energias | 51 |
| 4.3.3 | O tipo de arrebentação predominante em Aracaju | 52 |
| 4.3.4 | Expressão de S e da velocidade da corrente litorânea para o caso de arrebentação progressiva | 57 |
| 4.4. | Considerações sobre o coeficiente de atrito K | 61 |
| 5 | EXPOSIÇÃO DA FÓRMULA DE BIJKER | |
| 5.1. | Considerações prévias | 63 |
| 5.2. | Velocidade da corrente litorânea | 64 |
| 5.3. | Transporte por arraste | 65 |
| 5.4. | Transporte em suspensão | 70 |
| 5.4.1 | Distribuição de velocidades próximo ao fundo | 73 |
| 5.5. | Transporte total | 77 |
| 6 | ANÁLISE DOS REGISTROS DE ONDAS SEGUNDO A SISTEMÁTICA DE L. DRAPER | |
| 6.1. | Considerações prévias | 79 |
| 6.2. | Análise dos registros de ondas | 80 |
| 7 | ESQUEMATIZAÇÃO ADOTADA PARA AS CARACTERÍSTICAS DAS ONDAS REGISTRADAS EM ARACAJU | |
| 7.1. | Considerações prévias | 84 |

CAPÍTULOS

PÁGINAS

| | | |
|-------|--|----|
| 4.2.1 | Transporte por arraste | 39 |
| 4.2.2 | Transporte em suspensão | 43 |
| 4.2.3 | Transporte total | 44 |
| 4.3. | Determinação do parâmetro S | 46 |
| 4.3.1 | Velocidade da corrente litorânea | 46 |
| 4.3.2 | Balanco de energias | 51 |
| 4.3.3 | O tipo de arrebentação predominante em Aracaju | 52 |
| 4.3.4 | Expressão de S e da velocidade da corrente litorânea para o caso de arrebentação progressiva | 57 |
| 4.4. | Considerações sobre o coeficiente de atrito K | 61 |
| 5 | EXPOSIÇÃO DA FÓRMULA DE BIJKER | |
| 5.1. | Considerações prévias | 63 |
| 5.2. | Velocidade da corrente litorânea | 64 |
| 5.3. | Transporte por arraste | 65 |
| 5.4. | Transporte em suspensão | 70 |
| 5.4.1 | Distribuição de velocidades próximo ao fundo | 73 |
| 5.5. | Transporte total | 77 |
| 6 | ANÁLISE DOS REGISTROS DE ONDAS SEGUNDO A SISTEMÁTICA DE L. DRAPER | |
| 6.1. | Considerações prévias | 79 |
| 6.2. | Análise dos registros de ondas | 80 |
| 7 | ESQUEMATIZAÇÃO ADOTADA PARA AS CARACTERÍSTICAS DAS ONDAS REGISTRADAS EM ARACAJU | |
| 7.1. | Considerações prévias | 84 |

CAPÍTULOS

PÁGINAS

| | | |
|---|--|-----|
| 7.2. | Aplicação do método de Draper às ondas de Aracaju | 86 |
| 7.2.1 | Períodos | 86 |
| 7.2.2 | Alturas | 92 |
| 7.2.3 | Parâmetro de largura do espectro (ϵ) | 94 |
| 7.2.4 | Ângulos de incidência das ondas | 95 |
| 7.3. | Os ventos em Aracaju | 103 |
| 7.4. | Variação estacional das ondas | 104 |
| 7.5. | Relação entre os ventos e as direções de ondas à profundidade infinita, em Aracaju | 106 |
| 7.6. | Conclusões sobre o regime de ondas | 108 |
| APLICAÇÃO DE FÓRMULAS PARA A ESTIMATIVA DO TRANSPORTE LITORÂNEO EM ARACAJU (Aproximações) | | 110 |
| 8 | APLICAÇÃO DA FÓRMULA DE CASTANHO | 111 |
| 8.1. | Cálculo de H_0 | 112 |
| 8.2. | Cálculo de H_b e d_b | 114 |
| 8.3. | Cálculo de α_b | 116 |
| 8.4. | Cálculo do transporte litorâneo | 117 |
| 8.5. | Resultados | 119 |
| | 8.5.1 Influência da rugosidade | 121 |
| 9 | APLICAÇÃO DA FÓRMULA DE CALDWELL | |
| 9.1. | Considerações preliminares | 125 |
| 9.2. | Resultados | 126 |
| 10 | APLICAÇÃO DA FÓRMULA DE BIJKER | |
| 10.1 | Considerações preliminares | 129 |

| | | |
|--------|---|-----|
| 10.2. | Cálculo das características das ondas no início da arrebentação | 131 |
| 10.3. | Cálculo da velocidade da corrente litorânea no início da arrebentação | 133 |
| 10.4. | Cálculo das características geométricas e hidráulicas nas profundidades médias de 1 m, 3 m e 5 m das faixas | 134 |
| 10.5. | Cálculo do transporte por arraste | 143 |
| 10.6. | Cálculo do transporte em suspensão | 144 |
| 10.6.1 | Rugosidade aparente (n) adotada para o cálculo do transporte em suspensão, em Aracaju | 145 |
| 10.7. | Transporte total | 145 |
| 10.8. | Resultados | 146 |
| 10.8.1 | Influência da rugosidade de fundo no transporte litorâneo | 152 |
| 11 | COMPARAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS | |
| 11.1. | Resultados anuais | 154 |
| 11.2 | Comparação entre os resultados calculados pelas fórmulas de Castanho e Caldwell | 155 |
| 11.3 | Comparação entre os resultados calculados pelas fórmulas de Castanho e Bijker | 177 |

CAPÍTULOS

PÁGINAS

| | | |
|--------|---|-----|
| 11.3.1 | Comentários sobre as teo- rias ondulatórias empre- gadas nas fórmulas de Castanho e Bijker | 183 |
| 11.3.2 | Considerações a respeito da influência da rugosi- dade de fundo | 184 |
| 11.4. | Comparação entre os re- sultados calculados pe- las fórmulas de Bijker e Caldwell | 185 |
| 12 | CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES | 188 |
| | AGRADECIMENTOS | |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | |
| | APÊNDICE | |

RESUMO

O presente trabalho trata da estimativa do transporte litorâneo em torno da embocadura do rio Sergipe, na região nordeste do Brasil, com vista a ter-se uma noção de grandeza do volume anual de dragagem de manutenção de um canal de acesso ao porto de Aracaju, dragado através da barra.

A primeira parte do trabalho trata de uma experiência com traçadores radioativos realizada ao longo da arestentação. O resultado da experiência é que o transporte de sedimentos paralelamente à costa, ao longo da arestentação é praticamente nulo. Uma vez que a contribuição sólida do estuário é desprezível, a principal fonte de alimentação de areia da barra é o transporte litorâneo.

Na segunda parte é feito o cálculo do transporte litorâneo anual através dos métodos de cálculo propostos por Caldwell, Castanho e Bijker, utilizando-se registros de ondas de todo um ano, efetuados à profundidade de 20 m, para o projeto de um terminal petroleiro. A ordem de grandeza desse transporte é praticamente a mesma pelos tres métodos, e gira em torno de $800000 \text{ m}^3/\text{ano}$. O fato de se utilizar centenas de registros permitiu quantificar o transporte litorâneo dominante de NE para SW, com cerca de $660000 \text{ m}^3/\text{ano}$. Foi possível também constatar que apesar dos tres métodos terem dado resultados da mesma ordem de grandeza, eles traduzem diferentes leis de variação da intensidade do transporte litorâneo com o tempo.

ABSTRACT

The object of this thesis is to evaluate the annual volume of littoral drift on either side of the mouth of Sergipe estuary, in the Northeast of Brazil, with a view to forecasting the annual volume of maintenance dredging that would be required for a shipping channel across the outer bar. Aracaju harbour lies inside the estuary.

A radioactive-tracer experiment has shown the alongshore drift of sediments to be negligible seawards of the breaker zone. Since the sediment transport brought down by the upland flow to the mouth is also negligible, littoral drift was shown to be the natural mechanism that brings about bar formation off the estuary entrance. The first part of this thesis deals with the radioactive-tracer experiment.

In the second part the annual volume of littoral drift is determined by applying three calculation methods - i. e. those proposed by Caldwell, Castanho and Bijker - to the wave characteristics, that had been recorded over a whole year, at a 20 m depth of water, for the design of an offshore oil terminal. The three methods yielded the same order of magnitude which was found to amount to about 800000 m³ per year. The dominant littoral drift is southwestward and amounts to some 660000 m³/year. It was also found that, although the three methods lead to total results of the same order of magnitude, they do not agree as to the variation of littoral drift over the year for the same waves.

LISTA DE SÍMBOLOS

DIMENSÃO

| | | |
|--------------------|---|----------------------------------|
| a | parâmetro = $1/KT$ no estudo da corrente litorânea (fórmula de Castanho). | |
| a | espessura da camada onde se supõe ter lugar o transporte por arraste. (cap. 5 e 10) | L |
| A | parâmetro adimensional = $\frac{m\delta}{Ktga}$ (fórmula de Castanho) | |
| A | = a/d valor adimensional da espessura da camada onde se supõe ter lugar o transporte por arraste. (cap. 5 e 10) | |
| A | atividade radioativa (curies-Ci) | |
| b | parâmetro = $-\frac{dQ}{dX}$ no estudo da corrente litorânea. (fórmula de Castanho) | |
| b e b ₀ | distâncias entre raios de onda, no cálculo do coeficiente de refração. | L |
| c | celeridade da onda (velocidade de propagação) | LT ⁻¹ |
| C e C' | coeficientes de Chezy | L ^{1/2} T ⁻¹ |
| C(y) | concentração de sedimentos | |
| C _a | concentração de sedimentos a distância a do fundo | |
| C _p | celeridade da onda (adimensional) | |
| d | profundidade de água | L |
| D | profundidade adimensional (fórmula de Castanho) | |
| D | diâmetro de grão (fórmula de Bijker) | L |
| E | espessura da camada radioativa em movimento (cap. 2) | L |
| E | energia da onda | ML ² T ⁻² |
| f | coeficiente de resistência de Darcy-Weisback | L ^{1/2} T ⁻¹ |

DIMENSÃO

| | | |
|------------|--|---------------|
| δ_0 | coeficiente de calibração da sonda de detecção radioativa | |
| F | força de atrito | MLT^{-2} |
| g | aceleração da gravidade | LT^{-2} |
| h | altura de ruga | L |
| H | altura da onda | L |
| i | gradiente de energia (cap.4) | |
| I | gradiente de energia (cap.5) | |
| I_1 | valor de integral | |
| I_2 | valor de integral | |
| k | coeficiente de proporcionalidade (expressão 3-1) | |
| k | número da onda = $2\pi/L$ (wave number) | L^{-1} |
| K | coeficiente de atrito (rugosidade) (fórmula de Castanho) | |
| K | constante de von Karman=0.4 | |
| K_n | coeficiente de refração | |
| K_{sh} | coeficiente de empinamento (Shoaling) | |
| L | largura da faixa onde se dá o transporte de sedimentos (cap.2) | L |
| L | comprimento de onda | L |
| m | declividade de praia | |
| m_s | massa por unidade de superfície de fundo | ML^{-2} |
| M | quantidade de movimento | MLT^{-1} |
| n | coeficiente de transmissão de energia | |
| P_c | potência consumida no transporte de sedimentos | $ML^2 T^{-3}$ |

DIMENSÃO

| | | |
|----------|--|--------------------------|
| P_d | potência dissipada por atrito no fundo | ML^2T^{-3} |
| P_{tl} | potência transmitida paralelamente à costa, por unidade de comprimento de praia. | ML^2T^{-3} |
| q_s | vazão sólida em termos de massa ou volume | MT^{-1} ou L^3T^{-1} |
| Q | vazão sólida por unidade de largura (cap.2) | $ML^{-1}T^{-1}$ |
| Q_s | volume de sedimentos transportado durante o tempo de atuação da onda. | L^3 |
| n | rugosidade aparente, na fórmula de Bijker | L |
| n | raio hidráulico (cap.4) | L |
| S | razão entre a energia dissipada e a energia transmitida | |
| t | coordenada tempo | T |
| T | período da onda ou coordenada de tempo adimensional | T (período) |
| u | velocidade das partículas | LT^{-1} |
| u_o | amplitude da velocidade orbital junto ao fundo | LT^{-1} |
| v | velocidade da corrente litorânea | LT^{-1} |
| V_m | velocidade média de deslocamento da <u>nu</u> vem radioativa (cap.2) | LT^{-1} |
| V_* | velocidade de cisalhamento devido a corrente | LT^{-1} |
| V'_* | velocidade de cisalhamento devido a <u>on</u> das e corrente | LT^{-1} |
| x | coordenada geral | L |
| X | coordenada geral (adimensional) | |
| y | coordenada geral | L |

DIMENSÃO

| | | |
|------------|---|-----------|
| g' | espessura da subcamada laminar | L |
| z | coordenada geral | L |
| z | expeente da distribuição em suspensão | |
| w | velocidade de decantação do sedimento em água tranquila | LT^{-1} |
| ω | velocidade angular da partícula líquida em movimento orbital = $2\pi/T$ | |
| α | angulo de ataque, declividade de praia na fórmula de Eagleson | |
| α_0 | coeficiente de calibração da sonda de deteção radioativa (cap.2) | |
| β | fator que varia com a espessura da cama da radioativa E, segundo a distribuição de concentração em profundidade adotada (cap.2) | |
| β | parâmetro adimensional no estudo da corrente litorânea = $ab/tg\alpha$ na fórmula de Castanho | |
| δ | esbeltez da onda = H/L | |
| Δ | densidade relativa do sedimento submerso $\Delta = \frac{\rho_s - \rho}{\rho}$ | |
| ϵ | parâmetro adimensional = $\frac{v}{c.s \text{ena}}$, na fórmula de Castanho. | |
| ϵ | parâmetro de largura do espectro | |
| γ_s | peso específico do sedimento submerso | LT^{-2} |
| γ | razão entre a altura da onda solitária e a profundidade de água | |
| η | fração de energia gasta no transporte de sedimentos | |
| Γ | concentração radioativa | |

| | | DIMENSÃO |
|--------|---|-----------------|
| τ | tensão tangencial | $ML^{-1}T^{-2}$ |
| μ | coeficiente de enrugamento | |
| E | coeficiente teórico empírico expresso em termos do coeficiente de resistência de Chezy = $0.0575 C$ (fórmula de Bijker) | $L^{1/2}T^{-1}$ |
| ρ | massa específica da água | ML^{-3} |

INDICES

- b = relativo à arrebentação
- o = relativo às características das ondas ao largo
- s = relativo ao sedimento
- s_a = relativo ao transporte por arraste
- ss = relativo ao transporte em suspensão

1. INTRODUÇÃO.

1.

Um dos problemas que se apresenta frequentemente aos portos situados no interior de estuários, é o acesso através da barra na embocadura.

Muitas vezes o estuário possui profundidades naturais estáveis e elevadas, oferecendo excelentes condições de manobra e abrigo à navegação, sendo porém, o seu acesso restrito devido à presença de uma barra formada em frente à embocadura.

Toda embocadura ou entrada de baía em costa aberta e arenosa, sujeita a transporte de areia provocado pelas ondas, forma uma descontinuidade na linha de costa. Interagem aí, dois agentes naturais de tendências opostas. De um lado, as ondas provocando transporte de areia paralela e perpendicularmente à costa, tendem a fechar a embocadura ou a entrada, restabelecendo a continuidade da costa. Por outro lado, o transporte pelo escoamento de maré e por eventuais escoamentos fluviais, tende a afastar para o largo a areia trazida pelas ondas.

O resultado disto, em síntese, é a formação de uma barra (morro submerso), em frente à abertura.

Em geral, nem a areia transportada pelas ondas consegue fechar a abertura, nem os escoamentos conseguem manter em frente da abertura as mesmas profundidades existentes no interior do estuário ou da baía. As profundidades sobre a barra e a sua posição traduzem a cada instante, a resultante das duas tendências opostas.

A fonte principal de alimentação do material de barras é sobretudo a areia trazida pelas ondas, mas pode haver casos em que a contribuição sólida de montante seja também fonte importante de material.

Com o progresso da humanidade e o intenso intercâmbio de mercadorias, são exigidos cada vez mais, na

vios de maior tonelagem e, portanto, de maior calado. Isto obriga que o acesso a portos situados no interior de baías e estuários seja mantido, a maioria das vezes, à profundidades superiores às de equilíbrio natural ou "de regime" das barras.

A manutenção de um canal de acesso através de barra situada em frente de embocadura ou entrada de baía em costa arenosa e aberta, só pode ser obtida através dos seguintes meios:

- a) - Construção de molhes
- b) - Dragagem periódica ou permanente.
- c) - Combinação da construção de molhes com dragagem.

A construção de molhes cria uma situação artificial, à qual corresponde uma nova profundidade de equilíbrio, que pode ser tão aproximada quanto possível da profundidade que se deseja manter. A construção de molhes atinge este objetivo, através de:

- a) - os molhes impedem a alimentação do canal em areia pelos lados;
- b) - eles guiam e concentram os escoamentos na abertura, que se opõem ao assoreamento devido à areia trazida pelas ondas, fortalecendo assim a ação de varredura hidráulica ("chasse") dos escoamentos de vazante.

Há casos em que a solução do problema apenas por construção de molhes, não é a mais indicada, ou é impossível. Os molhes adequados podem ser tão extensos a ponto de serem economicamente contra-indicados. A preservação das profundidades desejadas pode exigir uma pequena distância entre os cabeços dos molhes, a fim de reforçar a ação de varredura hidráulica, o que se torna um impe-

lho para a navegação. Pode-se adotar então, a solução combinada da construção de molhes menores com dragagem, ou a solução de dragagem permanente ou periódica.

Com a evolução da tecnologia de dragagem, muitos canais de acesso têm sido mantidos através de dragagem permanente ou periódica. Esta solução tem-se apresentado, em muitos casos, como a mais econômica e a mais simples.

A dragagem de um canal de acesso através de uma barra, rompe o equilíbrio natural do sistema. Os dois agentes naturais anteriormente mencionados tenderão a restabelecer o equilíbrio natural, provocando o assoreamento do canal dragado em um determinado tempo. A areia transportada pelas ondas, paralela e perpendicularmente à costa, é interceptada pela descontinuidade do fundo que o canal dragado constitui. O material é então depositado no canal, o qual vai sendo assoreado até que se restabeleça a profundidade para a qual as ações opostas se equilibram.

Convém ressaltar aqui, que o equilíbrio dos sistemas sedimentares (praias, barras, etc) é, em geral, um equilíbrio dinâmico. O fato delas conservarem sensivelmente a mesma geometria ao longo do tempo, não significa que os sedimentos se encontram em repouso. Ao contrário, uma grande quantidade de material encontra-se em movimento, mas de tal modo que a quantidade de sedimentos que entra numa dada área, num certo intervalo de tempo é igual, em média, à quantidade de sedimentos que sai da mesma área, no mesmo intervalo de tempo. É nisto que consiste o equilíbrio dinâmico.

Um canal dragado rompe, como já se disse, este equilíbrio, sendo então o canal assoreado. Pode ocorrer como efeito desse assoreamento, a erosão na praia à sotamar de onde provém o transporte dominante de areia. O ma

terial que iria alimentar aquela praia pode ficar retido no canal ou ser transportado para o largo, funcionando as sim o canal dragado, como um espigão hidráulico.

O CASO DO PORTO DE ARACAJU

O porto de Aracaju situa-se no interior do estuário do rio Sergipe, Estado de Sergipe, na região nordeste do Brasil. As suas coordenadas geográficas são: $10^{\circ}55'$ de latitude sul e $37^{\circ}03'$ de longitude oeste de Greenwich (Fig. 2-1).

O estuário oferece excelentes condições de manobra e abrigo à navegação, tendo profundidades estáveis de mais de 8 metros em águas mínimas e largura variando entre 600 e 1000 metros. Entretanto, o acesso ao porto é restrito pela presença de uma barra existente em frente da embocadura, distante aproximadamente 2800 metros do alinhamento geral da costa. A profundidade de equilíbrio natural sobre a barra tem sido de 3.5 ± 0.5 m, nos últimos 50 anos (ref. 19).

Pensou-se no estabelecimento de um canal de acesso com profundidade de 8 metros, através da barra de Aracaju. A solução por construção de molhes exigiria dois molhes de aproximadamente 3.5 km de comprimento cada um. Todos os engenheiros que se ocuparam do problema da barra de Aracaju, notaram a evidente desproporção entre o custo dos molhes necessários, devido ao seu comprimento, e o tráfego atual ou esperado para o futuro mais ou menos próximo, no porto de Aracaju (19).

Foi então recomendada a manutenção por dragagem, do canal de acesso a ser criado.

Nos estudos preliminares para a dragagem do canal de acesso, o que se efetuou em 1971, foi realizada uma experiência com traçadores radioativos, ao largo da

arrebentação, próximo à embocadura do rio Sergipe. Esta experiência se desenvolveu entre os meses de janeiro e abril de 1971 e teve como objetivo principal, a determinação quantitativa do volume de areia que atravessaria uma faixa no fundo do mar, onde seria dragado o canal de acesso.

A partir dessa experiência e através de relações dos resultados quantitativos com o regime de ondas do local, tentou-se fazer uma estimativa do volume anual de material que, sendo transportado ao largo da arrebentação, chegaria ao canal a ser dragado.

A experiência com traçadores radioativos demonstrou que o transporte de sedimentos, paralelamente à linha de costa, ao largo da arrebentação é praticamente nulo (cap. 2). Concluiu-se então, por exclusão, que o transporte de sedimentos em direção ao local do canal de acesso, se dá praticamente apenas na zona de arrebentação.

Não é de se temer o assoreamento do canal provocado por vazão sólida de origem continental, uma vez que ela é praticamente nula no estuário do rio Sergipe.

Então, a principal fonte de alimentação de material da barra é a areia transportada paralelamente à costa, na zona de arrebentação. Este transporte é produzido principalmente, pela ação combinada da arrebentação de ondas oblíquas à praia e pela corrente litorânea por elas gerada, recebendo a denominação de transporte litorâneo. Os outros tipos de correntes oceânicas (de deriva, de maré, de circulação oceânica, etc) não exercem um papel importante no transporte de sedimentos próximo à costa de Sergipe.

A determinação do transporte litorâneo através de uma experiência com traçadores radioativos, apresenta-

ria enormes dificuldades quanto à injeção e detecção do traçador. A zona de arrebentação apresenta precárias condições de navegação. Outro aspecto que deve ser ressaltado é que, ao contrário da zona ao largo da arrebentação, predomina na zona de arrebentação o transporte de areia em suspensão pois, as ondas ao arrebentar colocam em suspensão uma grande quantidade de areia. Os equipamentos de detecção radioativa de que se dispunha eram adequados ao rastreamento do material que se movimentava bem próximo ao fundo e isto tornaria impossível uma determinação quantitativa do transporte litorâneo, mesmo que fosse possível uma injeção e navegação sem problemas na zona de arrebentação.

Em vista dos motivos citados anteriormente, e tendo em conta que já se possuíam registros e observações de direção de ondas de todo um ano para a região de Aracaju (18), resolveu-se estimar o transporte litorâneo anual através da aplicação de fórmulas para tal fim estabelecidas, no campo da Engenharia de Costas. Estas fórmulas permitem calcular a capacidade do transporte litorâneo em função das características das ondas, da praia e dos sedimentos.

Na realidade, estas fórmulas são métodos de cálculo. O problema do movimento de sedimentos marinhos é extraordinariamente complicado, devido ao número e à complexidade dos parâmetros em jogo. Num curso d'água de escoamento unidirecional permanente e uniforme, ainda não se conhecem as leis gerais do movimento de sedimentos. Com maior razão também não são conhecidas as leis gerais do movimento de sedimentos marinhos sob a ação de fenômenos de regime variável (ondas, correntes de maré, de ventos, etc).

Utilizaremos no presente trabalho, os métodos de cálculo mais recentes para a estimativa do transporte litorâneo. Tais são os métodos de Castanho (1966) e Bijker (1968 e 1971).

Estes dois autores procuram elucidar o mecanismo físico do transporte litorâneo por vias diferentes. Castanho (9) estuda em primeiro lugar e com profundidade, as características dos agentes transportadores (ondas e correntes litorâneas por elas geradas); a seguir estuda o transporte de sedimentos a partir daqueles agentes. A sua fórmula relaciona a energia transmitida paralelamente à costa, devido à arrebentação de ondas oblíquas à praia, com o volume de material transportado. Explicita porém, as características geométricas da praia (rugosidade de fundo, declividade da praia), o peso específico dos sedimentos, as características hidráulicas, sobretudo a esbeltez das ondas de um modo correto, o que não aparecia nas fórmulas deste tipo, anteriormente estabelecidas.

Bijker por seu lado, pesquisou o problema das tensões tangenciais despertadas no fundo, devido à presença de ondas e correntes. A sua fórmula tem a originalidade de considerar:

- a)- O aumento provocado nas tensões tangenciais que as correntes despertam no fundo, devido à presença das ondas.
- b)- A quantificação deste aumento, tornando assim possível estabelecer a capacidade de transporte da atuação conjunta das ondas com a corrente litorânea.

A base do trabalho de Bijker são fórmulas estabelecidas para o cálculo do transporte de sedimentos sujeitos a escoamento unidirecional, permanente e uniforme: a fórmula de Frijlink para o transporte por arraste e a de Einstein para o transporte em suspensão. 0

escoamento que considera \bar{e} a corrente litorânea, que pode ser gerada ou não, pela arrebentação de ondas oblíquas \bar{a} linha de costa. Apenas introduz modificações, tendo em vista a presença das ondas.

Utilizaremos também para comparação, a fórmula de Caldwell (8), que \bar{e} do tipo da de Castanho, mas não foi estabelecida tendo em vista a elucidação do mecanismo físico do transporte. É uma fórmula empírica, estabelecida a partir de medições na natureza, que apenas relaciona o transporte litorâneo com a energia transmitida paralela \bar{m} ente \bar{a} costa, devido \bar{a} arrebentação de ondas oblíquas \bar{a} praia. Ela não explicita a influência de nenhum dos parâmetros apontados anteriormente, na fórmula de Castanho.

Todas as fórmulas referidas anteriormente, foram estabelecidas para o caso de ondas monocromáticas. Isto \bar{e} uma grande aproximação, pois na natureza o que realmente ocorre \bar{e} um espectro ondulatorio.

Isto fez com que analisássemos todos os registros colhidos ao longo do ano em Aracaju, e deles extraíssemos ondas de alturas significativas e períodos médios, para que fosse possível utilizá-los na previsão do transporte litorâneo anual em Aracaju.

Assim o fizemos, pois a onda de altura significativa e período médio atuando durante o tempo em que foi registrado o espectro, equivale energeticamente \bar{a} atuação do espectro.

Acreditamos que com este trabalho, tenhamos dado um passo a mais na previsão de transporte litorâneo anual. Justificamos isto pelo fato de termos utilizado registros colhidos ao longo de todo um ano e calculado através de esquematizações, a contribuição ao transporte litorâneo anual, de cada onda significativa atuando em

um certo intervalo de tempo.

Os autores dos métodos de cálculo citados anteriormente utilizam, nas referências a que tivemos acesso, apenas uma onda monocromática atuando ao longo de todo o ano.

Com o nosso trabalho pudemos calcular a intensidade mensal do transporte litorâneo em Aracaju, e com isto deduzir o transporte litorâneo dominante ao longo do ano, e quantificar esta dominância. Apontamos também os meses prováveis de inversão do transporte, ou seja: os meses em que o transporte litorâneo de sentido contrário ao dominante é mais intenso que o próprio.

Finalmente, a comparação dos resultados fornecidos pelos três diferentes métodos de cálculo permitiu uma discussão geral dos mesmos.

O presente trabalho é dividido em duas partes. Na primeira é tratada a experiência com traçadores radioativos em Aracaju. Na segunda é feita a estimativa da intensidade do transporte litorâneo anual através da aplicação dos métodos citados anteriormente, aos registros de ondas de todo um ano.

Um dos objetivos deste trabalho é o fornecimento de um dado de entrada ao estudo da viabilidade econômica do porto de Aracaju. Tal dado é precisamente o volume anual máximo de dragagem de manutenção, do canal de acesso àquele porto.

PARTE I
CAPITULO 2

10.

A EXPERIÊNCIA COM TRAÇADORES RADIOATIVOS EM
ARACAJU.

2.1. CONSIDERAÇÕES PRÉVIAS.

Em novembro de 1970, foi solicitada à Divisão de Radioisótopos do Instituto de Pesquisas Radioativas da Comissão Nacional de Energia Nuclear, pelo Departamento Nacional de Portos e Vias Navegáveis (DNPVN), a realização de uma experiência com traçadores radioativos no mar, próximo à embocadura do rio Sergipe, objetivando determinar a massa de areia em movimento através de uma seção do fundo.

A finalidade da experiência era a obtenção de dados quantitativos que seriam utilizados na estimativa do volume anual de dragagem de manutenção, necessária para manter aberto o canal de acesso ao porto de Aracaju.

No estudo do movimento de sedimentos de fundo, em meio fluvial ou marítimo, os radioisótopos têm sido utilizados com sucesso.

O princípio geral do método é a imersão em um local previamente escolhido, do sedimento radioativo, dotado de características (granulometria, densidade, etc) as mais próximas possíveis do sedimento natural da área em estudo. O deslocamento do sedimento radioativo é acompanhado por equipamento detetor de radiação.

O acompanhamento desse deslocamento permite conhecer a direção do transporte de sedimentos e, através de processos físicos e matemáticos, determina-se quantitativamente o volume ou massa de sedimentos transportados pelos agentes hidráulicos.

O canal de acesso ao porto de Aracaju com profundidade de 8 m, teria um trecho dragado na zona ao lado

go da arrebenção e outro na zona de arrebenção.

A experiêcia foi realizada com o objetivo de calcular o volume de sedimentos transportado paralelamente à costa, ao largo da arrebenção, que chegaria à seção do canal dragado.

A experiêcia não se estenderia pelo período de um ano mas, através de registros de ondas colhidos durante o desenrolar do trabalho, e já de posse de um ano completo de registros, tentar-se-ia estabelecer um modelo matemático do transporte anual de sedimentos ao largo da arrebenção em Aracaju, cuja regulação seria feita com a experiêcia quantitativa com traçadores radioativos.

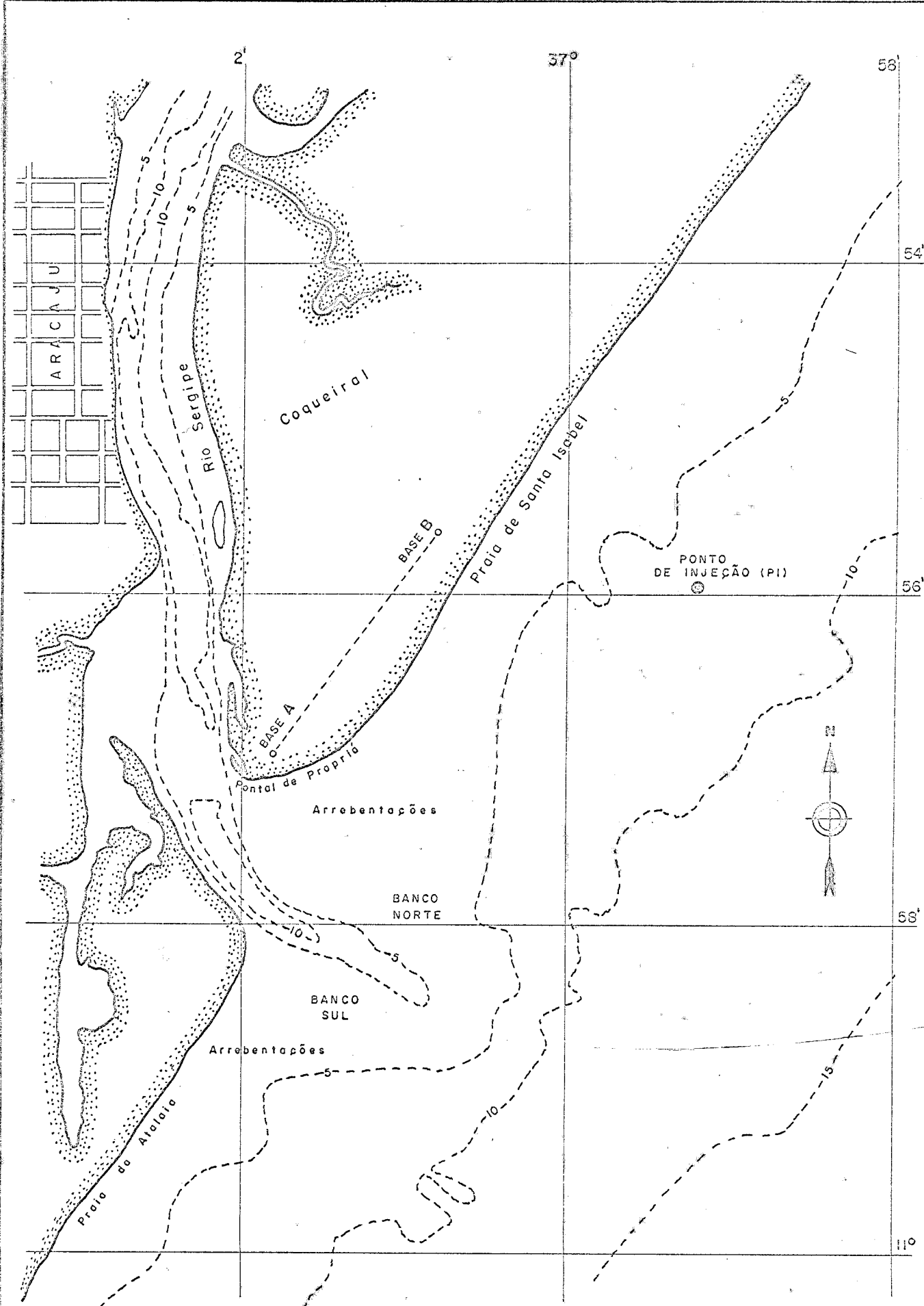
2.2. DESCRIÇÃO DA EXPERIÊNCIA.

Optou-se por fazer a experiêcia nos meses de verão pois, no inverno, sobretudo de junho a setembro é bastante difícil de transportar a barra com embarcações.

O sedimento de fundo em Aracaju é areia fina (16). Como a experiêcia deveria durar alguns meses, foi necessário utilizar um traçador radioativo de meia vida relativamente longa.

Devido à natureza arenosa do fundo, resolveu-se simular o material de fundo com vidro moído marcado com Iridio 192 (emissor de radiação γ com meia vida de 74 dias), e preparado de modo a apresentar a mesma curva granulométrica que o material da barra. Foram injetadas 800 gramas desse material, com uma atividade total de 5.14 Curies, à profundidade de 7 m, ao norte da embocadura do rio Sergipe (Fig. 2-1).

A detecção foi realizada utilizando-se uma sonda de cintilação, cujo cristal tem as dimensões de 1,5" x 1"



Escala 1:57 500

MAPA DA REGIÃO ESTUDADA
(ARACAJU — SE)

Fig. 2-1

e é constituído de iodeto de sódio ativado com tálcio. A sonda era colocada em um trenó, o qual era arrastado pelo fundo por meio de um barco. Um cabo elétrico ligava a sonda a um "ratemeter" dentro do barco, o qual era acoplado a um "scaler", a um registrador e a uma impressora de dados, sendo o conjunto alimentado por um gerador a gasolina.

O posicionamento do barco era feito através de dois teodolitos colocados na praia (Fig. 2-1), que forneciam as posições de minuto em minuto, através de comunicação pelo rádio.

A injeção do traçador foi realizada no dia 25/1/71.

Foram realizadas detecções subsequentes em:

1^a detecção 30/01 - 2^a detecção 05/02

3^a detecção 10/03 a 12/03

4^a detecção 14/04 a 20/04.

2.3. DETERMINAÇÃO QUANTITATIVA DO TRANSPORTE POR ARRASTE DE SEDIMENTOS, COM A UTILIZAÇÃO DE TRAÇADORES RADIOATIVOS.

Os resultados quantitativos de uma série de detecções, podem ser obtidos com a utilização do método da integração espacial.

Por este método a vazão sólida do material é dada por:

$$Q = \rho_s L V_m E \quad (2-1)$$

onde:

V_m = velocidade média de deslocamento da nuvem radioativa.

- ρ_s = massa específica do sedimento submerso.
 L = largura da faixa onde se dá o transporte.
 E = espessura da camada radioativa em movimento.

As curvas de isocontagem obtidas unindo-se os pontos de mesma contagem de uma detecção, permitem determinar a largura de transporte L . A velocidade média V_m é estimada pelo deslocamento do centro de gravidade da nuvem radioativa, entre duas detecções consecutivas (3). A espessura E pode ser determinada pela utilização do método do balanço das taxas de contagem (10) que veremos a seguir.

2.3.1 MÉTODO DO BALANÇO DAS TAXAS DE CONTAGEM.

Na aplicação desse método faz-se uma suposição importante: a vazão do material é constante em toda a área estudada. Em vez de calcular velocidade média e espessura média em uma dada seção, faz-se o cálculo para toda a área estudada. Então, E será a média em toda a área de detecção da distância, em todos os pontos, da superfície do leito ao grão marcado mais enterrado, e V_m a média em toda a área estudada, da velocidade média em uma vertical. Supõe-se também que a repartição do material radioativo representa o fenômeno estudado, ou seja: é satisfeita a condição de bom misturamento. Considera-se que a atividade detetada é igual a atividade injetada A , quando na realidade há perdas.

O método do balanço das taxas de contagem é baseado em uma idéia bastante simples: suponhamos que sejam feitas as detecções de duas nuvens radioativas, contendo cada uma, a mesma atividade A e estando uma delas mais profundamente enterrada que a outra. Quanto mais enterrada

estiver uma camada de traçador, menor será o número de contagens acusadas por um detetor, em consequência da maior absorção da radiação e de uma geometria de detecção menos favorável. Deve existir portanto, uma relação entre a esgrossura E da camada em movimento e o número total de contagens detetado, $\oint nds$, onde n é a taxa de contagem em um ponto (10). Fazer um balanço das taxas de contagem é calcular $\oint nds$ ou: $N = \oint nds$ (2-2), que é função da espessura E .

Suponhamos que o detetor esteja calibrado, ou seja: conhece-se a resposta $f = f(z)$ de um detetor em número de contagens por segundo, por unidade de atividade (1 μCi , por exemplo) e, por unidade de área \bar{a} profundidade z .

Se o traçador radioativo estiver espalhado de uma forma qualquer, a taxa de contagem elementar, será:

$$dn = dz \iint f(x, y, z) \cdot C(x, y, z) dx dy \quad (2-3)$$

Em (2-3):

$C(x, y, z)$ = concentração de radioisótopo no ponto (x, y, z)

$f(x, y, z)$ = resposta do detetor situado no ponto (x_0, y_0, z_0) .

\bar{a} é uma atividade unitária no volume elementar $dx dy dz$.

Se supusermos que o espalhamento do radioisótopo é homogêneo em cada profundidade, a concentração C depende apenas do valor de z .

Vem então:

$$dn = dz \cdot C(z) \iint f(x, y, z) dx dy \quad (2-4)$$

Em (2-4), $\iint f(x, y, z) dx dy = f(z)$

Então: $dn = f(z) \cdot C(z) dz$

A taxa de contagem medida na prática será:

$$n = \int_0^e f(z) \cdot C(z) dz \quad (2-5)$$

As incógnitas de (2-5) são a espessura e da nuvem no ponto medido, e a lei de repartição da concentração do radioisótopo em função da profundidade $C(z)$.

Realmente, a concentração é também função de x e y , pois para uma mesma profundidade existem variações de concentração nos diferentes pontos da área coberta pelo detector.

Têm-se então de (2-2):

$$N = \oiint_S nds = \iiint f(z) \cdot C(x, y, z) dx dy dz \quad (2-6)$$

Seja $\Gamma(z)$ a concentração na nuvem radioativa de espessura unitária, mergulhada à profundidade z :

$$\Gamma(z) = \iint C(x, y, z) dx dy$$

Podemos escrever (2-6), assim:

$$N = \int_0^E f(z) dz \left[\iint C(x, y, z) dx dy \right]$$

Vem então:

$$N = \int_0^E f(z) \cdot \Gamma(z) dz \quad (2-7)$$

que é a equação do balanço das taxas de contagem. Em (2-7) E é a espessura máxima da nuvem em toda a área co

berta pelo traçador. O nível $z = 0$ corresponde à superfície do leito.

(2-2) e (2-7) são formas diferentes de uma mesma equação. A forma (2-2) é a que corresponde à realidade física da detecção ou seja: a obtenção de uma taxa de contagem em um ponto determinado. Ela permite obter N através de integração gráfica das curvas de isocontagem. A forma (2-7) é a que se presta mais facilmente ao desenvolvimento matemático e que coloca em evidência os fenômenos reais do transporte, independentemente dos fenômenos de difusão (10).

2.3.1.1. DETERMINAÇÃO DA EQUAÇÃO PARA O CÁLCULO DE E .

Na maior parte dos casos práticos, a resposta de um detector $f(z)$ é da forma exponencial:

$$f(z) = f_0 e^{-\alpha z}$$

Levando este valor em (2-7), vem:

$$N = f_0 \int_0^E e^{-\alpha z} \cdot \Gamma(z) dz \quad (2-8)$$

Seja Γ_M a concentração uniforme equivalente, função de $\Gamma(z)$ e $f(z)$ que, repartida na mesma espessura E , daria a mesma taxa de contagem N que a repartição real $\Gamma(z)$:

$$\Gamma_M = \frac{\int_0^E f(z) \cdot \Gamma(z) dz}{\int_0^E f(z) dz}$$

Podemos então escrever:

$$N = f_0 \cdot \Gamma_M \int_0^E e^{-\alpha z} dz, \text{ cuja integração conduz a:}$$

$$N = \Gamma_M \frac{\delta_0}{\alpha} (1 - e^{-\alpha E}) \quad (2-9)$$

A função Γ_M é diferente da concentração média Γ_m , definida por:

$$\Gamma_m = \frac{\int_0^E \Gamma(z) dz}{\int_0^E dz} = \frac{A}{E}, \text{ onde } A \text{ é a atividade total injetada.}$$

$$\text{Seja } \beta = \frac{\Gamma_M}{\Gamma_m} = \frac{\Gamma_M \cdot E}{A}$$

Introduzindo o valor de β em (2-9), vem:

$$N = \frac{\beta A}{E} \cdot \frac{\delta_0}{\alpha} (1 - e^{-\alpha E}) \quad \text{ou}$$

$$\frac{1}{\beta} \cdot \frac{\alpha}{\delta_0} \cdot \frac{N}{A} \cdot E = 1 - e^{-\alpha E} \quad (2-10)$$

(2-10) é a equação utilizada para a determinação da espessura E . Nela:

α e δ_0 = coeficientes de calibração da sonda de terminados em laboratório.

A = atividade total injetada.

N = número total de contagens que é obtido pelas medidas feitas no campo.

β = fator que varia com E , segundo a distribuição de concentração em profundidade adotada.

Para se determinar β é necessário o conhecimento de $f(z)$ e da função $\Gamma(z)$, que dá a lei de distribuição do radioisótopo em profundidade. Pode-se determinar esta lei pela amostragem do fundo, através de sondagens. Quando a

amostragem não é possível, fazem-se hipóteses sobre a lei de distribuição do radioisótopo em profundidade.

No caso de Aracaju, baseado em trabalhos de vários autores, foi suposta uma lei parabólica de distribuição do traçador em função da profundidade (3) (10). O vértice dessa parábola fica situado a 1/3 da espessura máxima, a partir da superfície do leito. Esta lei tem a seguinte expressão, calculada em (3):

$$\Gamma = \Gamma_0 \left(1 + \frac{2z}{E} - \frac{3z^2}{E^2} \right)$$

onde Γ_0 é a concentração do traçador na superfície do leito.

Obtido o valor de Γ , calcula-se β através de:

$$\beta = \frac{\Gamma_M}{\Gamma_m} = \frac{\int_0^E f(z)\Gamma(z) dz}{\int_0^E f(z) dz} \cdot \frac{\int_0^E dz}{\int_0^E \Gamma(z) dz}, \text{ tendo em}$$

conta que a resposta da sonda é exponencial: $f(z) = f_0 e^{-\alpha z}$.

Este cálculo está feito na ref. (3), e tem por resultado:

$$\beta = \frac{\alpha}{1-e^{-\alpha E}} \left\{ \frac{1-e^{-\alpha E}}{\alpha} + \frac{2}{E\alpha^2} \left[1-e^{-\alpha E}(1+\alpha E) \right] - \frac{6}{E^2\alpha^3} + \frac{3e^{-\alpha E}}{E^2\alpha} \left[E^2 + \frac{2}{\alpha^2}(1+\alpha E) \right] \right\}$$

Para se calcular E através de (2-10), falta ainda calcular o valor de N .

N pode ser obtido através de integração gráfica das curvas de isocontagem obtidas das detecções. As detecções são feitas com o barco percorrendo linhas paralelas entre si, tão próximas quanto possível uma das outras (principalmente na zona de maior atividade), e procurando manter-se constante a velocidade do barco. A direção das paralelas é normal à direção de transporte do sedimento.

Sendo traçadas as curvas de isocontagem, calcula-se graficamente o valor de N da equação (2-2):

$$N = \iint_S nds$$

Pode-se obter também a velocidade média de transporte, através de:

$$V_m = \frac{1}{t} \cdot \frac{\iint_S x nds}{\iint_S nds}$$

Na prática, estas integrações gráficas são trabalhosas e sujeitas a numerosos erros.

Outro modo de se calcular N é através de integração sobre cada uma das trajetórias paralelas percorridas pelo barco. A integração sobre cada paralela se faz:

- a) - a partir dos dados do registrador, calculando-se a área entre a curva e o eixo dos tempos. Determina-se então o número de contagens N_t correspondente a cada paralela.
- b) a partir dos dados digitais, calculando-se

N_x através de uma integração numérica. Representando em um gráfico os valores de N_x em função da posição das trajetórias percorridas, é possível traçar outro gráfico conhecido como diagrama de transporte. A integração do diagrama de transporte fornece o valor de N procurado.

O centro de gravidade do diagrama de transporte se confunde com o centro de gravidade da nuvem radioativa. Calcula-se então, a partir de posições sucessivas do centro de gravidade, a velocidade média do transporte (V_m), supondo que são iguais a velocidade média de arraste e a velocidade do centro de massa das partículas marcadas (V_G).

Antes de traçar os diagramas de transporte, os valores de N_x devem sofrer as seguintes correções:

- a) - Eliminação do ruído de fundo ("background")
- b) - Eliminação de perdas de contagem por saturação.
- c) - Correção de valor levando em conta a variação de velocidade do barco.
- d) - Correção de valor devido ao não perpendicularismo entre uma dada trajetória e a direção geral do movimento (eixo de transporte).

Tendo o valor de N , a resolução de (2-10) permite calcular o valor de E , pois os outros termos são conhecidos, exceto β e E . Adotou-se para Aracáju os valores de N calculados pela análise digital.

$$\frac{1}{B} \cdot \frac{\alpha}{b_0} \cdot \frac{N}{A} \cdot E = 1 - e^{-\alpha E} \quad (2-10)$$

O método mais simples para a determinação de β e E , é a solução gráfica. Traça-se um gráfico da curva:

$$y_1 = 1 - e^{-\alpha E}$$

Pode-se utilizar esta curva para todas as detecções, pois ela não depende de valores experimentais.

Traça-se no mesmo gráfico a reta:

$$y_2 = \frac{1}{\beta} \cdot \frac{\alpha}{\beta_0} \cdot \frac{N}{A} \cdot E, \text{ adotando-se para } \beta \text{ um}$$

valor inicial igual a 1.15 (ref. 3). A interseção das duas curvas dá um primeiro valor de E. A partir dele determina-se um novo valor de β e recalcula-se E, valor que será utilizado no cálculo da vazão sólida. Aplicando-se então a equação (2-1): $Q = \rho_s LV_m E$, calcula-se a vazão sólida.

Para L toma-se em geral o valor de 1m, obtendo-se então a vazão sólida por metro linear perpendicular à direção de transporte.

2.4. RESULTADOS OBTIDOS NA EXPERIÊNCIA DE ARACAJU.

A experiência com traçadores radioativos realizada em Aracaju constou, como já foi dito anteriormente, de quatro detecções. A primeira detecção (30/01.71) foi uma detecção preliminar a fim de verificar se houvera um grande espalhamento do traçador após a injeção. Foi constatado que isto não ocorreu, percorrendo-se um quadri-látero que envolvia o ponto de injeção. Então esta detecção de localização foi interrompida.

A medida que o radioisótopo se espalhou por uma área maior, tornou-se impossível realizar uma detecção completa em um único dia. Assim, a terceira e quarta detecções demandaram mais de um dia de trabalho. Foi feita a suposição de que o deslocamento do material radioativo durante cada detecção foi desprezível.

Os resultados dos cálculos de N (contagem total)

e os valores dos parâmetros obtidos por calibração para as tres últimas deteções em Aracaju, estão resumidos no quadro abaixo.

QUADRO 2-1

| | 2 ^a deteção | 3 ^a deteção | 4 ^a deteção |
|---|------------------------|------------------------|------------------------|
| $N(\text{cps} \cdot \text{m}^2)$ | 5.3×10^7 | 9.97×10^7 | 1.69×10^8 |
| β | 1.175 | 1.139 | 1.073 |
| $\alpha(\text{cm}^{-1})$ | 0.175 | 0.175 | 0.175 |
| $f_0(\text{cps}/\mu\text{Ci}/\text{m}^2)$ | 44 | 44 | 44 |
| $A(\text{Ci})$ | 5.14 | 5.14 | 5.14 |

Com estes dados, através do método descrito no parágrafo anterior, foi possível determinar as seguintes espessuras médias para a nuvem radioativa:

$$E_1 = 28.2 \text{ cm} \quad (2^{\text{a}} \text{ deteção})$$

$$E_2 = 13.2 \text{ cm} \quad (3^{\text{a}} \text{ deteção})$$

$$E_3 = 4.6 \text{ cm} \quad (4^{\text{a}} \text{ deteção})$$

Sendo conhecidas as posições do centro de gravidade da nuvem radioativa nas diversas deteções e o intervalo de tempo entre elas, foi possível calcular as velocidades de deslocamento do centro de gravidade da nuvem radioativa entre cada uma das deteções. Como foi suposto anteriormente, esta velocidade corresponde à velocidade média de arraste dos sedimentos. Tem-se então:

$$V_1 = 10.9 \text{ m/dia} \quad (\text{entre a injeção e a } 2^{\text{a}} \text{ deteção})$$

$$V_2 = 10.2 \text{ m/dia} \quad (\text{entre a } 2^{\text{a}} \text{ e } 3^{\text{a}} \text{ deteções}).$$

$$V_3 = 1.2 \text{ m/dia (entre a 3}^{\text{a}} \text{ e 4}^{\text{a}} \text{ detecções)}$$

Com estes dados foi possível calcular as vazões sólidas de arraste, por metro de largura e por dia, ao longo da zona de arrebentação.

A aplicação da fórmula (2-1), considerando a massa específica do sedimento submerso $\rho_s = 1.6 \text{ ton/m}^3$, deu os seguintes resultados:

$$Q_1 = 5.03 \text{ ton/m.dia}$$

$$Q_2 = 2.19 \text{ ton/m.dia}$$

$$Q_3 = 0.10 \text{ ton/m.dia (desprezível).}$$

2.5 COMENTÁRIOS SOBRE OS RESULTADOS.

As vazões sólidas de arraste calculadas a partir da experiência com traçadores radioativos foram pequenas. Entre as duas últimas detecções, o movimento praticamente cessou.

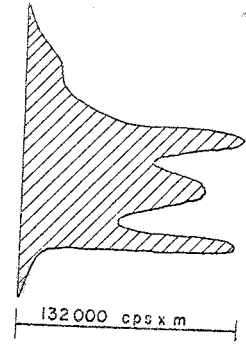
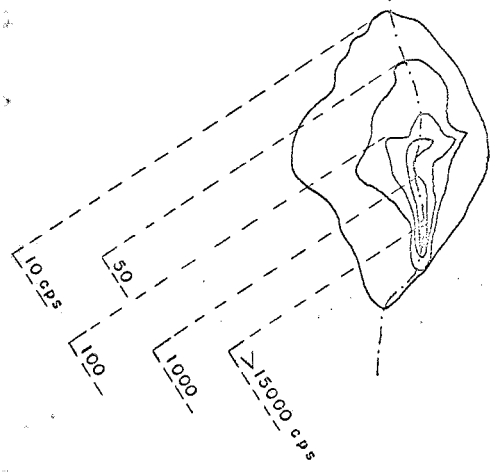
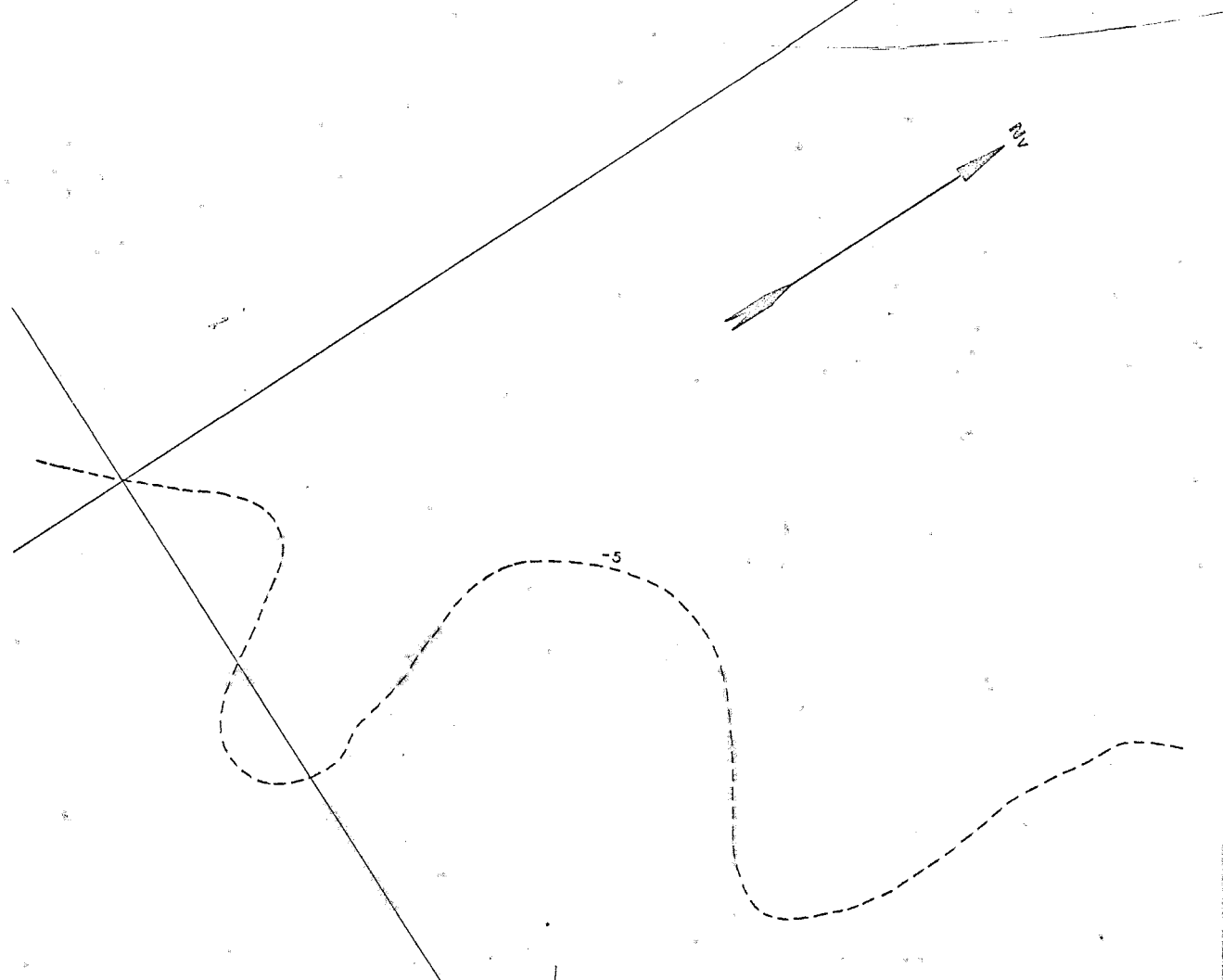
Observa-se pelas figuras 2-2 a 2-5, através do exame das curvas de isocontagem, que a direção principal do movimento é perpendicular à costa, não havendo praticamente, um transporte de sedimentos paralelamente à linha de costa, ao longo da zona de arrebentação.

O diagrama de transporte da última detecção mostra que a maior parte do material radioativo não chegou sequer a atingir a isóbata de 5 metros. Como foi lançado no ponto de injeção um material com a granulometria do material da barra (mais grosso que o material do local), o que houve foi uma busca da posição de equilíbrio do material no perfil de praia.

O fato de não haver transporte de sedimentos paralelamente à costa, ao longo da zona de arrebentação per

PRAIA DE SANTA ISABEL

37°0'



10°56'

**CURVAS DE ISOCONTAGEM
DIAGRAMA DE TRANSPORTE DO SEDIMENTO**

Data: 30/01/71

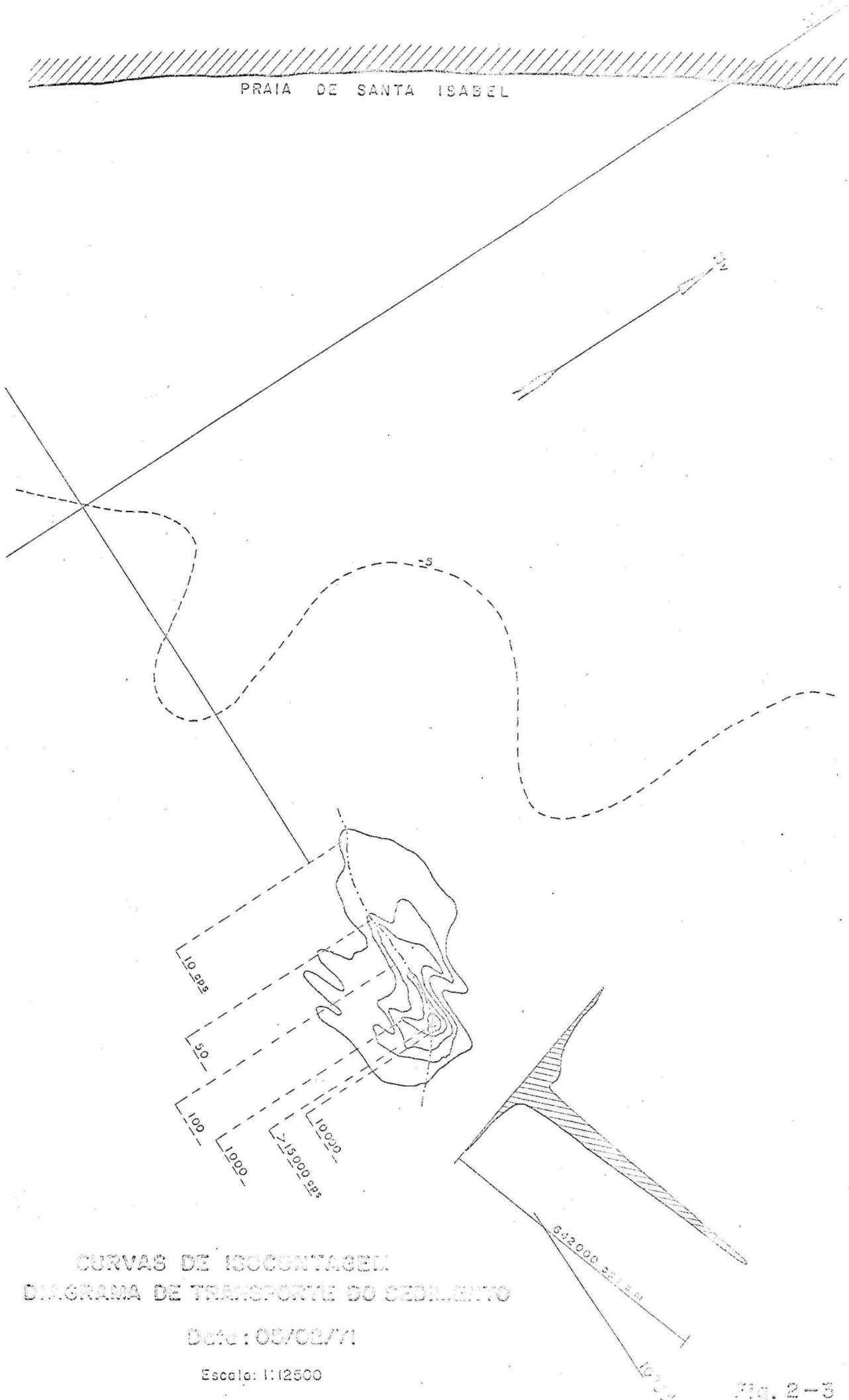
Escala: 1:12500

Deteção de Localização

Fig. 2 - 2



PRAIA DE SANTA ISABEL



CURVAS DE ISOCONTAGEM
DIAGRAMA DE TRANSPORTE DO SEDIMENTO

Data: 05/02/71

Escala: 1:12500

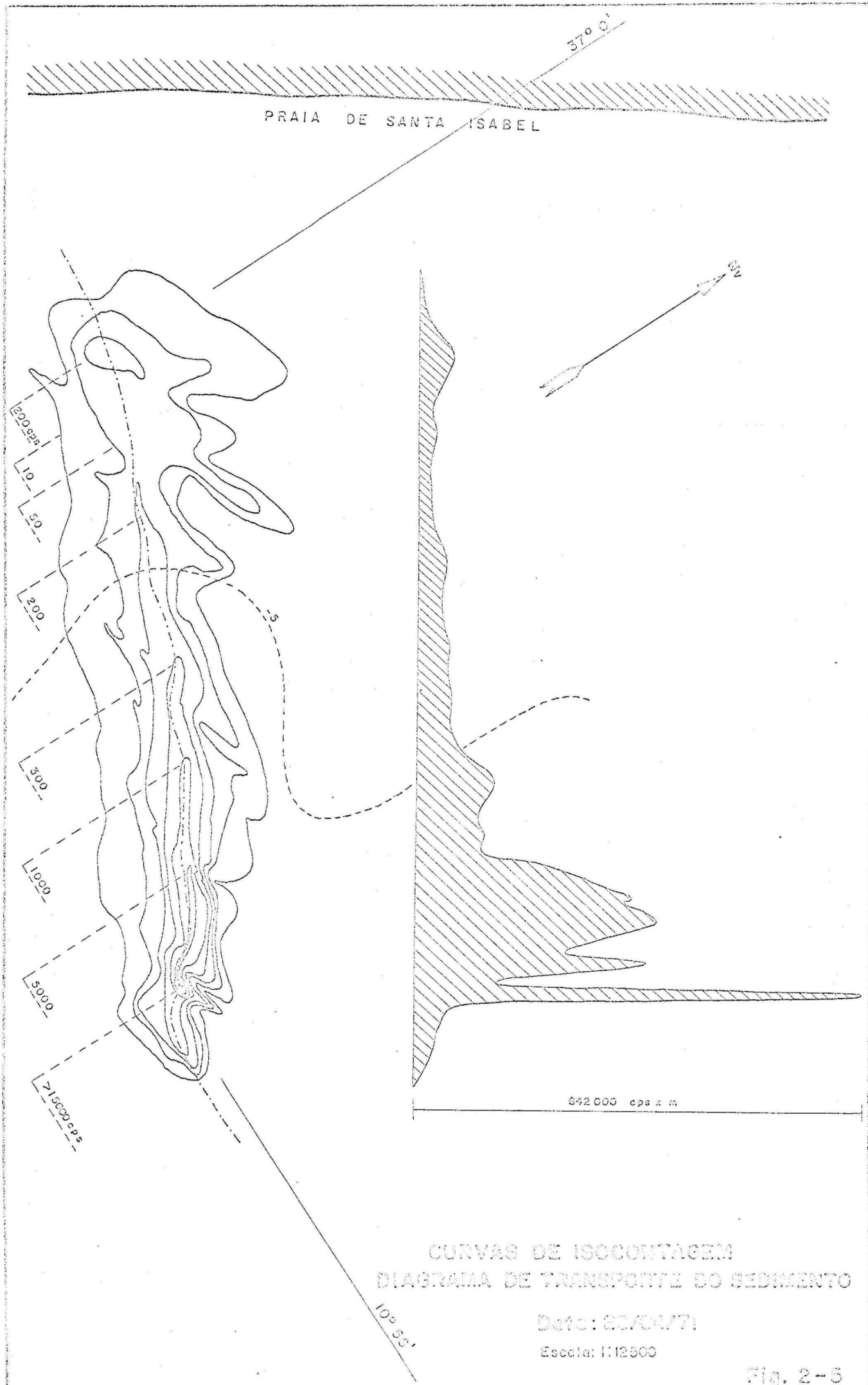
Fig. 2-3



CURVAS DE ISOCONTAGEM
 DIAGRAMA DE TRANSPORTE DO SEDIMENTO

Data: 10/03/71

Escala: 1:12500



CURVAS DE ISOCONTAGEM
 DIAGRAMA DE TRANSPORTE DO SEDIMENTO

Data: 22/04/71

Escala: 1:12500

Fig. 2-5

mite concluir, por exclusão, que a areia que alimenta a formação da barra se movimenta sobretudo, entre a arrebentação e a costa (transporte litorâneo).

Na zona de arrebentação as condições de navegação são bastante precárias. Seria extremamente difícil, senão impossível, a realização de uma experiência com traçadores radioativos nesta zona. Além do mais, predomina na zona de arrebentação o transporte de material em suspensão pois, as ondas ao arrebentar colocam em suspensão uma grande quantidade de areia.

Os equipamentos de detecção radioativa de que se dispunha eram adequados ao rastreamento do material que se movimenta por arraste.

Não estão ainda suficientemente desenvolvidos dispositivos de detecção radioativa para a determinação quantitativa do transporte de sedimentos em suspensão.

Em vista dos motivos citados e tendo em conta que já se possuíam registros e observações de direções de ondas de todo um ano para Aracaju, resolveu-se estimar o transporte litorâneo anual através de métodos de cálculo para tal fim estabelecidos no campo da Engenharia de Costas. É o que será visto nos capítulos a seguir.

AS FÓRMULAS PARA O CÁLCULO DO TRANSPORTE
LITORÂNEO.

3.1. CONSIDERAÇÕES PRÉVIAS.

Transporte litorâneo é o transporte de sedimentos que ocorre entre a linha de arrebentação e a costa, paralelamente à linha de costa, tendo como principal agente responsável a corrente litorânea, gerada pela arrebentação oblíqua das ondas. O transporte litorâneo é um dos fatores principais a serem considerados nos problemas de Engenharia de Costas, porque a quantidade de sedimentos posta em jogo na zona à terra da arrebentação é geralmente muito grande, e é nesta zona que se constroem a maioria das obras marítimas costeiras (molhes, espigões, etc). Por outro lado, o transporte litorâneo acarreta a formação de barras em frente a embocaduras, através das quais pode ter-se de dragar canais de navegação.

Podemos conceituar a capacidade de transporte litorâneo de uma determinada onda como sendo o peso ou volume de sedimentos que esta onda transporta, na unidade de tempo, paralelamente à costa, à terra da linha de arrebentação.

Intensidade do transporte litorâneo de uma onda é o peso ou volume de sedimentos que esta onda transporta paralelamente à costa, à terra da linha de arrebentação, durante um intervalo de tempo.

Já foi visto no capítulo 2 que a experiência com traçadores radioativos demonstrou, por exclusão, que o transporte litorâneo é o principal mecanismo de transporte de areia, em direção à barra do rio Sergipe.

Comentou-se também a respeito das dificuldades que se apresentariam para a avaliação do transporte lito-

râneo, através do emprego de traçadores radioativos na zo
na de arrebenção.

Contornaremos estas dificuldades, avaliando a in
tensidade do transporte litorâneo que chega ao canal dra
gado através da barra do rio Sergipe, pela aplicação de
fórmulas que permitem calcular esta intensidade em função
das características das ondas, da praia e dos sedimentos.

3.2. RESUMO DAS FÓRMULAS EXISTENTES PARA O CÁLCULO DE TRANSPORTE LITORÂNEO E SUAS LIMITAÇÕES.

Existem diversas fórmulas para o cálculo da capa-
cidade do transporte litorâneo das ondas. A maioria delas
foi estabelecida através de estudos em laboratórios, devi-
do às dificuldades técnicas e materiais que apresentam es-
ses estudos na natureza. Todas elas, à exceção de duas,
são fórmulas empíricas que não procuram elucidar o mecanis-
mo físico do transporte. Elas procuram ligar diretamente
a capacidade do transporte litorâneo com as características
das ondas atuantes.

A primeira fórmula que apareceu foi estabelecida
no Waterloopkundig Laboratorium (Delft, Países Baixos), na
fase inicial do primeiro estudo em modelo para a embocadu-
ra de Abidjan, na Costa do Marfim. Ela estabelece a pro-
porcionalidade entre a capacidade de transporte de uma de-
terminada onda e sua energia em água profunda, para um da-
do ângulo de ataque. Leva em conta a direção de propaga-
ção da onda em profundidade infinita, através de $\sin \alpha'_0$,
onde α'_0 é o ângulo formado pela direção de propagação das
ondas em profundidade infinita, com a normal à praia.

Tem-se então:

$$q_s = k H_0^2 L_0 \sin \alpha'_0 \quad (3-1)$$

O coeficiente k englobaria todos os outros fatores não expressos na fórmula. Na época supunha-se que os principais fossem: o material da praia e as características de forma em planta e em perfil da mesma (17).

Constatou-se experimentalmente, que a capacidade máxima de transporte de uma onda de determinada energia, não se verifica para $\alpha'_0 = 90^\circ$, como indica a função seno da fórmula de Delft. Foi verificado que se obtém q_s máximo para α'_0 compreendido entre 50° e 65° . Foram propostas então, por diversos pesquisadores, outras formas para a função de direção das ondas, tais como:

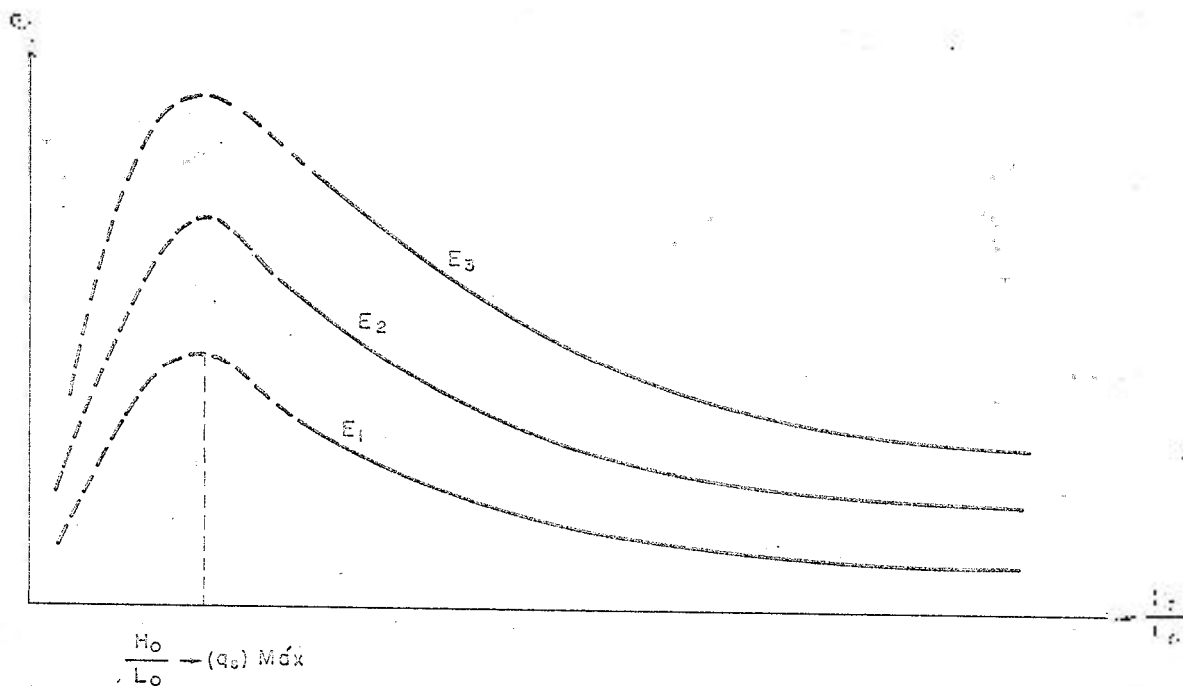
$\text{sen } \frac{1}{4} \alpha_0$; $\text{sen } \alpha_0 \cdot \cos \alpha_0$. Depois disto começou-se a procurar explicitar os fatores englobados no coeficiente k .

Em meados da década de 50, George Vincent, através de ensaios de laboratório em Grenoble (França), mostrou que também a esbeltez da onda H_0/L_0 , que é um fator de forma, influencia na capacidade de transporte q_s .

A posição, a maneira pela qual a onda arrebenta e a velocidade da corrente litorânea, são fatores que influenciam muito o transporte litorâneo. Esses fatores são funções da esbeltez da onda.

Dos ensaios realizados por Vincent e Saint Marc resultaram curvas (Fig. 3-1), que traduzem a variação da capacidade de transporte das ondas com a esbeltez, para a mesma energia e mesma incidência, e para um mesmo material de fundo.

Experiências em modelos reduzidos mostram uma diminuição da capacidade de transporte à medida que aumenta a esbeltez das ondas, para incidência e energia constantes. Indicam também uma tendência da capacidade de transporte a se anular quando a altura das ondas, e portanto a



INFLUÊNCIA DA ESBELTEZ SOBRE A CAPACIDADE DE TRANSPORTE PARA DIFERENTES ENERGIAS E UM MESMO ÂNGULO DE INCIDÊNCIA.

Extraído da Ref. (17)

esbeltez, tende para zero. Portanto as curvas encontradas por G. Vincent retratam fielmente a influência da esbeltez na capacidade de transporte. Por elas se vê que a capacidade máxima de transporte ocorre para um valor ainda baixo da esbeltez.

J. Larras tentou exprimir analiticamente a influência da esbeltez, e propôs a seguinte expressão para a capacidade de transporte:

$$q_s = k \frac{L_0}{H_0} H_0^2 T \operatorname{sen} \frac{7}{4} \alpha_0 \quad (3-2)$$

O fator k depende apenas das características (densidade e granulometria) do material da praia. Por esta fórmula a capacidade de transporte, para uma dada energia e um dado ângulo de ataque, é inversamente proporcional à esbeltez. Ela não leva em conta a influência da esbeltez para valores menores do que aquele que dá o máximo da capacidade de transporte.

Em seu trabalho, Motta (17) fez um estudo sistemático sobre a proporcionalidade entre as capacidades de transporte obtidas em uma série de ensaios, e a energia das ondas em água profunda, para um mesmo ângulo de ataque. Pesquisou também a proporcionalidade entre capacidade de transporte e a influência conjunta da esbeltez e da energia, para uma mesma incidência.

Estes estudos foram feitos, em abril de 1964, com o objetivo de ver se as fórmulas de Delft e a de Larras, retratavam bem os resultados das medições efetuadas nos ensaios do IPI. Constatou-se que a fórmula de Delft são dá previsões razoáveis para valores de esbeltez bastante elevados, para os quais a proporcionalidade entre a capacidade de transporte e a energia da onda em água profunda parece independen da esbeltez, conforme o andamento das curvas da

Fig. 3-1.

Nos ensaios para o modelo de Abidjan (17) as ondas possuíam valores altos de esbeltez, e os holandeses realmente constataram a proporcionalidade entre as capacidades de transporte medidas e os quadrados das alturas das ondas, para um dado período. Porém tal proporcionalidade é, em geral, ilusória, e apenas se verifica aproximadamente para a estreita gama de valores elevados de esbeltez, para a qual a fórmula foi estabelecida.

As previsões segundo a fórmula de Larras foram melhores para ensaios com valores mais baixos de esbeltez, em que falharam as previsões pela fórmula de Delft. Observou-se porém, uma certa tendência das previsões da fórmula de Larras a piorar, à medida que diminui a esbeltez. De fato, a fórmula de Larras leva sobre a de Delft a vantagem de incluir a esbeltez. Porém, ela o faz de um modo muito esquemático.

Em virtude da caracterização defeituosa da influência da esbeltez, a aplicação da fórmula de Larras a ondas na natureza deve ser encarada com reservas (17). Também a fórmula de Delft não deve ser aplicada, se as características das ondas consideradas tiverem baixos valores de esbeltez, ou se os valores da esbeltez se estenderem por uma ampla faixa.

Caldwell (8) estabeleceu uma fórmula de transporte litorâneo a partir de medições na natureza, relacionando a energia transmitida e a vazão sólida, para um dado material. A sua expressão é:

$$q_s = 210 P_{tl}^{0.8} \quad (3-3), \text{ onde:}$$

q_s = transporte litorâneo em jardas cúbicas por dia.

P_{tl} = energia transmitida paralelamente à praia em milhões de libras - pē por dia, por pē de comprimento de praia (potência transmitida).

Esta é uma fórmula empírica, não homogênea, cujo coeficiente tem as dimensões: $M^{-0.8} L^{2.2} T^{1.4}$. Ela não leva em conta a influência da esbeltez que, como foi visto, é um parâmetro importante no cálculo do transporte litorâneo, e nem a influência da rugosidade do fundo, de declividade da praia e diâmetro de grãos. Porém, a fórmula de Caldwell tem a particularidade de ter o coeficiente de proporcionalidade entre a vazão sólida e a energia transmitida, ajustado a partir de medições na natureza.

Todas as fórmulas vistas anteriormente são empíricas, e não procuram elucidar o mecanismo físico do transporte litorâneo.

Para elucidar o mecanismo físico tem-se que considerar os modos e os agentes responsáveis pelo transporte litorâneo.

A primeira fórmula para o cálculo do transporte litorâneo que procura elucidar o mecanismo físico do transporte, é devida a Castanho (9). A fórmula de Castanho, como as vistas anteriormente, é do tipo que relaciona o volume transportado na unidade de tempo com a energia transmitida paralelamente à costa, devido à arrebentação oblíqua das ondas. Entretanto, a fórmula de Castanho leva em conta, de uma maneira correta, a influência da esbeltez das ondas, que só era considerada na fórmula de Larras, assim mesmo de um modo muito esquemático. Ela também leva em conta a influência da declividade da praia, da rugosidade do fundo e do peso específico do material, fatores que não eram considerados explicitamente nas fórmulas ante

riormente vistas.

Bijker (4) (5) (6) (7), estabeleceu uma fórmula para o cálculo do transporte litorâneo que tem a originalidade de considerar:

- a)- O aumento acarretado pela presença das ondas nas tensões tangenciais produzidas pelas correntes no fundo.
- b)- Quantificar este aumento e assim estabelecer a capacidade de transporte da combinação de onda e corrente.

Bijker calcula separadamente os transportes por arraste e em suspensão.

EXPOSIÇÃO DA FÓRMULA DE CASTANHO

4.1. CONSIDERAÇÕES PRÉVIAS.

A fórmula estabelecida por Castanho para o cálculo do transporte litorâneo, é do tipo que relaciona este transporte com a energia transmitida paralelamente à costa, devido à arrebentação oblíqua das ondas. As fórmulas deste tipo, estabelecidas anteriormente à de Castanho (Delft, Larras, Caldwell), procuram ligar diretamente o volume de material transportado com as características das ondas atuantes.

O mérito principal do trabalho de Castanho (9) é que este autor em sua linha de pesquisa do problema do transporte litorâneo, estuda em primeiro lugar e com profundidade, as características dos agentes transportadores (corrente litorânea e as ondas) e, a seguir, o transporte de sedimentos a partir daqueles agentes.

Como resultado Castanho estabeleceu uma fórmula que leva em conta, não só a energia transmitida paralelamente à costa mas também, entre outros fatores, explícita:

- a)- esbeltez das ondas, de um modo correto, ao contrário da fórmula de Larras.
- b)- as características geométricas da praia (rugosidade do fundo, declividade da praia).
- c)- peso específico do sedimento.

A fórmula de Castanho, como todas as outras vistas anteriormente, foi estabelecida para ondas monocromáticas.

4.2 DESENVOLVIMENTO DA FÓRMULA DO TRANSPORTE LITORÂNEO COM BASE NAS CARACTERÍSTICAS DOS AGENTES TRANSPORTADORES.

4.2.1 TRANSPORTE POR ARRASTE

4.2.1.1. HIPÓTESES

I. A corrente litorânea gerada pela arrebentação oblíqua das ondas transporta uma camada de material junto ao fundo de um modo semelhante ao que acontece num rio ou canal.

II. Ela exerce sobre a unidade de superfície do fundo uma tensão tangencial $\tau = K\rho v^2$, que é responsável pelo movimento dos sedimentos.

III. Admite-se, no caso de ser grande a concentração dos sedimentos que se movem junto ao fundo, que todo o esforço tangencial é absorvido pelo atrito de grãos sobre grãos. Isto equivale a considerar nula a tensão tangencial residual τ_0 , exercida diretamente pelo escoamento sobre a superfície do fundo.

4.2.1.2 DESENVOLVIMENTO.

Na fig. (4-1), m_s é a massa de sedimentos que se move sobre a unidade de área do fundo. O peso desta massa sob a água, é:

$$\gamma_s \cdot m_s = \frac{\rho_s - \rho}{\rho_s} \cdot g \cdot m_s$$

O peso $\gamma_s \cdot m_s$ desloca-se sobre o fundo como se fosse um corpo sólido, formado de grãos deslocando-se sobre outros grãos. Neste movimento, o coeficiente de atrito é $\text{tg}\theta$, onde θ é o ângulo de talude natural do sedimento submerso.

A resistência oposta ao movimento é:

$$T_s = m_s \cdot \gamma_s \cdot \text{tg}\theta$$

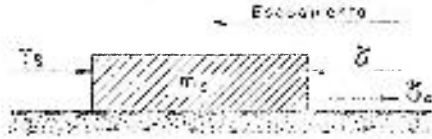


Fig. 4-1

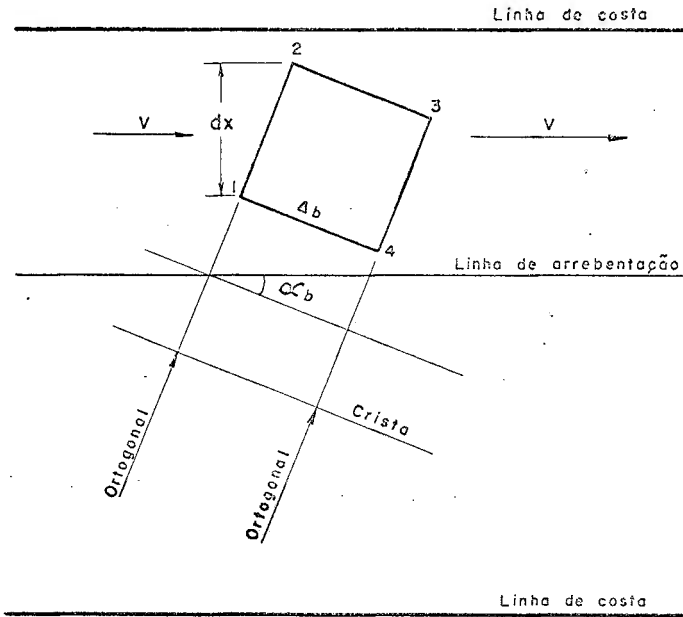


Fig. 4-2

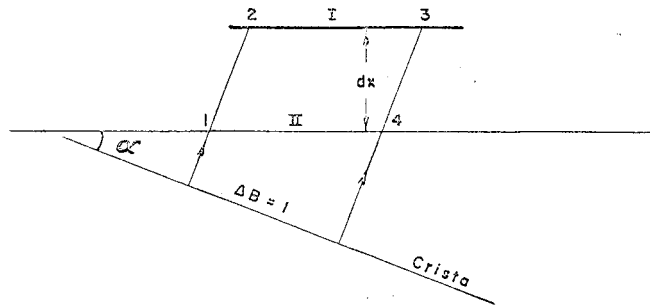


Fig. 4-3

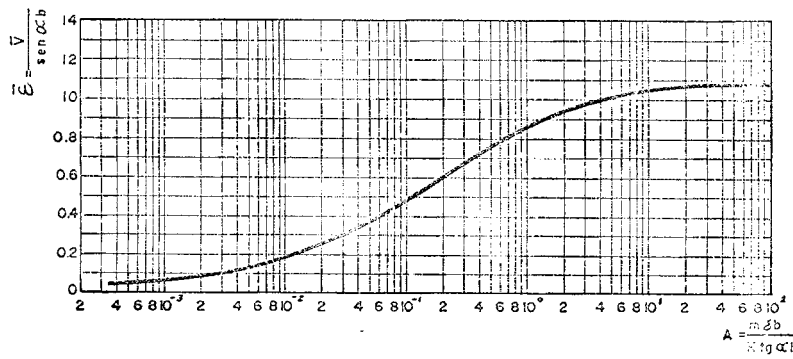


Fig. 4-4 — VELOCIDADE MÉDIA DA CORRENTE LITORÂNEA. (ARREBENTACÃO PROGRESSIVA)

Como, por hipótese, τ_0 é nulo, pode-se escrever para a condição de equilíbrio:

$$\tau = T_s \text{ ou } K\rho v^2 = m_s \cdot \gamma_s \cdot \text{tg}\theta$$

Sendo \bar{u}_s a velocidade média do transporte de sedimentos, vem:

$$P_c = T_s \cdot \bar{u}_s = m_s \cdot \gamma_s \cdot \text{tg}\theta \cdot \bar{u}_s$$

ou seja: a potência consumida no transporte de sedimentos é o produto da força T_s pela velocidade \bar{u}_s .

$m_s \cdot \bar{u}_s = q_s$ é a vazão sólida em massa por unidade de largura.

Então:
$$P_c = \gamma_s \cdot q_s \cdot \text{tg}\theta \text{ ou } q_s = \frac{P_c}{\gamma_s \text{tg}\theta} \quad (4-1)$$

Em (4-1) q_s é a vazão sólida expressa em unidades de massa por unidade de tempo e por unidade de largura.

Se o fundo fosse fixo, toda a energia dissipada (E_d) se transformaria em calor, mas como o fundo é móvel, uma parte da energia dissipada é utilizada no transporte de sedimentos.

Então: $P_c = \eta \cdot P_d$, onde η é a fração da energia dissipada, que é consumida no transporte do material, e depende das características do sedimento.

No caso de transporte sólido em rios, a energia disponível é a energia da própria corrente, a qual se reduz por efeito de atrito, conforme a expressão:

$$\Delta E = \tau \cdot \bar{u} = K\rho \bar{u}^2 \cdot \bar{u} = K\rho \bar{u}^3$$

Então toda a energia disponível se dissipa por efeito de atrito.

No caso de transporte sólido devido à corrente litorânea e às ondas, tem-se o seguinte:

a energia da corrente litorânea mantém-se constante, porque o fundo é horizontal no sentido do escoamento, e a corrente litorânea retira da onda incidente a fração de energia necessária para compensar as perdas por atrito (9).

Sendo $E_b \cdot \text{sen} \alpha_b$ a energia disponível (energia transmitida paralelamente à costa devido à arrebentação oblíqua das ondas), verifica-se que a energia dissipada não é a totalidade da energia disponível e sim uma parcela (S) desta.

$$S = \frac{P_d}{P_{tl}}$$

$P_{tl} = \frac{E_b}{T} \cdot \text{sen} \alpha_b \cdot \text{cos} \alpha_b$ (energia transmitida paralelamente à costa, na unidade de tempo, por unidade de comprimento da praia).

Em vista disto, a potência consumida no transporte de sedimentos é:

$$P_c = \eta \cdot P_d = \eta \cdot S \cdot P_{tl} \quad (4-2)$$

Levando (4-2) em (4-1), vem:

$$q_{sa} = \frac{\eta \cdot S \cdot P_{tl}}{\gamma_s \cdot t g \theta} = A_s \cdot S \cdot \frac{E_b \cdot \text{sen} \alpha_b \cdot \text{cos} \alpha_b}{T} \quad (4-3)$$

$A_s = \frac{\eta}{\gamma_s \cdot t g \theta}$ é fundamentalmente função das característi-

cas do material da praia.

A equação (4-3) é a fórmula para o cálculo do transporte por arraste.

4.2.2 TRANSPORTE EM SUSPENSÃO.

A arrebentação das ondas, principalmente as de grande altura, coloca em suspensão uma grande quantidade de sedimentos, a qual é transportada pela corrente litorânea, mesmo que esta tenha uma baixa velocidade.

Castanho (9), supõe o seguinte:

1. A quantidade de sedimentos colocados em suspensão, por unidade de comprimento da crista de uma onda que arrebenta é proporcional (à semelhança do que ocorre numa corrente unidirecional), à quarta potência da velocidade, neste caso a velocidade orbital:

$$q = A_1 \cdot u_m^4$$

2. A velocidade (u_m) é proporcional à celeridade da onda na arrebentação:

$$q = A_1 \cdot A_1' \cdot c_b^4 = A_2 \cdot c_b^4$$

Então, a quantidade de sedimentos em suspensão, por unidade de comprimento de praia, é:

$$q = A_2 c_b^4 \cos \alpha_b$$

Supondo que o material em suspensão se desloca com a velocidade da corrente litorânea (v), a vazão sólida em suspensão será:

$$q_{ss} = A_2 \cdot c_b^4 \cos \alpha_b \cdot v \quad (4-4)$$

A equação (4-4) pode ser utilizada para o cálculo do transporte em suspensão, mas ela exige o conhecimento do coeficiente A_2 , o qual provavelmente é uma constante para cada tipo de praia e de material (9).

Seu valor por enquanto é desconhecido, pois é extremamente difícil medir na natureza a quantidade de material colocada em suspensão pela arrebentação das ondas. Por outro lado, os modelos reduzidos não reproduzem perfeitamente o fenômeno da suspensão de material.

4.2.3. TRANSPORTE TOTAL.

O transporte litorâneo total é a soma dos transportes, por arraste e em suspensão:

$$q_s = q_{sa} + q_{ss}$$

Para o cálculo do transporte sólido total, Castanho (9) faz as seguintes aproximações:

1. Admite que a corrente litorânea não necessita dispende energia para colocar os sedimentos em movimento. Esta tarefa é realizada pela própria onda, cujas velocidades orbitais na arrebentação são bem maiores que a velocidade da corrente litorânea.

Em decorrência disso, toda a potência dissipada é aproveitada no transporte de sedimentos.

$$\text{Então: } \eta = 1 \quad \text{e} \quad P_c = P_d = S \cdot P_{tl}$$

2. Considera que a concentração de sedimentos em movimento é muito grande, e que eles constituem uma cama

da única, desde o fundo imóvel até os grãos em suspensão. É o peso desta camada que provoca o atrito no fundo.

Então, com estas aproximações, Castanho considera que todo o material está incluído nesta camada única, sendo ele transportado por arraste, e que toda a potência dissipada é gasta nesse transporte.

Com a segunda aproximação, contorna-se o problema da determinação do coeficiente. A₂ da equação (4-4), para o cálculo do transporte em suspensão.

Portanto, a fórmula para o cálculo do transporte litorâneo total (arraste + suspensão), é:

$$q_s = \frac{S \cdot P_{tl}}{\gamma_s \cdot \text{tg} \theta} \quad (4-5)$$

onde:

q_s = vazão sólida entre a arrebentação e a costa (kg s^{-1})

P_{tl} = componente paralela à costa, por metro de extensão de praia, da potência transmitida devido à arrebentação de ondas oblíquas à linha de costa ($\text{Joule s}^{-1} \text{m}^{-1}$)

$$\gamma_s = \frac{\rho_s - \rho}{\rho_s} \cdot g, \text{ é o peso específico do sedimento}$$

submerso.

θ = ângulo de talude natural do sedimento submerso.

S = relação entre a energia dissipada por efeito de atrito no fundo (E_d), e a energia transmitida pela onda ao arrebentar (energia incidente) (E_{bi}).

$$S = f(\epsilon, A)$$

$$a) - \quad \epsilon = \frac{v}{c \cdot \text{sen } \alpha} \quad (4-5-1), \text{ onde: } v = \text{velocidade da}$$

corrente litorânea; c = celeridade da onda, α = ângulo de ataque da onda (ângulo entre a direção da crista e a linha de costa).

$$b) - \quad A = \frac{m \delta}{K \cdot \text{tg } \alpha} \quad (4-5-2), \text{ onde: } m = \text{declividade da}$$

praia;

δ = esbeltez da onda ($\frac{H}{L}$); K = coeficiente de atrito (função da rugosidade do fundo).

4.3 DETERMINAÇÃO DO PARÂMETRO S.

A determinação do parâmetro S exige o conhecimento da velocidade da corrente litorânea e do balanço de energias, na zona de arrebenção.

4.3.1. VELOCIDADE DA CORRENTE LITORÃNEA.

Em (9), a determinação da velocidade da corrente litorânea a partir das características da onda incidente e das características geométricas e hidráulicas da praia, é feita empregando-se o método das quantidades de movimento, baseado no teorema de Euler. Esse método é adequado ao caso de praias sem barras pronunciadas e com batimetria mais ou menos regular (9); tal é o caso da praia de Aracaju.

Pelo fato de serem bastante complicados os fenômenos que se passam na zona entre a arrebenção e a costa, foram feitas as seguintes hipóteses simplificadoras (9) para a aplicação do método:

1. Existe uma corrente permanente paralela à praia.

2. Ao volume de água transportado pela corrente se junta, periodicamente, o volume de água transportado pela onda, o qual, devido à continuidade, volta novamente para o largo.

Esquemáticamente, o que se passa é o seguinte: Na figura (4-2), o prisma 1-2-3-4 é orientado na direção de propagação das ondas. Passa através desse prisma uma corrente litorânea já estabilizada, provocada pela arrebentação oblíqua das ondas, cuja velocidade v se pretende calcular.

Façamos o balanço dos volumes e das quantidades de movimento que entram e saem do referido prisma, durante o intervalo de tempo igual ao período da onda:

- a)- O volume de água e a quantidade de movimento associada que entram pela face 1-2 são iguais, respectivamente, ao volume de água e a quantidade de movimento que saem pela face 3-4 pois, por hipótese, já existe uma corrente litorânea estabilizada. Portanto, é nulo o saldo dos volumes e quantidades de movimento com relação a estas duas faces.
- b)- A onda incidente introduz pela face 1-4 um volume q_1 possuindo uma quantidade de movimento M_1 . Pela face 2-3 sai um volume q_2 associado a uma quantidade de movimento M_2 . Tem-se então o saldo $(M_1 - M_2)$, correspondente à passagem da onda.
- c)- Esta água que passa por 1-4 e 2-3, na direção de propagação da onda, deve retornar. Castanho (9) admite que no caso de praias sem barras pronunciadas e com batimétricas

sensivelmente paralelas, o retorno se faz uniformemente através de toda a linha de ar rebentação e não através de "rip-currents". Então, pela face 2-3 entra um volume q_3 possuindo uma quantidade de movimento M_3 e, pela face 1-4 sai q_4 com uma quantidade de movimento M_4 . Tem-se então um saldo $(M_3 - M_4)$, devido ao retorno.

d) - Portanto, considerando-se apenas as componentes das quantidades de movimento paralelas à praia, a variação média durante um período, \bar{e} :

$$\frac{1}{T} \left[(M_1 - M_2) + (M_3 - M_4) \right] \text{sen} \alpha \quad (4-6)$$

Segundo o teorema de Euler, esta variação média \bar{e} é igual à resultante das forças exteriores atuando sobre o volume considerado.

e) - Considera-se como força exterior, apenas a força de atrito sobre o fundo, pois a componente paralela à praia do peso de água contida no volume \bar{e} nula (9).

Admitindo-se o regime como sendo turbulento, a força de atrito por unidade de área do fundo é proporcional ao quadrado da velocidade da corrente litorânea (v^2).

A força total sobre o elemento $\Delta b \cdot dx$, \bar{e} :

$$F = K \rho v^2 \Delta b \cdot dx \quad (4-7)$$

onde:

K = coeficiente de atrito (função da rugosidade do fundo). É o mesmo K da eq. (4-5-2).

Pelo teorema de Euler, pode-se igualar (4-6) e

$$\text{ou } v = \left\{ \frac{1}{KT\rho\Delta b \cdot dx} \left[(M_1 - M_2) + (M_3 - M_4) \right] \right\}^{1/2} \quad (4-9)$$

É possível então, calcular a velocidade da corrente litorânea, desde que se determinem os valores das quantidades de movimento \underline{M} e o valor do coeficiente K .

A determinação de M_1 , M_2 , M_3 e M_4 é feita para o caso da arrebentação progressiva e da arrebentação mergulhante, através de considerações de: - quantidade de movimento transmitida pelas ondas; os volumes transportados pelas ondas e a celeridade média em cada seção; quantidade de movimento libertada e quantidade de movimento perdida. Isto pode ser visto em detalhes na ref. (9).

A aplicação do método das quantidades de movimento conduz à seguinte expressão geral, em grandezas adimensionais:

$$\frac{1}{T} (C_p dQ \Delta B \text{sen} \alpha - dQ \Delta B \cdot V) = KV^2 \frac{dx}{\text{cos} \alpha} \Delta B \text{ ou:}$$

$$C_p \text{sen} \alpha - V = \frac{KTU^2}{\text{cos} \alpha} \frac{dx}{dQ} \quad (4-10)$$

Na definição das grandezas adimensionais, toma-se a profundidade d_i (onde $\gamma_i = \frac{H_i}{d_i} = 0.78$) para unidade de grandezas lineares, e a celeridade da onda $c_i = \sqrt{gd_i}$ para unidade de velocidades (9).

Então, em grandezas adimensionais, tem-se:

$$D = \frac{d}{d_i} \quad (\text{profundidade})$$

$$C = \frac{c}{\sqrt{gd_i}} \quad (\text{celeridade da onda})$$

$$V = \frac{v}{\sqrt{gd_i}} \quad (\text{velocidade da corrente litorânea})$$

$$Q = \frac{q}{d_i} \quad (\text{volume por unidade de comprimento de crista})$$

$$T = \tau \frac{\sqrt{gd_i}}{d_i} \quad (\text{tempo}).$$

Fazendo $a = \frac{1}{KT}$, $\frac{dx}{dQ} = -\frac{1}{b}$ e dividindo a expressão (4-10) por $\text{sen} \alpha$, vem:

$$C_p - \frac{V}{\text{sen} \alpha} = -\frac{\text{tg} \alpha}{ab} \cdot \frac{V^2}{\text{sen}^2 \alpha} \quad (4-11)$$

Fazendo $\epsilon = \frac{V}{\text{sen} \alpha}$ e $-\frac{\text{tg} \alpha}{ab} = \frac{1}{\beta}$, vem:

$$C_p - \epsilon = \frac{1}{\beta} \cdot \epsilon^2 \quad \text{ou:}$$

$$\beta = \frac{\epsilon^2}{C_p - \epsilon} \quad (4-12)$$

Através de (4-12) conclui-se (9) que para um ângulo de ataque dado, a velocidade da corrente litorânea

$$v \left(\epsilon = \frac{V}{\text{sen} \alpha} = \frac{v}{C_p \text{sen} \alpha} \right) \text{ num ponto}$$

qualquer entre a arrebentação e a costa, é função somente da celeridade da onda neste ponto e do parâmetro adimensional

onal B , que engloba as características hidráulicas e geométricas da praia.

De fato: $B = -\frac{ab}{\text{tg}\alpha}$; $a = \frac{1}{KT}$ (característico da geometria da praia - K - , e da onda - T); $b = -\frac{dQ}{dx}$ representa a taxa de variação do volume transmitido sendo, portanto, característica da propagação do movimento.

4.3.2. BALANÇO DE ENERGIAS.

Considere-se na figura (4-3) o paralelogramo 1-2-3-4. Façamos o balanço de energias no intervalo de tempo de um período.

Entra através da seção II, segundo a direção de propagação da onda, a energia E_{II} . Pela seção I sai do paralelogramo uma quantidade de energia E_I . Liberta-se portanto no paralelogramo, $dE = E_{II} - E_I$, associada a um volume de água dQ .

A componente paralela à praia da energia libertada é $dE \cdot \text{sen}\alpha$. O volume libertado sai com uma velocidade, cuja componente paralela à linha de costa é V , e dotado de uma energia cinética:

$$dE_c = \frac{1}{2} dQV^2 \quad (4-13-1)$$

Do mesmo modo que para a dedução das quantidades de movimento, é nulo o saldo de volumes e energias em relação às faces 1-2 e 3-4.

Admitindo-se que a força de atrito no fundo, por unidade de área, é proporcional ao quadrado da velocidade (regime turbulento), a energia correspondente é, por unidade de tempo, proporcional ao cubo da velocidade. Então a corrente litorânea, suposta constante no tempo, dissipa no paralelogramo de área $\frac{dx \cdot 1}{\text{cos}\alpha}$, por efeito de atri

to no fundo, uma quantidade de energia:

$$dE_d = K.V^3 \cdot \frac{dx}{\cos \alpha} \cdot T \quad (4-13-2)$$

Hã ainda, uma perda de energia por efeito de turbulência. Pode-se então escrever a equação do balanço de energias:

$$dE_{\text{sena}} = dE_c + dE_d + dE_p \quad (4-13-3)$$

Então, somente a parcela dE_d pode ser considerada como utilizada no transporte de sedimentos, uma vez que a parcela dE_c é restituída e que dE_p é perdida por turbulência.

4.3.3 O TIPO DE ARREBENTACÃO PREDOMINANTE EM ARACAJU.

O parâmetro S tem valores diferentes, quer se trate de arrebenção progressiva ou mergulhante, pois são diferentes os volumes, as quantidades de movimento e as energias em jogo na zona de arrebenção.

O modo de arrebenção das ondas é comandado pela declividade de praia (m) e pela esbeltez da onda ao largo ($\delta_0 = \frac{H_0}{L_0}$).

A arrebenção em mergulho é característica de praia de alta declividade, sobre a qual atuam ondas de baixa esbeltez. A arrebenção progressiva é característica de praia de baixa declividade, sobre a qual atuam ondas de elevado valor de esbeltez.

No caso de Aracaju, a declividade média da praia entre zero e -5m é de 1/276. A esbeltez das ondas ao largo, para as ondas monocromáticas extraídas dos registros colhidos durante todo um ano, variou entre 0.7% e 4.6%,

sendo 2% o valor mais frequente da esbeltez (Fig.4-5).

No quadro (4-1) está representada a distribuição percentual mensal de esbeltez das ondas à profundidade in finita, tomando-se por base o número de registros do mes (ver quadro 7-2, cap.7).

QUADRO 4-1
DISTRIBUIÇÃO PERCENTUAL MENSAL DE ESBELTEZ DAS ONDAS À
PROFUNDIDADE INFINITA

| MES δ (3) | NOV. DEZ. | JAN. | FEV. | MAR. | ABR. | MAI. | JUN. JUL. | AGO. | SET. OUT. | % ANUAL |
|--------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|-------|--------------|------------|
| 0.7 | — | — | — | — | 1.72 | — | — | — | — | 0.20 |
| 0.8 | 1.89 | — | — | — | 3.45 | 6.82 | — | — | — | 1.35 |
| 0.9 | — | — | — | — | 1.72 | 6.82 | — | — | — | 0.77 |
| 1.0 | — | — | — | — | 12.07 | 4.55 | — | — | — | 1.74 |
| 1.1 | — | — | 2.70 | 1.75 | 8.62 | 9.09 | — | — | — | 2.13 |
| 1.2 | — | — | 2.70 | — | — | 4.55 | — | — | — | 0.58 |
| 1.3 | 9.43 | 2.56 | 5.41 | — | 5.17 | 15.91 | 2.22 | 5.00 | — | 5.03 |
| 1.4 | 7.55 | 2.56 | 2.70 | 7.02 | 3.45 | — | 4.44 | — | — | 3.87 |
| 1.5 | 13.21 | 15.38 | — | 14.04 | 8.62 | 6.82 | 6.67 | — | — | 8.12 |
| 1.6 | — | — | — | 1.75 | — | — | — | 5.00 | — | 0.39 |
| 1.7 | 18.87 | 20.51 | 13.51 | 8.77 | 10.34 | 6.82 | 2.22 | 5.00 | — | 9.67 |
| 1.8 | 3.77 | 2.56 | 5.41 | 12.28 | 3.45 | 6.82 | 2.22 | 10.00 | 3.03 | 4.84 |
| 1.9 | 1.89 | — | 2.70 | — | — | — | — | — | — | 0.58 |
| 2.0 | 3.77 | 15.38 | 32.43 | 19.30 | 13.79 | 4.55 | 2.22 | 25.00 | 18.18 | 11.99 |
| 2.1 | 1.89 | 2.56 | — | — | 1.72 | — | 2.22 | 15.00 | — | 1.74 |
| 2.2 | 7.55 | 10.26 | 5.41 | 5.26 | 10.34 | 4.55 | 4.44 | — | 9.09 | 6.77 |
| 2.3 | 7.55 | 2.56 | — | 3.51 | — | — | 2.22 | — | — | 2.51 |
| 2.4 | 7.55 | — | 8.11 | 8.77 | 5.17 | — | 2.22 | 15.00 | 12.12 | 6.19 |
| 2.5 | — | 2.56 | — | — | — | — | 2.22 | 5.00 | — | 0.77 |
| 2.6 | 5.66 | 5.13 | 2.70 | 10.53 | 3.45 | 2.27 | 6.67 | — | 9.09 | 5.80 |
| 2.7 | — | — | — | — | — | — | 2.22 | — | — | 0.39 |
| 2.8 | 5.66 | 5.13 | 10.81 | 1.75 | 1.72 | 4.55 | 8.89 | — | 15.15 | 6.58 |
| 2.9 | 1.89 | — | — | — | — | — | 2.22 | — | — | 0.77 |
| 3.0 | — | — | — | 5.26 | — | 2.27 | 8.89 | 5.00 | 9.09 | 3.68 |
| 3.1 | — | 7.69 | 5.41 | — | 1.72 | 4.55 | 6.67 | — | 6.06 | 3.48 |
| 3.3 | — | — | — | — | — | 4.55 | 15.56 | 5.00 | 6.06 | 4.06 |
| 3.4 | — | — | — | — | — | — | 2.22 | — | 6.06 | 1.16 |
| 3.5 | 1.89 | — | — | — | 1.72 | 2.27 | 6.67 | — | 3.03 | 2.32 |
| 3.6 | — | 5.13 | — | — | 1.72 | — | 2.22 | — | — | 0.97 |
| 3.7 | — | — | — | — | — | — | 2.22 | — | — | 0.39 |
| 3.9 | — | — | — | — | — | — | 2.22 | — | — | 0.39 |
| 4.3 | — | — | — | — | — | 2.27 | — | — | — | 0.19 |
| 4.4 | — | — | — | — | — | — | — | — | 3.03 | 0.39 |
| 4.6 | — | — | — | — | — | — | — | 5.00 | — | 0.19 |

DISTRIBUIÇÃO ANUAL DE ESBELTEZ DAS ONDAS (δ_0).

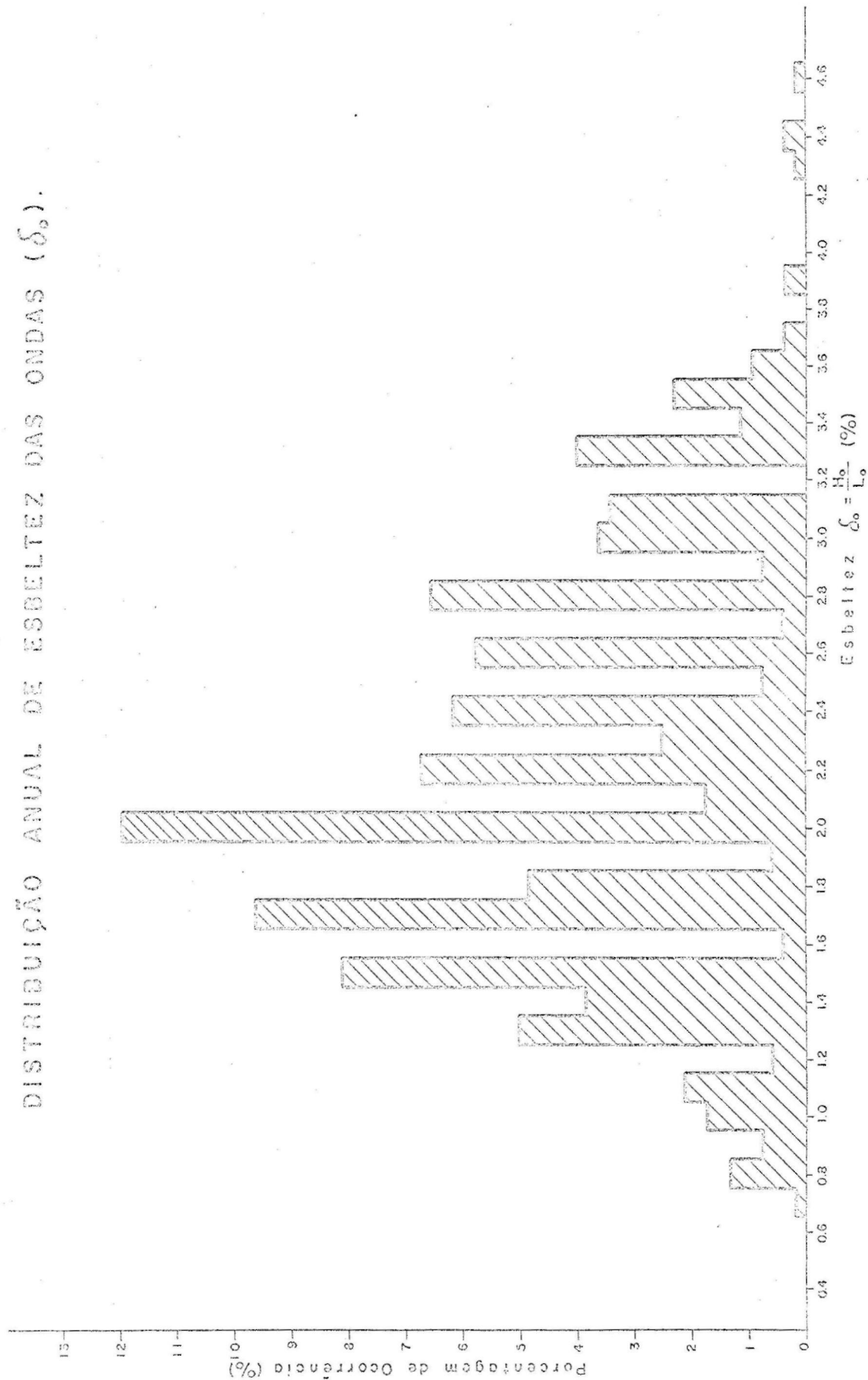


Fig. 4-5

A última coluna do quadro (4-1) dá a porcentagem anual de ocorrência de um determinado valor de esbeltez, levando em conta os registros (colhidos + esquemmatizados) de todo o ano (ver explicações no cap. 7).

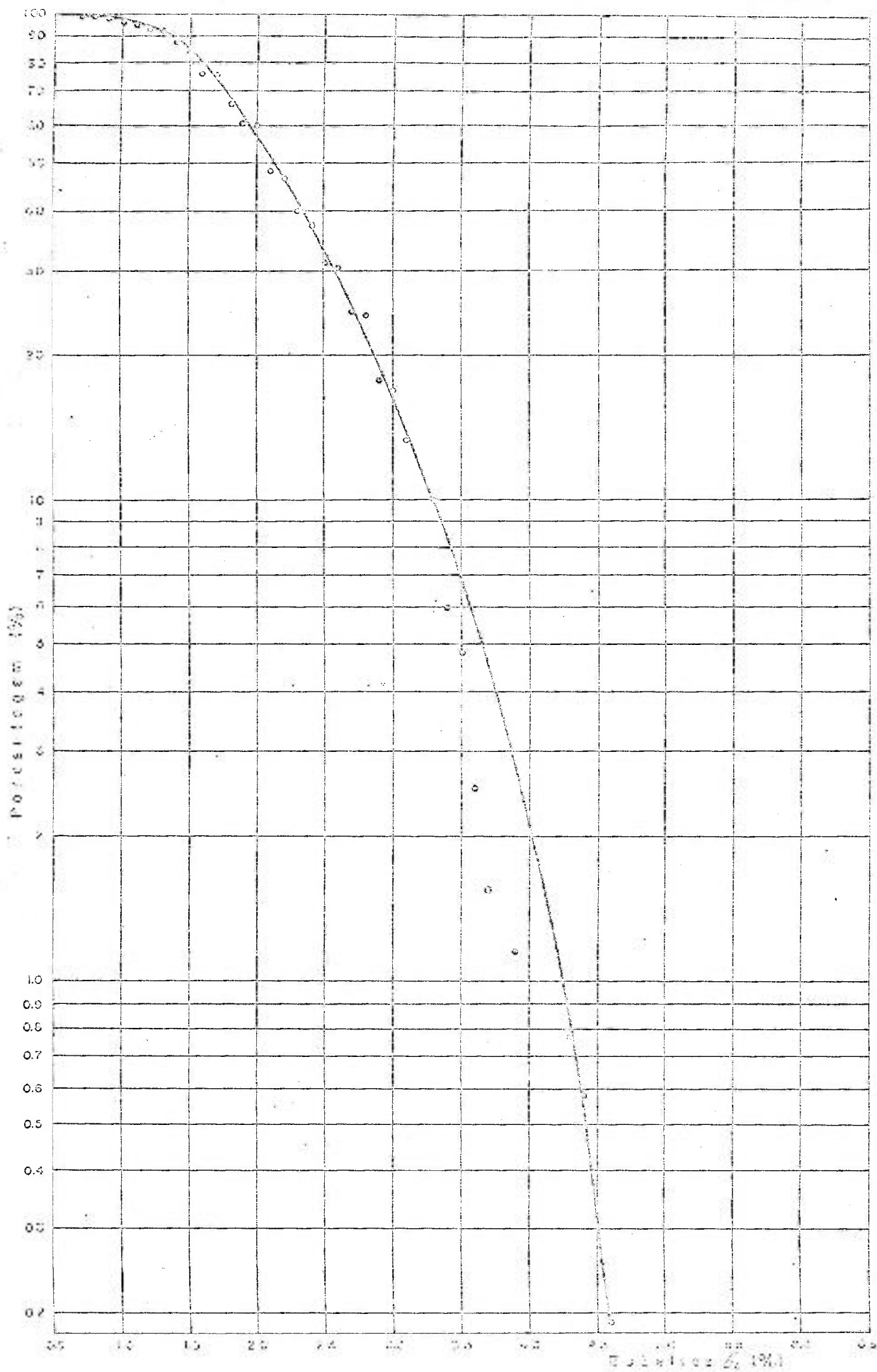
Na figura (4-6) está representada a curva de frequência acumulada anual de esbeltez de ondas à profundidade de infinita. O fato de haver pontos que se distanciam da curva é devido a que, nos registros do ano, houve várias falhas.

Em vista do valor da declividade da praia e dos valores de esbeltez das ondas em Aracaju, considera-se que lá as ondas sofrem o processo de arrebentação progressiva.

Em praias onde predomina a arrebentação em mergulho, a determinação da velocidade da corrente litorânea (aplicação do método das quantidades de movimento) e do parâmetro S (através de considerações do balanço de energias), segue a mesma marcha de cálculo que no caso da arrebentação progressiva. São que, no caso da arrebentação em mergulho (as ondas sofrem uma deformação no perfil ao arrebentar), aplica-se o método das Características ou de Stoker (9), na determinação de: quantidades de movimento, volumes passando em cada seção, velocidade média de propagação das ondas, energia dissipada por atrito no fundo, etc.

Não descereamos a detalhes neste assunto, pois, as ondas extraídas dos registros de Aracaju sofrem arrebentação progressiva. Além disso, o método das Características são dá resultados satisfatórios para praias com declividade igual ou maior que 5%. Para praias com declividade entre 2.5% e 5% a sua aplicação já é menos válida (9). Na praia de Aracaju, com declividade média de 0.36%, este método não seria aplicado.

A aplicação do método das Características ao caso da arrebentação em mergulho pode ser vista em detalhes



CURVA DE FREQUÊNCIA ACUMULADA ANUAL DE ESSELTEZ
 DAS ONDAS A PROFUNDIDADE INFIMTA N.º 1.

Fig. 4-3

na referência (9).

4.3.4 EXPRESSÃO DO PARÂMETRO S E DA VELOCIDADE DA CORRENTE LITORÂNEA PARA O CASO DA ARREBENTANÇA PROGRESSIVA.

A integração da equação (4-10) entre a arrebentação e a costa, com a suposição de que a velocidade da corrente litorânea e o ângulo de ataque ($\alpha = \alpha_b$) são constantes entre a arrebentação e a costa, conduz à seguinte expressão:

$$3.44 \quad A = \frac{\bar{\varepsilon}^2}{1.07 - \bar{\varepsilon}} \quad (4-14)$$

onde: $A = \frac{m\delta_b}{K\alpha g\alpha_b}$ e $\bar{\varepsilon} = \frac{\bar{v}}{c_p \text{sen} \alpha_b}$

Os valores m , K , α_b , c_p e δ_b são conhecidos. Então, através de (4-14) é possível calcular a velocidade da corrente litorânea (\bar{v}).

A figura (4-4) é a tradução gráfica desta equação.

Um dos casos em que $\bar{\varepsilon}$ e, portanto, a velocidade da corrente litorânea (\bar{v}) tende para zero, é quando A tende para zero, devido a $\delta_b = \frac{H_b}{L_b}$ tender para zero.

A esbeltez da onda pode tender para zero, de dois modos:

1. Quando a altura da onda tende para zero.
2. Quando o período é, portanto, o comprimento de onda, tendem para o infinito.

Quando a altura da onda tende para zero, evidentemente a velocidade da corrente litorânea tende a anular-

se.

No caso da arrebentação progressiva o perfil da onda se mantém praticamente simétrico até a arrebentação e, em parte, após a arrebentação (9); aplica-se então a teoria da onda solitária para prever as características das ondas.

A onda solitária teórica tem, por definição, período infinito. Ela só pode gerar então, uma corrente litorânea de velocidade nula (a esbeltez da onda solitária teórica é nula).

Defronta-se então com um paradoxo, pois utiliza-se a teoria da onda solitária para prever as características das ondas junto à arrebentação. As ondas de gravidade na natureza tem períodos finitos. Considerando-se as ondas como solitárias, supõe-se apenas que seu período é suficientemente longo para que a energia da onda possa ser concentrada o bastante, de maneira a que uma onda não afete a que vem antes (9). Somente considerando as ondas como tendo períodos finitos, obtém-se uma corrente litorânea cujo regime, em média, pode ser considerado como estacionário.

Considera-se então, uma sucessão de ondas cujas características (velocidade e perfil) se aproximam das características da onda solitária teórica.

O parâmetro S , como já foi visto, é a relação entre a energia dissipada por efeito de atrito no fundo (E_d), e a energia incidente (E_{bi}), no caso, a componente paralela à praia da energia que, durante a unidade de tempo, entra através da zona de arrebentação.

A energia total dissipada entre a arrebentação ($X = 0$ ou $D = 1$) e a costa ($X = 1/m$ ou $D = 0$), na unidade de tempo, supondo V e α_0 constantes é, da eq. (4-13-2):

$$E_d = \int_{X=0}^{X=1/m} KV^3 \frac{dX}{\cos \alpha_b} = \frac{KV^3}{m \cos \alpha_b} \quad (4-15)$$

Em (4-15) $V = \frac{V}{c_p}$ (velocidade adimensional da corrente li
torãnea)

A energia transmitida pela onda solitária \bar{E} a sua energia total, dada por:

$$E = \frac{8}{3} \rho g d^3 \gamma \sqrt{\frac{\gamma}{3}} \quad (4-16)$$

Para a onda solitária limite ($\gamma = \frac{H}{d} = 0.78$), vem:

$E = 1.04 \rho g d^5$ (4-17) ou, em coordenadas adi
mensionais: $E = 1.04 D^3$.

A energia transmitida paralelamente à costa na unidade de tempo, \bar{E} :

$$E_b = 1.04 \frac{D^3}{T} \operatorname{sen} \alpha_b \quad (4-18)$$

No início da arrebentação ($D=1$), e tem-se:

$$E_b = 1.04 \cdot \frac{1}{T} \operatorname{sen} \alpha_b \quad (4-19)$$

Em (4-19) T \bar{E} o período adimensional da onda.

Sendo t o período em segundos, tem-se, do item (4-3-1):

$$T = \frac{t \sqrt{g d_b}}{d_b} = \frac{t \sqrt{1.78 g d_b}}{\sqrt{1.78 d_b^2}} = \frac{t c_b}{1.34 d_b} = \frac{L_b}{1.34 \cdot \frac{H_b}{3.78}} =$$

$$= \frac{L_b}{1.72 H_b}$$

$$\text{ou } T = \frac{1}{1.72 \frac{H_b}{L_b}} = \frac{1}{1.72 \delta_b} \quad (4.20)$$

No desenvolvimento anterior: d_b = profundidade de arrebentação; $c_b = \sqrt{g(d_b + H_b)}$ = $\sqrt{1.78gd_b}$ é a celeridade da onda solitária limite (teoria da onda solitária); $\delta_b = \frac{H_b}{L_b}$ é a esbeltez da onda na arrebentação.

Levando (4-20) em (4-19), vem:

$$E_b = 1.04 \cdot 1.72 \delta_b \cdot \text{sen} \alpha_b \quad \text{ou}$$

$$E_b = 1.78 \delta_b \cdot \text{sen} \alpha_b \quad (4.21)$$

Dividindo (4-15) por (4-21), obtém-se:

$$S = \frac{E_d}{E_b} = \frac{KV^3}{m \cos \alpha_b} \cdot \frac{1}{1.78 \delta_b \text{sen} \alpha_b} \quad (4.22)$$

Como $\bar{c} = \frac{V}{\text{sen} \alpha_b}$, e com a consideração de que

$$A = \frac{m \delta_b}{K \bar{c} g \alpha_b}, \text{ resulta finalmente:}$$

$$S = \frac{\bar{c}^3 \text{sen} \alpha_b}{1.78 A} \quad (4.23)$$

O cálculo do parâmetro S que entra na equação (4-5) do transporte litorâneo total, é feito utilizando-

se as equações (4-14) e (4-23), com $A = \frac{m \delta}{K \text{tg} \alpha_b}$ como valor conhecido.

4.4. CONSIDERAÇÕES SOBRE O COEFICIENTE DE ATRITO K .

A rugosidade do fundo $\bar{\epsilon}$ é representada pelo coeficiente de atrito K . Castanho (9) exprime K em função do coeficiente de resistência ao escoamento de Chezy, supondo que K será idêntico ao que se verifica em escoamentos unidirecionais. Considera entretanto, que a presença de rugas e o fenômeno da arrebentação contribuem para um aumento da rugosidade, relativamente $\bar{\epsilon}$ que seria provocada apenas pela granulometria do material de praia.

A tensão tangencial no fundo provocada pelo escoamento, $\bar{\tau}$:

$$\tau = \rho g \bar{\epsilon} \quad (4-24)$$

Em regime turbulento a tensão tangencial $\bar{\tau}$ é proporcional ao quadrado da velocidade da corrente (no caso, a corrente litorânea):

$$\tau = K \rho v^2 \quad (4-25)$$

Igualando (4-24) e (4-25), vem:

$$v^2 = \frac{g}{K} \bar{\epsilon} \quad (4-26)$$

A fórmula de Chezy, $\bar{\epsilon}$:

$$v = C \sqrt{\bar{\epsilon}} \quad (4-27)$$

Levando (4-27) em (4-26), obtém-se:

$$K = \frac{g}{C^2} \quad (4-28)$$

Castanho (9) adota os seguintes valores de C :

a) - $C = 32$ para praias rugosas $\rightarrow K = 0.01$

b) - $C = 50$ para praias muito lisas $\rightarrow K = 0.004$

Veremos a influência do coeficiente K , quando da aplicação da fórmula de Castanho ao caso de Aracaju.

EXPOSIÇÃO DA FÓRMULA DE BIJKER

5.1. CONSIDERAÇÕES PRÉVIAS.

A fórmula para o cálculo do transporte litorâneo estabelecida por Bijker (4) (5) (6) (7), é baseada em fórmulas que foram estabelecidas para o cálculo do transporte de sedimentos sob a ação de escoamentos unidirecionais, permanentes e uniformes. Este, na realidade, não é o caso que se passa na zona de arrebetamento, onde o escoamento é comandado, principalmente, pelo binário (ondas-corrente litorânea).

A fórmula de Bijker não é do tipo que relaciona o transporte litorâneo com a energia transmitida paralelamente à costa, devido à arrebetamento de ondas oblíquas à praia; tal é o caso das fórmulas de Castanho e Caldwell.

Bijker pesquisou o problema das tensões tangenciais despertadas no fundo, devido à presença de ondas e correntes (4).

A sua fórmula tem, como já foi dito, a originalidade de considerar:

- a) - O aumento nas tensões tangenciais que as correntes despertem no fundo, provocado pela presença das ondas.
- b) - A quantificação desse aumento, tornando assim possível estabelecer a capacidade de transporte da atuação conjunta das ondas com a corrente litorânea.

Através da fórmula de Bijker é possível calcular o transporte de sedimentos provocado por uma corrente que não seja gerada pela arrebetamento de ondas oblíquas à praia como, por exemplo, correntes de maré.

O transporte litorâneo é considerado como uma função da corrente litorânea, mesmo quando esta corrente tem um sentido oposto ao da componente paralela à costa da propagação da onda (4) (5).

Isto pode acontecer, por exemplo, no caso de uma corrente de maré próximo à costa ser tão intensa a ponto de sobrepujar a corrente litorânea em sentido contrário, produzida pela arrebentação das ondas.

Na ausência de qualquer outra corrente litorânea, a capacidade de transporte que se calcula é a da própria "longshore current" gerada pela arrebentação de ondas oblíquas à linha de costa.

As ondas são consideradas como monocromáticas.

A fórmula de Bijker leva em conta as características hidráulicas e geométricas da praia. Das fórmulas para o cálculo do transporte litorâneo é a única que leva em conta a granulometria do sedimento, através de D_{50} e D_{90} , sendo também a única em que se calculam separadamente, os transportes por arraste e em suspensão. Ela não leva em conta, explicitamente, a influência da esbeltez das ondas, como na fórmula de Castanho.

5.2 VELOCIDADE DA CORRENTE LITORÃNEA.

Para calcular a velocidade da corrente litorânea gerada pela arrebentação de ondas oblíquas à praia, Bijker utiliza a fórmula proposta por Eagleson (13):

$$v^2 = \frac{3}{8} \left(\frac{gH_b^2 n}{d_b} \right) \cdot \frac{\text{sen} \alpha \cdot \text{sen} \alpha_b \cdot \text{sen} 2\alpha_b}{\delta} \quad (5-1)$$

onde:

H_b = altura da onda na arrebentação; d_b = pro

fundidade na qual a onda arrebenta; n = coeficiente de transmissão de energia; α = declividade da praia; α_b = ângulo de ataque na arrebentação; f = coeficiente de resistência de Darcy-Weisbach.

A expressão (5-1) se presta ao cálculo da velocidade corrente litorânea no início da arrebentação.

A fórmula de Eagleson foi estabelecida experimentalmente em laboratório, para praia plana de perfil uniforme e sujeita à ação de ondas monocromáticas.

5.3. TRANSPORTE POR ARRASTE.

Nos estudos comparativos de transporte por arraste devido à corrente apenas, e à combinação de corrente e ondas em laboratório, Bijker (4) procura utilizar uma fórmula de transporte que não dependa de uma tensão tangencial crítica para o movimento de sedimentos. Assim o faz, porque neste estudo comparativo diz ser importante o transporte por arraste de fraca intensidade. A fórmula mais apropriada, segundo Bijker, é a de Frijlink (15).

Com os dados obtidos em seus ensaios (4), Bijker calculou os coeficientes da fórmula de transporte por arraste para a combinação de ondas e correntes.

A maior parte das fórmulas de transporte por arraste podem ser escritas do seguinte modo:

$$\frac{q_{sa}}{f(D^{5/2} g^{1/2} \Delta)} = f\left(\frac{\Delta D}{\mu d I}\right) \quad (5-2)$$

onde: $\Delta = \frac{\rho_s - \rho}{\rho}$ (densidade relativa dos grãos submersos);

D = diâmetro do grão; μ = coeficiente de enrugamento; d = profundidade da água; I = gradiente de energia; g = aceleração da gravidade.

Frijlink (15) sugeriu escrever a fórmula (5-2), do seguinte modo:

$$\frac{q_{sa}}{(g\Delta D^3)^{1/2}} = 5 \left(\frac{\rho s l}{\Delta D} \right)^{1/2} e^{-0.27 \frac{\Delta D}{\mu d l}} = 5 \left(\frac{\mu \tau}{\Delta D \rho g} \right)^{1/2} e^{-0.27 \frac{\Delta D \rho g}{\mu \tau}} \quad (5-3)$$

ou, em termos gerais:

$$\frac{q_{sa}}{D \left(\frac{\tau}{\rho} \right)^{1/2}} = b e^a \frac{\Delta D \rho g}{\mu \tau} \quad (5-4)$$

Em (5-4): τ = tensão tangencial = $\rho g d l = \rho g \frac{v^2}{C^2}$; e C é o coeficiente de Chezy de resistência ao escoamento.

Bijker (4) denomina o primeiro termo da equação (5-4) de parâmetro de transporte, e o expoente do segundo termo de parâmetro ativo.

Em sua concepção o material é desalojado da posição de equilíbrio no fundo, devido à ação combinada da onda e corrente. Uma vez desalojados, os sedimentos são transportados pela corrente litorânea.

A tensão tangencial do parâmetro ativo (τ_h) é a resultante do efeito combinado da onda e corrente. O cálculo da tensão tangencial da combinação de onda e corrente, parte do princípio da superposição, na camada limíte, do movimento orbital das partículas líquidas e da corrente uniforme.

Através de ensaios de laboratório, onde considera:

1. a atuação isolada da corrente;
2. a superposição da corrente e das ondas, as quais tinham direção de propagação normal ou oblíqua em relação à direção da corrente, Bijker (4) estabeleceu a expressão para a tensão tangencial resultante:

$$\tau_R = \left[1 + \frac{1}{2} \left(\xi \frac{u_0}{v} \right)^2 \right] \tau_c \quad (5-5)$$

onde: u_0 = amplitude da velocidade orbital no fundo, calculada pela teoria da onda sinusoidal;

v = velocidade da corrente litorânea;

τ_c = tensão tangencial devido somente à presença da corrente;

$$\xi = 0.45 \frac{K_C}{g^{1/2}} = 0.0575C \text{ (coeficiente determina}$$

do teórica e empiricamente, expresso em termos do coeficiente de resistência de Chezy); K é a constante de von Karman = 0.4.

A tensão tangencial no parâmetro de transporte é τ_c , devida apenas à corrente, uma vez que o transporte do material desalojado do fundo é determinado somente pela corrente imediatamente acima do fundo, cuja velocidade de cisalhamento, é:

$$v_* = \left(\frac{\tau_c}{\rho} \right)^{1/2} = \frac{v}{C} g^{1/2} \quad (5-6)$$

Outra modificação proposta por Bijker à fórmula de Frijlink se refere ao coeficiente de enrugamento μ . O coeficiente de enrugamento indica a parte da tensão tangencial (τ) que é efetivamente utilizada no transporte, ou melhor, a parte que não é utilizada para vencer as resis-

tências de forma do fundo.

A expressão de μ , é:

$$\mu = \left(\frac{C}{C'} \right)^{3/2} \quad (5-7)$$

Em (5-7) C' é um coeficiente de resistência ao escoamento, relativo ao diâmetro D_{90} dos grãos. Ele é dado pela fórmula logarítmica:

$$C' = 18 \log 12 \frac{d}{D_{90}}$$

No caso de um fundo plano a rugosidade do fundo é determinada pela granulometria do material. No caso de fundos em que há formação de rugas, dunas, etc, a resistência ao escoamento é devida sobretudo a estas formações. Neste caso, o coeficiente de resistência ao escoamento é dado por:

$$C = 18 \log 12 \frac{d}{r} \quad (5-8)$$

onde d é a profundidade e r é a rugosidade aparente, (Bijker considera r igual a metade da altura das rugas). Portanto, quanto maior a altura de dunas, rugas, etc, para a mesma profundidade, menor será o coeficiente de resistência C e menor será μ , ou seja: uma menor parte da tensão tangencial é efetivamente utilizada no transporte de sedimentos. À medida que diminui a altura das rugas (fundo tendendo para um fundo plano), C aumenta até que, no limite, $C = C'$ e $\mu = 1$, sendo toda a tensão tangencial utilizada no transporte de sedimentos, pois não há que vencer as resistências de forma do fundo (rugosidade, dunas, etc).

Portanto, fisicamente tem mais sentido que μ só apareça no parâmetro ativo, pois uma vez que o material é desajolado do fundo ele se movimenta com a velocidade da corrente. A tensão tangencial do parâmetro de transporte (τ_c) é toda utilizada no transporte de sedimentos ($\mu = 1$), pois cabe à onda a tarefa de desalojar do fundo o material.

Os coeficientes a e b na fórmula (5-4) de Frijlink valem, respectivamente, -0.27 e 5 .

Bijker (4), usando o coeficiente $a = -0.27$ e aplicando Frijlink com as modificações anteriormente mencionadas aos resultados de seus ensaios, obteve para b o valor de 0.74 , bem menor que o obtido por Frijlink. Justifica isto devido ao fato de que Frijlink (15) usou dados da natureza, enquanto que os dados por ele utilizados foram obtidos em laboratório. O material transportado por arraste era coletado em uma caixa de areia de dimensão pequena na direção da corrente, a qual não coletava todo o material transportado.

Para a aplicação de sua fórmula na natureza, Bijker (5) sugere utilizar $b = 5$.

Com estas modificações acima mencionadas, a fórmula de Bijker para o cálculo do transporte por arraste, é:

$$q_{sa} = 5D \left(\frac{\tau_c}{\rho} \right)^{1/2} \cdot e^{-0.27 \frac{\Delta D \rho g}{\mu \tau_c}} \quad (5-9)$$

$$\text{ou } q_{sa} = 5D \frac{v}{c} g^{1/2} \cdot e^{-0.27 \frac{\Delta D c^2}{\mu v^2 \left[1 + \frac{1}{2} \left(\xi \frac{u_o}{v} \right)^2 \right]}} \quad (5-10)$$

onde: $D = D_{50}$ (diâmetro do grão).

5.4 TRANSPORTE EM SUSPENSÃO.

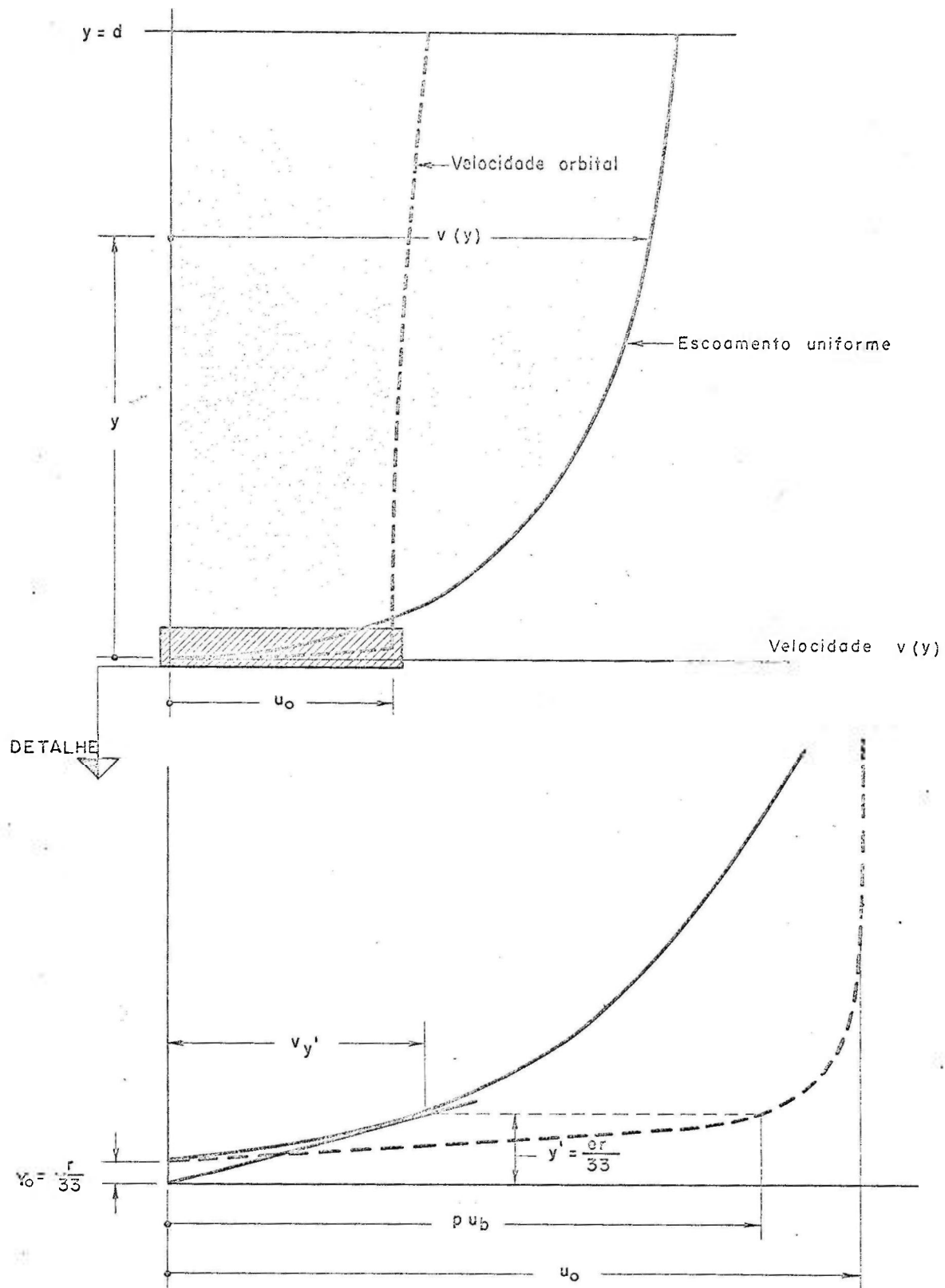
Para o cálculo do transporte em suspensão Bijker (5) (6) (7) usa, sem justificar, o procedimento de Einstein (14).

Uma das dificuldades que aparecem neste cálculo é a determinação da concentração do material em suspensão, imediatamente acima do fundo (concentração de referência).

Em (5), Bijker sugere calcular esta concentração a partir da concentração do transporte por arraste, que supõe uniformemente distribuído sobre metade da altura das rugas. De acordo com van Breugel, citado em (5), o fundo aparente é localizado na metade da altura das rugas (ver fig. 5-2). Desde que a rugosidade aparente (r) é igual à metade da altura da ruga (h), a concentração de referência do transporte em suspensão é calculada considerando que o transporte por arraste se dá numa camada logo acima do fundo, com uma espessura igual à da rugosidade aparente ($a = r = \frac{1}{2} h$).

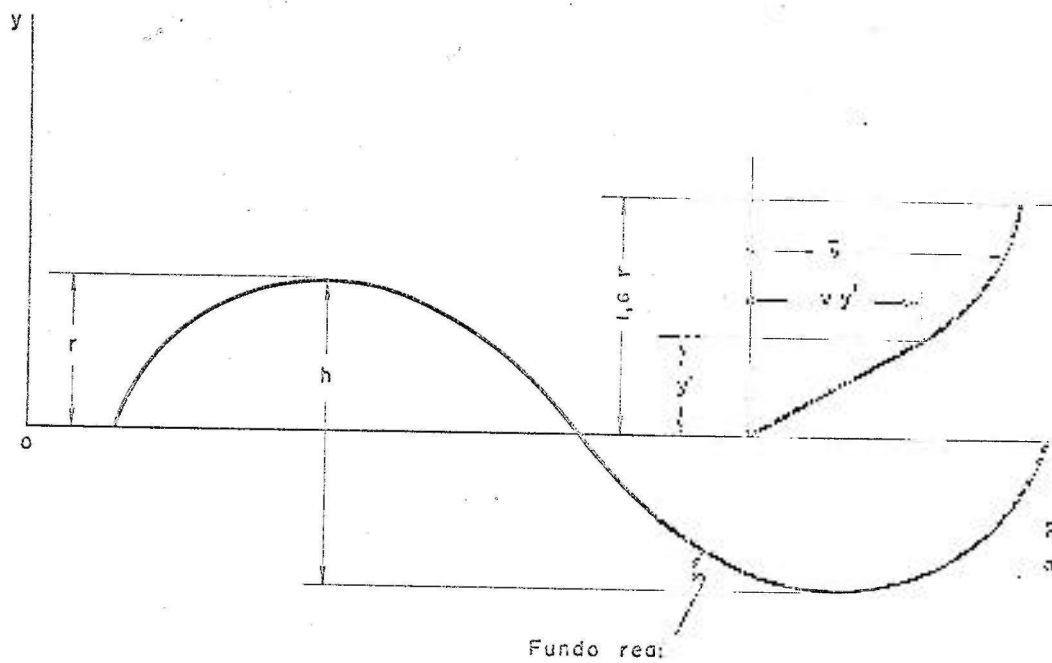
Em (6) e (7) Bijker constata uma pequena variação do transporte por arraste, mas uma grande variação do transporte em suspensão com os valores admitidos para a rugosidade do fundo. Isto se explica pelo fato de a concentração do material em suspensão depender da espessura da camada onde se supõe ter lugar o transporte por arraste. Sendo a espessura desta camada igual à rugosidade aparente, valores decrescentes da rugosidade conduzem a grande concentração de sedimentos em suspensão e, portanto, a elevado transporte em suspensão.

Através de ensaios para ver como se processa o transporte por arraste, Bijker (6) (7) pode concluir que



COMPARAÇÃO ENTRE A DISTRIBUIÇÃO LOGARÍTMICA DE VELOCIDADES DO ESCOAMENTO UNIFORME E A DISTRIBUIÇÃO DE VELOCIDADES ORBITAIS DAS ONDAS.

Extraído da Ref. (4)



Fundo real:

este se dá em uma camada cuja ordem de grandeza é: $a=1.6\kappa$. Admitindo este valor para a espessura da camada, obtém-se uma menor variação do transporte em suspensão com a rugosidade aparente.

5.4.1 DISTRIBUIÇÃO DE VELOCIDADES PRÓXIMO AO FUNDO.

Para um escoamento uniforme em regime turbulento, o gradiente de velocidades fora da subcamada laminar, é:

$$\frac{\partial v(y)}{\partial y} = \frac{V_*}{\kappa y} \quad (5-11)$$

A integração de (5-11) fornece a distribuição vertical de velocidades:

$$v(y) = \frac{V_*}{\kappa} \ln \frac{y}{y_0} \quad (5-12)$$

onde: $v(y)$ = velocidade média puntual à distância y do fundo;

V_* = velocidade de cisalhamento;

κ = constante de von Karman;

y_0 = distância acima do fundo onde a velocidade, de acordo com essa distribuição, é igual a zero.

Bijker (4) considera, de acordo com experiências, que: $y_0 = \frac{\kappa}{33}$. Então:

$$v(y) = \frac{V_*}{\kappa} \ln \frac{33y}{\kappa} \quad (5-13)$$

Abou Seida, citado em (4), considera que existe uma subcamada laminar sob a camada turbulenta.

De acordo com a figura (5-1) e segundo Schonfeld, citado em (4), a distribuição de velocidades na subcamada laminar pode ser escrita:

$$\frac{\partial v(y)}{\partial y} = \frac{v_{y'}}{y'} = \frac{V_*}{\kappa y'} \quad (5-14)$$

Então, neste caso:

$$v_{y'} = \frac{V_*}{\kappa} \quad (5-15)$$

$v_{y'}$ = velocidade da corrente no limite superior da subcamada laminar.

Levando (5-15) em (5-13), vem:

$$\frac{V_*}{\kappa} = \frac{V_*}{\kappa} \ln \frac{33y'}{\kappa} \quad \text{ou} \quad y' = \frac{e\kappa}{33} \quad (5-16)$$

y' = espessura da subcamada laminar.

A velocidade média na camada de espessura 1.6κ , englobando pois a subcamada laminar e a camada turbulenta, figura (5-2), é:

$$\bar{v}_{0-1.6\kappa} = \frac{\frac{1}{2} v_{y'} \cdot y' + \int_{y'}^{1.6\kappa} v(y) dy}{1.6\kappa} = \frac{2.993 V_*}{\kappa} = 7.48 V_* \quad (5-17)$$

$\kappa = 0.4$ (constante de von Karman);

$$\text{Em (5-17): } v_{y'} = \frac{V_*}{\kappa}; \quad y' = \frac{e\kappa}{33}; \quad v(y) = \frac{V_*}{\kappa} \ln \frac{33y}{\kappa}$$

A expressão para o transporte em suspensão, por unidade de largura \bar{e} , de (14):

$$q_{ss} = \int_a^d c(y) \cdot \bar{v}(y) dy$$

onde:

$$c(y) = c_a \left(\frac{d-y}{y} \cdot \frac{a}{d-a} \right)^z \quad (5-19)$$

\bar{v} é a concentração dos sedimentos em suspensão a distância y do fundo, com um dado diâmetro e velocidade de decantação em água tranqüila (w) conhecidos.

c_a é a concentração de referência a distância a do fundo. No nosso caso, com $a = 1.6r$, pode-se escrever:

$$c_a = \frac{q_{ssa}}{7.48V_*^* \cdot a} \quad (5-20)$$

Considera-se que o material em suspensão se desloca com a velocidade média da corrente ($\bar{V} = 7.48V_*^*$).

O expoente z de (5-19) é, segundo (14):

$$z = \frac{w}{KV_*^*} \quad (5-21)$$

No caso da combinação de ondas e corrente (5) deve-se usar V_*^* ao invés de V_* : $z = \frac{w}{KV_*^*}$ (5-22).

V_*^* é a velocidade de cisalhamento resultante da atuação conjunta de ondas e corrente.

$$V_*^* = \sqrt{\frac{\tau_h}{\rho}} \quad \tau_h = \left[1 + \frac{1}{2} \left(\xi \frac{u_0}{v} \right)^2 \right] \cdot \tau_c \quad (5-5)$$

Então, podemos escrever:

$$V_*^* = \sqrt{\frac{\tau_h}{\rho}} = \sqrt{\frac{\left[1 + \frac{1}{2} \left(\xi \frac{u_0}{v} \right)^2 \right] \cdot \tau_c}{\rho}} = \sqrt{\frac{\tau_c}{\rho}} \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{2} \left(\xi \frac{u_0}{v} \right)^2}$$

ou:

$$V_*^* = V_* \sqrt{1 + \frac{1}{2} \left(\xi \frac{u_0}{v} \right)^2} \quad (5-23)$$

Levando (5-23) em (5-22), vem:

$$z = \frac{\omega}{K V_* \sqrt{1 + \frac{1}{2} \left(\frac{u_*}{V} \right)^2}} \quad (5-24)$$

Com os valores de $v(y)$ e $C(y)$ dados respectivamente em (5-13) e (5-19), a integração de (5-18) conduz a:

$$q_{\Delta\Delta} = \frac{1}{0.216} \cdot \frac{1}{K} V_* C_a \cdot a \left[\ln \frac{33d}{K} \cdot I_1 + I_2 \right] \text{ ou}$$

$$q_{\Delta\Delta} = 11.6 V_* C_a \cdot a \left[\ln \frac{33d}{K} I_1 + I_2 \right] \quad (5-25)$$

onde:

$$I_1 = 0.216 \frac{A^{z-1}}{(1-A)^z} \int_A^1 \left(\frac{1-y}{y} \right)^z dy$$

$$I_2 = 0.216 \frac{A^{z-1}}{(1-A)^z} \int_A^1 \left(\frac{1-y}{y} \right)^z \ln y dy$$

$A = \frac{a}{d}$ é o valor adimensional da espessura da camada onde se supõe ter lugar o transporte por arraste.

Em (14) Einstein sugere que o transporte por arraste é: $q_{\Delta\Delta} = 11.6 V_* C_a \cdot a$, onde a é uma camada de espessura igual ao dobro do diâmetro característico dos sedimentos. Segundo a opinião de Bijker (5), este esquema não está de acordo com o fenômeno físico do transporte por arraste em um fundo com dunas e rugas. Além do mais o fator 11.6 é baseado em uma série limitada de medidas.

Considerando que o transporte por arraste se dá em uma camada de espessura $a = 1.6r$, conforme (6) e (7), tem-se que:

$$q_{sa} = 7.48 V_* Ca.a$$

Levando o valor de Ca dado por (5-20) em (5-25), obtém-se

$$q_{ss} = 1.55 q_{sa} \left[\ln \frac{33d}{\kappa} \cdot I_1 + I_2 \right] \quad (5-26)$$

onde:

q_{sa} = vazão sólida de arraste por unidade de largura, equação (5-10).

Esta é a fórmula para o cálculo do transporte de sedimentos em suspensão, por unidade de largura, movendo-se na unidade de tempo entre a superfície da água e o nível de referência $y=a$. Ela é baseada na de Einstein, mas utiliza $Ca = \frac{q_{sa}}{7.48V_*a}$ como concentração de referência.

5.5. TRANSPORTE TOTAL.

O transporte total é a soma dos transportes, por arraste e em suspensão (equações 5-10 e 5-26).

$q_s = q_{sa} + q_{ss}$, donde:

$$q_s = q_{sa} + 1.55 q_{sa} \left(\ln \frac{33d}{\kappa} \cdot I_1 + I_2 \right) \quad \text{ou}$$

$$q_s = q_{sa} \left[1 + 1.55 \left(I_1 \ln \frac{33d}{\kappa} + I_2 \right) \right] \quad (5-27)$$

q_s é expresso em termos de volume transportado na unidade de tempo e por unidade de largura, medida na direção da normal à praia ($m^3 \cdot s^{-1} \cdot m^{-1}$).

ANÁLISE DOS REGISTROS DE ONDAS SEGUNDO A SISTEMÁTICA DE L. DRAPER.

6.1 CONSIDERAÇÕES PREVIAS.

Foi realizada em Aracaju uma campanha de registros de ondas, de 16 de Setembro de 1965 a 6 de Setembro de 1966, como parte do estudo para o projeto de um terminal marítimo para a Petrobrás S.A (18). O registrador utilizado foi o "Houlographe" de tipo autônomo, que fazia os registros a profundidade de 20 metros. O aparelho efetuava dois registros diários (às 9 e às 17 horas), com duração aproximada de 12 minutos cada um.

As observações de direção de ondas eram feitas de uma torre construída na praia, às mesmas horas em que o "Houlographe" registrava as ondas. A direção das ondas era sempre observada num ponto correspondente à profundidade de 5 m, que foi materializado pela colocação uma boia. Quando a equipe de operadores do "Houlographe" saía ao mar, as observações de direção eram feitas a -20 m.

Foram obtidas ao todo 386 registros, cuja análise (18) permitiu a caracterização de dois regimes nítidos de ondas para Aracaju:

- a) - de inverno (maio a outubro)
- b) - de verão (novembro a abril).

Em 1971 foi realizada pela equipe do Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias (INPH), uma campanha de registros de ondas, durante a realização da experiência com traçadores radioativos. Só foi possível obter registros utilizáveis, durante o mes de abril, devido a problemas no "Houlographe".

A comparação dos resultados obtidos em abril de 1971 com os de abril de 1966, permitiu concluir que o re

gime de ondas de abril para os dois anos em questão, é praticamente o mesmo.

Na avaliação da intensidade do transporte litorâneo foram então utilizados os registros de ondas colhidos em 1965-66, supondo que o regime de ondas observado naquela época é o característico para Anacaju.

Juntaram-se os registros de Setembro de 1965 e Setembro de 1966, e foi considerado que eles correspondem às observações de setembro de 1965.

Para a finalidade do presente trabalho, a análise de um registro de ondas teve por objetivo substituir o espectro ondulatório registrado por uma única onda, de altura e período bem definidos, cuja atuação seja equivalente à atuação do espectro.

Os registros de 1965-66 foram analisados por um método baseado na consideração de ondas individuais do espectro registrado (18). Por este método, a altura significativa do registro e a média das alturas do terço das ondas mais altas. O período médio é o quociente da duração do registro, pelo número de ondas registradas.

Os resultados por este método, são sensíveis à interpretação do operador. Por este motivo os registros foram novamente analisados para a aplicação ao presente trabalho, por um método desenvolvido através de estudos teóricos das propriedades estatísticas das ondas do mar (11) (12).

A análise dos registros por esta sistemática não depende, praticamente, da interpretação do operador.

6.2 ANÁLISE DOS REGISTROS DE ONDAS.

Analisa-se cada um dos registros do seguinte modo (14):

- a) - Delimita-se uma duração do registro correspondente a 10 minutos e são se consideram as ondas nesse intervalo.
- b) - Traça-se a olho, a linha correspondente ao nível médio do registro (linha zero).
- c) - Conta-se o número de cristas (N_c). Define-se crista como sendo os pontos em que o nível d'água passa por um máximo, diminuindo para ambos os lados. Pode haver cristas a baixo do nível médio.
- d) - Conta-se o número de vezes (N_z) em que o registro corta a linha zero, movendo-se pa ra cima.
- e) - Medem-se, a partir do nível médio, as am plitudes da crista mais alta (A) e da cris ta seguinte em altura (B).
- f) - Medem-se, a partir do nível médio, as am plitudes do cavado mais baixo (C) e do ca vado seguinte em altura (D), tomando ambas quantidades como positivas.
- g) - A partir dessas medições, determinam-se:

$$H_1 = A + C$$

$$H_2 = B + D$$

$$T_c = \frac{\text{duração do registro em seg.}}{N_c} = \frac{600}{N_c} \text{ (período das cristas)}$$

$$T_z = \frac{\text{duração do registro em seg.}}{N_z} = \frac{600}{N_z} \text{ (período das interseções com o nível médio).}$$

h)- A altura máxima H_1 deve ser corrigida para a frequência de resposta do aparelho registrador de ondas, e também para a atenuação das ondas com a profundidade, se o aparelho tiver seu princípio de funcionamento baseado no registro da variação de pressões.

No caso do "Houlographe" (registrador por emissão de ultra som), tem-se simplesmente: $H_{max} = H_1$.

i)- O período que mais convenientemente representa o registro é T_z (11).

j)- O grau de pureza do registro é dado pelo parâmetro de largura do espectro:

$$\epsilon = \sqrt{1 - \left(\frac{T_c}{T_z}\right)^2}$$

Se as ondas do registro distribuem-se em uma ampla faixa de frequências, as ondas mais curtas "cavalgam" as ondas mais longas e, como consequência, há muito mais cristas que interseções do registro com o nível médio, movendo-se para cima. Neste caso $N_c \gg N_z$ ou $T_z \gg T_c$; então $\epsilon \rightarrow 1$ e trata-se mais de vagas. Para $\epsilon = 1$ tem-se somente vagas, isto é: o registrador se encontrava na zona de geração das ondas.

Por outro lado, se as ondas do registro cobrem apenas uma pequena faixa de frequências, $N_c \approx N_z$ e $T_z \approx T_c$; então $\epsilon \rightarrow 0$ e tem-se mais ondulações. No caso de a cada interseção do registro com o nível médio movendo-se para cima corresponder a uma crista, estamos em presença de ondulação pura ($\epsilon=0$). OBS: O parâmetro ϵ é bastante importante, pois através dele é possível saber se as ondas que atuam em um determinado local são sobretudo vagas (SEA), geradas por ventos locais ou ondulações (SWELL), geradas longe da zona onde é feito o registro.

k) - A altura significativa do registro \bar{e} tira da de uma tabela que fornece o fator H_s/H_1 em função de N_z (11). Esta tabela, que transcrevemos abaixo, traduz a teoria do oceanógrafo matemático britânico Longuet-Higgins sobre as relações entre as propriedades estatísticas das ondas do mar.

TABELA 6-1

| N_z | H_s/H_1 | N_z | H_s/H_1 |
|-------|-----------|---------|-----------|
| 20-21 | 0.77 | 64-73 | 0.65 |
| 22-23 | 0.76 | 74-85 | 0.64 |
| 24-25 | 0.75 | 86-100 | 0.63 |
| 26-27 | 0.74 | 101-118 | 0.62 |
| 28-29 | 0.73 | 119-139 | 0.61 |
| 30-32 | 0.72 | 140-166 | 0.60 |
| 33-35 | 0.71 | 167-202 | 0.59 |
| 36-39 | 0.70 | 203-253 | 0.58 |
| 40-44 | 0.69 | 254-315 | 0.57 |
| 45-49 | 0.68 | 316-390 | 0.56 |
| 50-55 | 0.67 | 391-488 | 0.55 |
| 56-63 | 0.66 | 489-615 | 0.54 |

ESQUEMATIZAÇÃO ADOTADA PARA AS CARACTERÍSTICAS
DAS ONDAS REGISTRADAS EM ARACAJU.

7.1 CONSIDERAÇÕES PREVIAS.

Cada registro de ondas fica esquematizado por:
 H_s = altura significativa; T_z = período médio e α = ângulo que a direção da crista da onda forma, a uma dada profundidade, com o alinhamento da praia.

Durante toda a campanha foram obtidos 386 registros de ondas. Se o rendimento fosse de 100%, teriam sido obtidos $365 \times 2 = 730$ registros, pois teriam sido efetuados dois registros diários.

O quadro abaixo apresenta o número de registros obtidos em cada mes.

QUADRO 7-1

| MES | Nº DE REGISTROS | MES | Nº DE REGISTROS |
|--------|-----------------|--------|-----------------|
| Set-65 | 33 | Mar-66 | 57 |
| Out-65 | 0 | Abr-66 | 58 |
| Nov-65 | 2 | Mai-66 | 44 |
| Dez-65 | 51 | Jun-66 | 43 |
| Jan-66 | 39 | Jul-66 | 2 |
| Fev-66 | 37 | Ago-66 | 20 |

$$\text{Rendimento} = \frac{386}{730} \cdot 100 = 53\%$$

Por êle vemos que existem lacunas em Out-65, Nov-65 e Jul-66.

A análise preliminar dos dados sobre ondas ao largo de Aracaju fornecidos por "Sea and Swell Charts" (21),

mostra que as condições de ondas em julho são bastante semelhantes às de junho (18). Portanto adotou-se para julho os mesmos registros de ondas de junho.

Por razões semelhantes, para outubro adotaram-se os mesmos registros de setembro e, para novembro os mesmos de dezembro. Em setembro e outubro foram então considerados 33 registros para cada mes. Para novembro e dezembro considerou-se para cada mes, $51+2=53$ registros, ou seja: os 2 de novembro mais os 51 de dezembro. Para junho e julho foram considerados $43+2=45$ registros em cada mes.

Embora reconhecendo que isto é uma aproximação, assim se fez porque com este procedimento foi possível obter um critério homogêneo mensal, a ser aplicado ao longo de todo o ano.

Com isto foi possível estabelecer a distribuição dos registros ao longo do ano, com o respectivo tempo de atuação de cada registro.

QUADRO 7-2

| MES | Nº DE SEGUNDOS DO MES. | Nº DE REGISTROS CONSIDERADOS NO MES | TEMPO DE ATUAÇÃO DE CADA REGISTRO (seg) |
|---------------------|------------------------|-------------------------------------|---|
| Setembro | 2592000 | 33 | 78545.45 |
| Outubro | 2678400 | 33 | 81163.63 |
| Novembro | 2592000 | 53 | 48905.66 |
| Dezembro | 2678400 | 53 | 50535.85 |
| Janeiro | 2678400 | 39 | 68676.92 |
| Fevereiro (28 dias) | 2419200 | 37 | 65383.78 |
| Março | 2678400 | 57 | 46989.47 |
| Abril | 2592000 | 58 | 44689.65 |
| Maió | 2678400 | 44 | 60872.72 |
| Junho | 2592000 | 45 | 57600.00 |
| Julho | 2678400 | 45 | 59520.00 |
| Agosto | 2678400 | 20 | 133920.00 |

Total = 517 registros

Para o cálculo da intensidade mensal do transporte litorâneo, considerou-se que as ondas que ocorreram durante o mes em questão foram substituídas pelas obtidas dos registros do mes, e que cada onda atuou num intervalo de tempo constante e igual à divisão do número de segundos do mes, pelo número de registros colhidos ou esquematizados para o mesmo mes.

7.2 APLICAÇÃO DO MÉTODO DE DRAPER ÀS ONDAS DE ARACAJU.

A aplicação do método de análise de registros de ondas citado anteriormente aos registros colhidos em Aracaju, e com os desdobramentos feitos (517 registros), deu resultados que estão mostrados sob a forma de gráficos nas figuras (7-1 a 7-5).

7.2.1 PERÍODOS.

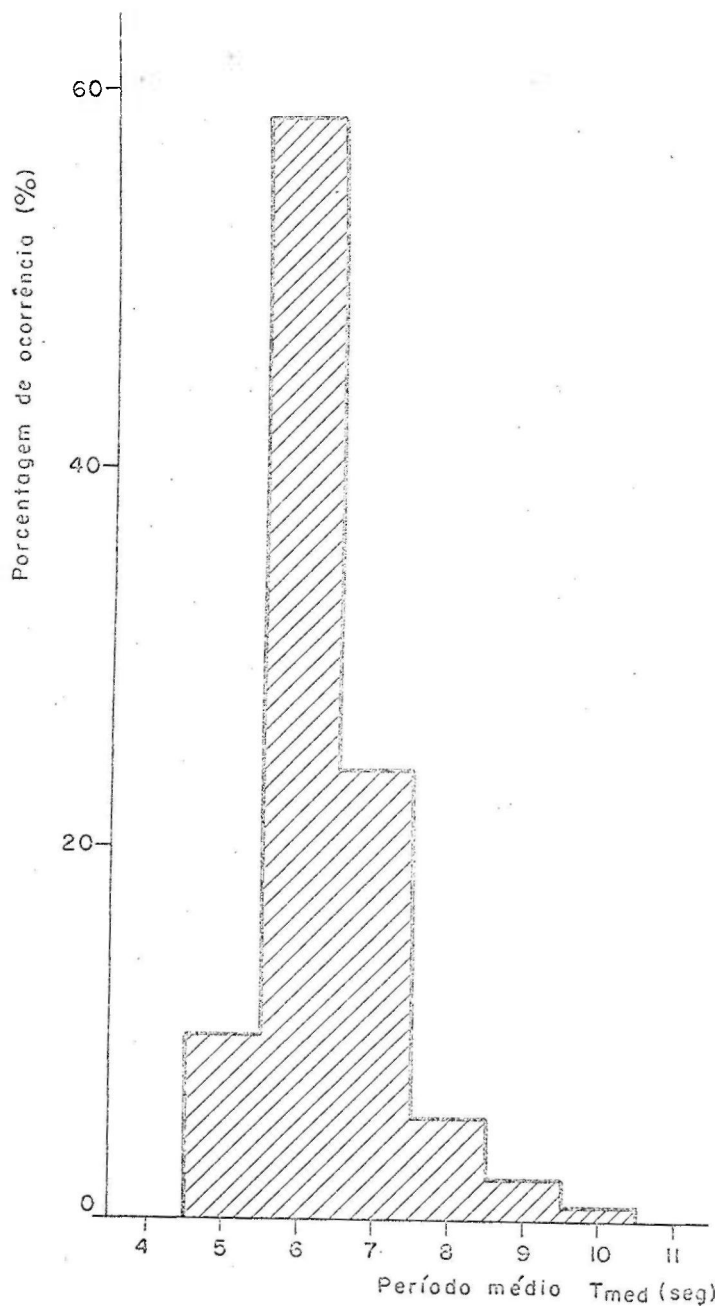
O período das ondas variou de 5 a 10 segundos, sendo $T_z = 6$ seg. o período médio mais frequente durante o ano (fig. 7-1).

O quadro 7-3 mostra a variação percentual mensal dos períodos, tomando por base o número de registros do mes.

QUADRO 7-3

| T_z (seg) | MES | NOV DEZ | JAN | FEV | MAR | ABR | MAI | JUN JUL | AGO | SET OUT |
|-------------|-----|------------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|-------|------------|
| 5 | | 13.21 | 23.08 | 10.81 | 7.02 | 3.45 | — | 4.44 | — | 21.21 |
| 6 | | 58.49 | 58.97 | 67.57 | 71.93 | 43.10 | 38.64 | 60.00 | 30.00 | 72.73 |
| 7 | | 28.30 | 17.95 | 16.22 | 14.04 | 22.41 | 36.36 | 31.11 | 60.00 | 6.06 |
| 8 | | — | — | 5.40 | 5.26 | 13.79 | 18.18 | 4.44 | 5.00 | — |
| 9 | | — | — | — | 1.75 | 10.35 | 6.82 | — | 5.00 | — |
| 10 | | — | — | — | — | 6.90 | — | — | — | — |

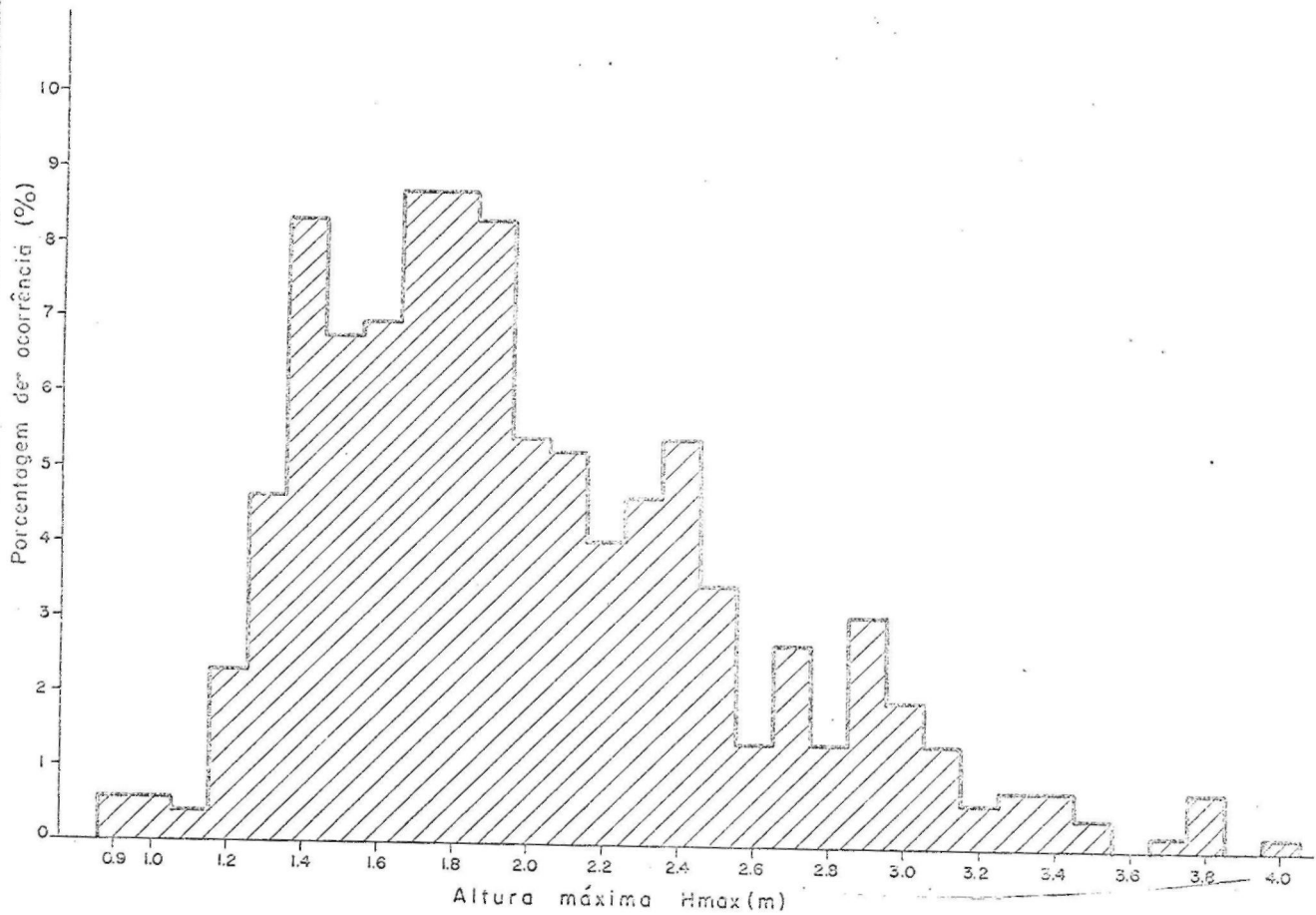
| T _{med} | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|------------------|------|-------|-------|------|------|------|
| % | 9.87 | 58.22 | 23.98 | 5.03 | 2.13 | 0.77 |



DISTRIBUIÇÃO ANUAL DE T_{med}

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Hmax | 0.9 | 1.0 | 1.1 | 1.2 | 1.3 | 1.4 | 1.5 | 1.6 | 1.7 | 1.8 | 1.9 | 2.0 | 2.1 | 2.2 | 2.3 |
| % | 0.56 | 0.56 | 0.39 | 2.32 | 4.64 | 8.32 | 6.77 | 6.96 | 8.70 | 8.70 | 6.32 | 5.42 | 5.22 | 4.06 | 4.64 |

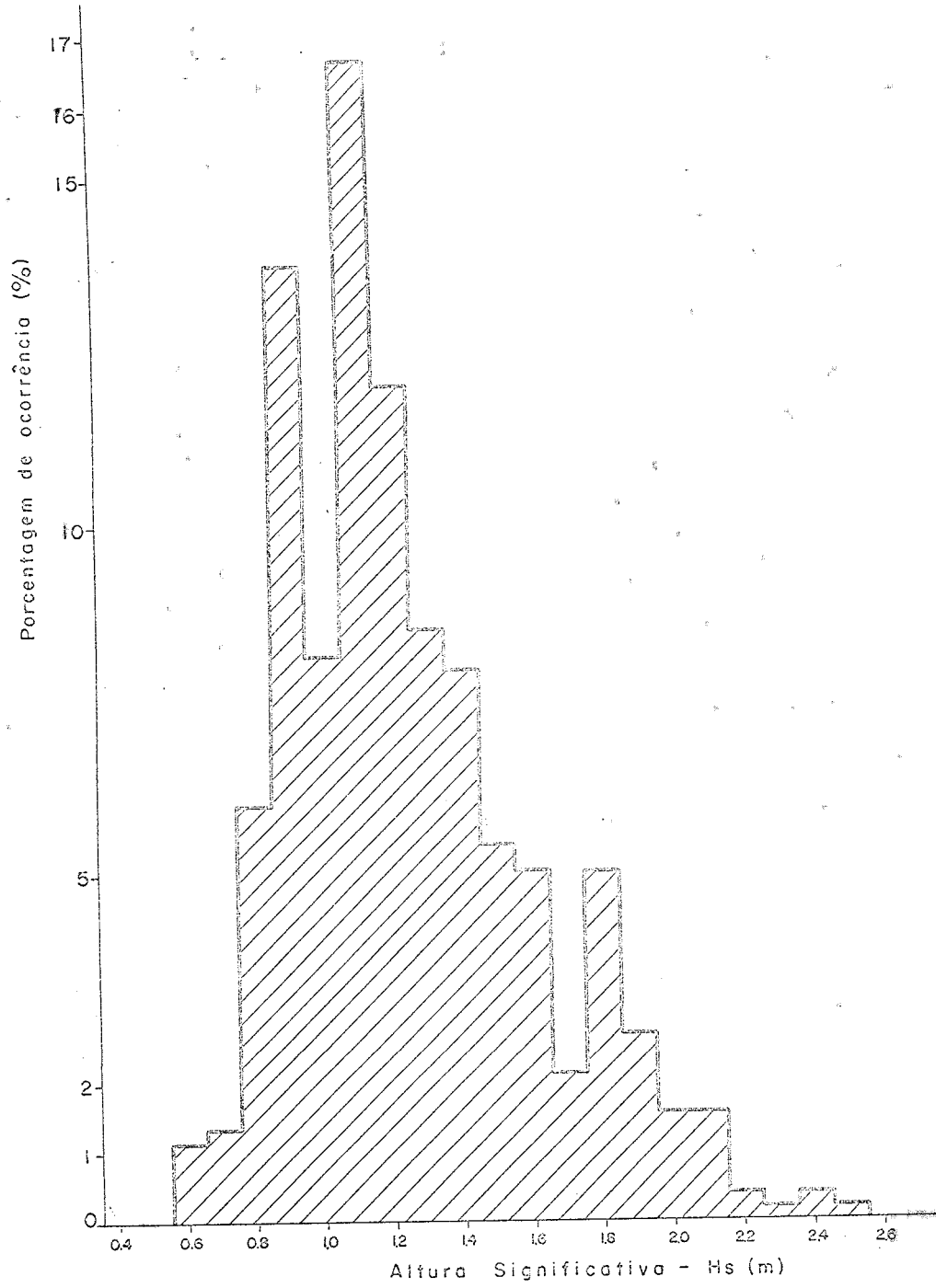
| | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Hmax | 2.4 | 2.5 | 2.6 | 2.7 | 2.8 | 2.9 | 3.0 | 3.1 | 3.2 | 3.3 | 3.4 | 3.5 | 3.7 | 3.8 | 4.0 |
| % | 5.42 | 3.48 | 1.36 | 2.71 | 1.36 | 3.10 | 1.93 | 1.36 | 0.56 | 0.77 | 0.77 | 0.39 | 0.19 | 0.77 | 0.19 |



DISTRIBUIÇÃO ANUAL DE Hmax

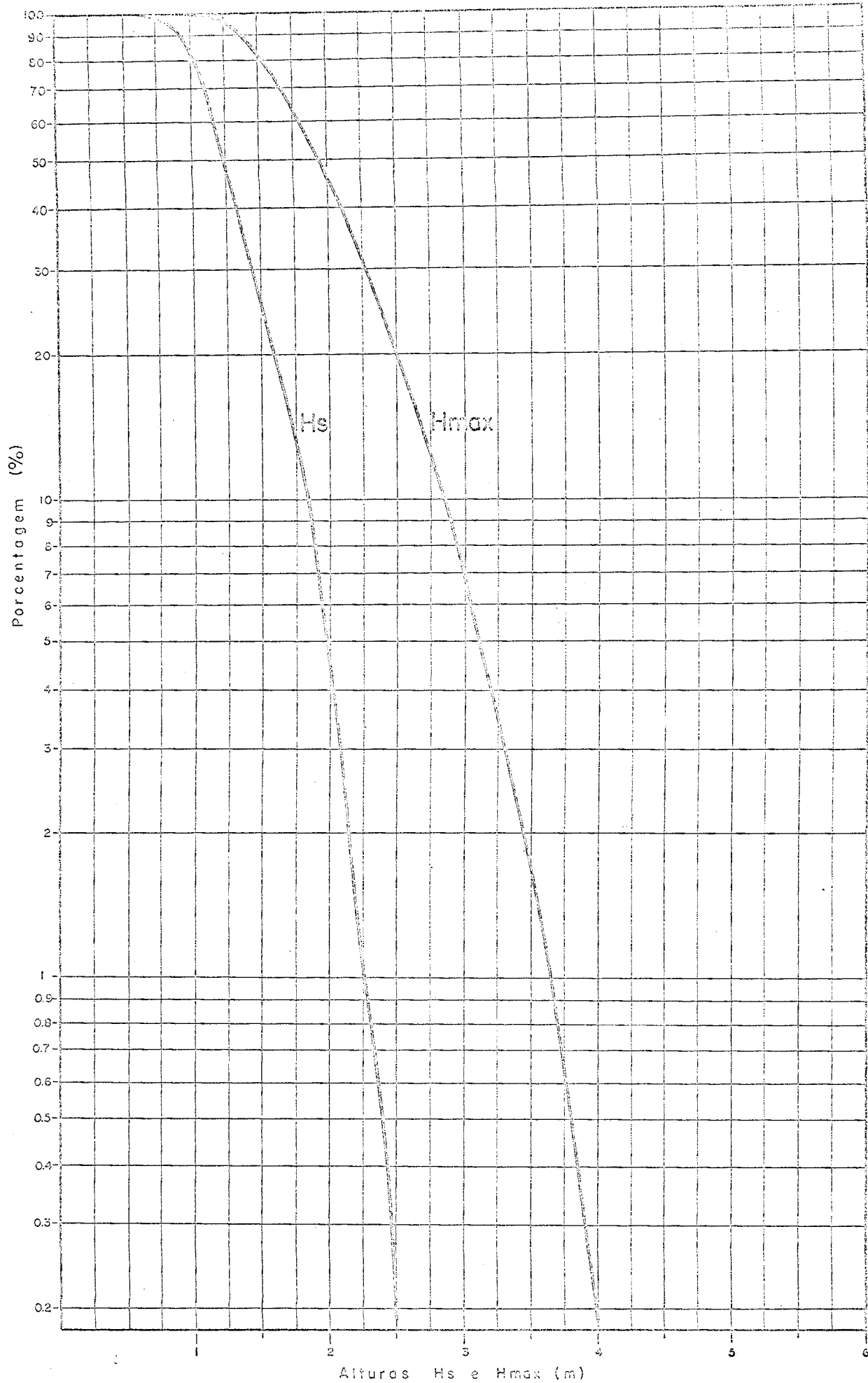
Fig. 7-2

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|------|------|------|-------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Hs | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1.0 | 1.1 | 1.2 | 1.3 | 1.4 | 1.5 | 1.6 | 1.7 | 1.8 | 1.9 | 2.0 | 2.1 | 2.2 | 2.3 | 2.4 | 2.5 |
| % | 1.16 | 1.35 | 6.00 | 13.73 | 8.12 | 16.63 | 11.99 | 8.51 | 7.93 | 5.42 | 5.03 | 2.15 | 5.03 | 2.71 | 1.55 | 1.55 | 0.39 | 0.19 | 0.39 | 0.19 |



DISTRIBUIÇÃO ANUAL DE Hs

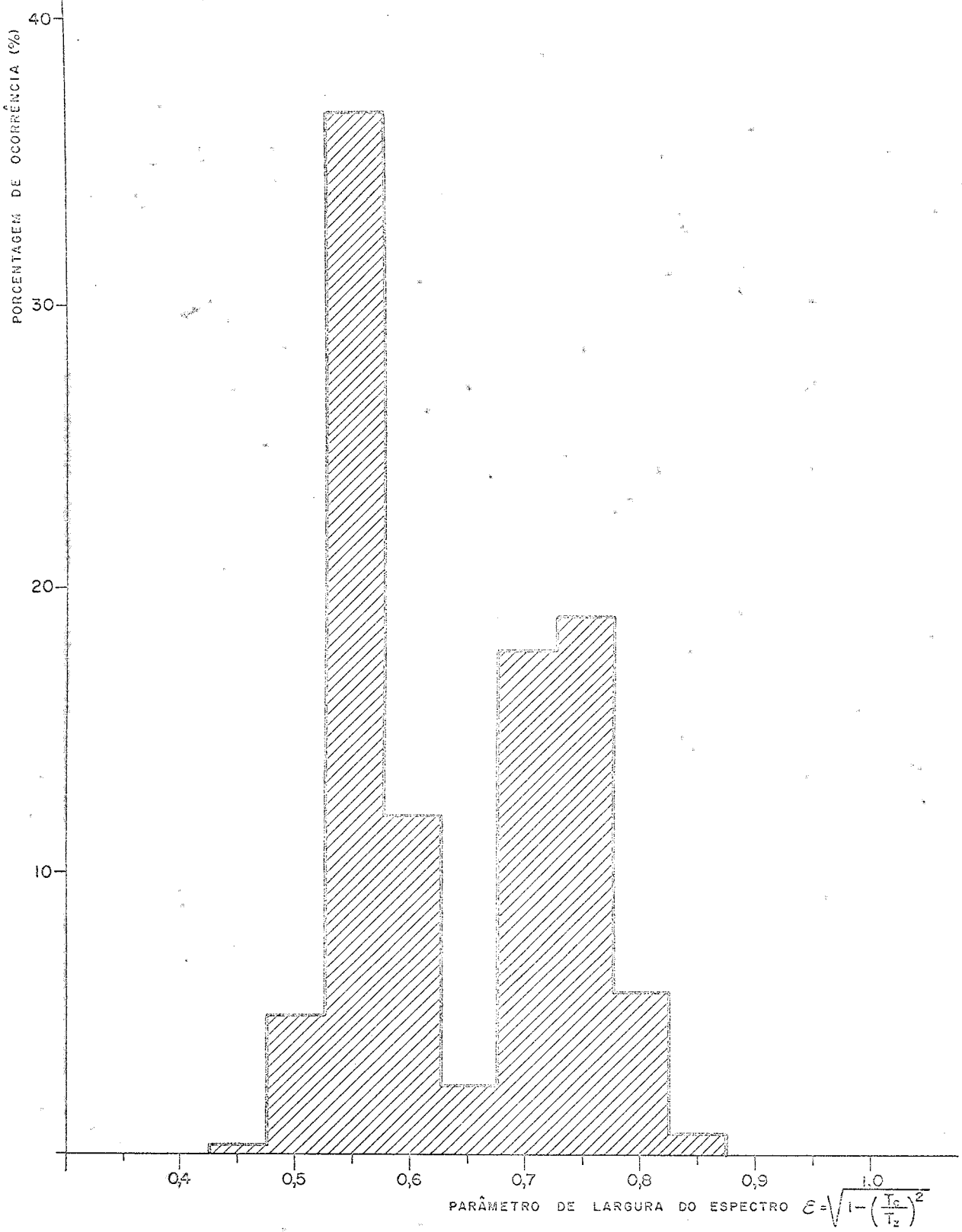
Fig. 7-3



CURVAS DE FREQUÊNCIAS ACUMULADAS (ANUAIS) DAS ALTURAS MÁXIMAS (Hmax) E SIGNIFICATIVAS (Hs)

Fig. 7-4

| | | | | | | | | | |
|---------------|------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|------|
| ε | 0,45 | 0,50 | 0,55 | 0,60 | 0,65 | 0,70 | 0,75 | 0,80 | 0,85 |
| % | 0,39 | 5,03 | 36,75 | 12,00 | 2,51 | 17,79 | 18,96 | 5,80 | 0,77 |



DISTRIBUIÇÃO ANUAL DE ε

Fig. 7-5

7.2.2 ALTURAS

A altura máxima (H_{max}) na profundidade de registro (20 m), variou de 0.9 m a 4.0 m (ocorreu em agosto de 1966), sendo $H_{max}=1.7$ e 1.8 m os valores mais frequentes (fig 7-2). A altura significativa (H_s) variou entre 0.6m e 2.5 m, sendo $H_s=1.1$ m o valor mais frequente (fig.7-3).

A figura (7-4) mostra as curvas de frequências acumuladas das alturas máximas e significativas ao longo do ano.

Os quadros 7-4 e 7-5 mostram, respectivamente, a variação percentual mensal das alturas máximas e significativas, tomando por base o número de registros do mes.

QUADRO 7-4
PORCENTAGEM DE OCORRÊNCIA MENSAL DE H_{max} A PROF. DE 20m

| MES H_{max} (m) | NOV DEZ | JAN | FEV | MAR | ABR | MAI | JUN JUL | AGO | SET OUT |
|-------------------------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|-------|------------|
| 0.9 | 1.89 | — | — | — | — | 2.27 | — | — | — |
| 1.0 | — | — | — | — | 1.72 | 4.55 | — | — | — |
| 1.1 | — | — | — | — | 3.45 | — | — | — | — |
| 1.2 | 3.77 | — | 2.70 | 1.75 | 1.72 | 6.82 | 2.22 | — | — |
| 1.3 | 7.55 | 2.56 | — | 8.77 | 10.35 | 9.09 | — | — | — |
| 1.4 | 24.53 | 10.26 | — | 3.51 | 6.90 | 11.37 | 2.22 | — | — |
| 1.5 | 9.43 | 15.39 | 13.52 | 10.55 | 10.35 | 4.55 | — | — | — |
| 1.6 | 9.43 | 7.69 | 8.11 | 14.04 | 3.45 | 4.55 | 6.67 | — | 3.03 |
| 1.7 | 5.66 | 25.64 | 18.92 | 8.77 | 6.90 | 9.09 | 4.44 | 5.00 | 6.06 |
| 1.8 | 9.43 | 12.82 | 21.62 | 14.04 | 5.17 | 9.09 | — | 5.00 | 9.09 |
| 1.9 | 7.55 | 7.69 | 16.22 | 3.51 | 12.07 | 9.09 | 4.44 | 5.00 | 12.12 |
| 2.0 | 5.66 | 10.26 | 8.11 | 5.26 | 5.17 | 2.27 | 2.22 | 10.00 | 6.06 |
| 2.1 | 3.77 | — | — | 10.53 | 5.17 | 2.27 | 2.22 | 5.00 | 15.15 |

Continua

CONTINUAÇÃO
7-4

| h_{max} (m) | MES NOV DEZ | JAN | FEV | MAR | ABR | MAI | JUN JUL | AGO | SET OUT |
|------------------|-------------------|------|------|------|------|------|------------|-------|------------|
| 2.2 | 1.89 | 5.13 | 2.70 | 7.02 | 5.17 | 2.27 | 2.22 | 10.00 | 6.06 |
| 2.3 | 3.77 | 2.56 | 2.70 | 1.75 | 3.45 | 2.27 | 8.89 | 20.00 | 3.03 |
| 2.4 | 1.89 | — | 2.70 | 1.75 | 5.17 | 2.27 | 6.67 | 10.00 | 18.18 |
| 2.5 | — | — | — | 7.02 | 3.45 | 2.27 | 8.89 | 5.00 | 3.03 |
| 2.6 | — | — | — | — | 1.72 | — | 2.22 | — | 6.06 |
| 2.7 | — | — | 2.70 | 1.75 | 3.45 | 4.55 | 2.22 | 10.00 | 6.06 |
| 2.8 | — | — | — | — | 1.72 | — | 4.44 | 10.00 | — |
| 2.9 | — | — | — | — | — | 4.55 | 13.33 | — | 3.03 |
| 3.0 | 1.89 | — | — | — | 1.72 | 2.27 | 6.67 | — | — |
| 3.1 | — | — | — | — | 1.72 | — | 4.44 | — | 3.03 |
| 3.2 | — | — | — | — | — | 2.27 | 2.22 | — | — |
| 3.3 | 1.89 | — | — | — | — | — | 2.22 | — | — |
| 3.4 | — | — | — | — | — | — | 4.44 | — | — |
| 3.5 | — | — | — | — | — | — | 2.22 | — | — |
| 3.7 | — | — | — | — | — | 2.27 | — | — | — |
| 3.8 | — | — | — | — | — | — | 4.44 | — | — |
| 4.0 | — | — | — | — | — | — | — | 5.00 | — |

QUADRO 7-5

PORCENTAGEM DE OCORRÊNCIA MENSAL DE H_{δ} À PROF. DE 20 m.

| H_{δ} (m) | MES NOV DEZ | JAN | FEV | MAR | ABR | MAI | JUN JUL | AGO | SET OUT |
|---------------------|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|-----|------------|
| 0.6 | 1.89 | — | — | — | 1.72 | 6.82 | — | — | — |
| 0.7 | 1.89 | — | 2.70 | — | 5.17 | 2.27 | — | — | — |
| 0.8 | 9.43 | 2.56 | — | 10.53 | 10.35 | 13.63 | 2.22 | — | — |
| 0.9 | 32.07 | 25.64 | 10.81 | 12.28 | 13.79 | 13.63 | 2.22 | — | — |
| 1.0 | 11.32 | 7.69 | 10.81 | 15.79 | 6.90 | 4.55 | 6.67 | — | 3.03 |

Continua

| MES h_s (m) | NOV DEZ | JAN | FEV | MAR | ABR | MAI | JUN JUL | AGO | SET OUT |
|---------------------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|-------|------------|
| 1.1 | 13.21 | 38.46 | 40.54 | 22.81 | 12.07 | 13.63 | 4.44 | 10.00 | 15.15 |
| 1.2 | 11.32 | 15.39 | 16.22 | 5.26 | 15.52 | 15.91 | 6.67 | 5.00 | 18.18 |
| 1.3 | 7.55 | 2.56 | 8.11 | 14.04 | 5.17 | 4.55 | 2.22 | 15.00 | 21.21 |
| 1.4 | 5.66 | 7.69 | 2.70 | 8.77 | 8.62 | 4.55 | 11.11 | 15.00 | 9.09 |
| 1.5 | 1.89 | — | 5.41 | 1.75 | 5.17 | 2.27 | 6.67 | 25.00 | 12.12 |
| 1.6 | — | — | — | 7.02 | 6.90 | 2.27 | 11.11 | 5.00 | 9.09 |
| 1.7 | — | — | 2.70 | — | 3.45 | 4.55 | 2.22 | 10.00 | 3.03 |
| 1.8 | — | — | — | 1.75 | 1.72 | 4.55 | 17.78 | 10.00 | 6.06 |
| 1.9 | 1.89 | — | — | — | 1.72 | 2.27 | 8.89 | — | 3.03 |
| 2.0 | — | — | — | — | 1.72 | 2.27 | 6.67 | — | — |
| 2.1 | 1.89 | — | — | — | — | — | 6.67 | — | — |
| 2.2 | — | — | — | — | — | — | 2.22 | — | — |
| 2.3 | — | — | — | — | — | 2.27 | — | — | — |
| 2.4 | — | — | — | — | — | — | 2.22 | — | — |
| 2.5 | — | — | — | — | — | — | — | 5.00 | — |

7.2.3 PARÂMETRO DE LARGURA DO ESPECTRO (ϵ).

O valor de ϵ variou entre 0.43 e 0.86.

A fig. (7-5) apresenta as porcentagens de ocorrência anual dos valores de ϵ , tomando por base os 517 (colhidos ou esquematizados). Agruparam-se os valores de ϵ em intervalos de 0.05, para o cálculo das porcentagens.

No quadro 7-6 tem-se as porcentagens de ocorrência mensal dos valores de ϵ .

| ε \ MES | NOV DEZ | JAN | FEV | MAR | ABR | MAI | JUN JUL | AGO | SET OUT |
|---------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|-------|------------|
| 0.45 | — | — | — | — | 3.45 | — | — | — | — |
| 0.50 | — | 5.13 | 13.51 | 3.51 | 10.34 | 20.45 | — | — | 3.03 |
| 0.55 | 26.42 | 33.33 | 45.95 | 45.61 | 29.31 | 29.55 | 51.11 | 20.00 | 39.39 |
| 0.60 | 28.30 | 23.08 | 10.81 | 5.26 | 3.45 | — | 4.44 | — | 15.15 |
| 0.65 | — | — | — | — | 10.34 | 13.64 | — | 5.00 | — |
| 0.70 | 20.75 | 15.38 | 8.11 | 10.53 | 15.52 | 18.18 | 28.89 | 50.00 | 3.03 |
| 0.75 | 16.98 | 23.08 | 16.22 | 26.32 | 17.24 | 11.36 | 8.89 | 15.00 | 36.36 |
| 0.80 | 7.55 | — | 2.70 | 7.02 | 6.90 | 6.82 | 6.67 | 10.00 | 3.03 |
| 0.85 | — | — | 2.70 | 1.75 | 3.45 | — | — | — | — |

7.2.4 ÂNGULOS DE INCIDÊNCIA DAS ONDAS.

A direção do alinhamento da costa (profundidade zero) em Aracaju, faz com o norte verdadeiro um ângulo de 35° , no quadrante NE. A normal ao alinhamento da costa faz, portanto, um ângulo de 125° com o norte verdadeiro e cai no quadrante SE.

Reproduzimos da ref. (18) o quadro 7-7 que dá as porcentagens de ocorrência de direções de ondas, na profundidade em que foram observadas (-5 m), independentemente de períodos e alturas, de setembro de 1965 a agosto de 1966.

As direções estão expressas em graus verdadeiros. Agruparam-se as observações em categorias de 5 em 5 graus.

QUADRO 7-7

| DIREÇÃO (°) | PORCENTAGEM | DIREÇÃO (°) | PORCENTAGEM |
|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 85 | 0.1 | 120 | 23.6 |
| 90 | 0.6 | 125 | 12.9 |
| 95 | 2.3 | 130 | 10.6 |
| 100 | 6.0 | 135 | 3.7 |
| 105 | 6.9 | 140 | 1.6 |
| 110 | 14.3 | 145 | 0.1 |
| 115 | 17.0 | 150 | 0.3 |

Constata-se então que as direções estão compreendidas entre 85° e 150° . O máximo de ocorrência (23.6%) se verifica para 120° , fazendo portanto ângulo de 5° para o lado norte com a normal à costa.

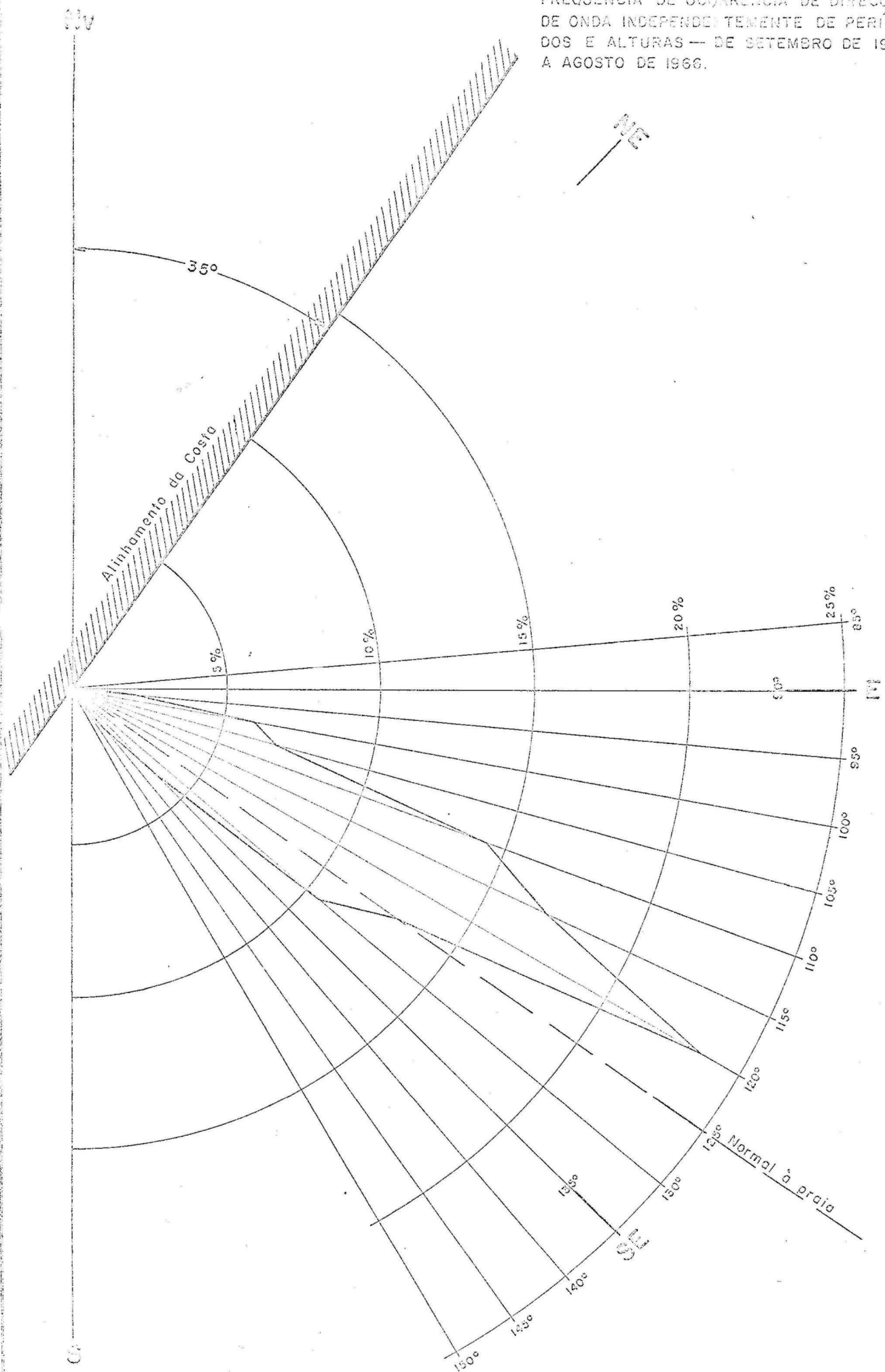
A fig. (7-6) é a tradução em coordenadas polares, do quadro anterior.

Observa-se que a maioria das ondas (70.8%) provêm do quadrante ao norte da normal à praia ($< 125^{\circ}$), ao passo que apenas (16.3%) das ondas provêm do quadrante ao sul.

Para o cálculo do transporte litorâneo, levaram-se em consideração, no presente trabalho, apenas as observações de direção que foram feitas simultaneamente com os registros de "Houlographe", pois, somente com o conhecimento da altura, período e ângulo de ataque é possível calcular o transporte litorâneo provocado pela arrebentação da onda.

Das 386 observações de direção correspondentes aos registros do "Houlographe", 53 foram feitas em um ponto correspondente à profundidade de 20 m, e as 333 restan

FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA DE DIREÇÕES
DE ONDA INDEPENDENTEMENTE DE PERÍ-
DOS E ALTURAS — DE SETEMBRO DE 1965
A AGOSTO DE 1966.



Extraído da Ref. (18)

Fig. 7-8

tes em um ponto correspondente à profundidade de 5 m.

As observações de direção foram agrupadas em categorias de 5 em 5 graus. Os ângulos lidos com o zero no norte verdadeiro (β), foram referenciados ao azimute da normal à praia ($\alpha = 125^\circ - \beta$). O ângulo α é o ângulo que a direção de propagação da onda, à uma dada profundidade, faz com a normal à praia o qual, por razões geométricas é também o ângulo que a direção da crista faz com o alinhamento da costa.

QUADRO 7-8

ESQUEMATIZAÇÃO DOS ÂNGULOS DE
INCIDÊNCIA

| ÂNGULOS NO INTERVALO DE: | ÂNGULO CONSIDERADO: β ($^\circ$) | ÂNGULO MÉDIO DE INCIDÊNCIA $\alpha = 125^\circ - \beta$ |
|---------------------------|--|--|
| 81 $^\circ$ a 85 $^\circ$ | 83 | 42 |
| 86 - 90 | 88 | 37 |
| 91 - 95 | 93 | 32 |
| 96 - 100 | 98 | 27 |
| 101 - 105 | 103 | 22 |
| 106 - 110 | 108 | 17 |
| 111 - 115 | 113 | 12 |
| 116 - 120 | 118 | 7 |
| 121 - 125 | 123 | 2 |
| 126 - 130 | 128 | -3 |
| 131 - 135 | 133 | -8 |
| 136 - 140 | 138 | -13 |
| 141 - 145 | 143 | -18 |
| 146 - 150 | 148 | -23 |

OBS: Os ângulos do quadrante ao norte da normal à praia foram considerados positivos (transporte litorâneo de NE para SW). Os ângulos do quadrante ao sul da normal foram considerados negativos (transporte litorâneo de SW para NE).

Por esta esquematização não foi considerado o caso da onda incidir normalmente à praia, dando portanto, transporte litorâneo nulo. Tendo em vista que foram adotados os ângulos médios de incidência 2° e -3° para os intervalos de $(121^\circ - 125^\circ)$ e $(126^\circ - 130^\circ)$ respectivamente, e considerando que estes ângulos são bastante pequenos, isto não influenciou muito no resultado anual do transporte litorâneo.

Para o cálculo do ângulo de ataque à profundidade de infinita (α_0), agruparam-se os registros simultaneamente, por períodos das ondas e ângulos médios de incidência. Os ângulos (α_0) correspondentes às observações em pontos de 5 e 20 metros de profundidade, foram obtidos através do emprego do abaco universal de refração (20). Para o cálculo de α_0 a partir de ângulos médios de incidência menores que 10° (o abaco não fornece), utilizou-se a lei de refração de Snell, tendo o cuidado de verificar se a onda de período dado, a -5m ou -20m conforme o caso, estava em zona de profundidade intermediária ou de água rasa.

$$\frac{\text{sen } \alpha_0}{\text{sen } \alpha_d} = \frac{c_0}{c_d} \quad (7-1)$$

$$c_0 = \sqrt{\frac{gL_0}{2\pi}} \quad (\text{celeridade da onda à profundidade infinita})$$

$$c_d = \sqrt{\frac{gL}{2\pi} \operatorname{tgh} \frac{2\pi d}{L}} \quad (\text{celeridade da onda à profundidade intermediária}).$$

$$c_d = \sqrt{gd} \quad (\text{celeridade da onda em zona de água rasa})$$

Considerando os 517 registros (colhidos ou esquemmatizados) e com as aproximações vistas anteriormente, foi composto o quadro abaixo onde, para simplificar, as direções foram também agrupadas de 5 em 5 graus.

QUADRO 7-9

PORCENTAGENS ANUAIS DE OCORRÊNCIA DE DIREÇÕES DE ONDAS À PROFUNDIDADE INFINITA, INDEPENDENTEMENTE DE PERÍODOS E ALTURAS, DE SETEMBRO DE 1965 A
AGOSTO DE 1966

| DIREÇÃO (°) | α_0 (°) | PORCENTAGEM ANUAL (%) |
|----------------|-------------------|--------------------------|
| 45 | 80 | 0.58 |
| 75 | 50 | 0.97 |
| 80 | 45 | 4.26 |
| 85 | 40 | 5.03 |
| 90 | 35 | 3.28 |
| 95 | 30 | 10.07 |
| 100 | 25 | 6.96 |
| 105 | 20 | 11.41 |
| 110 | 15 | 8.50 |
| 115 | 10 | 12.38 |
| 120 | 5 | 12.39 |
| 130 | -5 | 14.90 |
| 135 | -10 | 1.55 |
| 140 | -15 | 3.48 |
| 145 | -20 | 1.93 |
| 150 | -25 | 0.96 |
| 155 | -30 | 0.58 |
| 160 | -35 | 0.58 |
| 175 | -50 | 0.19 |

FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA ANUAL DE DIREÇÕES DE ONDAS À PROFUNDIDADE INFINITA INDEPENDENTEMENTE DE PERÍODOS E ALTURAS.

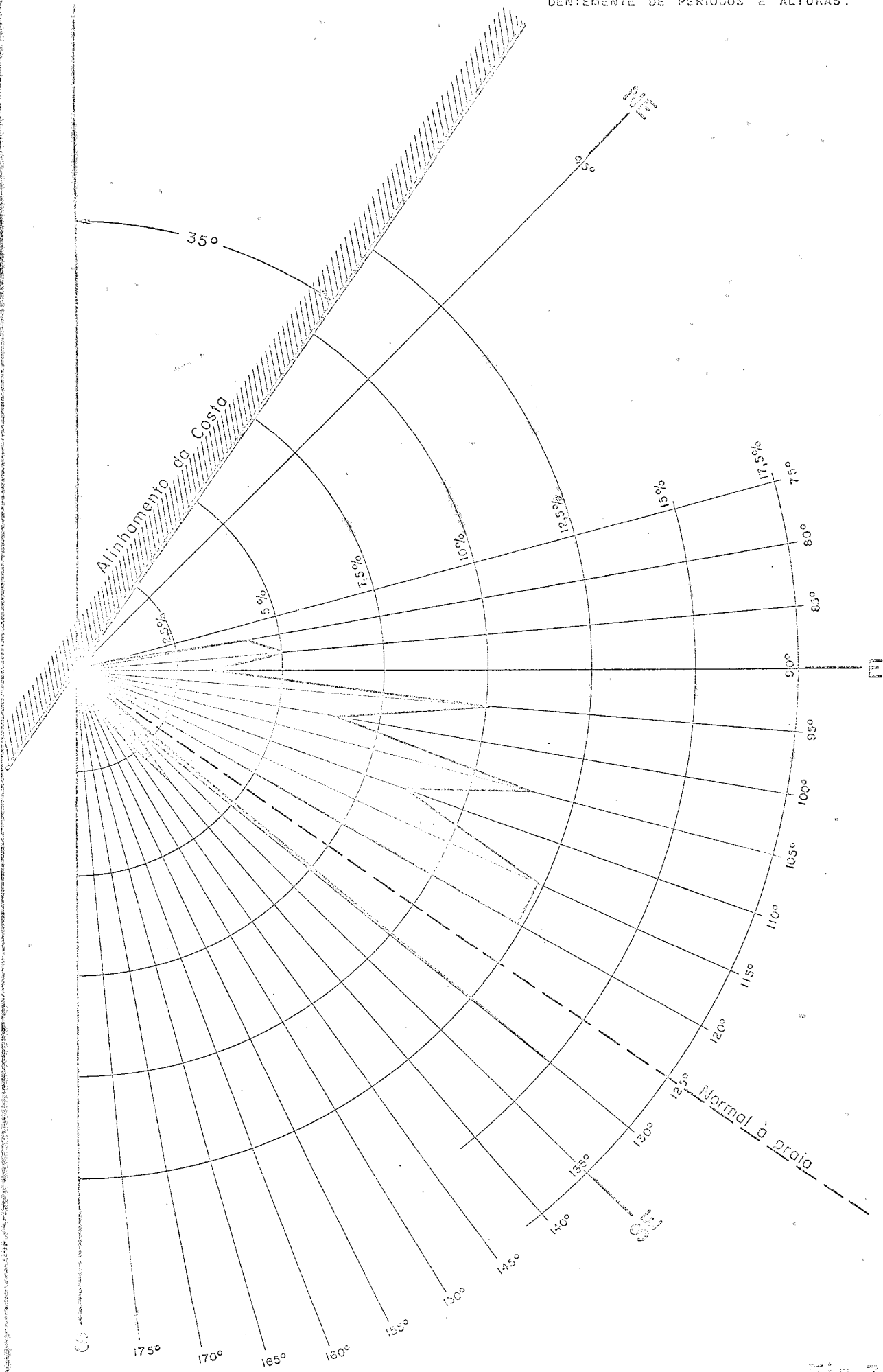


Fig. 7-7

A fig. (7-7) é a tradução, em coordenadas polares, do quadro anterior.

Constata-se que as direções à profundidade infinita estão compreendidas entre 45° ($\alpha_0 = 80^{\circ}$) e 175° ($\alpha_0 = -50^{\circ}$). O máximo de ocorrências (14.90%) se verifica para 130° ($\alpha_0 = -5^{\circ}$).

Observa-se que a maioria das ondas (75.83%) provêm do quadrante ao norte da normal à praia, enquanto somente (24.17%) provêm do quadrante ao sul da normal.

O quadro 7-10 apresenta as porcentagens mensais de ocorrência de direções de ondas à profundidade infinita, independentemente de períodos e alturas. Para simplificar, as direções foram agrupadas em categorias de 5 em 5 graus.

QUADRO 7-10

| α_0 ($^{\circ}$) | DIREÇÕES ($^{\circ}$) | MES | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|----------------------------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|-------|------------|---|---|---|
| | | NOV DEZ | JAN | FEV | MAR | ABR | MAI | JUN JUL | AGO | SET OUT | | | |
| 80 | 45 | 1.89 | — | — | — | 1.72 | — | — | — | — | — | — | — |
| 50 | 75 | 1.89 | 5.13 | — | — | 1.72 | — | — | — | — | — | — | — |
| 45 | 80 | 11.32 | 15.38 | 5.41 | 1.75 | 1.72 | — | — | — | — | — | — | — |
| 40 | 85 | 16.98 | 12.82 | — | 1.75 | 3.45 | — | — | — | — | — | — | — |
| 35 | 90 | 5.66 | 10.26 | 8.11 | 1.75 | 3.45 | 2.27 | — | — | — | — | — | — |
| 30 | 95 | 20.75 | 23.08 | 32.43 | 8.77 | 3.45 | — | 2.22 | — | — | — | — | — |
| 25 | 100 | 11.32 | 7.69 | 16.22 | 3.51 | 6.90 | 9.09 | 4.44 | 5.00 | — | — | — | — |
| 20 | 105 | 9.43 | 12.82 | 8.11 | 19.30 | 1.72 | 13.64 | 13.33 | 25.00 | 9.09 | — | — | — |
| 15 | 110 | — | 5.13 | 8.11 | 15.79 | 5.17 | 18.18 | 17.78 | 15.00 | — | — | — | — |
| 10 | 115 | 11.32 | 5.13 | 13.51 | 31.53 | 6.90 | 13.64 | 13.33 | 15.00 | 3.03 | — | — | — |
| 5 | 120 | 9.43 | 2.56 | 5.41 | 5.26 | 13.79 | 13.64 | 17.78 | 30.00 | 18.18 | — | — | — |
| -5 | 130 | — | — | 2.70 | 1.75 | 12.07 | 13.64 | 20.00 | — | 66.67 | — | — | — |
| -10 | 135 | — | — | — | 3.51 | 3.45 | 4.55 | 2.22 | — | — | — | — | — |
| -15 | 140 | — | — | — | 5.26 | 6.90 | 6.82 | 4.44 | 10.00 | 3.03 | — | — | — |
| -20 | 145 | — | — | — | — | 8.62 | 2.27 | 4.44 | — | — | — | — | — |
| -25 | 150 | — | — | — | — | 8.62 | — | — | — | — | — | — | — |
| -30 | 155 | — | — | — | — | 5.17 | — | — | — | — | — | — | — |
| -35 | 160 | — | — | — | — | 3.45 | — | — | — | — | — | — | — |
| -50 | 175 | — | — | — | — | 1.72 | — | — | — | — | — | — | — |

OBS: Para o cálculo do transporte litorâneo não se considerou α_0 com a aproximação de 5° e sim o valor calculado, sendo de 0.5° a aproximação.

7.3. OS VENTOS EM ARACAJU.

Resumiram-se da ref. (18) as seguintes conclusões a respeito dos ventos registrados em Aracaju, durante o período de um ano em que teve curso o registro das ondas (1965-1966):

1. Os ventos ocorrem principalmente entre 40° e 160° em relação ao norte verdadeiro, portanto sempre sopram do mar para a terra.
2. Durante o ano ocorrem dois regimes de ventos nitidamente diferentes. Predominam, de outubro a março os ventos E, com máximos para 70° e 100° . De maio a agosto predominam os ventos SE, com máximos para 130° . Em abril e Setembro alternam-se os ventos E e SE.

O quadro 7-11 mostra as porcentagens totais mensais de ocorrências de ventos E e SE.

QUADRO 7-11
VARIAÇÃO ESTACIONAL DOS VENTOS EM ARACAJU

| MES | % TOTAL VENTOS E | % TOTAL VENTOS SE |
|-----|------------------|-------------------|
| SET | 39.6 | 37.1 |
| OUT | 58.4 | 15.8 |
| NOV | 61.6 | 14.6 |
| DEZ | 64.0 | 12.5 |
| JAN | 60.5 | 10.9 |
| FEV | 50.7 | 10.3 |
| MAR | 43.3 | 17.1 |
| ABR | 20.7 | 15.0 |
| MAI | 15.4 | 30.4 |
| JUN | 12.1 | 42.3 |
| JUL | 16.5 | 53.7 |
| AGO | 20.8 | 35.8 |

De maio a agosto predominam os ventos SE. De outubro a março há uma predominância acentuada dos ventos E.

4. A maior parte dos ventos registrados (78.6%) têm velocidades na faixa de 4 a 16 nós.
5. Os ventos reinantes (de maior frequência total no conjunto do ano, 38.7%) são os de E, com máximo para 100° (14.2%). Os ventos SE apresentam uma porcentagem total de 32.0%, e o máximo ocorre para 130° (15.0%). Portanto, as maiores frequências totais anuais não diferem muito, 14.2% para 100° e 15.0% para 130° .
6. Os ventos de maiores velocidades (ventos dominantes) são os de E, com 38.2% na faixa de 4 a 16 nós. Na mesma faixa os ventos SE apresentam uma porcentagem total anual de 24.4%.

7.4 VARIACÃO ESTACIONAL DAS ONDAS.

As ondas que ocorreram em Aracaju não apresentaram, em todos os meses do ano, as mesmas características. Analisemos esta variação em relação aos seguintes parâmetros:

- a) - Períodos médios
- b) - Alturas
- c) - Parâmetro de largura do espectro
- d) - Direções de incidência à profundidade infinita.

a) - PERÍODOS

As ondas em Aracaju apresentaram períodos médios variando entre 5 e 10 segundos. São portanto, ondas

relativamente curtas. Constata-se pelo quadro 7-3 que de setembro a março, mais de 70% das ondas tem períodos de 5 e 6 segundos. De abril a agosto menos de 70% das ondas tem períodos de 5 e 6 segundos. Portanto, é maior a ocorrência de ondas relativamente mais longas de abril a agosto.

b) - ALTURAS.

Quanto à variação de alturas constata-se, através dos quadros 7-4 e 7-5, que a presença mais frequente de ondas mais altas ocorre de abril a outubro que de novembro a março. Com efeito: as alturas máximas mais frequentes ao longo do ano são 1.7 e 1.8 m (fig. 7-2). As somas das porcentagens mensais de ondas cuja altura máxima é maior que 1.8 m, variam de 25.64% (janeiro) a 38.59% (março), de novembro a março, e de 38.62% (maio) a 90.00% (agosto), de abril a outubro.

A altura significativa mais frequente é: $H_s = 1.1$ m, no conjunto do ano (fig. 7-3). As somas das porcentagens mensais de ondas de $H_s > 1.1$ m, variam também nas mesmas proporções e nos mesmos intervalos que as somas de H_{max} .

c) - PARÂMETRO DE LARGURA DO ESPECTRO.

Em relação ao parâmetro de largura do espectro (ϵ), constata-se que ele não variou muito ao longo do ano. Observa-se pela fig (7-5) e pelo quadro 7-6, que as ondas ocorridas em Aracaju tem mais características de vagas, $\epsilon > 0.5$ (98.06%) que de ondulações, $\epsilon < 0.5$ (1.94%).

d) - DIREÇÕES DE INCIDÊNCIA À PROFUNDIDADE INFINITA.

As direções de ondas à profundidade infinita a apresentam uma variação marcada ao longo do ano. Pelo qua

do 7-10 observa-se que, de novembro a março, as ondas provêm praticamente do quadrante ao norte da normal à praia, de um modo semelhante ao que ocorre com os ventos.

De abril a outubro as ondas provêm dos dois quadrantes sendo que, somente em setembro as ondas do quadrante sul apresentam maior porcentagem (69.70%) que as do quadrante ao norte (30.30%) - quadro 7-10.

7-5. RELAÇÃO ENTRE OS VENTOS E AS DIREÇÕES DE ONDAS À PROFUNDIDADE INFINITA, EM ARACAJU:

Sendo que, praticamente, todas as ondas registradas tem mais características de vagas ($\epsilon > 0.5$), e considerando que elas são relativamente curtas ($5 \leq T \leq 10$ seg), resolveu-se pesquisar:

- a relação entre as direções e predominâncias de ventos locais de um lado, e as direções de ondas à profundidade infinita de outro, para cada mes. O quadro 7-12 resume esta relação. Nele foram considerados apenas os meses em que foram obtidos registros de ondas, pois, sem se conhecer os períodos das ondas não se pode prever as direções de incidência à profundidade infinita, para se comparar com as velocidades e direções dos ventos locais. Portanto, as esquematizações feitas para preencher os meses de lacunas com vistas ao cálculo do transporte litorâneo anual, não valem neste item.

No quadro 7-12 são mostradas as direções de ondas e ventos que dão a porcentagem máxima de ocorrência mensal.

DIREÇÕES DE ONDAS À PROFUNDIDADE INFINITA E DIREÇÕES DE VENTOS LOCAIS QUE APRESENTAM PORCENTAGEM MÁXIMA DE OCORRÊNCIA MENSAL (colunas 1 e 2).

PORCENTAGEM DE OCORRÊNCIA MENSAL DE VENTOS E E SE COM VELOCIDADE ENTRE 4 E 16 NÓS (coluna 3).

| | (1) | (2) | (3) | |
|-----|----------------------------------|-------------------------|--------------------|----------------------|
| MES | DIREÇÃO DE ONDA À PROF. INFINITA | DIREÇÃO DO VENTO LOCAL. | % DO VENTO E (90°) | % DO VENTO SE (135°) |
| NOV | 95° | 70° - 100° | 61.6 | 14.6 |
| JAN | 95° | 70° - 100° | 60.5 | 10.9 |
| FEV | 95° | 100° | 50.7 | 10.3 |
| MAR | 115° | 100° | 43.3 | 17.1 |
| ABR | 120° | 130° - 160° | 20.7 | 15.0 |
| MAI | 110° | 130° | 15.4 | 30.4 |
| JUN | 130° | 130° | 12.1 | 42.3 |
| AGO | 120° | 130° | 20.8 | 35.8 |
| SET | 130° | 130° | 39.6 | 37.1 |

Os dados das colunas (2) e (3) do quadro anterior foram obtidas da referência (18), enquanto que os da coluna (1) foram obtidos do quadro 7-10 do presente trabalho.

As direções de ventos 70° - 100° (novembro e janeiro) e 130° - 160° (abril) da coluna (2), têm porcentagens mensais praticamente iguais (estampa 11-ref.18).

Constata-se uma concordância razoável entre as direções de ondas à profundidade infinita (col. 1) e as direções dos ventos locais (col.2).

Para os meses estudados, quando há predominância dos ventos E (col. 3), as ondas geralmente provêm do quadrante ao norte da normal à praia (direções menores que 125°).

Havendo uma predominância nítida dos ventos SE (maio a agosto), as ondas nem sempre provêm do quadrante ao sul da normal (direções maiores que 125°). Isto só ocorre para o mes de junho. Em maio a porcentagem máxima de direções de ondas (18.18%) - quadro 7-10, ocorre para 110° . Mas, pelo mesmo quadro pode-se ver que a porcentagem seguinte (13.64%), ocorre igualmente para as direções 105° - 115° - 120° e 130° .

Em agosto de 1966 a porcentagem máxima de direções de ondas ocorre para 120° e predominam os ventos SE. No entanto, em agosto de 1965 (18), houve uma alternância entre os ventos E (37.6%) e SE (34.7%).

Não se afirma que as ondas que ocorreram em Aracaju, de setembro de 65 a agosto de 66 dependeram exclusivamente dos ventos locais. Tendo em vista que elas são ondas relativamente curtas e com mais característica de vagas em processo de transformação ($\epsilon > 0.5$ com $\epsilon_{max} = 0.55$, fig. 7-5), e levando em conta o que foi exposto acima, parece haver uma certa relação entre os ventos locais e as ondas.

Deve-se ressaltar que os registros de ventos locais foram feitos de hora, enquanto os de ondas foram feitos apenas 2 vezes por dia e apresentaram muitas falhas.

7.6 CONCLUSÕES SOBRE O REGIME DE ONDAS.

Do que foi visto anteriormente, pode-se concluir o seguinte:

1. Há uma variação nítida no regime de ondas durante o ano. De setembro a março ocorrem as ondas relativamente mais curtas. De novembro a março ocorrem as ondas relativamente mais baixas, e elas provêm praticamente do

quadrante ao norte da normal à praia. De abril a outubro ocorrem as ondas relativamente mais altas e elas provêm dos dois lados da normal à praia, sendo as ondas também relativamente mais longas nesse intervalo.

O mes de abril apresenta uma particularidade. É o mes em que ocorre toda a gama de períodos e direções de ondas à profundidade infinita (quadros 7-3 e 7-10). Apresenta também uma gama variada de alturas (quadros 7-4 e 7-5) e todos os valores calculados de ϵ (quadro 7-6). É considerado então, um mes de transição entre os dois regimes de ondas.

2. Existe um regime de verão e outro de inverno para as ondas:

a) - Novembro a abril (verão).

b) - Maio a outubro (inverno).

OBS: Na ref. (18) já se havia chegado a esta mesma conclusão.

3. A altura significativa mais frequente ao longo do ano à profundidade de 20 m, \bar{e} : $H_s = 1.1$ m, com 16.63%.

4. O período médio mais frequente ao longo do ano, \bar{e} : $T_z = 6$ seg, com 58.22%.

5. O ângulo de ataque à profundidade infinita mais frequente ao longo do ano, o qual corresponde à uma direção de incidência de 130° , \bar{e} : $\alpha_o = -5^\circ$ com 14.90%.

6. A maior parte das ondas registradas têm mais característica de vagas ($\epsilon > 0.5$) em processo de transformação.

7. Parece haver uma relação entre os ventos locais e as ondas que ocorreram em Aracaju.

APLICAÇÃO DE FÓRMULAS PARA A ESTIMATIVA DO TRANSPORTE
LITORÂNEO EM ARACAJU

APROXIMAÇÕES.

Antes da aplicação das fórmulas de Castanho, Caldwell e Bijker às ondas registradas em Aracaju, convém destacar as aproximações básicas que foram necessárias para que esta aplicação fosse possível:

1. As ondas reais distribuem-se em um amplo espectro onde ocorrem alturas e períodos os mais variados e, portanto, energias variadas. As três fórmulas aplicadas foram estabelecidas para o caso de ondas monocromáticas. Foi então necessário substituir cada registro (espectro ondulatório) por uma onda de altura significativa e período médio bem definido (onda monocromática), cuja atuação durante o tempo do registro equivalesse à atuação do espectro ondulatorio.

Até que ponto isto é válido, tendo em vista o cálculo do transporte litorâneo, é uma questão que permanece em aberto. Não se conhece até o presente, um método de cálculo de transporte de sedimentos sob a ação de ondas, baseado na consideração do espectro ondulatorio, tal como ele ocorre.

2. O registro de ondas não foi contínuo ao longo do ano. Foram feitos, na melhor das hipóteses, apenas dois registros diários, com duração aproximada de doze minutos cada um, o que representa $\frac{2 \times 12}{24 \times 60} = \frac{1}{60}$ do dia.

Houve meses com pouquíssimos ou nenhum registro (julho (2), outubro (0), novembro (2)). Fez-se a aproximação já citada em capítulo anterior.

Para agosto, por exemplo, com apenas 20 registros e com a consideração de que cada onda monocromática obtida do registro atua durante um intervalo de tempo igual ao número de segundos do mes dividido pelo número de registros do mesmo mes, tem-se uma atuação de cada onda de 133920 segundos, ou 37 horas aproximadamente. Isto está bem longe da realidade física, mas assim foi feito por não se dispor de dados mais completos.

CAPITULO 3

APLICAÇÃO DA FÓRMULA DE CASTANHO

Os dados de que se dispõe para a aplicação da fórmula de Castanho são, para cada onda:

- a)- Altura significativa à profundidade de 20 metros (H_s).
- b)- Período médio (T_z)
- c)- Ângulo de ataque à profundidade infinita (α_0).

As alturas significativas (H_s) e períodos médios (T_z) foram obtidos através da análise dos registros de ondas. Os ângulos de ataque a profundidade infinita foram obtidos através das observações de direção a -5 m e a -20 m, e com o emprego do abaco universal de refração ou da lei de Snell, conforme o caso, como já foi visto no capítulo 7.

Na aplicação da fórmula foram utilizadas as características das ondas junto da arrebentação, porque: os fatores que determinam diretamente as características da corrente litorânea e, conseqüentemente, do transporte litorâneo, são as características da onda junto da arrebent

tação (9). Foi necessário então calcular as características de cada onda na arrebentação, a partir das características conhecidas, acima citadas. Para tanto foi obedecida a seguinte ordem:

- a)- Cálculo da altura da onda a profundidade infinita (H_0).
- a)- 1. Cálculo do coeficiente de empinamento* (shoaling).
- a)- 2. Cálculo do coeficiente de refração.
- b)- Cálculo da altura da onda na arrebentação (H_b) e da profundidade de arrebentação (d_b).
- c)- Cálculo do ângulo de ataque da onda na arrebentação (α_b).

8.1 CÁLCULO DE H_0 .

A altura de onda a profundidade infinita (H_0) foi calculada a partir da altura significativa a profundidade de 20 m (H_s), pela fórmula:

$$H_0 = \frac{H_s}{K_r \cdot K_{sh}} \quad (8-1)$$

K_{sh} = coeficiente de empinamento (SHOALING) para a profundidade de 20 m.

K_r = coeficiente de refração para a profundidade de 20 m.

Para o cálculo de K_{sh} utilizaram-se as tabelas

(*) Esta denominação foi sugerida pelo oceanógrafo brasileiro, Altmte. Paulo de Castro Moreira da Silva.

de (1) ou (2), onde $\frac{d}{L_0}$ é o parâmetro de entrada.

Sendo $L_0 = \frac{gT^2}{2\pi}$ e $d = 20$ m, as ondas foram se paradas por períodos. Como só ocorreram seis valores de períodos (5 a 10 seg), usaram-se apenas seis valores de K_{sh} para as ondas de todo o ano em Aracaju.

QUADRO 8-1

| T (seg) | d/L_0 | K_{sh} |
|-----------|---------|----------|
| 5 | 0.5130 | 0.9916 |
| 6 | 0.3560 | 0.9657 |
| 7 | 0.2620 | 0.9363 |
| 8 | 0.2000 | 0.9181 |
| 9 | 0.1580 | 0.9130 |
| 10 | 0.1280 | 0.9175 |

Para o cálculo de K_{sh} construíram-se diagramas de refração pelo método das ortogonais (raios de onda) (1) (2).

As isóbatas em Aracaju são sensivelmente paralelas à linha de costa e, como a linha de costa é praticamente retilínea, as isóbatas também são sensivelmente retilíneas.

Na construção dos diagramas de refração adotou-se a seguinte simplificação: as ondas foram agrupadas por períodos e ângulos de ataque à profundidade infinita (α_0). Para cada período foram sendo traçados os diagramas de refração das ondas mais inclinadas (maiores valores de α_0), para as ondas menos inclinadas, em relação à linha de cos-

ta. Isto foi feito para as ondas incidindo nos dois qua
drantes: ao norte e ao sul da normal à praia.

Quando, para um determinado período e para um certo α_0 estudado, obtinha-se $K_n = 1$ para a profundidade de 20 m, considerava-se então que todas as outras ondas de mesmo período, e com α_0 menor que aquele que deu como resultado $K_n = 1$, não sofriam refração.

OBS: Para o cálculo h_0 foram construídos diagra
mas de refração para as ondas com períodos de 6 a 10 se
gundos, uma vez que a profundidade de 20 m é infinita pa
ra as ondas com $T = 5$ seg.

8.2 CÁLCULO DA ALTURA DA ONDA NA ARREBENTAÇÃO (H_b) E DA PROFUNDIDADE DE ARREBENTAÇÃO (d_b).

H_b e d_b foram calculadas com a aplicação da teo
ria da onda solitária. Justifica-se isto pelo seguinte: a declividade da praia em Aracaju entre zero e 5 metros de profundidade é de 1/276, e a esbeltez das ondas lã re
gistradas tem como valor mais frequente 0.02. Isto con
duz à arrebentação progressiva, que foi considerada como ocorrendo para as ondas de todo o ano.

As ondas em arrebentação progressiva tem perfis e velocidades que as aproximam mais das ondas solitárias teó
ricas.

A teoria da onda solitária permite estabelecer as seguintes equações para o cálculo de H_b e d_b (1).

$$h_b = \frac{H_0^2}{3.3 \sqrt[3]{\frac{H_0^2}{L_0}}} \quad (8-2)$$

$$\frac{H_b}{a_b} = 0.72 \text{ ou } \frac{H_b}{H_0} = 1.28 \quad [8-3]$$

A equação (8-3) traduz o critério de Mc Cowan, o qual foi obtido aplicando o critério da velocidade limite de Stokes para arrebentação, à onda solitária.

Na equação (8-2) H_0 é a altura que a onda teria ao largo se não houvesse refração. Calcula-se H_b multiplicando o coeficiente de refração correspondente à profundidade de arrebentação $\sqrt{\frac{b_0}{b}}$, pela altura real da onda ao largo (H_0).

$$\frac{H_b}{H_0} = \frac{H_b}{H_0} \cdot \sqrt{\frac{b_0}{b}} \text{ ou } H_b = H_0 \sqrt{\frac{b_0}{b}}$$

A determinação de $\sqrt{\frac{b_0}{b}}$ exige que se conheça, a priori, o ponto de arrebentação, para determinar nele a distância b entre os raios de onda. Este ponto é arbitrado em primeira aproximação e depois corrigido, através de tentativas, empregando-se para isto um gráfico que relaciona $\frac{H_b}{H_0}$ com $\frac{H_0}{L_0}$ (1) (2).

A equação (8-2) calcula então a altura da onda na arrebentação, considerando que a onda sofre apenas o processo de empinamento.

Como realmente as ondas sofrem o processo de refração, calculamos H_b utilizando H_0 em (8-2) e não H_b , por sugestão de nosso orientador. Além do mais, a carta hidrográfica mais detalhada da região de Aracaju, a (DHN-1003), tem a isóbata de -5m como a de menor profundidade. As ondas em Aracaju geralmente arrebentam à profundidades menores que 5 m.

De qualquer modo não seria possível traçar-se os diagramas de refração até a região de arrebentação, para utilizar o procedimento acima mencionado, para a determinação de

$$\sqrt{\frac{b_0}{b}}$$

A título de observação, pode-se dizer que em a penas 8 casos entre os 517 registros de ondas considerados, o coeficiente de refração entre a profundidade infinita e -5 m foi inferior a 0.90. Em 57 oportunidades o coeficiente de refração variou entre 0.91 e 0.99, e nos demais casos ele teve o valor aproximado de 1.

8.3 CÁLCULO DO ÂNGULO DE ATAQUE DA ONDA NA ARREBENTAMENTO (α_b).

Utilizou-se a lei de refração de SNELL, sendo a celeridade da onda na arrebentação dada pela teoria da onda solitária.

$$\frac{\text{sena}_b}{\text{sena}_0} = \frac{c_0}{c_b} \quad (8-4)$$

onde:

$$c_0 = \sqrt{\frac{gL_0}{2\pi}} \quad \text{e} \quad c_b = \sqrt{g(d_b + h_b)}$$

Como na arrebentação tem-se a onda solitária limite,

$$\frac{h_b}{d_b} = 0.78, \text{ vem:}$$

$$c_b = 1.34 \sqrt{3d_b}$$

8.4 CÁLCULO DO TRANSPORTE LITORÂNEO.

Sendo já conhecidas as características das ondas junto à arrebentação, calculou-se o transporte litorâneo produzido pela arrebentação oblíqua de cada onda.

$$q_s = \frac{SP_{tl}}{\gamma_s \bar{x}_{90}} \quad (8-5)$$

q_s é expresso em kg/s por metro de extensão da praia.

a)- Cálculo da potência transmitida paralelamente à costa.

$$P_{tl} = \frac{E_b}{T} \cdot \text{sen} \alpha_b \cdot \text{cos} \alpha_b \quad (\text{Joule m}^{-1} \text{s}^{-1})$$

(8-6)

onde: $E_b = 2.2 \rho g H_b^3$ (8-7) é a energia da onda na arrebentação dada pela teoria da onda solitária.

b)- Cálculo do parâmetro S.

Para o cálculo do parâmetro S (relação entre a energia dissipada por atrito entre a arrebentação e a costa e a energia incidente), utilizaram-se as seguintes equações:

$$3.44A = \frac{\bar{\epsilon}^2}{1.07 - \bar{\epsilon}} \quad \text{ou} \quad \bar{\epsilon}^2 + 3.44A \bar{\epsilon} - 3.68A = 0 \quad (8-8)$$

e

$$S = \frac{\bar{\epsilon}^3 \cdot \text{sen} \alpha_b}{1.78A} \quad (8-9)$$

A na equação (8-8) é um valor conhecido:

$$A = \frac{H_b}{K \operatorname{tg} \alpha_b} \quad (8-10)$$

m (declividade da praia) = 0.0036 para Aracaju, entre a profundidade zero e -5 m.

$\delta_b = \frac{H_b}{L_b}$ (8-11) é a esbeltez da onda na arrebentação. L_b em (8-11) foi calculado por:

$$L_b = T \cdot c_b = 1.34T \sqrt{gd_b}$$

Tomou-se para o coeficiente de atrito K , o valor $K = 0.004$, pois considerou-se a praia de Aracaju como sendo lisa (cap. 4). Mais adiante será vista a influência do valor de K no transporte litorâneo anual.

Através de (8-8) calculou-se o valor de $\bar{e} = \frac{v}{c_b \operatorname{sen} \alpha_b}$.

Com os valores de \bar{e} e A conhecidos, o emprego da equação (8-9) permitiu calcular o valor de S .

c) Valores de γ_s e $\operatorname{tg} \theta$

Admitiu-se que a massa específica da areia é

$$\rho_s = 2600 \text{ kg/m}^3,$$

e da água é $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$, e que o ângulo de talude natural da areia submersa é 35° . Então:

$$\gamma_s = \frac{\rho_s - \rho}{\rho_s} \cdot g = 8.637 \text{ ms}^{-2}$$

$$\tau_{30} = \tau_{35}^0 = 0.7$$

Com estes valores introduzidos na equação (8-5), tem-se:

$$q_s = \frac{S \cdot P \cdot \tau l}{4.226} \text{ Kg s}^{-1}$$

Admitiu-se, como em (9), que a massa específica da areia com vazios \bar{e} da ordem de 1600 kg/m^3 .

A vazão sólida durante o tempo de atuação de cada registro \bar{e} então:

$$Q_s = \frac{S \cdot P \cdot \tau l}{4.226} \cdot \frac{1}{1600} \cdot \text{RSN m}^3 \quad (8-11)$$

onde: RSN \bar{e} o tempo em segundos de atuação de cada registro.

8.5 RESULTADOS.

A aplicação deste roteiro de cálculo aos 517 registros de Aracaju, foi realizada através de um programa de computador, onde os dados de entrada foram: período (T); ângulo de ataque \bar{a} profundidade infinita (α_0); altura significativa \bar{a} profundidade de 20 m (H_s); os coeficientes de empinamento e de refração entre as profundidades infinita e -20 m (K_{3H}) e (K_R); o número de segundos em que atua cada registro (RSN).

Foi utilizada a linguagem de programação FORTRAN, sendo o programa processado em um computador IBM 1130. O programa prevê o caso da onda ser proveniente do quadrante ao norte da normal \bar{a} praia (transporte litorâneo de NE para SW), ou do quadrante ao sul (transporte litorâneo de

SW para NE).

Utilizando-se o coeficiente de atrito $K = 0.004$, obtiveram-se os seguintes resultados transcritos no quadro a seguir, onde se fornecem os totais mensais e o total anual.

QUADRO 8-2

TRANSPORTE LITORÂNEO EM ARACAJU, CALCULADO PELA FÓRMULA DE CASTANHO (com $K=0.004$)

| | (1) | (2) | (3) = (1) + (2) | (4) = (1) - (2) |
|-------------|---|---|-------------------------------|-------------------------------------|
| MES | VOLUME MENSAL (m^3 /mes) NE - SW | VOLUME MENSAL (m^3 /mes) SW - NE | TOTAL MENSAL (m^3 /mes) | DIFFERENÇA MEN SAL (m^3 /mes) |
| NOV | 102334.06 | — | 102334.06 | 102334.06 |
| DEZ | 105745.23 | — | 105745.23 | 105745.23 |
| JAN | 119077.25 | — | 119077.25 | 119077.25 |
| FEV | 73490.62 | 63.77 | 73554.39 | 73426.85 |
| MAR | 53763.86 | 2990.12 | 56753.98 | 50773.74 |
| ABR | 46223.32 | 33747.07 | 79970.39 | 12476.25 |
| MAI | 19376.03 | 33509.50 | 52885.53 | -14133.47 |
| JUN | 43472.10 | 11829.30 | 55301.40 | 31642.80 |
| JUL | 44927.18 | 12223.61 | 57144.79 | 32697.57 |
| AGO | 45419.75 | 6314.53 | 51734.28 | 39105.22 |
| SET | 10886.32 | 4486.36 | 15372.68 | 6399.96 |
| OUT | 11249.19 | 4635.90 | 15885.09 | 6613.29 |
| TOTAL ANUAL | 675958.62 | 109800.18 | 785759.07 m^3 /ano | |

A intensidade do transporte litorâneo por esta fórmula é então, aproximadamente $785800 \text{ m}^3/\text{ano}$.

Observa-se que o transporte litorâneo dominante ao longo do ano foi o de NE para SW com 86.03%, contra 13.97% para o transporte secundário no sentido SW para NE.

A figura (8-1) é a tradução gráfica do quadro anterior, sendo que nela aparecem 4 linhas. A linha cheia representa o volume mensal transportado nos dois sentidos da costa (coluna 3). A linha dois pontos-traço representa o volume transportado mensalmente no sentido NE-SW da costa (col. 1). A linha tracejada representa o volume de transporte mensal no sentido SW-NE da costa (col. 2) e a linha pontilhada a diferença do transporte nos dois sentidos (col. 4), sendo o transporte de NE para SW considerado como positivo.

Novembro, dezembro e janeiro são os meses que apresentam as maiores intensidades de transporte litorâneo (mais de $100000 \text{ m}^3/\text{mes}$), sendo janeiro o mes em que esta intensidade é máxima.

Nota-se uma inversão no transporte para o mes de maio, onde foi maior o transporte litorâneo de SW para NE.

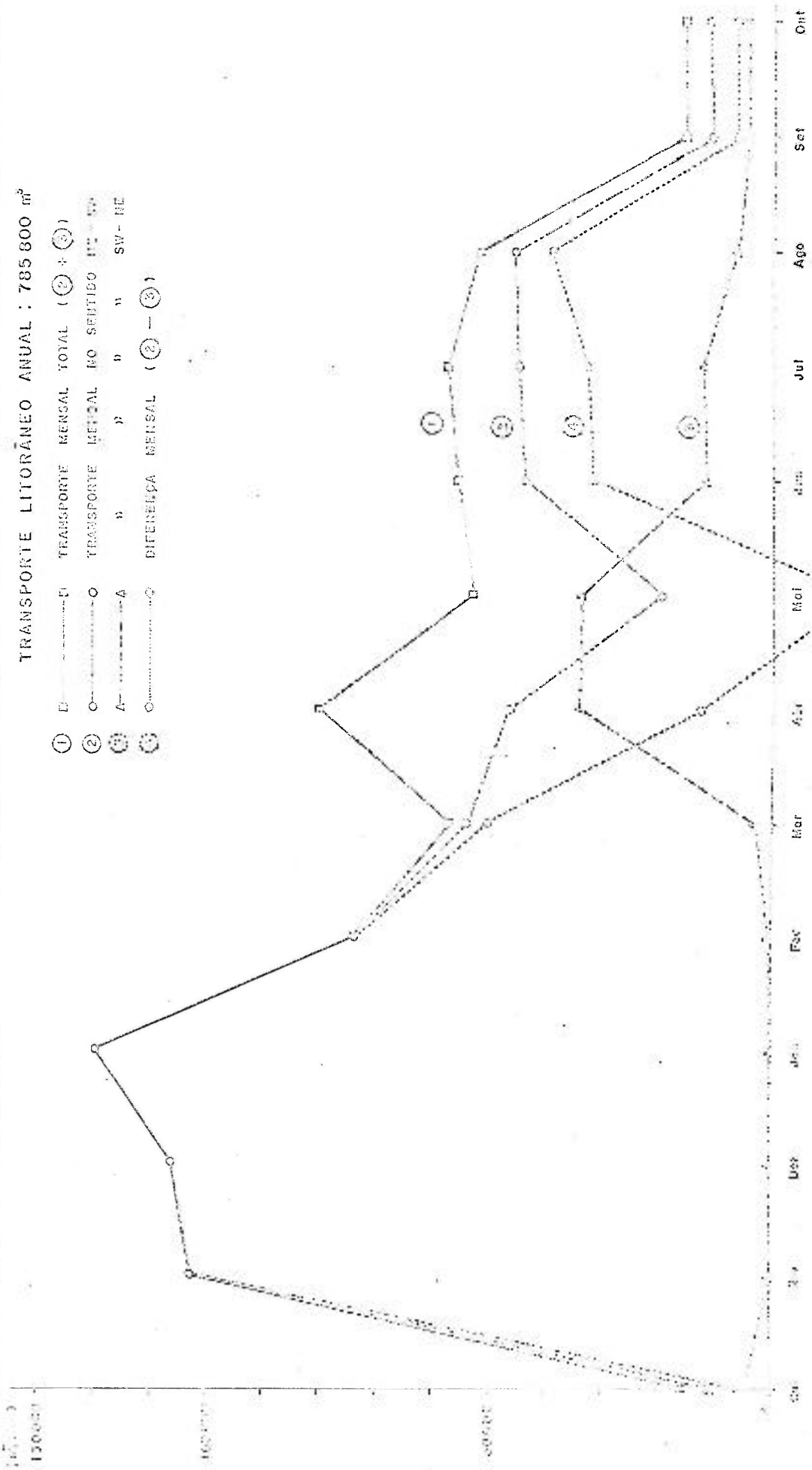
8.5.1 INFLUÊNCIA DA RUGOSIDADE.

Para se estudar a influência, no transporte litorâneo, da rugosidade do fundo através do coeficiente de atrito K, o programa de computador foi processado com os seguintes valores de K: 0.010, 0.008, 0.007 e 0.006.

Apresentam-se no quadro 8-3, os resultados anuais para estes valores, sendo a figura (8-2) a tradução gráfica deste quadro. Foram também plotados nesta figura os valores do transporte litorâneo anual calculados pela

TRANSPORTE LITORÂNEO ANUAL : 785 800 m³

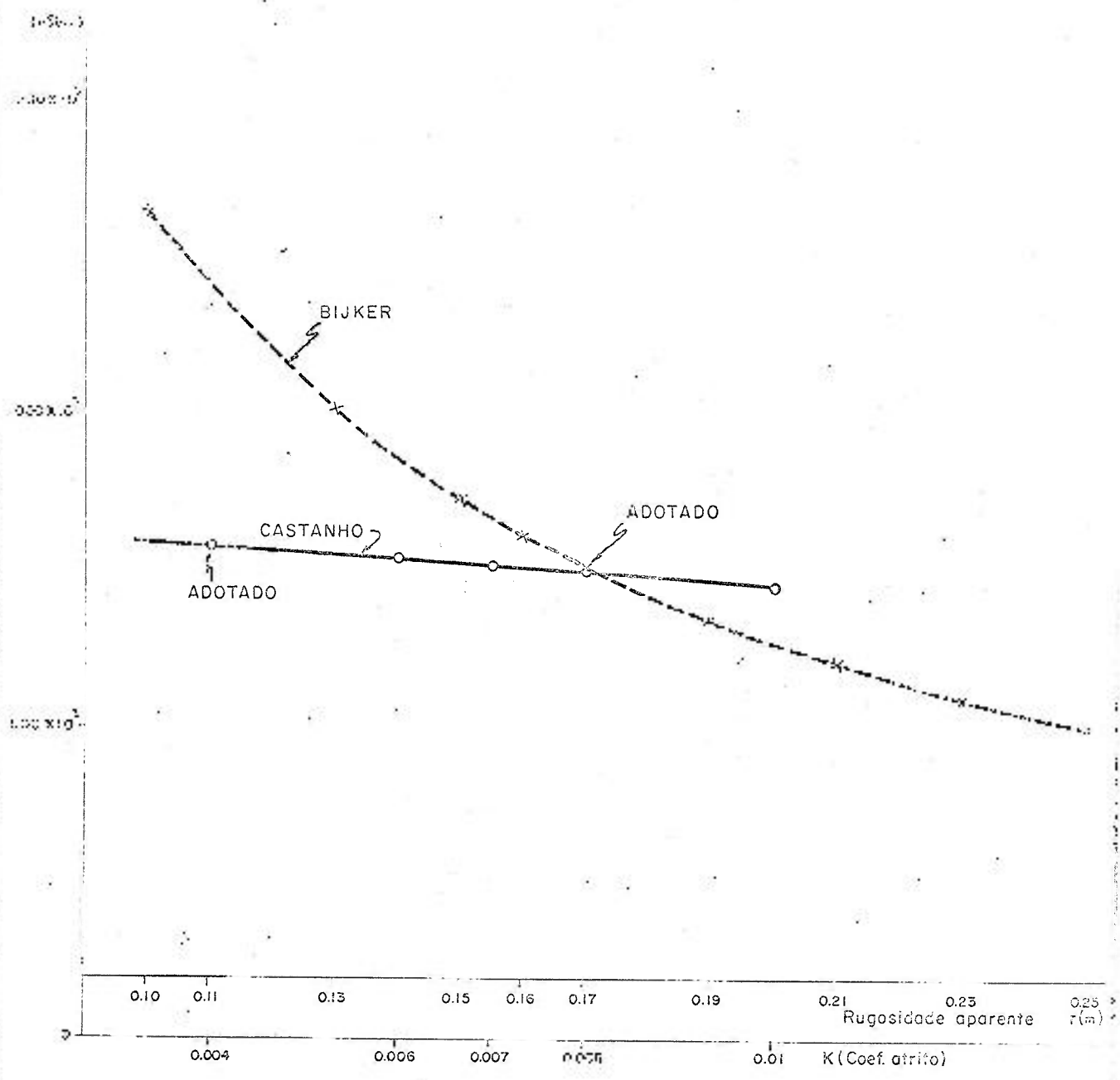
- ① — TRANSPORTE MENSAL TOTAL (② + ③)
- ② — TRANSPORTE MENSAL NO SENTIDO NE - SW
- ③ — " " " " SW - NE
- ④ — DIFERENÇA MENSAL (② - ③)



Regime de Verão ————— Regime de Inverno

VALORES DE INTENSIDADE MENSAL DO TRANSPORTE LITORÂNEO EM ARAGUAÍ

1953, 1954 e 1955



VARIAÇÃO DO TRANSPORTE LITORÂNEO ANUAL EM ARACAJU COM A RUGOSIDADE DE FUNDO.

fórmula de Bijker, para diversos valores da rugosidade a parente (r), para efeito de posterior comparação.

QUADRO 8-3
INFLUÊNCIA DE K NO TRANSPORTE LITORÂNEO ANUAL.

| Coefficiente atrito (K) | Transporte litorâneo (m^3/ano) |
|-------------------------|---|
| 0.004 | 785759.07 |
| 0.006 | 770596.87 |
| 0.007 | 758965.25 |
| 0.008 | 746627.62 |
| 0.010 | 721915.25 |

A variação do transporte litorâneo com o coeficiente de atrito K , é linear. A variação percentual para os casos extremos, $K = 0.004$ (práia lisa) e $K = 0.010$ (práia rugosa), é de apenas:

$$\frac{785759.07 - 721915.25}{785759.07} \cdot 100 = 8.12\%$$

Esta pequena variação observada para casos extremos de rugosidade é um aspecto favorável da fórmula de Castanho pois, até o presente é extremamente difícil, se não impossível, a determinação de rugosidade de praias na natureza.

CAPITULO 9

APLICAÇÃO DA FÓRMULA DE CALDWELL

9.1 CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES.

A fórmula de Caldwell (8) é, como já vimos, do tipo que relaciona a vazão sólida (transporte litorâneo) com a energia transmitida paralelamente à costa pela onda incidente.

Foi visto no capítulo 3 que esta fórmula é empírica, não leva em conta a influência da esbelteza das ondas e da geometria da praia (rugosidade de fundo, diâmetro de grão, declividade, etc). Ela tem por expressão, em unidades inglesas:

$$q_s = 210 P_{tl}^{0.8} \quad (9-1)$$

onde:

q_s = vazão sólida em jardas cúbicas por dia.

P_{tl} = potência transmitida paralelamente à costa em milhões de libras-pê por dia, por pé de comprimento de praia.

Esta fórmula em unidades métricas, é:

$$q_s = 5.006 P_{tl}^{0.8} \quad (9-2)$$

onde:

q_s = vazão sólida em $m^3 s^{-1}$

P_{tl} = potência transmitida paralelamente à costa em milhões de joules por segundo, por metro de comprimento de praia ($Joule m^{-1} s^{-1}$).

Na aplicação da fórmula de Caldwell calcula-se a energia transmitida paralelamente à costa por unidade

de tempo (potência transmitida), por:

$$P_{tl} = \frac{E_b}{T} \cdot \text{sen} \alpha_b \cdot \text{cos} \alpha_b \quad (9-3)$$

onde: $E_b = 10^{-6} \times 2.2 \text{ pg } n_b^3$ (milhões de joules), \bar{e} a energia total da onda incidente, dada pela teoria da onda solitária.

n_b e α_b foram calculados do mesmo modo que para a aplicação da fórmula de Castanho.

A vazão sólida durante o tempo de atuação de cada registro, \bar{e} :

$$Q_s = 5.006 \cdot P_{tl}^{0.8} \cdot \text{RSN} \quad (9-4)$$

onde RSN \bar{e} o intervalo de tempo em segundos, em que atua cada registro.

O cálculo do transporte litorâneo anual para A racaju com a utilização da fórmula de Caldwell, foi feito através do mesmo programa de computador que calculava este transporte pela fórmula de Castanho. Na realidade o programa foi estruturado para calcular simultaneamente o transporte litorâneo pelas fórmulas de Castanho e Caldwell, pois as duas têm a mesma estruturação física.

9.2 RESULTADOS.

A aplicação da fórmula de Caldwell aos 517 registros de ondas, deu os seguintes resultados (Quadro 9-1).

QUADRO 9-1

TRANSPORTE LITORÂNEO EM ARACAJU, CALCULADO
PELA FÓRMULA DE CALDWELL.

| | (1) | (2) | (3) = (1) + (2) | (4) = (1) - (2) |
|-------------|---|---|---------------------------------------|--|
| MES | VOLUME MENSAL (m ³ /mes) NE - SW | VOLUME MENSAL (m ³ /mes) SW - NE | TOTAL MENSAL (m ³ /mes) | DIFERENÇA MENSAL (m ³ /mes) |
| NOV | 76737.70 | — | 76737.70 | 76737.70 |
| DEZ | 79295.64 | — | 79295.64 | 79295.64 |
| JAN | 83875.51 | — | 83875.51 | 83875.51 |
| FEV | 67165.95 | 658.17 | 67824.12 | 66507.78 |
| MAR | 55477.24 | 7042.33 | 62519.57 | 48434.91 |
| ABR | 34490.78 | 36865.53 | 71356.31 | -2374.75 |
| MAI | 34639.70 | 24290.01 | 58929.71 | 10349.69 |
| JUN | 64652.88 | 17584.06 | 82236.94 | 47068.82 |
| JUL | 66808.00 | 18170.19 | 84978.19 | 48637.81 |
| AGO | 70934.54 | 10222.25 | 81156.79 | 60712.29 |
| SET | 16740.42 | 21574.15 | 38314.57 | -4833.73 |
| OUT | 17298.44 | 22293.29 | 39591.73 | -4994.85 |
| TOTAL ANUAL | 668116.80 | 153699.98 | 826816.78 m ³ /ano | |

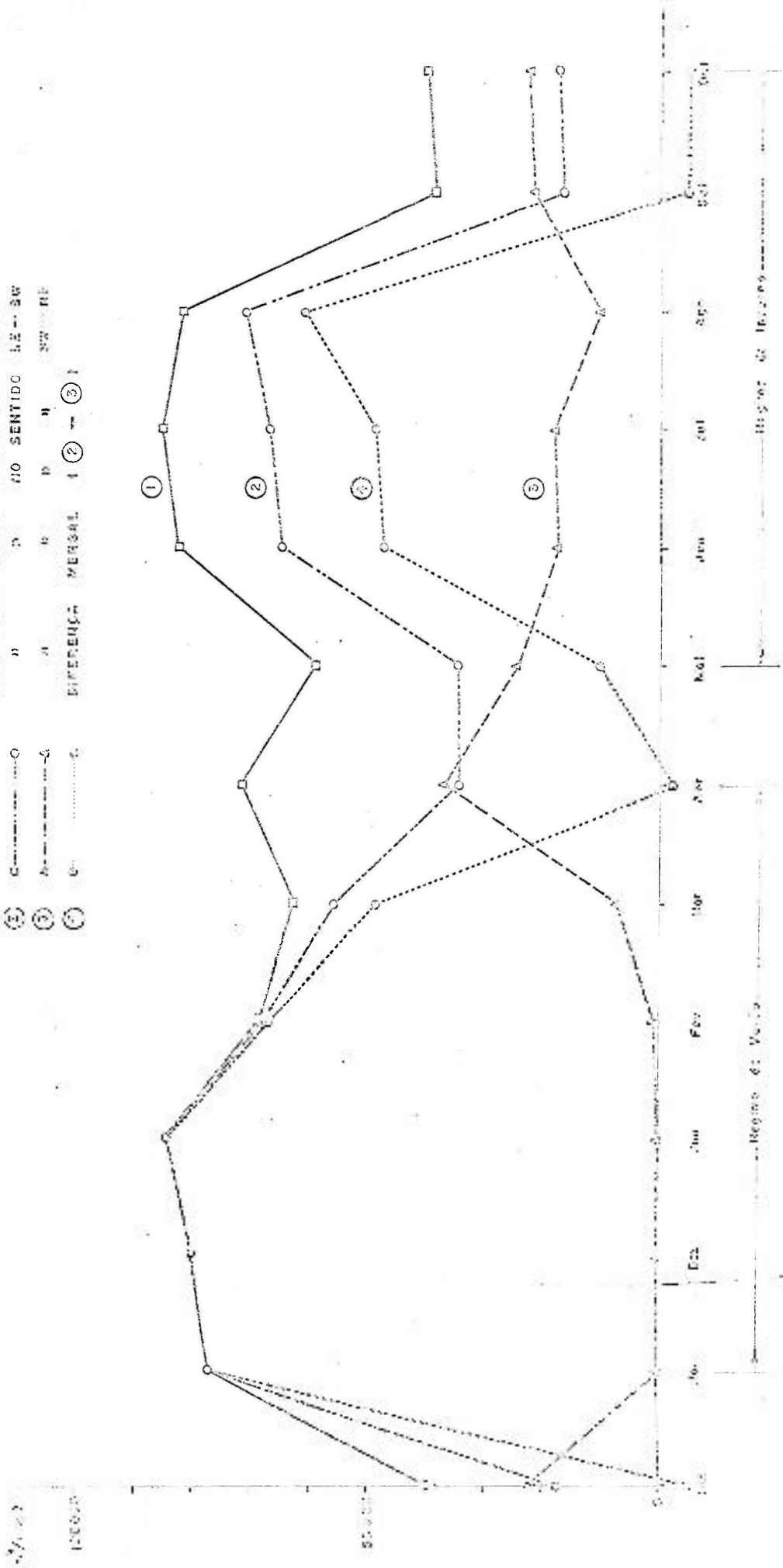
A intensidade do transporte litorâneo por esta fórmula é de aproximadamente 826800 m³/ano.

Ao longo do ano o transporte dominante foi o de NE para SW com 80.81%, contra 19.19% para o transporte de SW para NE.

A figura (9-1) é a tradução gráfica do quadro anterior. A linha cheia representa os dados da terceira coluna, a linha dois pontos-traço os da coluna (1), a li

TRANSPORTE LITORÂNICO ANUAL: 826.800 m³

- ① — TRANSPORTE MENSAL TOTAL (② + ③)
- ② — NO SENTIDO SE-SW
- ③ — NO SENTIDO SW-SE
- ④ — DIFERENÇA MENSAL (② - ③)



VALORES DE INTENSIDADE MENSAL DO TRANSPORTE LITORÂNICO EM ARACAJU.
FÓRMULA DE COLLETTA.

na tracejada os da coluna (2) e a linha pontilhada os da quarta coluna.

Considerando o transporte litorâneo no sentido de NE para SW como positivo, nota-se (col. 4) inversões para os meses de abril, setembro e outubro.

Os meses de janeiro, junho, julho e agosto são os que apresentam maiores intensidades de transporte litorâneo (mais de 80000 m³/mes), sendo este transporte mais intenso no mes de julho.

A comparação e discussão dos resultados obtidos através da aplicação das fórmulas de Castanho, Caldwell e Bijker (próximo capítulo), será vista nos seus variados aspectos no capítulo 11.

CAPÍTULO 10

APLICAÇÃO DA FÓRMULA DE BIJKER

10.1 CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES.

A fórmula de Bijker calcula o transporte litorâneo em termos de volume (m³) por unidade de tempo (seg) e por unidade de largura (m), medida na direção da normal à costa.

Em (5), (6) e (7) Bijker sugere calcular esse transporte por faixas, paralelas à costa. As faixas se estendem de zero a 2 m, 2 a 4 m, 4 a 6 m, etc, de profundidade.

Para o cálculo do transporte litorâneo, todas as características geométricas e hidráulicas são calculadas para as profundidades médias destas faixas, 1 m, 3 m

5 m, etc, respectivamente.

O transporte total na faixa é obtido multiplicando-se o transporte calculado (arraste+suspensão) por metro de largura, pela largura da faixa no fundo.

Bijker não define bem o limite ao largo de aplicabilidade de sua fórmula. Em (5), na estimativa do transporte litorâneo na Costa do Marfim (África), Bijker estende o cálculo até a faixa 16 - 18 m, com profundidade média de 17 m. Considera para tanto, em primeira aproximação, que a velocidade da corrente litorânea é invariável com a distância à costa. Os resultados mostraram (5) que à medida que a profundidade vai aumentando ao largo da arrebentação, o transporte total em cada faixa vai diminuindo até que, depois de uma certa profundidade (11 m no caso da Costa do Marfim) é desprezível o acréscimo ao transporte litorâneo total.

Considerando, em segunda aproximação, que a velocidade da corrente litorânea decresce rapidamente ao largo da zona de arrebentação, Bijker (5) sugere que o transporte litorâneo total pode ser calculado, considerando-se 6 metros de profundidade o limite ao largo para esse transporte.

Em (6) e (7), no cálculo do transporte litorâneo para a costa de Queensland (Austrália) e no estudo da influência da rugosidade de fundo no transporte litorâneo, Bijker considera a profundidade de 6 m como o limite ao largo onde se dá esse transporte.

A experiência com traçadores radioativos em Aracaju (cap. 2) e ref. (3), mostrou que o material injetado à profundidade de 7 metros teve um deslocamento sobretudo na direção normal à costa tendo o material atingido, com atividade radioativa apreciável, profundidade em torno de

5.5 a 6 m.

Não houve praticamente, entre a profundidade de injeção (7 m) e a profundidade mais à terra onde chegou o radioisótopo (5.5 a 6 m), deslocamento paralelo à costa. Em vista disto, considerou-se para a aplicação da fórmula de Bijker que o limite ao largo onde se efetua o transporte litorâneo é a isóbata de 6 metros.

Os próximos parágrafos dão, pela ordem, a sequência de cálculos adotada na aplicação da fórmula de Bijker, para o cálculo do transporte litorâneo total:

$$q_s = q_{sa} \left[1 + 1.55 \left(I_1 \cdot \ln \frac{33d}{\kappa} + I_2 \right) \right] \quad (10-1)$$

Em (10-1), q_{sa} (transporte por arraste dado em $m^3 \cdot s^{-1} \cdot m^{-1}$), é calculado por:

$$q_{sa} = 5 D_{50} \frac{v}{g} g^{1/2} e^{-0.27 \frac{\Delta D_{50}^2}{\mu v \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{\kappa v}{\Delta D_{50}^2} \right)^2 \right]}}$$

10.2 CÁLCULO DAS CARACTERÍSTICAS DAS ONDAS NO INÍCIO DA ARREBENTACÃO.

Para este cálculo, partiu-se dos valores já conhecidos de H_0 e α_0 , na aplicação das fórmulas de Castanho e Caldwell (Caps. 8 e 9).

Os valores de H_b e d_b foram calculados com a utilização da teoria da onda solitária (Bijker também o faz em seus trabalhos), com as fórmulas:

$$H_b = \frac{H_0}{3.3 \sqrt[3]{H_0/L_0}} \quad (10-2)$$

$$\frac{d_b}{d_o} = 1.28 \quad (10-3)$$

Aqui também foi utilizada a altura real da onda ao largo (H_o), ao invés de H'_o (altura que a onda teria ao largo se não fosse influenciada pela refração), por razões já mencionadas no cap. 8.

Para o cálculo do ângulo de ataque na arrebentação, utilizou-se a lei de refração de Snell:

$$\frac{\text{sen } \alpha_b}{\text{sen } \alpha_o} = \frac{c_b}{c_o} \quad (10-4)$$

onde:

$$c_o = \sqrt{\frac{gL_o}{2\pi}} \quad (\text{celeridade da onda em profundidade infinita - teoria da onda sinusoidal}).$$

$c_b = \sqrt{gd_b}$ (celeridade da onda na arrebentação, dada pela teoria das ondas de oscilação à 1ª aproximação).

Considerou-se a onda como sinusoidal na arrebentação pois, em (5), (6) e (7) Bijker calcula o comprimento de onda para as profundidades médias das faixas entre a arrebentação e a costa, somente por $L = T\sqrt{gd}$. Como o período é constante para qualquer profundidade, conclui-se que:

$$c_b = \frac{T\sqrt{gd_b}}{T} = \sqrt{gd_b}$$

Neste caso, a teoria da onda sinusoidal conduz a ângulos de ataque α_o menores que os correspondentes à

teoria da onda solitária (α'_b), com $c_b = 1.34 \sqrt{gd_b}$.

De fato, resulta pela lei de Snell:

$$\text{sen} \alpha_b = \frac{1}{1.34} \text{sen} \alpha'_b$$

No caso dos ângulos serem pequenos, tem-se:

$$\alpha_b = \frac{1}{1.34} \alpha'_b$$

Então, o ângulo de ataque na arrebentação é menor para a aplicação da fórmula de Bijker que para as fórmulas de Castanho e Caldwell.

10.3 CÁLCULO DA VELOCIDADE DA CORRENTE LITORÂNEA NO INÍCIO DA ARREBENTAÇÃO.

Para calcular a velocidade da corrente litorânea gerada pela arrebentação de ondas oblíquas à praia, utilizou-se (5), (6) e (7) a fórmula proposta por Eagleson (13):

$$v^2 = \frac{3}{8} \cdot \left(\frac{gH_b^2 n}{d_b} \right) \cdot \frac{\text{sen} \alpha \cdot \text{sen} \alpha_b \cdot \text{sen} 2\alpha_b}{4} \quad (10-5)$$

onde:

H_b e d_b são, respectivamente, a altura da onda na arrebentação e a profundidade de arrebentação.

α (declividade da praia) = 0.00362 para Aracaju, ou $\alpha = 12'$. Portanto, $\text{sen} \alpha = \alpha = 0.00362$.

n é o coeficiente de transmissão de energia na arrebentação (relação entre a velocidade de propagação de energia da onda - velocidade de grupo c_g - e a celeridade

da onda c).

$$n = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{\frac{4\pi d}{L}}{\operatorname{senh} \frac{4\pi d}{L}} \right] \text{ ou}$$

$$n = \frac{a}{a_0}$$

Quando a profundidade $d \rightarrow 0$, $\operatorname{senh} \frac{4\pi d}{L} \rightarrow \frac{4\pi d}{L}$ e então, $n \rightarrow 1$, ou seja, $c_g \rightarrow c$.

Tomou-se então, como aproximação, $n = n_0 = 1$ na arrebentação.

$$f \text{ (coeficiente de resistência de Darcy-Weisback)} \\ = \frac{8g}{C^2}.$$

Para o cálculo de f foi necessário calcular o coeficiente de Chezy C , para a profundidade de arrebentação d_0 .

Utilizou-se a fórmula logarítmica proposta em (4) e (15):

$$C = 18 \log \frac{12 d_0}{\kappa} \quad (10-6)$$

Em (10-6) κ é a rugosidade aparente do fundo, ou seja, a metade da altura da ruga.

10.4 CÁLCULO DAS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS E HIDRÁULICAS, NAS PROFUNDIDADES MÉDIAS DE 1 m, 3m, e 5m DAS FAIXAS.

Das curvas granulométricas fornecidas na referência (16), pode-se concluir que os diâmetros D_{50} e D_{90} do

material de fundo entre as isóbatas 0 e -5 m em Aracaju va lem, respectivamente: 0.1 mm e 0.122 mm. O material de fundo é, portanto, areia fina.

10.4.1 CÁLCULO DOS COEFICIENTES DE RESISTÊNCIA PARA AS PROFUNDIDADES MÉDIAS DAS FAIXAS.

Utilizou-se a expressão (10-6) com $d = 1$ m, 3 m e 5 m respectivamente, para o cálculo do coeficiente de resistência ao escoamento devido às formações de fundo (ru gas, dunas, etc).

Para o cálculo de C' (coeficiente de resistência relativo ao diâmetro dos grãos) (4) e (15), utilizou-se a expressão:

$$C' = 18 \log 12 \frac{d}{D_{90}} \quad (10-7), \text{ para } d = 1 \text{ m, } 3 \text{ m e } 5 \text{ m.}$$

10.4.2 CÁLCULO DO COEFICIENTE DE ENRUGAMENTO μ .

Para cada profundidade, foi utilizada a expressão:

$$\mu = \left(\frac{C}{C'} \right)^{3/2} \quad (10-8)$$

onde C é dado pela equação (10-6) e C' por (10-7).

10.4.3 CÁLCULO DO COEFICIENTE ξ .

Para cada profundidade média ξ é dado por:

$$\xi = 0,45 K \frac{C}{D^{1/2}} = 0,0575 C \quad (10-9)$$

Em (10-9) C é calculado por (10-6) com $d = 1$ m, 3 m e 5 m.

10.4.4 CÁLCULO DA VELOCIDADE DA CORRENTE LITORÂNEA NAS PROFUNDIDADES DE 1 m, 3 m e 5 m.

Adotou-se o perfil de velocidades perpendicular à costa, proposto em (6) e (7) - ver a fig. (10-1).

Calculada a profundidade de arrebentação (d_b) e a velocidade da corrente litorânea (v_b) no início da arrebentação, as velocidades da corrente litorânea para as profundidades entre 0 e 6 m, foram calculadas do seguinte modo:

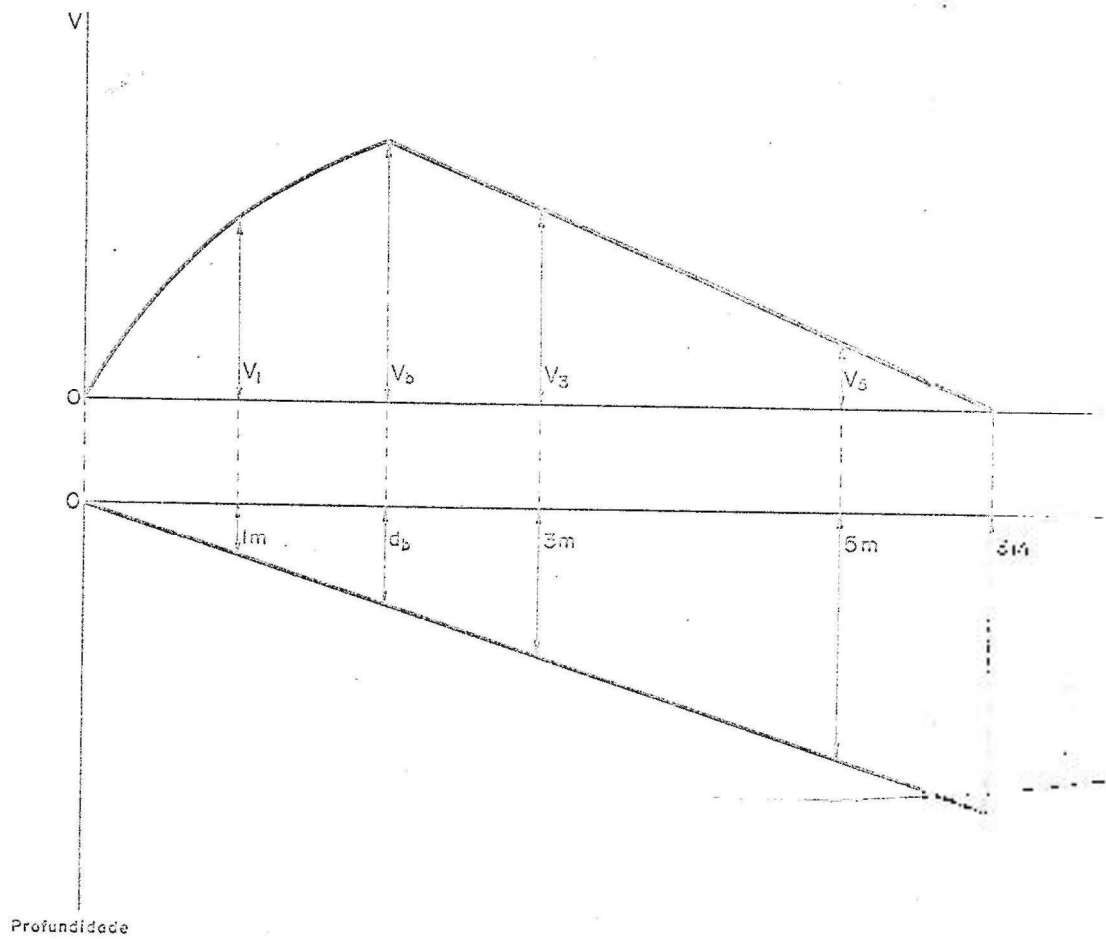
a)- Para profundidades maiores que a de arrebentação (ao largo da arrebentação), a velocidade era determinada a partir de uma lei linear de variação (fig. 10-1).

$$v = \frac{6-d}{6-d_b} \cdot v_b \quad (10-10)$$

b)- Para profundidades menores que a arrebentação (à terra da arrebentação), calculou-se v utilizando-se a fórmula (10-5) de Eagleson (13), tal como feito em (6) e (7). Neste caso porém, para a profundidade d , a altura da onda é dada por: $H = 0.78 d$, (a onda sofrendo o processo de arrebentação progressiva perde gradualmente e energia, mantendo porém, para cada profundidade, a relação $\frac{H}{d} = 0.78 = \text{constante}$ - critério de Mc Cowan).

Considerou-se o ângulo de ataque das ondas, para cada profundidade entre a arrebentação e a costa, constante e igual ao ângulo de ataque na arrebentação (α_b).

Tomou-se $n = 1$ (coeficiente de transmissão de energia).



VARIAÇÃO DA VELOCIDADE DA CORRENTE LITORÂNICA
COM A DISTÂNCIA À LINHA DE COSTA.

Extraído da Ref. (6)

O coeficiente de resistência de Darcy-Weisbach, $f = \frac{8g}{C^2}$, relativo a cada profundidade, foi calculado utilizando-se o coeficiente de Chezy da respectiva profundidade.

Como exemplo de cálculo da velocidade da corrente litorânea nas profundidades médias das faixas, seja: a onda de características conhecidas ao largo $H_0 = 1.8$ m, $\alpha_0 = 10^\circ$ e $T = 6$ seg.

Segundo o esquema de cálculo adotado anteriormente, esta onda arrebenta a profundidade $d_b = 2.2$ m, com $H_b = 1.7$ m e $\alpha_b = 5^\circ$. A velocidade da corrente litorânea no início da arrebentação, utilizando-se (10-5) e com $n=1$, $\alpha = 12'$ (ângulo de declive da praia) e $n = 0.17$ m (rugosidade aparente), é:

$$v_b = \sqrt{\frac{5}{8} \cdot \left(\frac{9.81 \times 1.7^2}{2.2} \right) \cdot \frac{\sin^2 12', \sin^2 5', \sin^2 10'}{f}}$$

0.08 m/s

$$f = \frac{8g}{C^2} = \frac{8 \times 9.81}{\left(18 \log \frac{12 \times 2.2}{0.17} \right)^2} = 0.051$$

As velocidades para as profundidades médias das faixas maiores que 2.2 m (3 m e 5 m) são calculadas por (10-10):

$$v = \frac{6-d}{6-2.2} \times 0.08, \text{ o que dá: } v_3 = 0.065 \text{ m/s}$$

e $v_5 = 0.021$ m/s.

O cálculo de v para a profundidade média de $1 \text{ m} < d_b = 2.2 \text{ m}$, é feito por (10-5), onde:

$$d = 1 \text{ m}; n = n_b = 1; H = 0.78 \times 1; \alpha_1 = \alpha_b = 5^\circ$$

$$f = \frac{8g}{C^2} = \frac{8 \times 9.81}{\left(18 \log \frac{12 \times 1}{0.17}\right)^2} = 0.066$$

Obtêm-se: $v_1 = 0.046 \text{ m/s}$

Resumiram-se os resultados no quadro seguinte:

| Profundidade (m) | Velocidade da corrente litorânea (m/s) |
|---------------------|---|
| 1 | 0.046 |
| $d_b = 2.2$ | 0.080 |
| 3 | 0.063 |
| 5 | 0.021 |

10.4.5 CÁLCULO DA VELOCIDADE DE CISALHAMENTO (v_*), DEVIDA APENAS À CORRENTE LITORÃNEA.

Utilizou-se a equação:

$$v_* = \frac{v}{C} \cdot g^{1/2} \quad (10.11)$$

onde: v e C são, respectivamente, a velocidade da corrente-

te litorânea e o coeficiente de Chezy para cada faixa.

10.4.6 CÁLCULO DA AMPLITUDE DA VELOCIDADE ORBITAL JUNTO AO FUNDO (u_0).

Calculou-se a amplitude da velocidade orbital junto ao fundo, para todas as profundidades médias das faixas, pela teoria da onda sinusoidal, conforme feito pelo próprio Bijker em (4), (5), (6) e (7):

$$u_0 = \frac{W H \cosh ky}{2 \sinh kd} \quad (10-12)$$

Em (10-12):

W (velocidade angular da partícula líquida em movimento orbital) = $\frac{2\pi}{T}$, onde T é o período da onda em segundos.

k (número de onda - "wave number") = $\frac{2\pi}{L}$, onde L é o comprimento da onda.

h = altura da onda

y = distância vertical medida a partir do fundo.

Junto ao fundo $y \approx 0$ e $\cosh ky = 1$.

A equação (10-12) fica então:

$$u_0 = \frac{\pi h}{T \sinh \frac{2\pi d}{L}} \quad (10-13)$$

A utilização de (10-13) para o cálculo de u_0 exigiu que se conhecessem os valores da altura h e do comprimento de onda L , para as profundidades de 1 m, 3 m e 5 m.

As ondas registradas em Aracaju tinham, como já foi visto, períodos médios variando de 5 a 10 segundos.

Portanto, o comprimento das ondas à profundidade infinita

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} \text{ variou de } 39 \text{ m } (T = 5 \text{ seg}) \text{ a } 156 \text{ m } (T = 10 \text{ seg}).$$

Para cada onda obtida dos registros e para cada profundidade média de faixa, foi testada a relação:

$$\frac{d}{L_0} : \frac{1}{20}$$

a) - Se $\frac{1}{2} > \frac{d}{L_0} > \frac{1}{20}$ a onda se propaga em zona de profundidade intermediária. O comprimento de onda L era então calculado por:

$$L = L_0 \operatorname{tg} \frac{2\pi d}{L} \quad (10-14) \text{ (teoria da onda sinusoidal).}$$

A altura da onda era calculada por:

$$H = H_0 \sqrt{\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{n} \cdot \frac{L_0}{L} \cdot K n_5} \quad (10-15)$$

(teoria da onda sinusoidal).

Em (10-15) $K n_5$ foi obtido através do traçado de diagramas de refração, da profundidade infinita até a profundidade de 5 m, que é a isóbata de menor profundidade da carta hidrográfica (DHN - 1003), e que coincide com a profundidade média da faixa mais ao largo, onde se calculou o transporte litorâneo.

As ondas de períodos 5 e 6 segundos à profundidade de 3 m, estão em zona de profundidade intermediária. As alturas, para as ondas com estes períodos à 3 m de profundidade, foram calculadas pela equação (10.15) com $K n$

(coeficiente de refração) correspondente a -5 m, porque a carta não fornece a isóbata de -3 m.

Esta aproximação não afetou praticamente os resultados obtidos pela aplicação da fórmula de Bijker.

Em (10-15) L tem seu valor dado por (10-14) e

$$K = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{4\pi d/L}{\sinh \frac{4\pi d}{L}} \right]$$

(coeficiente de transmissão de energia).

b)- Se $\frac{d}{L_0} < \frac{1}{20}$, comparou-se a profundidade média de arrebentação (d_b) com d (profundidade média na faixa).

b1)- Se $d_b = d$, fez-se:

$$h = H_b \text{ (calculado pela teoria da onda solitária)}$$

$$L = L_b = T\sqrt{gd_b} \text{ (teoria da onda sinusoidal)}$$

b2)- Se $d_b > d$, fez-se:

$$H = 0.78d \text{ (teoria da onda solitária)}$$

$$L = T\sqrt{gd} \text{ (teoria da onda sinusoidal)}$$

b3)- Se $d_b < d$ (onda se propagando em zona de água rasa):

$$L = T\sqrt{gd}$$

$$H = H_0 \sqrt{\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{15} \cdot \frac{L_0}{L}} \cdot K_R \quad (10-17)$$

Em (10-17) L é dado por (10-16) e K_R é o coeficiente de refração entre a profundidade infinita e a de 5 m (K_{R_5}).

As ondas registradas em Aracaju tiveram a profundidade de arrebentação, calculada pela teoria da onda solitária, variando entre $1.04 \text{ m} \leq d_0 \leq 3.28 \text{ m}$. Então, o caso (b-3) nunca ocorreu para $d = 1 \text{ m}$, e a aproximação de usar coeficiente de refração K_{R_5} só foi feita para $d = 3 \text{ m}$.

Com os valores de H e L calculados como anteriormente mencionado, foi possível calcular a amplitude da velocidade orbital junto ao fundo u_0 (eq. 10-13), para cada profundidade média da faixa, e para cada onda de período dado.

10.5 CÁLCULO DO TRANSPORTE POR ARRASTE.

Com a sequência de cálculos adotada, do parágrafo 10-2 ao 10-4 deste capítulo, foi possível calcular o transporte por arraste em termos de $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ por metro de largura, de cada uma das três faixas.

$$Q_{aa} = 5 \cdot D_{50} \cdot \frac{v}{c} \cdot g^{1/2} \cdot e^{-0.27} \frac{\Delta D_{50} C^2}{\mu v^2 \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{u_0}{c} \right)^2 \right]} \left(\frac{\text{m}^3 \text{ s}^{-1}}{\text{m}} \right) \quad (10-18)$$

$$\text{Em (10-18): } \Delta = \frac{D_{50} - \bar{D}}{\bar{D}} = \frac{2500 - 1000}{1000} = 1.5$$

10.6 CÁLCULO DO TRANSPORTE EM SUSPENSÃO.

Como já foi visto no capítulo 5, o transporte em suspensão em termos de $m^3 s^{-1}$ por metro de largura da faixa, \bar{q}_{ss} , é dado por:

$$\bar{q}_{ss} = 1.55 q_{sa} \left(I_1 \cdot \ln \frac{33d}{r} + I_2 \right) \quad (10-19)$$

Em (10-19), q_{sa} é dado por (10-18), d é a profundidade média da faixa e r é a rugosidade aparente. I_1 e I_2 são dados (cap. 5) por:

$$I_1 = 0.216 \frac{A^{z-1}}{(1-A)^z} \int_A^1 \left(\frac{1-y}{y} \right)^z dy \quad (10-20)$$

$$I_2 = 0.216 \frac{A^{z-1}}{(1-A)^z} \int_A^1 \left(\frac{1-y}{y} \right)^z \cdot \ln y \, dy \quad (10-21)$$

Em (10-20) e (10-21): $A = \frac{a}{d} = \frac{1.6r}{d}$ onde

r é também a rugosidade aparente do fundo; z é dado por:

$$z = \frac{w}{K V_*'} = \frac{w}{K V_*' \sqrt{1 + \frac{1}{2} \left(\xi \frac{u_c}{V} \right)^2}} \quad (10-22)$$

K = constante de von Karman; V_*' é a velocidade de cisalhamento resultante da ação combinada de onda e corrente.

Com $D_{50} = 0.1$ mm, a velocidade de decantação dos grãos de areia fina, supostos esféricos, em água tranqüila à temperatura de 25°C (temperatura praticamente constante da água do mar em Aracaju) é, segundo um gráfico fornecido por (-U.S. Department of Agriculture):

$$w = 0.9 \text{ cm/s} = 0.009 \text{ m/s}$$

10.6.1 RUGOSIDADE APARENTE (n) ADOTADA PARA O CÁLCULO DO TRANSPORTE EM SUSPENSÃO EM ARACAJU.

O valor de n adotado para o cálculo do transporte litorâneo pela fórmula de Bijker, foi: $n = 0.17$ m. Isso corresponde a $h = 2 \times 0.17 \text{ m} = 0.34$ m (altura média das rugas). Este valor parece ser um pouco elevado mas está de acordo com a altura de rugas observada em Palm Beach e Coollangatta (6) e (7), sendo este o valor adotado por Bijker para o cálculo do transporte litorâneo em Queensland (Austrália), que é uma praia assimilável à de Aracaju.

Como Aracaju, Queensland é uma praia exposta, aproximadamente retilínea e constituída de areia fina.

A influência da rugosidade do fundo no valor calculado do transporte litorâneo pela fórmula de Bijker, se vê na vista no parágrafo 10-8.

10.7. TRANSPORTE TOTAL.

Como já foi visto, o transporte total em termos de $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ por metro de largura da faixa, é:

$$q_s = q_{sa} + q_{ss}$$

$$q_s = q_{s\alpha} \left[1 + 1.55 \left(I_1 \cdot \ln \frac{33d}{\lambda} + I_2 \right) \right] \quad (10-22)$$

O transporte total, em toda a largura de cada faixa, foi obtido multiplicando q_s dado em (10-22), pela largura da faixa.

Em Aracaju a declividade média da praia é: 1/276; então a largura de cada faixa no fundo, com 2 metros de variação de profundidade, é:

$$2 \times 276 = 552 \text{ m} = F.$$

O transporte total em cada faixa, durante o tempo em que foi suposto atuar cada registro de ondas, é então:

$$q_s = q_{s\alpha} \left[1 + 1.55 \left(I_1 \cdot \ln \frac{33d}{\lambda} + I_2 \right) \right] \cdot F \cdot \text{RSN} \quad (10-23)$$

RSN é o tempo em segundos em que atua cada onda, esquematizada do registro.

A equação (10.23) expressa a vazão sólida em m^3 num intervalo de tempo (RSN).

A vazão sólida total entre as profundidades 0 e 6 m, foi obtida somando as vazões parciais das três faixas.

10.8 RESULTADOS.

Elaborou-se um programa de computador para calcular o transporte litorâneo em Aracaju, correspondente aos 517 registros (colhidos ou esquematizados), pela for

mula de Bijker.

O programa foi escrito em linguagem FORTRAN. Os dados de entrada desse programa são, para cada registro:

- a) - N = número de ordem do registro
- b) - H_0 = altura significativa à profundidade in finita.
- c) - α_0 = ângulo de ataque à profundidade in finita.
- d) - T_z = período médio do registro
- e) - K_{n_5} = coeficiente de refração entre a profundidade infinita e -5m.
- f) - RSN = número de segundos em que atua cada registro.

O programa calcula o comprimento de onda L da equação (10-14) através da subrotina RTWIT, da biblioteca de subrotina da IBM. A subrotina RTWIT traduz o método de iteração de Wegstein para resolver equações não linea res da forma: $x = f(x)$.

Para o cálculo de I_1 e I_2 (equações 10-20 e 10-21), utilizou-se a subrotina SMPSN da IBM que dá a integração numérica pela fórmula de Simpson, a qual é também utiliza da por Einstein (14) para o cálculo de I_1 e I_2 .

O programa prevê também o caso em que a onda pro vêm do quadrante do norte da normal à praia (transporte li torâneo de NE para SW), ou do quadrante ao sul (transporte litorâneo de SW para NE).

O programa foi processado em um computador IBM/360, com tempo total de processamento e impressão de 20 mi nutos, pois demorava cerca de 1 hora e 50 minutos para ser processado no computador IBM 1130.

A aplicação da fórmula de Bijker com o valor da rugosidade aparente $n = 0.17$ m, deu resultados que estão transcritos no quadro a seguir, onde se fornecem os resul tados mensais e total anual, tais como foram obtidos da computação.

QUADRO 10-1

TRANSPORTE LITORÂNEO EM ARACAJU COM A APLICAÇÃO DA FÓRMULA DE BIJKER ($r=0.17$ m e $a=1.6r=0.272$ m)

| | (1) | (2) | (3) = (1) + (2) | (4) = (1) - (2) |
|-------------|---|---|---------------------------------------|---|
| MES | VOLUME MENSAL (m ³ /mes) NE - SW | VOLUME MENSAL (m ³ /mes) SW - NE | TOTAL MENSAL (m ³ /mes) | DIFERENÇA MEN- SAL (m ³ /mes) |
| NOV | 81201.84 | — | 81201.84 | 81201.84 |
| DEZ | 83908.58 | — | 83908.58 | 83908.58 |
| JAN | 92077.18 | — | 92077.18 | 92077.18 |
| FEV | 69274.58 | 452.58 | 69727.16 | 68822.00 |
| MAR | 53427.27 | 5615.33 | 59042.60 | 47811.94 |
| ABR | 33195.30 | 34977.60 | 68172.90 | -1782.30 |
| MAI | 31313.35 | 19592.70 | 50906.05 | 11720.65 |
| JUN | 49995.91 | 13375.72 | 63371.63 | 36620.19 |
| JUL | 51662.44 | 13821.58 | 65484.02 | 37840.86 |
| AGO | 57978.16 | 7902.76 | 65880.92 | 50075.40 |
| SET | 13195.47 | 14994.94 | 28190.41 | -1799.47 |
| OUT | 13635.33 | 15494.77 | 29130.10 | -1859.44 |
| TOTAL ANUAL | 630865.41 | 126227.98 | 757093.39 m ³ /ano | |

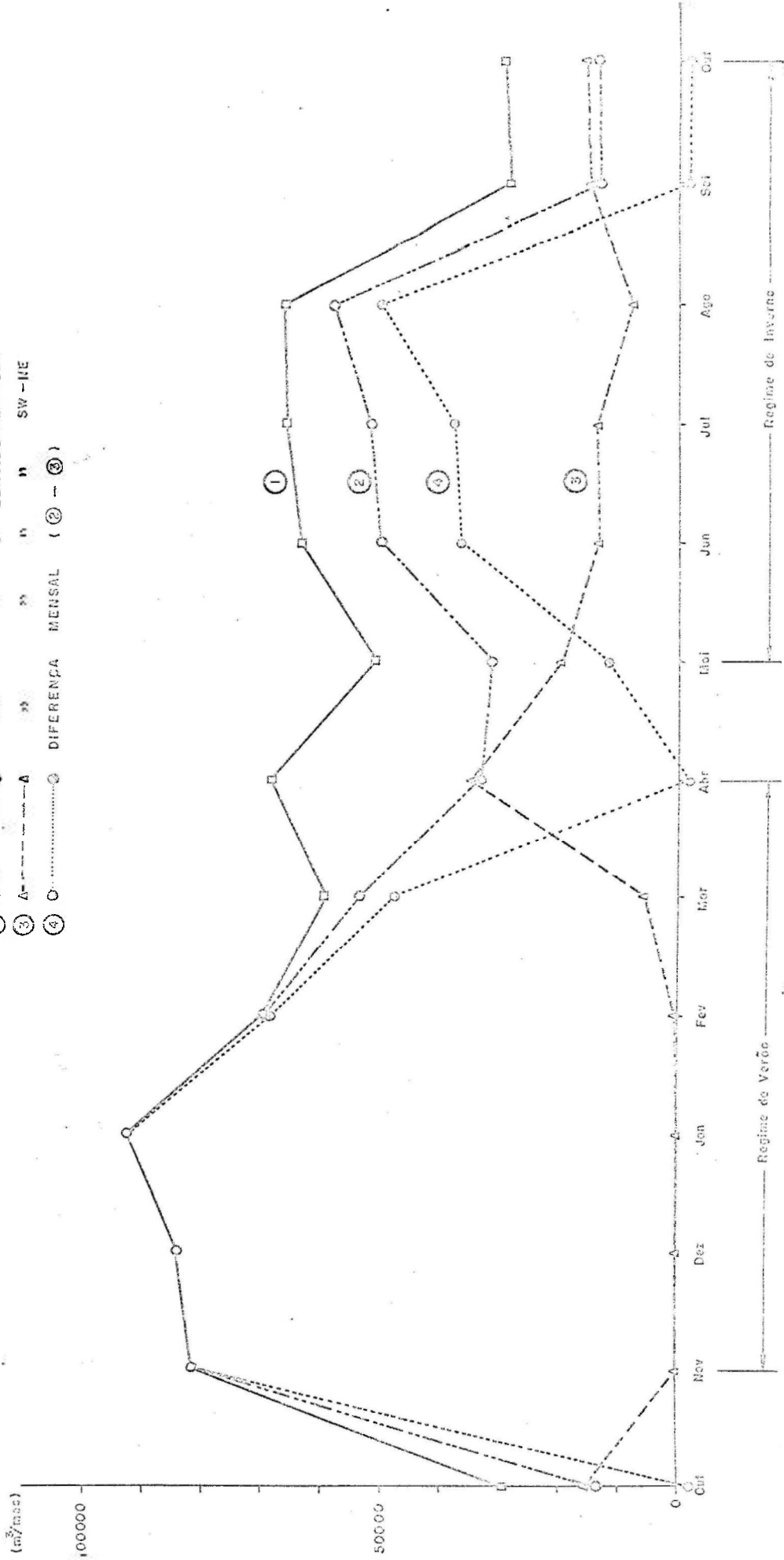
OBS: Os valores que aparecem nas colunas (1) e (2) são a soma dos volumes transportados nas tres faixas (0-2 m, 2-4 m e 4-6 m).

A intensidade do transporte litorâneo anual por esta fórmula é, aproximadamente 757100 m³/ano.

Observa-se que o transporte dominante ao longo do ano foi o de NE para SW com 83.33%, contra 16.67% para o transporte no sentido SW - NE.

TRANSPORTE LITORNEO ANUAL: 7.7100 m³

- ① \square — TRANSPORTE MENSAI TOTAL (② + ③)
- ② \circ — NO SENTIDO NE-SW
- ③ Δ — NO SW-NE
- ④ \diamond — DIFERENÇA MENSAI (② - ③)



VALORES DA DIFERENÇA MENSAI DO TRANSPORTE LITORNEO EM ARACAJU, FÓRMULA DE DIFERENÇA.

A figura 10-2 é a tradução gráfica deste quadro. Nela, a linha cheia representa o volume mensal de areia transportado nos dois sentidos da costa (col. 3). A linha dois ponto-traço indica, para cada mes, o volume transportado no sentido NE - SW da costa (col. 1). A linha tracejada traduz o transporte mensal no sentido SW - NE da costa (col. 2). A linha pontilhada representa a diferença mensal do transporte litorâneo nos dois sentidos (col. 4), sendo o transporte no sentido NE - SW considerado como positivo.

Houve inversão do transporte para os meses de abril, setembro e outubro.

Os meses de novembro, dezembro e janeiro são os que apresentam maiores intensidades de transporte litorâneo (mais de 80000 m³/mes), sendo janeiro o mes que apresenta a intensidade máxima no ano.

O quadro 10-2 mostra a variação da intensidade do transporte litorâneo mensal, nos dois sentidos da costa, com a distância à linha de costa (faixas de profundidades médias 1 m, 3 m, e 5 m).

QUADRO 10-2

| MES | PROFUNDIDADE MÉDIA (m) | (1) | (2) | (3) |
|-----|---------------------------|---|---|--|
| | | VOLUME MENSAL (m ³ /mes) NE-SW | VOLUME MENSAL (m ³ /mes) SW-NE | VOLUME MENSAL NOS 2 SENTIDOS ((1) + (2)) |
| NOV | 1 | 22178.16 | — | 22178.16 |
| | 3 | 44192.88 | — | 44192.88 |
| | 5 | 14830.80 | — | 14830.80 |
| DEZ | 1 | 22917.43 | — | 22917.43 |
| | 3 | 45666.00 | — | 45666.00 |
| | 5 | 15325.15 | — | 15325.15 |
| JAN | 1 | 25852.12 | — | 25852.12 |
| | 3 | 49909.63 | — | 49909.63 |
| | 5 | 16315.43 | — | 16315.43 |
| FEV | 1 | 17632.76 | 99.40 | 17732.16 |
| | 3 | 38298.64 | 258.63 | 38557.27 |
| | 5 | 13343.19 | 94.54 | 13437.73 |
| MAR | 1 | 12741.12 | 916.11 | 13657.23 |
| | 3 | 29897.58 | 3331.38 | 33228.96 |
| | 5 | 10788.57 | 1367.84 | 12156.41 |
| ABR | 1 | 7720.08 | 7101.51 | 14821.59 |
| | 3 | 16748.51 | 20160.05 | 38908.56 |
| | 5 | 6726.71 | 7716.04 | 14442.75 |
| MAI | 1 | 7531.95 | 3045.85 | 10577.80 |
| | 3 | 17449.16 | 11703.53 | 29152.69 |
| | 5 | 6332.24 | 4843.32 | 11175.56 |
| JUN | 1 | 7901.56 | 2377.80 | 10279.36 |
| | 3 | 29707.35 | 7843.16 | 37550.51 |
| | 5 | 12387.00 | 3154.76 | 15541.76 |
| JUL | 1 | 8164.94 | 2457.06 | 10622.00 |
| | 3 | 30697.60 | 8104.60 | 38802.20 |
| | 5 | 12799.89 | 3259.92 | 16059.80 |
| AGO | 1 | 9366.30 | 1282.03 | 10648.33 |
| | 3 | 34467.45 | 4695.78 | 39163.23 |
| | 5 | 14144.41 | 1924.95 | 16069.36 |

(CONTINUA)

(Continuação do quadro 10-2)

| | (1) | (2) | (3) | |
|-----|---------------------------|---|---|--|
| MES | PROFUNDIDADE MÉDIA (m) | VOLUME MENSAL (m ³ /mes) NE - SW | VOLUME MENSAL (m ³ /mes) SW - NE | VOLUME MENSAL NOS 2 SENTIDOS ((1) + (2)) |
| SET | 1 | 2492.09 | 3121.15 | 5613.24 |
| | 3 | 7682.78 | 8611.29 | 16294.06 |
| | 5 | 3020.60 | 3262.50 | 6283.10 |
| OUT | 1 | 2575.16 | 3225.18 | 5800.34 |
| | 3 | 7938.88 | 8898.33 | 16837.21 |
| | 5 | 3121.29 | 3371.25 | 6492.54 |

Observa-se por este quadro que o transporte litorâneo é mais intenso para a faixa central (2-4 m), com profundidade média de 3 m, para todos os meses do ano. Isto se explica, em última análise, pelo fato da velocidade da corrente litorânea ser sistematicamente maior na faixa de 2 a 4 m.

10.8.1 INFLUÊNCIA DA RUGOSIDADE DE FUNDO NO TRANSPORTE LITORÂNEO.

A fim de estudar a influência da rugosidade a parente (r) no transporte litorâneo, o programa foi processado com valores de r variando entre 0.1 m e 0.25 m.

Os resultados de transporte litorâneo anual para os diversos valores de r , são apresentados no quadro 10-3. Os valores deste quadro estão plotados na figura 8-2 do capítulo 8.

QUADRO 10-3

| $n(m)$ | $a=1.6n(m)$ | TRANSPORTE LITORÂNEO ANUAL (m^3/ano). |
|--------|-------------|---|
| 0.10 | 0.160 | 1322912.00 |
| 0.13 | 0.208 | 1005619.00 |
| 0.15 | 0.240 | 864701.00 |
| 0.16 | 0.256 | 807569.00 |
| 0.17 | 0.272 | 757093.00 |
| 0.19 | 0.304 | 672228.00 |
| 0.21 | 0.336 | 603699.00 |
| 0.23 | 0.368 | 547200.00 |
| 0.25 | 0.400 | 499827.00 |

A variação do transporte litorâneo com a rugosidade aparente n , não é linear (fig. 8-2). A variação percentual do transporte litorâneo em relação ao valor calculado para $n = 0.17$ m que foi adotado para Aracáju, é de +74.7% para o valor do transporte considerando $n=0.10$ m, e de -34.1% para o transporte calculado com $n = 0.25$ m. Note-se que estas variações são bem maiores que as correspondentes mencionadas em (6) e (7), no caso do transporte litorâneo para a praia de Queensland. Lá, adotando-se também $n = 0.17$ m como rugosidade aparente, o cálculo do transporte litorâneo para $n = 0.10$ m e $n = 0.25$ m mostrou uma variação de +21% e -17% respectivamente, em relação ao valor calculado para $n = 0.17$ m.

CAPÍTULO 11

COMPARAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.

11.1 RESULTADOS ANUAIS.

Os resultados anuais da aplicação das fórmulas de Bijker, Castanho e Caldwell para a estimativa do transporte litorâneo anual em torno da embocadura do rio Sergipe, estão resumidos no quadro abaixo.

| AUTORES | TRANSPORTE ANUAL TOTAL (m ³ /ano) | TRANSPORTE ANUAL NO SENTIDO: | | PERCENTAGEM (%) NO SENTIDO | |
|-----------------------------|--|------------------------------|--------|----------------------------|-------|
| | | NE-SW | SW-SE | NE-SW | SW-NE |
| Bijker a=1.6r r=0.17m | 757100 | 630900 | 126200 | 83.33 | 16.67 |
| Castanho K=0.004 | 785800 | 676000 | 109800 | 86.03 | 13.97 |
| Caldwell | 826800 | 668100 | 158700 | 80.81 | 19.19 |

Depreende-se deste quadro que a ordem de grandeza do transporte litorâneo anual em Aracaju, calculado pelas três fórmulas é praticamente a mesma e gira em torno de 800000 m³/ano.

A variação entre o transporte litorâneo anual, calculado pelas fórmulas de Bijker e Caldwell, é de:

$$\frac{826800 - 757100}{757100} \cdot 100 = 9.2\%$$

Para os resultados calculados pelas fórmulas de Bijker e Castanho, a variação é de:

$$\frac{785800 - 757100}{757100} \times 100 = 3.8 \%$$

Considerando-se os resultados obtidos através da aplicação das fórmulas de Caldwell e Castanho, a variação é:

$$100 \times \frac{826800 - 785800}{785800} = 5.2 \%$$

O transporte litorâneo dominante é no sentido NE-SW da costa, com cerca de 83% em média ao longo do ano, contra 17% em média no sentido inverso (SW-NE). A ordem de grandeza do transporte dominante é sensivelmente a mesma pelas três fórmulas.

11.2 COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS CALCULADOS PELAS FÓRMULAS DE CASTANHO E CALDWELL.

As fórmulas de Castanho e Caldwell são do mesmo tipo, ou seja: relacionam a capacidade de transporte litorâneo de uma determinada onda com a potência transmitida paralelamente à costa devido à arrebenção oblíqua dessa onda.

Existe contudo uma diferença fundamental. Enquanto que na fórmula de Caldwell, para um mesmo material se obtém a mesma vazão sólida para a mesma potência transmitida, pela fórmula de Castanho, para essa mesma potência transmitida, a vazão sólida pode ter diversos valores, conforme seja o valor do parâmetro S.

Em vista disso cabe pesquisar os motivos pelos quais os resultados anuais do transporte litorâneo em A racaju, calculados com o emprego dessas duas fórmulas, foram tão pouco discrepantes.

Compararam-se os resultados das capacidades de transporte litorâneo calculados pelas duas fórmulas, para cada um dos 517 registros (colhidos ou esquematizados) do ano.

O transporte litorâneo anual calculado pela fórmula de Castanho (V_c), pode ser decomposto em uma soma de parcelas de volumes $\Delta V'_c$ que são maiores que as correspondentes parcelas de volumes $\Delta V'_{cw}$ calculadas para cada registro pela fórmula de Caldwell, e outra soma de parcelas de volumes $\Delta V''_c$, que são menores que as correspondentes calculadas pela fórmula de Caldwell ($\Delta V''_{cw}$).

Por sua vez o transporte litorâneo anual calculado pela fórmula de Caldwell (V_{cw}) pode ser decomposto na soma das parcelas $\Delta V'_{cw}$ e $\Delta V''_{cw}$. Então: $V_c = 785800 \text{ m}^3$ (transporte litorâneo anual - fórmula de Castanho).

$V_{cw} = 826800 \text{ m}^3$ (transporte litorâneo anual - fórmula de Caldwell).

Para a aproximação requerida no cálculo do transporte litorâneo anual, pode-se considerar:

$$V_c = V_{cw} \quad (11-1)$$

Mas: $V_c = \sum q_{ct} \Delta t = \sum \Delta V_c \quad (11-2)$

$$V_{cw} = \sum q_{cw} \Delta t = \sum \Delta V_{cw} \quad (11-3)$$

Em (11-2) e (11-3), q_{ct} e q_{cw} são as capacidades de transporte para cada registro, calculadas respectivamente pe

las fórmulas de Castanho e Caldwell. O intervalo de tempo Δt é o número de segundos em que atua cada registro e é o mesmo, em (11-2) e (11-3), para cada registro de cada mes. Δt varia de mes para mes, como foi visto no capítulo 7 (quadro 7-2).

Pode-se escrever:

$$V_c = \sum \Delta V'_c + \sum \Delta V''_c$$

$$V_{cw} = \sum \Delta V'_{cw} + \sum \Delta V''_{cw}$$

De (11-1), vem:

$$\sum \Delta V'_c + \sum \Delta V''_c = \sum \Delta V'_{cw} + \sum \Delta V''_{cw}$$

$$\text{ou: } \sum \Delta V'_c - \sum \Delta V'_{cw} = \sum \Delta V''_{cw} - \sum \Delta V''_c \quad (11-4)$$

Em (11-4):

$\sum \Delta V'_c$ = somatório das parcelas de volume calculadas para cada registro pela fórmula de Castanho, que são maiores que as correspondentes parcelas calculadas pela fórmula de Caldwell.

$\sum \Delta V'_{cw}$ = somatório das parcelas de volume calculadas para cada registro pela fórmula de Caldwell, que são menores que as correspondentes parcelas calculadas pela fórmula de Castanho.

$\sum \Delta V''_{cw}$ = somatório das parcelas de volume calculadas para cada registro pela fórmula de Caldwell, que são maiores que as correspondentes parcelas calculadas pela fórmula de Castanho.

$\sum \Delta V_c''$ = somatório das parcelas de volume calculadas para cada registro pela fórmula de Castanho, que são menores que as correspondentes parcelas calculadas pela fórmula de Caldwell.

Para Aracaju, esses somatórios ao longo do ano, deram os seguintes resultados:

$$\begin{aligned}\sum \Delta V_c' &= 546900 \text{ m}^3 \\ \sum \Delta V_{cw}' &= 361000 \text{ m}^3 \\ \sum \Delta V_{cw}'' &= 465800 \text{ m}^3 \\ \sum \Delta V_c'' &= 238800 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Levando estes valores em (11-4), vem:

$$\begin{aligned}546900 - 361000 &= 465800 - 238800 \text{ ou} \\ 185900 &= 227000\end{aligned}$$

Houve portanto, uma compensação de características de ondas ao longo do ano responsável pela pequena discrepância de resultados de transporte litorâneo anual, calculado pelas duas fórmulas.

Procurou-se estudar o que os registros de ondas correspondentes às parcelas do 1º membro de (11-4) possuíam em comum entre si, o que os registros correspondentes às parcelas do 2º membro possuíam também em comum entre si e conseqüentemente, as afinidades e diferenças entre os registros correspondentes às parcelas dos dois membros de (11-4).

As capacidades de transporte litorâneo pelas duas fórmulas foram calculadas com as características das ondas junto à arrebenção, ou seja: H_b , α_b , T_z e d_b .

O período T_z das ondas registradas em Aracaju, como já foi visto no capítulo 7, quadro 7-3 e Fig. 7-1,

varia entre 6 e 10 segundos, sendo que 92% das ondas registradas possuem períodos entre 5 e 7 segundos. Considerando então o conjunto das ondas do ano, o período é muito pouco variável.

Com relação às alturas das ondas na arrebentação (H_b), observa-se pelo quadro 11-1 que elas variam entre 0.8 m e 2.5 m. Este quadro de dupla entrada indica a porcentagem de ocorrência mensal de ondas de uma determinada altura, tomando-se por base o número de registros do mes. A última coluna indica a porcentagem anual de ocorrência de H_b , tomando por base os 517 registros (colhidos ou esquematizados). Durante o ano, 78% das alturas H_b calculadas estão compreendidas entre 1.0 e 1.6 m. Houve variações acentuadas de H_b em certos meses que se não considerados mais adiante mas, no conjunto do ano, a variação não foi tão acentuada.

Os ângulos de ataque no início da arrebentação (α_b) calculados para o emprego das duas fórmulas, variam entre 1° e 36° para as ondas provenientes do quadrante ao norte da normal à praia, e entre 2° e 25° para as ondas provenientes do quadrante ao sul da normal à praia. O quadro 11-2 de dupla entrada indica a porcentagem de ocorrência mensal para cada ângulo α_b , tomando-se por base o número de registros do mes. A última coluna indica a porcentagem anual de ocorrência de α_b . Adotou-se também aqui a convenção de colocar o sinal negativo para os ângulos de ataque, das ondas provenientes do quadrante ao sul da normal à praia.

Como pode ser observado no quadro 11-2, a gama de variação de α_b durante o ano é grande, sendo que 36% dos ângulos de ataque calculados para os dois lados da normal, têm valores maiores que 10° , mas apenas 5.78%

dos valores de α_b estão acima de 20° . A influência dos valores de α_b e de sua distribuição mensal será vista mais adiante.

QUADRO 11-1
VARIAÇÃO PERCENTUAL MENSAL DAS ALTURAS DAS
ONDAS NA ARREBENTÇÃO - H_b -

| H_b (m) | MES | NOV DEZ | JAN | FEV | MAR | ABR | MAI | JUN JUL | AGO | SET OUT | % ANUAL DE OCOR RÊNCIA. |
|-----------|-----|------------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|-------|------------|-------------------------------|
| 0.8 | | 1.89 | — | 2.70 | — | 1.72 | 2.27 | — | — | — | 0.97 |
| 0.9 | | 11.32 | 2.56 | — | 3.51 | 1.72 | 6.82 | — | — | — | 3.68 |
| 1.0 | | 7.55 | 5.13 | — | 12.28 | 8.62 | 2.27 | 2.22 | — | 3.03 | 5.22 |
| 1.1 | | 22.64 | 38.90 | 18.92 | 17.54 | 13.79 | 11.36 | 6.67 | — | 9.09 | 15.47 |
| 1.2 | | 13.21 | 25.64 | 37.84 | 19.30 | 10.34 | 13.64 | 2.22 | 10.00 | 18.18 | 14.89 |
| 1.3 | | 15.09 | 12.82 | 8.11 | 10.53 | 13.79 | 6.82 | 6.67 | — | 12.12 | 10.69 |
| 1.4 | | 18.87 | 17.95 | 13.51 | 19.30 | 12.07 | 6.82 | 13.33 | 5.00 | 21.21 | 15.47 |
| 1.5 | | 3.77 | — | 16.22 | 1.75 | 1.72 | 13.64 | 4.44 | 5.00 | 15.15 | 6.00 |
| 1.6 | | 1.89 | — | 2.70 | 8.77 | 8.62 | 22.73 | 15.56 | 30.00 | 6.06 | 10.25 |
| 1.7 | | — | — | — | 1.75 | 5.17 | 6.82 | 17.78 | 20.00 | 3.03 | 6.00 |
| 1.8 | | 1.89 | — | — | 1.75 | 8.62 | 2.27 | 11.11 | — | — | 4.06 |
| 1.9 | | — | — | — | — | 3.45 | — | 4.44 | 20.00 | — | 1.93 |
| 2.0 | | — | — | — | 1.75 | 1.72 | 2.27 | 2.22 | — | — | 0.97 |
| 2.1 | | — | — | — | — | 1.72 | 2.27 | 4.44 | 10.00 | — | 1.55 |
| 2.2 | | 1.89 | — | — | — | 1.72 | — | 4.44 | — | — | 1.35 |
| 2.3 | | — | — | — | 1.75 | 1.72 | — | — | — | — | 0.39 |
| 2.4 | | — | — | — | — | — | — | 4.44 | — | — | 0.77 |
| 2.5 | | — | — | — | — | 3.45 | — | — | — | — | 0.39 |

QUADRO 11-2

VARIAÇÃO PERCENTUAL MENSAL DOS ÂNGULOS DE ATAQUE (α_b) NA ARREBENTACÃO, CALCULADOS PARA O EMPREGO DAS FÓRMULAS DE CASTANHO E CALDWELL.

| α_b (°) | MES | NOV | DEZ | JAN | FEV | MAR | ABR | MAI | JUN JUL | AGO | SET OUT | % ANUAL DE OCOR- RÊNCIA. |
|----------------|-----|-------|-----|-------|-------|-------|------|-------|------------|-------|------------|--------------------------------|
| 36 | | 1.89 | | | | | 1.72 | | | | | 0.39 |
| 33 | | | | | | | 1.72 | | | | | 0.19 |
| 30 | | | | 2.56 | | | | | | | | 0.19 |
| 28 | | | | 2.56 | | 1.75 | | | | | | 0.19 |
| 26 | | | | | | | | | | | | 0.39 |
| 25 | | 3.77 | | | | | | | | | | 0.77 |
| 24 | | | | 2.56 | | | | | | | | 0.19 |
| 23 | | | | 7.69 | | | | | | | | 0.58 |
| 22 | | 1.89 | | 7.69 | 5.41 | | | | | | | 1.35 |
| 21 | | 3.77 | | 5.13 | | | | | | | | 1.16 |
| 20 | | 11.32 | | | | 1.75 | | | | | | 2.51 |
| 19 | | | | 7.69 | 2.70 | 1.75 | 3.45 | | | | | 1.35 |
| 18 | | 7.55 | | 2.56 | 2.70 | 1.75 | 3.45 | | | | | 2.32 |
| 17 | | 11.32 | | 7.69 | 5.41 | | 1.72 | | | | | 3.48 |
| 16 | | 7.55 | | 7.69 | 5.41 | 3.51 | | | | | | 2.90 |
| 15 | | 5.66 | | 10.26 | 18.92 | 3.51 | 1.72 | 2.27 | 2.22 | | | 4.45 |
| 14 | | 5.66 | | 5.13 | 5.41 | 1.75 | | | | | | 2.13 |
| 13 | | 1.89 | | 2.56 | 5.41 | | | | | | | 0.97 |
| 12 | | | | | 5.41 | | 3.45 | | 4.44 | | | 1.55 |
| 11 | | 5.66 | | 2.56 | 2.70 | 1.75 | 1.72 | 2.27 | 8.89 | 15.00 | 6.06 | 5.03 |
| 10 | | 7.55 | | 10.26 | 8.11 | 12.28 | 5.17 | 6.82 | 4.44 | 15.00 | 3.03 | 7.16 |
| 9 | | 1.89 | | 5.13 | 5.41 | 12.28 | | 11.36 | 2.22 | | | 3.89 |
| 8 | | 1.89 | | | | 1.75 | | 2.27 | 6.67 | | | 1.93 |
| 7 | | 1.89 | | | | 1.75 | | 9.09 | 15.56 | 15.00 | 3.03 | 5.03 |
| 6 | | | | 5.13 | 18.92 | 26.32 | | 13.64 | 6.67 | 10.00 | | 7.35 |

(CONTINUA)

CONTINUAÇÃO DO QUADRO 11-2

| α_b (°) | MES | | JAN | FEV | MAR | ABR | MAI | JUN JUL | AGO | SET OUT | % ANUAL DE OCOR- RÊNCIA. |
|----------------|------------|--|------|------|-------|-------|-------|------------|-------|------------|--------------------------------|
| | NOV DEZ | | | | | | | | | | |
| 5 | 7.55 | | | | 14.03 | 8.62 | 4.55 | | | | 4.45 |
| 4 | 7.89 | | 2.56 | | | 3.45 | 4.55 | | 5.00 | | 1.55 |
| 2 | 7.55 | | | 5.41 | 5.26 | 13.79 | 9.09 | 17.78 | 36.00 | 18.78 | 11.41 |
| 1 | 7.89 | | 2.56 | | | | 4.55 | | | | 0.97 |
| -2 | | | | 2.70 | 1.75 | 10.34 | 2.27 | 6.67 | | 33.33 | 7.16 |
| -3 | | | | | 3.51 | 5.17 | 15.91 | 15.56 | | 33.33 | 9.28 |
| -6 | | | | | | | 2.27 | | | | 0.19 |
| -7 | | | | | 3.51 | 5.17 | | 4.44 | 5.00 | | 1.93 |
| -8 | | | | | 1.75 | 3.45 | 4.55 | | 5.00 | 3.03 | 1.55 |
| -9 | | | | | | 1.72 | | | | | 0.19 |
| -10 | | | | | | 1.72 | | | | | 0.19 |
| -11 | | | | | | 6.90 | | | | | 0.73 |
| -12 | | | | | | 6.90 | | 2.22 | | | 1.16 |
| -13 | | | | | | 1.72 | 2.27 | | | | 0.19 |
| -14 | | | | | | 1.72 | | 2.22 | | | 0.58 |
| -16 | | | | | | 1.72 | | | | | 0.19 |
| -17 | | | | | | 1.72 | | | | | 0.19 |
| -18 | | | | | | 1.72 | | | | | 0.19 |
| -21 | | | | | | 1.72 | | | | | 0.19 |
| -25 | | | | | | 1.72 | 2.27 | | | | 0.19 |

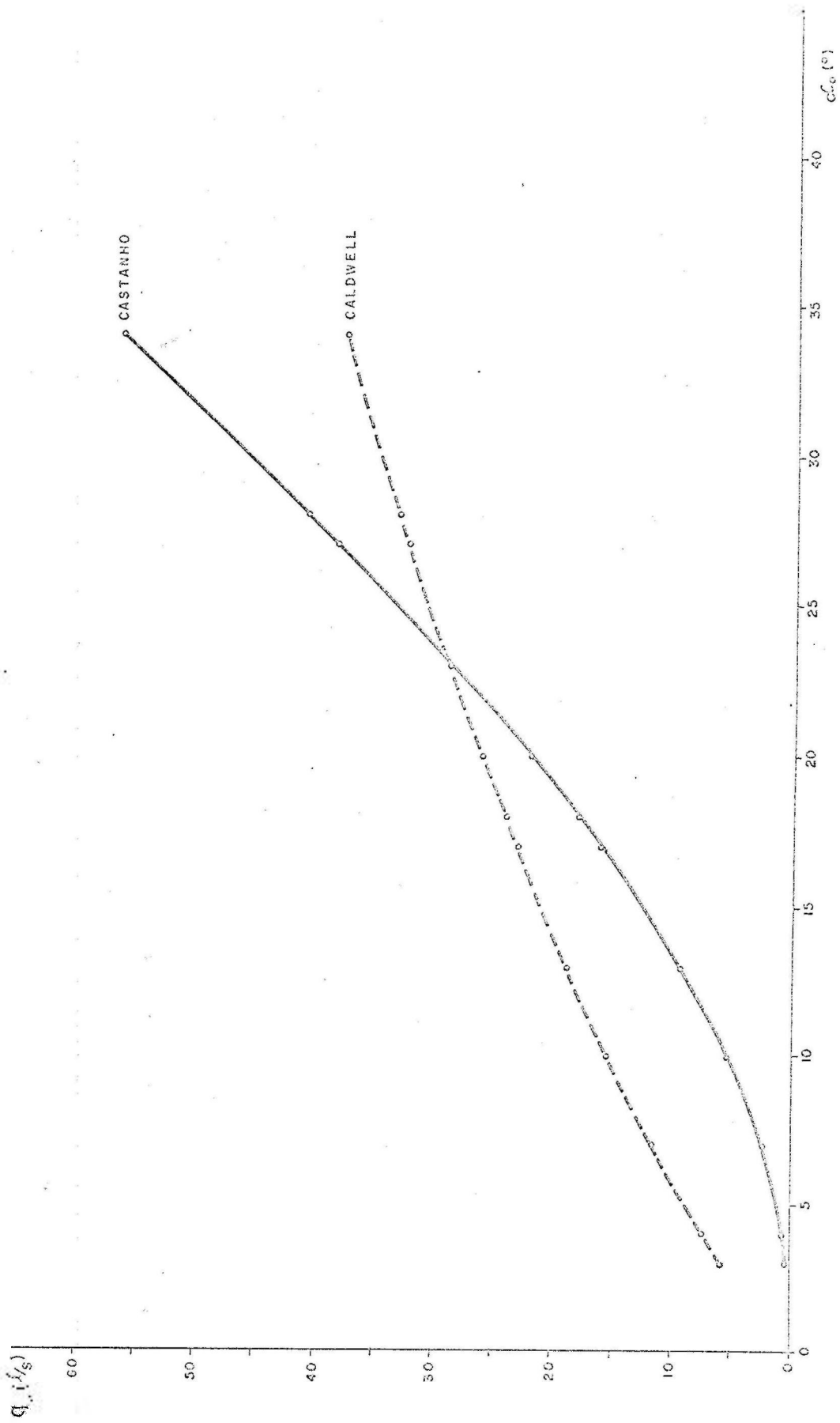
Analisando os resultados das capacidades de transporte litorâneo de cada onda, constatou-se que para todas as ondas com ângulos de ataque ao largo $\alpha_o > 27^\circ$ e com ângulos de ataque na arrebentação $\alpha_b > 13^\circ$, sistematicamente essa capacidade calculada pela fórmula de Castanho é maior que a correspondente capacidade de transporte calculada pela fórmula de Caldwell. O inverso ocorre para $\alpha_o < 17^\circ$ e $\alpha_b < 11^\circ$. Então, todas as ondas com $\alpha_o > 27^\circ$ e $\alpha_b > 13^\circ$ correspondem a parcelas do 1º membro da expressão (11-4), assim como todas as ondas com $\alpha_o < 17^\circ$ e $\alpha_b < 11^\circ$ correspondem a parcelas do 2º membro da mesma expressão.

Vejamos um exemplo:

As ondas de altura significativa à profundidade de 20 m e período médio mais frequentes registradas em Aracaju, são as que possuem: $H_s = 1.1$ m e $T = 6$ seg (cap. 7). A fig. 11-1 mostra a variação das capacidades de transporte calculadas pelas duas fórmulas com o ângulo de ataque α_o , para as ondas mais frequentes em Aracaju. Os valores das capacidades de transporte se referem a ondas de energia constante na arrebentação ($E_b = 43.800$ joules). Constata-se que para $\alpha_o > 23^\circ$ a fórmula de Castanho apresenta maiores resultados que a de Caldwell, e para $\alpha_o < 23^\circ$ a fórmula de Caldwell dá maiores valores.

Fazendo-se esta mesma análise para outros grupos de registros de ondas com H_b , T e E_b constantes na arrebentação, constata-se a mesma coisa vista na Fig. 11-1. Os ângulos de transição variam entre $17^\circ < \alpha_o < 27^\circ$ com $11^\circ < \alpha_b < 13^\circ$.

Para ondas com $17^\circ \leq \alpha_o \leq 27^\circ$ e com $11^\circ \leq \alpha_b \leq 13^\circ$, há casos em que $q_{ct} > q_{cw}$ e casos em que $q_{ct} < q_{cw}$. Ao todo isto ocorre para 46 registros de ondas durante o ano, ou seja: 8.9% do total. Em 16 oportunidades $q_{ct} > q_{cw}$ sen



VARIACÃO DA EFICIÊNCIA DE TRANSPORTE COM O ÂNGULO DE ATAQUE AO LARGO (1931)

do, em média, $q_{ct} = 1.09 q_{cw}$. Para os outros 30 registros $q_{cw} > q_{ct}$ sendo, em média, $q_{cw} = 1.10 q_{ct}$. Os 16 registros em que $q_{ct} > q_{cw}$ apresentam em média, valores de velocidade da corrente litorânea $v = \epsilon \cdot c_b \cdot \text{sen} \alpha_b$, esbeltez na arrebentação δ_b e o valor do parâmetro S , ligeiramente superiores aos valores correspondentes aos 30 registros em que $q_{ct} < q_{cw}$.

O quadro abaixo mostra os valores médios das grandezas.

QUADRO 11-3

| | v_L (m/s) | δ_b (%) | S |
|-----------------------------------|-------------|----------------|--------|
| $q_{ct} > q_{cw}$ 16 registros | 0.74 | 4.26 | 0.1158 |
| $q_{ct} < q_{cw}$ 30 registros | 0.60 | 3.90 | 0.1020 |

No estudo da influência do ângulo de ataque α_b nos resultados de transporte litorâneo segundo a fórmula de Castanho, pesquisou-se a relação entre os valores do parâmetro S de um lado, e os valores de α_b e δ_b de outro para todos os registros de ondas.

Como se sabe o parâmetro S é, em última análise, função apenas do parâmetro $A = \frac{m \cdot \delta_b}{K \cdot \text{tg} \alpha_b}$. Sendo $m = 0.00362$ (declividade da praia) e $K = 0.004$ (coeficiente de atrito) constantes, $A = \frac{0.9 \delta_b}{\text{tg} \alpha_b}$, e o parâmetro S varia então com os valores de α_b e δ_b .

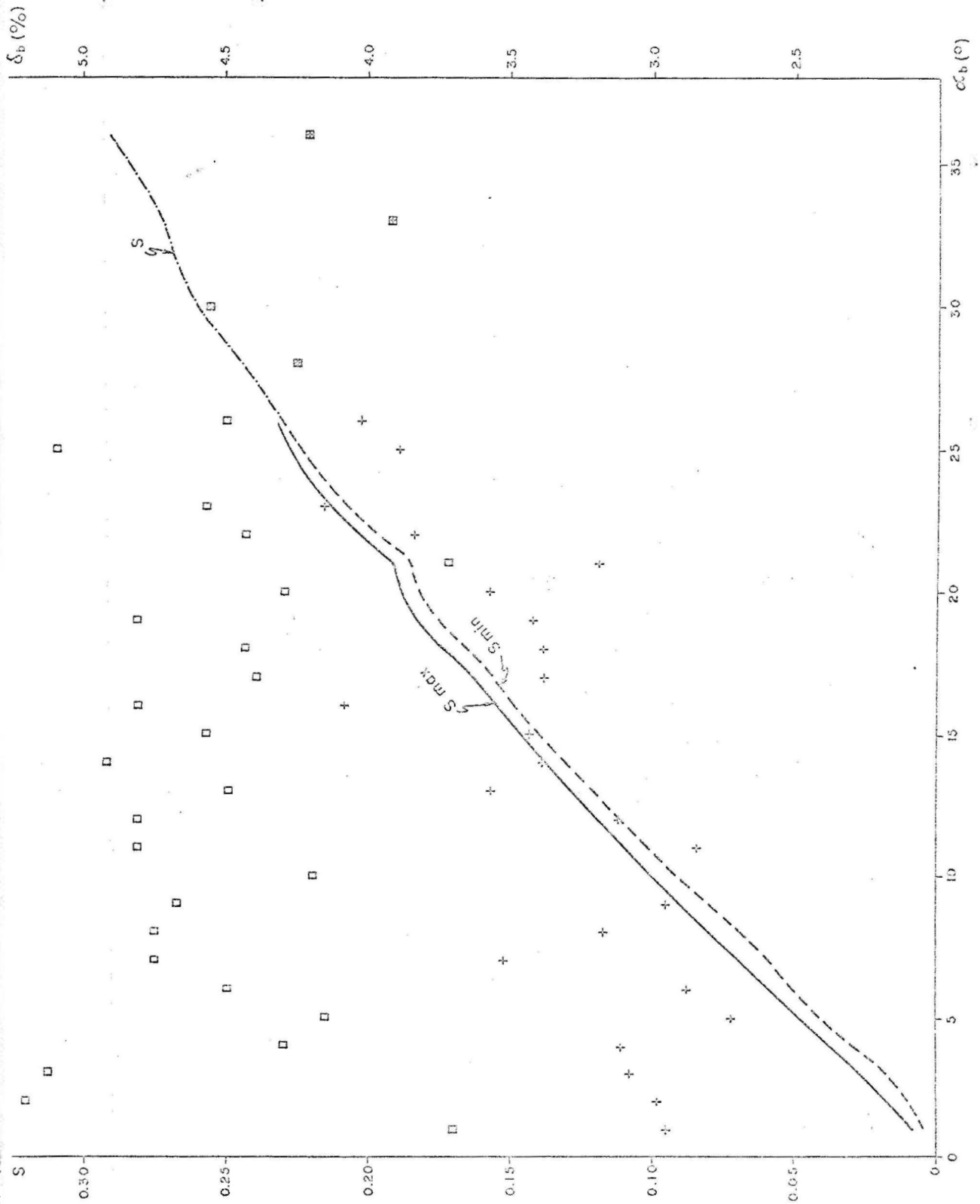
Associaram-se, para cada valor do ângulo de ataque α_b , os valores máximos e mínimos de S , levando em

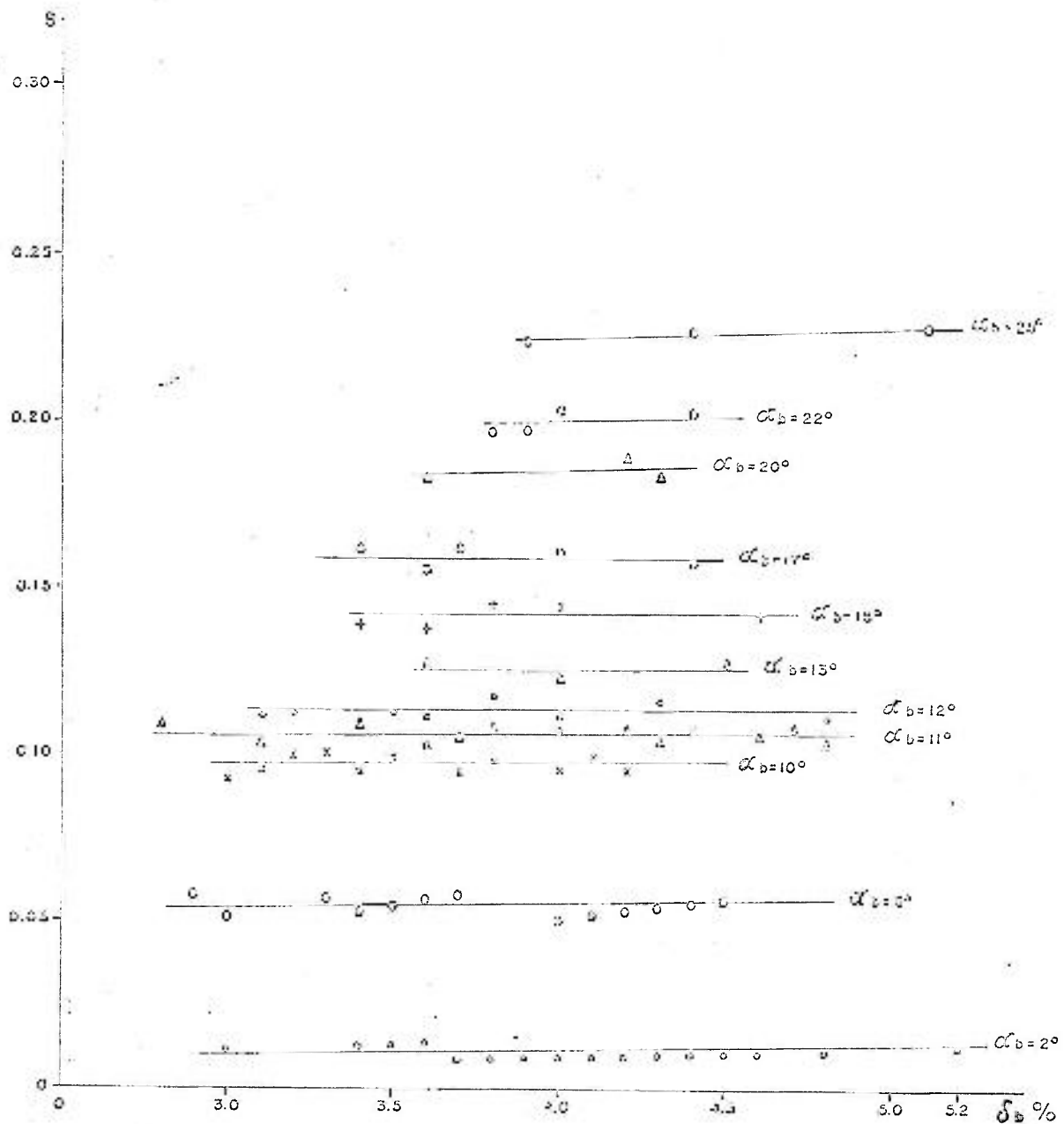
consideração os registros de ondas de todo o ano. Esta variação está mostrada na Fig. 11-2. Constata-se que a discrepância entre S_{max} e S_{min} para cada valor de α_b é mínima, sendo que o valor de S aumenta com os valores de α_b . Para cada ângulo α_b foram assinalados na Fig. 11-2, os valores máximos e mínimos de esbeltez δ_b calculados para as ondas de Aracaju. Apesar da grande variação de δ_b para cada valor de α_b , o valor de S pouco variou. Este fato permite concluir que para as ondas registradas em Aracaju, o valor de S é mais influenciado pelo ângulo de ataque na arrebentação α_b , que pela esbeltez δ_b .

Outra comprovação dessa afirmação é a Fig. 11-3, onde está representada a variação do parâmetro S em função da esbeltez δ_b , para ângulos de ataque α_b constantes. Observa-se que as linhas de $\alpha_b = \text{constante}$ são praticamente horizontais, o que significa que S varia pouco com os valores de δ_b . A pequena variação de S com δ_b e, conseqüentemente, a pequena variação da capacidade de transporte com δ_b , ocorre pelo fato das ondas registradas em Aracaju possuírem elevados valores de esbeltez. Ao longo do ano δ_b varia entre 2.71% e 5.20% sendo que apenas 11 registros de ondas possuem $\delta_b < 3\%$ o que representa cerca de 2% do total de registros. Como se sabe, para ondas que transmitem a mesma potência paralelamente à costa ($\frac{E_b}{T} \cdot \text{sen} \alpha_b \cdot \text{cos} \alpha_b = \text{cte}$) e com mesmo α_b , a capacidade de transporte é inversamente proporcional à esbeltez a partir de um valor da esbeltez que dá $q_{s,max}$ (17) e (9-pág. 248). Para valores elevados da esbeltez, o ramo descendente da curva vai tendendo a ficar horizontal (Fig. 3-1), o que significa que a capacidade de transporte vai sendo cada vez menos influenciada pelo valor da esbeltez.

VARIAÇÃO DO PARÂMETRO S COM O ÂNGULO DE ATAQUE
 NA ARREBENTACÃO, INDEPENDENTEMENTE DOS VALORES
 DE ESBELTEZ.

□ — VALOR MÁXIMO DE ESBELTEZ
 + — VALOR MÍNIMO DE ESBELTEZ





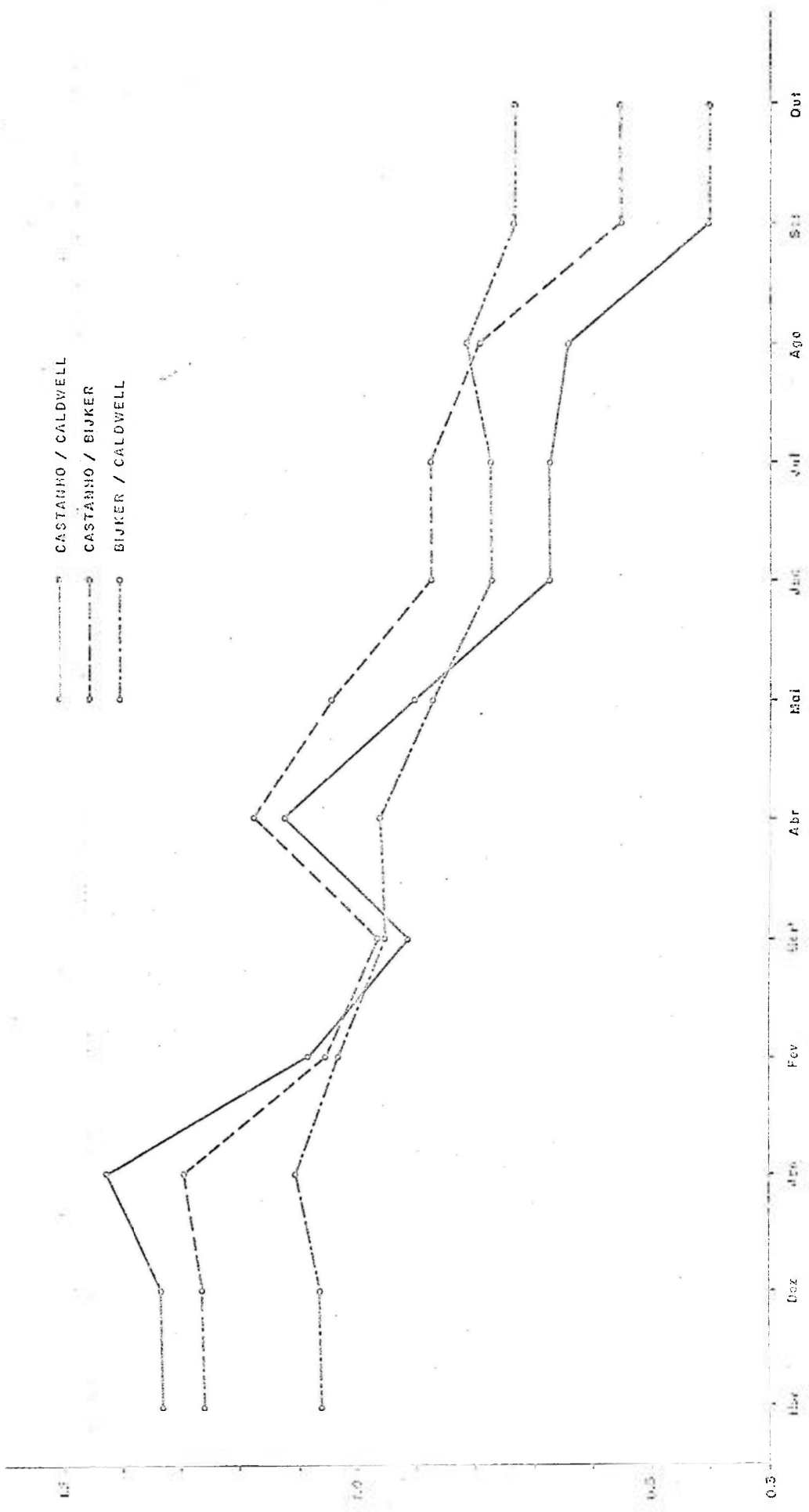
VARIAÇÃO DO PARÂMETRO S COM A ESSELTEZ δ_b PARA ÂNGULOS DE ATAQUE α_b CONSTANTES.

Na referência (9) à página 232, há um gráfico de variação do parâmetro $S' = \frac{S}{\text{sen} \alpha_b}$ como α_b , para um dado valor de $\frac{m \delta_b}{K}$.

S' decresce a medida que α_b diminui, a partir de um valor $\alpha'_b = \alpha_b$ que torna S' máximo. Com mais forte razão, $S = S' \text{sen} \alpha_b$ diminui com a diminuição de α_b . Em relação a isso observe-se por exemplo os baixos valores de S para $\alpha_b = 2^\circ$, na Fig. 11-3.

Era de esperar portanto, que para ângulos de ataque α_b pequenos, os valores da capacidade de transporte e então, da intensidade do transporte litorâneo calculados pela fórmula de Castanho, fossem menores que os correspondentes valores calculados pela fórmula de Caldwell.

Observando os quadros 8-2 e 9-1 e as Figs. 8-1 e 9-1, constata-se que a intensidade do transporte litorâneo mensal calculada pela fórmula de Castanho é maior que a correspondente calculada pela fórmula de Caldwell, para os meses de novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e abril. O inverso ocorre para os meses de março, maio, junho, julho, agosto, setembro e outubro. De um modo geral a fórmula de Castanho dá maiores resultados que a de Caldwell para as ondas em regime de verão, e a de Caldwell dá maiores resultados que a de Castanho para as ondas em regime de inverno. Tem-se uma exceção para o mês de março, onde a fórmula de Caldwell dá maior resultado, mas este é apenas cerca de 10% maior que o calculado pela fórmula de Castanho. A fig. 11-4 mostra a relação entre as intensidades mensais do transporte litorâneo calculadas pelas duas fórmulas. Os meses de novembro, dezembro e janeiro são aqueles em que as intensidades do transporte litorâneo calculadas pela fórmula de



RELAÇÃO ENTRE AS INTENSIDADES MENSUAIS DO TRANSPORTE LITORÂNEO

Castanho são as maiores e também, os meses em que a relação $\Delta V_c / \Delta V_{cw}$ tem os maiores valores. Observando o quadro 11-2, nota-se que estes são os meses que apresentam, em média, maiores valores do ângulo de ataque α_b . Convém ser notado que estes meses apresentam também, em média, os menores valores de altura de onda na arrebatada H_b , em relação aos calculados para o conjunto do ano. O mes de janeiro por exemplo, (quadro 11-1) tem os valores de H_b compreendidos entre 0.9 e 1.4 m. As ondas registradas neste mes têm períodos entre $5 \leq T \leq 7$ seg. No entanto, o mes de janeiro foi aquele em que o transporte litorâneo calculado pela fórmula de Castanho foi o mais intenso ($119 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{mes}$). Isto também comprova que para as ondas registradas em Aracaju, o fator preponderante nos valores calculados do transporte litorâneo pela fórmula de Castanho, foi o valor do ângulo de ataque na arrebatada (α_b). Por outro lado, os meses em que o transporte litorâneo pela fórmula de Castanho deu menores resultados foram setembro e outubro. Para esses meses os períodos das ondas também variam entre $5 \leq T \leq 7$ seg, e 36% das ondas registradas apresentam valores de H_b maiores que 1.4 m, que é o maior valor de H_b para o mes de janeiro. No entanto, 84.8 % dos valores calculados de α_b são menores que 4° , dos dois lados da normal à praia. Relativamente aos valores calculados pela fórmula de Caldwell, estes foram os meses em que a relação $\Delta V_c / \Delta V_{cw}$ foi a menor (Fig. 11-4).

Os maiores valores de transporte litorâneo calculados pela fórmula de Caldwell, ocorrem para os meses de julho e janeiro. Considerando a soma das intensidades de transporte litorâneo para os meses de novembro, dezem

bro e janeiro ($240 \times 10^3 \text{ m}^3$) e a soma desse transporte para os meses de junho, julho e agosto ($248 \times 10^3 \text{ m}^3$), observa-se que elas diferem entre si de apenas 3.3%. A explicação desse fato é que há dois fatores que se compensam em Aracaju nos regimes de ondas de verão e de inverno, sob o ponto de vista do cálculo do transporte litorâneo, sobretudo pela fórmula de Caldwell. De um lado, no regime de verão ocorrem ondas de alturas H_b relativamente baixas tendo porém, ângulos de ataque α_b elevados. Por outro lado, no regime de inverno ocorrem ondas relativamente mais altas, com ângulos de ataque α_b , em média, bem menores que no regime de ondas de verão (quadros 11-1 e 11-2). Relativamente às alturas e ângulos de ataque na arrebentação, os períodos das ondas que ocorreram nos meses considerados variam muito menos (quadro 7-3). A compensação se dá então, principalmente pelos valores de α_b e H_b nos dois regimes. Com relação aos valores da intensidade do transporte litorâneo calculados pela fórmula de Castanho, para os meses de novembro, dezembro, janeiro, junho, julho e agosto, tem-se (quadro-8-2):

o somatório das intensidades do transporte litorâneo para os meses de novembro, dezembro e janeiro é de $327 \times 10^3 \text{ m}^3$, e para junho, julho e agosto, o somatório é da ordem de $164 \times 10^3 \text{ m}^3$. Para os meses de verão considerados, o somatório das intensidades de transporte litorâneo é praticamente o dobro que para os meses de inverno considerados. No entanto, para esses seis meses, a soma total do transporte litorâneo pela fórmula de Castanho é de $491 \times 10^3 \text{ m}^3$, enquanto que pela fórmula de Caldwell é de $488 \times 10^3 \text{ m}^3$. Portanto elas se equivalem quanto aos resultados globais.

Considerando agora o transporte litorâneo calculado pelas duas fórmulas para os meses de novembro a abril (regime de verão) e maio a outubro (regime de inverno), tem-se o quadro 11-4.

QUADRO 11-4

| AUTORES | TRANSPORTE LITORÃNEO (10^3 m^3) | | VARIACÃO PERCENTUAL % |
|----------|---|-----------|-----------------------|
| | NOV. A ABRIL | MAI A OUT | |
| CASTANHO | 537.5 | 248.3 | 116.5 |
| CALDWELL | 441.6 | 385.2 | 14.6 |

Por este quadro constata-se que o transporte litorâneo nos regimes de inverno e de verão, no conjunto do ano, são da mesma ordem de grandeza quando calculados pela fórmula de Caldwell; e bastante diferentes quando calculados pela fórmula de Castanho. A explicação disto, é a seguinte:

Enquanto que o ângulo de ataque α_b entra na fórmula de Caldwell somente através da função de direção ($\text{sen} \alpha_b \cdot \text{cos} \alpha_b$), na fórmula de Castanho a influência de α_b se faz sentir também através do parâmetro S que, como já foi visto, tem valores muito baixos para pequenos valores do ângulo de ataque. Portanto, a compensação entre os valores de α_b e H_b que se manifestou na aplicação da fórmula de Caldwell para as ondas nos dois regimes, já não ocorre na aplicação da fórmula de Castanho, aos mesmos registros de ondas dos dois regimes. Os resultados pela fórmula de Castanho foram mais influenciados pelos valores dos ângulos de ataque α_b . Surge aqui uma ques

tão: os resultados anuais globais do transporte litorâneo obtidos pelas aplicações das fórmulas de Castanho e Caldwell são da mesma ordem de grandeza, mas as duas fórmulas traduzem leis muito diferentes de variação da intensidade de transporte no tempo.

A comprovação de qual das duas fórmulas melhor traduz esta lei de variação da intensidade de transporte litorâneo no tempo, deveria ser feita a partir de medições de transporte litorâneo mensal na natureza, em uma praia onde houvesse, de preferência, um transporte litorâneo unidirecional e onde as ondas sofressem um variação estacional marcada.

O último ponto a ser abordado na comparação de resultados entre as fórmulas de Castanho e Caldwell, é o que se refere ao problema das inversões do transporte litorâneo, ou seja: os meses em que o transporte litorâneo de SW para NE foi mais intenso que o transporte de NE para SW, que é o transporte dominante ao longo do ano em Aracaju.

Segundo a fórmula de Castanho houve inversão a penas no mes de maio (quadro 8-2). Pela fórmula de Caldwell, houve inversão nos meses de abril, setembro e outubro (quadro 9-1).

O mes de maio, no qual há inversão do transporte litorâneo tal como calculado pela fórmula de Castanho, possui 44 registros de ondas sendo que 31 são de ondas provenientes do quadrante ao norte da normal à praia (ver apêndice). No entanto, um dos 13 registros de ondas que provêm do quadrante ao sul é de uma onda que tem $\alpha_0 = -25^\circ$ e $H_0 = 2.0$ m. Somente esta onda tem uma capacidade de transporte, calculada pela fórmula de Casta-

ção, de 420.5 litros/seg e, atuando num intervalo de tempo de 60873 segundos que é o intervalo adotado para o mes de maio (quadro 7-2), produz um transporte litorâneo de aproximadamente 25.600 m³. Se a atuação dessa onda produziu um transporte litorâneo mais intenso que o correspondente às 31 ondas provenientes do quadrante ao norte da normal à praia (19400 m³). O saldo do transporte litorâneo no sentido SW-NE da costa é de aproximadamente 14100 m³, sendo o transporte total mensal nos dois sentidos de 52900 m³. A capacidade de transporte dessa mesma onda pela fórmula de Caldwell é de 150.7 litros/seg, sendo a intensidade do transporte no mesmo intervalo de tempo igual a 9170 m³. Por aí se vê também que a fórmula de Castanho conduz a valores mais elevados que a de Caldwell quando, para uma dada altura H₀ e período T, o ângulo α₀ é grande.

O mes de abril, no qual ocorre uma pequena inversão do transporte litorâneo segundo a fórmula de Caldwell, possui 58 registros de ondas, sendo que as ondas esquematizadas provêm igualmente dos dois lados da normal à praia (29 de cada lado).

O saldo do transporte litorâneo no sentido SW-NE é cerca de 2400 m³, para um transporte litorâneo mensal total de aproximadamente 71400 m³.

Houve esta pequena inversão, apesar de ocorrerem duas ondas provenientes do quadrante ao norte da normal à praia, com ângulos de ataque α₀ bastante elevados (30° e 33°) e com alturas H₀ ≈ 1.6 m e períodos de 7 e 6 seg. respectivamente. Este fato não impediu contudo que houvesse inversão calculada pela fórmula de Caldwell, pois esta fórmula é menos sensível à influência do ângulo de ataque que a fórmula de Castanho.

Abril, como foi visto no capítulo 7 é o mes de transição entre os dois regimes de ondas de Aracaju, onde ocorrem as gamas mais variadas de alturas, períodos e direções de ondas. Os valores e a distribuição dessas grandezas nos registros de abril, foram responsáveis pela pequena inversão apresentada pela fórmula de Caldwell.

Os meses de setembro e outubro, segundo a esquematização adotada no presente trabalho, possuem os mesmos registros de ondas (cap-7). Os valores calculados pela fórmula de Caldwell acusam inversão do transporte litorâneo para estes meses, onde 23 dos 33 registros são de ondas provenientes do quadrante ao sul da normal à praia, e possuem ângulos α_b bem pequenos (ver apêndice).

Os resultados pela fórmula de Castanho não apresentam inversão, pois apesar da maioria das ondas serem provenientes do quadrante ao sul da normal, os pequenos valores de α_b (-2° e -3°) destas ondas provocaram baixos valores da capacidade de transporte, relativamente às capacidades de transporte produzidas pelas poucas ondas com maiores α_b , provenientes do quadrante ao norte da normal à praia.

Os pontos principais dessa comparação de resultados obtidos em Aracaju com o emprego das fórmulas de Castanho e Caldwell, podem ser resumidos em:

1. Os resultados anuais do transporte litorâneo em Aracaju obtidos com a aplicação das fórmulas de Caldwell e Castanho, são da mesma ordem de grandeza. Entretanto, cada fórmula apresenta uma diferente lei de variação de intensidade do transporte no tempo.

2. Para as ondas registradas em Aracaju, os valores da capacidade de transporte calculados pela fórmula de Castanho são mais influenciados pelo valor do ângulo

lo de ataque α_b relativamente aos demais fatores, porque as ondas de Aracaju possuem valores de esbeltez (δ_b) bastante elevados e, além disso, o valor do parâmetro S é bastante sensível ao valor de α_b .

3. A distribuição ao longo do ano e os valores das alturas de ondas, períodos e sobretudo dos ângulos de ataque na arrebentação, foram responsáveis pela mesma ordem de grandeza do transporte litorâneo calculado pelas duas fórmulas. Houve uma compensação manifesta da pela distribuição dos ângulos de ataque, pois em cerca de 64.2% dos registros do ano ($\alpha_b < 11^\circ$) a capacidade de transporte pela fórmula de Caldwell foi maior que pela de Castanho. Porém os valores das capacidades de transporte eram relativamente mais baixos que para os 26.1% dos registros ($\alpha_b > 13^\circ$) em que, pela fórmula de Castanho, as capacidades de transporte eram maiores que pela fórmula de Caldwell.

11.3 COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS CALCULADOS PELAS FÓRMULAS DE CASTANHO E BIJKER.

Como já ficou constatado em capítulos anteriores, as concepções das fórmulas de Castanho e Bijker para o cálculo do transporte litorâneo são bem diversas. No entanto, a aplicação dessas fórmulas à praia de Aracaju conduziu a resultados praticamente coincidentes. O transporte litorâneo anual calculado pela fórmula de Castanho é cerca de 785800 m^3 , enquanto que pela fórmula de Bijker esse transporte é de aproximadamente 757100 m^3 , havendo portanto uma variação de apenas 3.8 % entre os dois resultados.

As características de ondas ao largo são as mesmas para o emprego das duas fórmulas. No entanto, na

arrebentação, apenas as alturas H_b e as profundidades de arrebentação d_b tem os mesmos valores para as duas fórmulas. Os ângulos de ataque na arrebentação para o emprego da fórmula de Bijker, são sistematicamente menores que os calculados para a aplicação das fórmulas de Castanho e Caldwell, pois como foi visto no capítulo 10, Bijker considera a celeridade da onda na arrebentação calculada pela teoria da onda sinusoidal ($c_b = \sqrt{gd_b}$).

Compararam-se os resultados das capacidades de transporte litorâneo calculadas pelas duas fórmulas para cada um dos 517 registros (colhidos ou esquematizados) do ano.

O transporte litorâneo anual calculado pela fórmula de Castanho (V_C), pode ser decomposto em uma soma de parcelas de volumes $\Delta V'_C$ que são maiores que as correspondentes parcelas de volumes $\Delta V'_B$ calculados para cada registro pela fórmula de Bijker, e outra soma de parcelas $\Delta V''_C$ que são menores que as correspondentes $\Delta V''_B$ calculadas pela fórmula de Bijker. Por sua vez o transporte litorâneo anual calculado pela fórmula de Bijker (V_B) pode ser decomposto na soma das parcelas $\Delta V'_B$ e $\Delta V''_B$. Como $V_C = V_B$, vem:

$$\sum \Delta V'_C + \sum \Delta V''_C = \sum \Delta V'_B + \sum \Delta V''_B \quad \text{ou:}$$

$$\sum \Delta V'_C - \sum \Delta V'_B = \sum \Delta V''_B - \sum \Delta V''_C \quad (11) - (11)$$

Da mesma forma que na comparação de resultados obtidos com o emprego das fórmulas de Castanho e Caldwell, procurou-se estudar o que os registros de ondas correspon-

dentes às parcelas do 1º membro de (11-5) possuíam em comum entre si, o que os registros correspondentes às parcelas do 2º membro possuíam também em comum entre si, e conseqüentemente as afinidades e diferenças entre os registros correspondentes às parcelas dos dois membros de (11-5).

Relativamente aos ângulos de ataque na arrebentação, a capacidade de transporte litorâneo calculada pela fórmula de Bijker é sempre maior que a correspondente capacidade de transporte dada pela fórmula de Castanho, para todos os registros em que $\alpha_b < 8^\circ$ ou $\alpha'_b < 6^\circ$, ângulos estes calculados respectivamente, para o emprego das fórmulas de Castanho e Bijker. O inverso ocorre para $\alpha_b > 19^\circ$ ou $\alpha'_b > 14^\circ$, conforme o ângulo de ataque na arrebentação seja calculado respectivamente, para o emprego das fórmulas de Castanho ou Bijker.

Todas as ondas com $\alpha_b > 19^\circ$ ou $\alpha'_b > 14^\circ$ correspondem a parcelas do 1º membro de (11-5), ao passo que todas as ondas com $\alpha_b < 8^\circ$ ou $\alpha'_b < 6^\circ$ correspondem a parcelas do 2º membro da mesma expressão. Para $8^\circ \leq \alpha_b \leq 19^\circ$ ou $6^\circ \leq \alpha'_b \leq 14^\circ$, há casos em que a fórmula de Bijker apresenta maiores resultados e outros em que pela fórmula de Castanho se obtêm maiores resultados. Não foi constatada, na análise de resultados, qualquer particularidade das grandezas físicas desses registros.

Outra grandeza que poderia ser comparada entre as duas fórmulas, é a velocidade da corrente litorânea no início da arrebentação. A velocidade da corrente litorânea na fórmula de Castanho é dada por:

$$v = \varepsilon \sqrt{g(d_b + H_b)} \cdot \text{sen} \alpha_b$$
, enquanto que a fórmula de Bijker utiliza a velocidade da corrente litorânea

nea calculada pela fórmula de Eagleson (fórmula 10-5). Para todos os registros de ondas do ano, sistematicamente a velocidade da corrente litorânea dada pela fórmula de Castanho é maior que a correspondente calculada para a aplicação da fórmula de Bijker. Para ondas de mesmo período e mesma altura na arrebentação, constata-se que a discrepância entre os valores de velocidades da corrente litorânea, calculados pelos métodos adotados por Castanho e Bijker, aumenta à medida que diminui o ângulo de ataque na arrebentação.

Vejamos como exemplo, as ondas mais frequentes registradas em Aracaju. Elas possuem período médio $T = 6$ seg. e altura significativa de 1.1 m à profundidade de 20 m. Para as ondas com estas características e que, além disso, possuem a mesma altura na arrebentação ($H_b = 1.2$ m), a razão entre as velocidades de corrente litorânea, calculadas pelos métodos adotados por Castanho e Bijker, varia de 4.84 para $\alpha_b = 22^\circ$ ou $\alpha'_b = 16^\circ$ à 9.26 para $\alpha_b = 2^\circ$ ou $\alpha'_b = 1^\circ$. O quadro abaixo traduz essa variação.

QUADRO 11-5

| (A) | | (B) | | A/B |
|------------|-------------|------------------|--------------------|------|
| α_b | α'_b | v_{cast} (m/s) | v_{Bijker} (m/s) | |
| 22 | 16 | 0.891 | 0.184 | 4.84 |
| 18 | 14 | 0.797 | 0.155 | 5.14 |
| 15 | 11 | 0.701 | 0.126 | 5.56 |
| 10 | 7 | 0.544 | 0.087 | 6.25 |
| 6 | 4 | 0.362 | 0.049 | 7.39 |
| 2 | 1 | 0.139 | 0.015 | 9.26 |

Apesar desse aumento relativo da velocidade da corrente litorânea calculada pelo método de Castanho, as capacidades de transporte são menores que as calculadas pela fórmula de Bijker para pequenos ângulos de ataque. A explicação desse fato é a mesma dada, quando da comparação entre os resultados calculados pelas fórmulas de Castanho e Caldwell, ou seja: para as ondas de Aracaju com valores bastante elevados de espeltez δ_b , a capacidade de transporte litorâneo calculada pela fórmula de Castanho é bem mais sensível ao valor do ângulo de ataque α_b .

A respeito das inversões mensais constata-se que, pela fórmula de Bijker, elas ocorrem para os meses de abril, setembro e outubro; aliás os mesmos meses em que elas ocorrem segundo a fórmula de Caldwell.

Observando-se os quadros 8-2 e 10-1 e as Figs. (8-1 e 10-1), constata-se que a intensidade do transporte litorâneo mensal calculada pela fórmula de Castanho é maior que a correspondente calculada pela fórmula de Bijker, para os meses de novembro, dezembro, janeiro, fevereiro, abril e maio. Ocorre o inverso para os meses de março, junho, julho, agosto, setembro e outubro.

De um modo geral, a fórmula de Castanho dá maiores resultados que a de Bijker para as ondas em regime de verão, e a de Bijker dá maiores resultados que a de Castanho para as ondas em regime de inverno. Há duas exceções, os meses de março e maio. Em março, a intensidade do transporte litorâneo pela fórmula de Bijker é cerca de 4% maior que a correspondente intensidade calculada pela fórmula de Castanho. Em maio, a intensidade de transporte litorâneo calculada pela fórmula de Castanho

é cerca de 4% maior que a correspondente intensidade calculada pela fórmula de Bijker. Na fig. 11-4 está representada a relação entre as intensidades mensais do transporte litorâneo calculadas pelas duas fórmulas.

O mês de Janeiro é o que apresenta a maior intensidade mensal de transporte litorâneo pelas duas fórmulas. Estas fórmulas concordam também no fato de que o transporte litorâneo no regime de verão é mais intenso que no regime de inverno.

QUADRO 11-6

| AUTORES | TRANSPORTE LITORÂNEO ($10^3 m^3$) | | VARIACÃO PERCENTUAL (%) |
|----------|-------------------------------------|-------------|-------------------------|
| | NOV. A ABRIL | MAIO A OUT. | |
| CASTANHO | 537.5 | 248.3 | 116.5 |
| BIJKER | 454.1 | 303.0 | 49.9 |

A fórmula de Bijker não mostra a compensação constatada anteriormente entre a_0 e H_0 na fórmula de Caldwell (quadro 11-4) mas, mesmo assim, a diferença entre o transporte litorâneo nos regimes de inverno e de verão é bem menor que a diferença apresentada pelos resultados da fórmula de Castanho.

As fórmulas de Castanho e Bijker se equivalem quanto ao fato de apresentarem os mesmos resultados anuais, mas elas também traduzem diferentes leis de variação da intensidade do transporte no tempo, como pode ser visto na fig. 11-4.

Um ponto que deixa margem a dúvidas na fórmula de Bijker é o limite ao longo da aplicação dessa fórmula, o qual não é bem definido.

A fórmula de Castanho tem validade apenas en
tre o início da arrebentação e a costa.

11.3.1 COMENTÁRIOS SOBRE AS TEORIAS ONDULATÓRIAS EM PREGADAS NAS FÓRMULAS DE CASTANHO E BIJKER.

Muito embora esses dois autores abordem o pro
blema do transporte litorâneo por vias diferentes, há
uma questão que deve ser mencionada. No cálculo das ca
racterísticas das ondas junto à arrebentação, nem sempre
esses autores adotam as mesmas teorias.

Pela fórmula de Castanho todas as característi
cas das ondas na arrebentação são calculadas com a utili
zação da teoria da onda solitária. São então calculadas
por esta teoria: H_b , d_b , E_b e o ângulo de ataque α_b é ob
tido, considerando-se na aplicação da lei de Snell, a
celeridade da onda na arrebentação ($c_b = \sqrt{g(d_b + H_b)}$) da
da pela teoria da onda solitária.

Pela fórmula de Bijker calcula-se o transporte
litorâneo em faixas paralelas à praia. A altura da on
da na arrebentação (H_b) e a profundidade de arrebentação
(d_b) são calculadas com a utilização da teoria da onda
solitária. Já o ângulo α_b é calculado considerando-se,
na aplicação da lei de Snell, a celeridade da onda na ar
rebentação ($c_b = \sqrt{gd_b}$) dada pela teoria da onda sinusoi
dal em água rasa. Na fórmula de Bijker faz-se uso da am
plitude da velocidade orbital das partículas líquidas jun
to ao fundo (u_o), calculada para as profundidades médias
das faixas. Para qualquer profundidade este autor utili
za a teoria da onda sinusoidal para o cálculo de u_o , mes
mo se a dada profundidade a onda já arrebentou. Na
referência (5) Bijker justifica isto dizendo que as velo

idades orbitais calculadas com o emprego da teoria da onda sinusoidal, para as ondas que arrebatam segundo o critério da teoria da onda solitária, estão em concordância razoável com os valores reais das velocidades orbitais medidas no ponto de arrebatamento.

A fórmula de Castanho é mais coerente que a de Bijker, no que se refere ao emprego de teorias de ondas para a determinação das características de ondas, envolvidas no problema do transporte litorâneo.

11.3.2 CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DA INFLUÊNCIA DA RUGOSIDADE DE FUNDO NOS RESULTADOS DO TRANSPORTE LITORÂNEO.

Na figura (8-2) estão representados os resultados do transporte litorâneo anual calculados pela fórmula de Castanho, para valores do coeficiente de atrito K variando entre 0.004 (praia lisa) e 0.01 (praia rugosa). Estão também representados os resultados calculados pela fórmula de Bijker para valores da rugosidade λ parente do fundo (λ) variando entre 0.1 m e 0.25 m.

Enquanto que pela fórmula de Castanho a variação do transporte litorâneo anual para os casos extremos de praia lisa e rugosa é de apenas 8.12%, a variação pela fórmula de Bijker, relativamente ao valor de $\lambda = 0.17$ m adotado para a praia de Aracaju, é de: +74.7% para o valor calculado com $\lambda = 0.10$ m e de -34.1% para o valor do transporte litorâneo calculado com $\lambda = 0.25$ m.

A grande sensibilidade dos resultados calculados pela fórmula de Bijker ao valor de λ , se manifesta sobretudo no valor calculado do transporte em suspensão; - (6) (7) e capítulo 5 deste trabalho.

A aproximação proposta por Castanho em (9) é de considerar os sedimentos, desde os grãos que se movimentam por arraste até aqueles que se deslocam em suspensão, constituindo uma camada única de sedimentos. Aplica então a expressão do transporte por arraste por ele deduzida, para o cálculo do transporte de sedimentos nessa camada. Assim, Castanho contorna o problema da determinação da concentração de sedimentos em suspensão. Cremos ser este um motivo da fórmula desse autor ser tão pouco sensível ao valor do parâmetro que representa a rugosidade do fundo.

A pequena variação da capacidade de transporte litorâneo calculada pela fórmula de Castanho com o coeficiente de atrito K , que este autor adota para representar a rugosidade de fundo, é um aspecto favorável dessa fórmula. Por outro lado, a grande variação da capacidade de transporte litorâneo pela fórmula de Bijker com o valor da rugosidade apresenta n , é um aspecto desfavorável dessa fórmula, pois: até o presente é extremamente difícil, senão impossível, a determinação de rugosidade de praias na natureza.

11.4 COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS CALCULADOS PELAS FÓRMULAS DE CALDWELL E BIJKER.

Como foi visto no início deste capítulo, a variação entre o transporte litorâneo anual calculado pelas fórmulas de Caldwell e Bijker é de 9.2 %, apesar das fórmulas terem concepções bastante diferentes.

Analisando todos os registros de ondas (apêndice), constata-se o seguinte:

a) - Independentemente do período das ondas que pouco varia, a capacidade de transporte litorâneo pela

fórmula de Caldwell é geralmente maior que a calculada pela fórmula de Bijker, para ondas relativamente mais altas e com pequenos ângulos de ataque (α_b).

b)- Para ondas mais baixas (H_b em torno de 1,0 m) e com ângulos α_b mais elevados, a tendência é para que a capacidade de transporte litorâneo pela fórmula de Bijker seja maior.

c)- Independentemente de alturas e períodos, a capacidade de transporte pela fórmula de Caldwell é sempre maior que a calculada pela fórmula de Bijker, quando $\alpha_b < 3^\circ$ e $\alpha_b' < 3^\circ$, onde α_b' é o ângulo de ataque na arrebentação empregado na fórmula de Bijker.

d)- Não há um ângulo α_b tal que, para valores superiores a ele, a capacidade de transporte litorâneo pela fórmula de Bijker seja sempre maior que a correspondente capacidade dada pela fórmula de Caldwell.

Através dos quadros 9-1 e 10-1 e da fig. 11-4, constata-se que o transporte litorâneo mensal pela fórmula de Bijker é maior que o correspondente pela fórmula de Caldwell para os meses de novembro, dezembro, janeiro e fevereiro. O inverso ocorre para os meses restantes do ano.

Como foi visto anteriormente, as ondas em regime de verão são em média mais baixas e possuem, em média, maiores ângulos de ataque que as ondas em regime de inverno. Isto favorece os maiores resultados constatados pela fórmula de Bijker no regime de verão, e pela fórmula de Caldwell no regime de inverno.

Os resultados anuais do transporte litorâneo calculados pelas duas fórmulas são da mesma ordem de grandeza. Porém, elas traduzem diferentes leis de varia

ção da intensidade de transporte no tempo. Comparando dois a dois os resultados fornecidos pelas três fórmulas neste trabalho constata-se que, ao longo do ano, as fórmulas de Caldwell e Bijker traduzem as leis de variação de intensidade do transporte litorâneo mensal mais aproximadas, pois o valor da razão entre as intensidades mensais pelas duas fórmulas é mais próximo da unidade (linha ponto-traço da figura 11-4).

As inversões mensais do transporte litorâneo para as fórmulas de Caldwell e Bijker ocorrem para os meses abril, setembro e outubro. Então, sob o ponto de vista das inversões mensais e da variação da intensidade do transporte litorâneo com o tempo, um dos fatores que diferenciam as fórmulas de Caldwell e Bijker da de Castanho, é o parâmetro S da fórmula deste último autor.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Do presente trabalho nascem as conclusões e recomendações seguintes:

1. A experiência com traçadores radioativos realizada em Aracaju mostrou que o transporte de sedimentos paralelamente à costa, ao longo da zona de arrebatamento, é praticamente nulo. Por exclusão concluiu-se que o transporte de sedimentos marinhos em direção ao canal de acesso ao porto, se dá praticamente apenas entre a arrebentação e a costa (transporte litorâneo).

A experiência com traçadores radioativos deu também a indicação de que o limite ao longo de aplicabilidade da fórmula de Bijker no caso de Aracaju, situa-se em torno de isóbata de 6 metros.

2. O fato de havermos utilizado registros de ondas colhidas durante um ano, permitiu-nos estudar em detalhe o problema do transporte litorâneo em Aracaju. Foi possível calcular, além do transporte litorâneo anual, as parcelas mensais desse transporte, a quantificação do transporte dominante (83% ao ano de NE para SW), bem como apontar os meses prováveis de inversão, quando o transporte litorâneo de SW para NE é mais intenso.

Da bibliografia a que tivemos acesso pudemos constatar que os diversos autores, para o cálculo do transporte litorâneo anual, utilizam apenas uma onda que, do ponto de vista energético e atuando durante o ano, se ja equivalente a todas as ondas que ocorreram durante o ano.

3. As três fórmulas utilizadas para a estimativa do transporte litorâneo anual em Aracaju deram resultados da mesma ordem de grandeza (cerca de 800000 m³/ano), apesar do número e da complexidade dos parâmetros em jogo, e o fato da fórmula de Bijker ter uma concepção física bem diferente das fórmulas de Caldwell e Castanho.

4. O fato das três fórmulas terem dado resultados de transporte litorâneo anual da mesma ordem de grandeza se deve a características peculiares das ondas de Aracaju.

As ondas de Aracaju têm períodos pouco variáveis ao longo do ano. São ondas curtas e com elevados valores de esbeltez. Isto acarreta que a capacidade de transporte seja mais influenciada pelo valor do ângulo de ataque na arrebentação.

Ficou constatado que para valores de α_b abaixo de um certo limite, a capacidade de transporte pela fórmula de Castanho é menor que as correspondentes capacidades calculadas pelas fórmulas de Caldwell e Bijker. Ocorre o inverso para valores de α_b acima de um certo limite. Acontece que, no regime de ondas de verão, ocorrem ondas com elevados ângulos de ataque na arrebentação e baixa altura. O contrário se dá, em média, no regime de inverno. Isto faz com que haja uma compensação de resultados parciais calculados pelas três fórmulas, a qual acarreta a pequena discrepância, a nosso ver fortuita, nos resultados do transporte litorâneo anual.

Seria interessante a estimativa do transporte litorâneo anual em outra praia onde houvesse registros de ondas de todo um ano, e onde os valores das características das ondas e sua variação estacional fossem diferentes dos observados em Aracaju.

O objetivo disto seria ver o grau de discrepância entre os resultados de transporte litorâneo anual, calculados pelas três fórmulas.

5. Apesar das três fórmulas concordarem quanto aos resultados anuais, elas traduzem leis bastante diferentes de variação da intensidade do transporte litorâneo no tempo, para o caso de Aracaju.

A verificação de qual das três fórmulas melhor traduz uma lei de variação da intensidade do transporte litorâneo com o tempo, deveria ser feita através de medições desse transporte na natureza, em uma praia onde, de preferência, houvesse transporte litorâneo em uma só direção e onde a variação estacional das ondas fosse acentuada.

6. As fórmulas utilizadas neste trabalho, foram estabelecidas para o caso de ondas monocromáticas.

A aplicação dessas fórmulas ao problema do transporte litorâneo é uma aproximação, pois as ondas do mar constituem espectros ondulatórios.

7. Sugerimos que sejam feitas pesquisas com geradores programáveis de ondas irregulares, com o objetivo de verificar experimentalmente se a capacidade de transporte litorâneo de um dado conjunto de ondas irregulares, atuando sobre uma dada praia, é efetivamente igual à capacidade de transporte da onda monocromática cujo período é o período médio e cuja altura é a altura significativa das ondas irregulares.

8. Sugerimos que se façam mais pesquisas do problema pouco conhecido do transporte em suspensão, na zona de arrebentação.

9. Recomendamos que sejam feitas medições sistemáticas (mensais ou bimensais) do assoreamento do canal de acesso dragado através da barra de Aracaju, para comparação com os valores calculados, neste trabalho, do transporte litorâneo, apesar de acreditarmos que nem toda a areia que chega ao canal permaneça nele. Uma parte desse material deve sair do canal, devido ao efeito de varredura hidráulica ("chasse") dos escoamentos através da embocadura.

10. Apontamos as seguintes vantagens da fórmula de Castanho, relativamente à de Bijker:

a)- Ela é pouco sensível à rugosidade de fundo, que é um dos parâmetros menos conhecidos entre os muitos envolvidos no estudo do transporte de sedimentos no mar.

b)- Ao contrário da fórmula de Bijker que não tem um limite definido de aplicação ao largo, a fórmula de Castanho bem como a de Caldwell são válidas apenas entre a arrebentação e a costa.

11. A aplicação dos três métodos de cálculo conduz a uma ordem de grandeza de $800000 \text{ m}^3/\text{ano}$, para o transporte litorâneo em Aracaju.

No estado atual dos conhecimentos, pode-se considerar este volume como sendo o volume anual máximo de dragagem de manutenção de um canal de acesso ao porto de Aracaju. Isto na hipótese de que toda a areia que chega ao canal, permaneça nele.

Este é um dado que pode ser utilizado em um estudo de viabilidade econômica daquele porto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABECASIS, F., CASTANHO, J., CARVALHO, J.R. -
"A previsão das características das ondas do
mar" - Memória Nº 114 - L.N.E.C., Lisboa-1957.
2. ANONYMUS.
"Shore protection planning and design"
U.S. Army Coastal Engineering Research Center-
Technical Report Nº 4 - 1966
3. AUN, P.E. E OUTROS.
"Utilização de radioisótopos em sedimentolo
gia: Medida quantitativa do arraste de sedimen
tos em fundos na barra do rio Sergipe (Araca-
ju)" -
Relatório publicado pelo IPR/CNEN - 1971.
4. BIJKER, E.W.
"Some considerations about scales for coastal
models with movable bed" - Publication Nº 50-
Delft Hydraulic Laboratory - 1967
5. BIJKER, E. W. -
"Littoral drift as function of waves and cur
rent" - Proceedings, 11 th Conference on Co
astal Engineering - Vol I, London - 1968, pp.
415-435.

6. BIJKER, E. W.
"Longshore transport computations" - Vol. 97 -
Nº WW4 - Journal of the Waterways Harbors
and Coastal Engineering Division - Nov. 1971.
7. BIJKER, E. W.
"Littoral drift computations on mutual wave
and current influence" - Report Nº 71-2,
Delft Hydraulic Laboratory - June - 1971.
8. CALDWELL, J. M.
"Wave action and sand movement near Anaheim
Bay" - Beach Erosion Board - Technical
Memorandum Nº 68 - California - 1956.
9. CASTANHO, J. P.
"Rebentação das ondas e transporte litoral" -
Memória Nº 275 - L.N.E.C., Lisboa - 1966.
10. COURTOIS, G., SAUZAY, G.
"Les methodes de bilan des taux de comptage
de traceurs radioactifs, appliquées à la mesure
des débits massiques de charriage".
La Houille Blanche - Nº 3 - 1966
11. DRAPER, L.
"The analysis and presentation of wave data -
A plea for uniformity" - Proceedings, 10th
Conference on Coastal Engineering - Vol. I,
Tokio - 1966 - pp. 1-11.

12. DRAPER, L.
"Waves at Sekondi, Gana" - Idem, pp. 12-17.
13. EAGLESON, P.S.
"Theoretical study of longshore currents on a plane beach" - M.I.T., Dep. of Civil Engineering - Hydrodynamics Laboratory - Report N^o 82 - 1965.
14. EINSTEIN, H.A.
"The bed load function for sediment transportation in open channel flows" - U.S. Dep. of Agriculture - Technical Bulletin - N^o 1026. Washington D. C. 1950.
15. FRIJLINK, H.C.
"Discussion de formules de débit solide de Kalinske, Einstein et Meyer Peter et Muller, compte tenu des mesures recentes de transport dans les rivières neerlandaises" - Waterloopkundig Laboratorium - Juni, 1952.
16. GEOTECNICA S.A.
"Investigações geológico-geotécnicas, Rio Sergipe-Barra de Aracaju" - Relatório apresentado ao DNPVN - 5^a D.R. - Inspeção Fiscal do Porto de Aracaju - 1970.
17. MOTTA, V.F.
"Resultados de algumas medidas de transporte litorâneo em modelo costeiro esquemático" - Anais da Academia Brasileira de Ciências - Vol. N^o 37, Rio de Janeiro - 1965.

18.

MOTTA, V.F.

"Relatório sobre observações de ondas, ventos e correntes para o terminal oceânico de Aracaju" - Relatório apresentado à Petrobrás S.A. Porto Alegre, outubro de 1966.

19.

MOTTA, V.F.

"Projeto de estudos na natureza e em modelo reduzido para manutenção de canal de acesso a través da barra de Aracaju" - Relatório apresentado à Petrobrás S.A e ao CONDESE - SE - Porto Alegre, julho de 1965.

20.

SILVESTER, R.

"Design waves for littoral-drift models"
Proceedings of A.S.C.E., Journal of the
Waterways Harbors and Coastal Engineering
Division Vol. 89 - No. WW3 - August - 1963.

21.

U.S. NAVY HYDROGRAPHIC OFFICE

"Sea and Swell Charts" - Washington, D.C.
1948.

APENDICE

PROGRAMA PARA O CÁLCULO DO TRANSPORTE LITORÂNEO
PELA FÓRMULA DE BIJKER.

```

REAL LZERO
EXTERNAL THIFE,F1,F2
DIMENSION NONDA(60),IT(60),HZERO(60),IALFZ(60),HBRKR(60),DBRKR(60)
1,IALGB(60),VLB(60),VLI(180),UO(180),VCISH(180),CONDA(180),SBFAX(18
20),SSFAX(180),HI(180),MES(13),TRFAX(180),BRKRL(60),VLC SH(180),
3STFAX(180),STOTF(180)
COMMON LZERO,D,Z
SOPA1=0.
DATA MES/9,10,11,12,1,2,3,4,5,6,7,8,13/
SONA1=0.
SOPA3=0.
SONA3=0.
SOPA5=0.
SONA5=0.
IMES=0
10 READ(1,1)RSN
II=0
SOPM1=0.
SONM1=0.
SOPM3=0.
SONM3=0.
SOPM5=0.
SONM5=0.
SOTM1=0.
DITM1=0.
SOTM3=0.
DITM3=0.
SOTM5=0.
DITM5=0.
SOMAT=0.
IMES=IMES+1
WRITE(3,3)MES(IMES),RSN
L=0
20 L=L+1
STFAI = 0.
READ(1,2)NONDA(L),IALFZ(L),IT(L),IHZER,ICRF
IF(NONDA(L))2000,900,300
300 ALFAZ=IALFZ(L)*0.0174533
HZERO(L)=IHZER*0.1
CRF=ICRF*0.001
LZERO=1.56*IT(L)**2
DELZR=HZERO(L)/LZERO
HBRKR(L)=HZERO(L)/(3.3*DELZR**(1./3.))
DBRKR(L)=1.28*HBRKR(L)
R = 0.17
RUGDS = 0.272
C CALCULO DA VELOCIDADE DA CORRENTE LITORANEA NA ARREBENTACAO
BRKRL(L)=3.1321*IT(L)*DBRKR(L)**0.5
CT=1.
AY=12*DBRKR(L)/R
ZY=0.43429*ALOG(AY)
F=0.2422/(ZY*ZY)
SALFB=2.5066*SQRT(DBRKR(L)/LZERO)*SIN(ALFAZ)
ALFAB=ATAN(SALFB/SQRT(1-SALFB*SALFB))

```



```

VLB(L)=0.1155*HBRKR(L)*SQRT(CT*SIN(ALFAB)*SIN(2*ALFAB)/(DBRKR(L)*F
1))
IF(ALFAB)30,30,40
30 VLB(L)=-VLB(L)
40 ALFGB=ALFAB/0.0174533
AGABS=ABS(ALFGB)
IALGB(L)=AGABS*(AGABS+0.5)/ALFGB
WRITE(3,4)NONDA(L),IT(L),IALFZ(L),HZERO(L),IALGB(L),HBRKR(L),DBRKR
1(L),BRKRL(L),VLB(L)
C CALCULOS NAS TRES FAIXAS ONDE SE DA O TRANSPORTE
DO 250 I=1,5,2
II=II+1
IF(DBRKR(L)-I)60,50,60
50 CHEZF=18*ZY
GO TO 70
60 YF=12*I/R
ZF=0.43429*ALOG(YF)
CHEZF=18*ZF
70 QSI=0.0575*CHEZF
YFD90=98360.65*I
ZFD90=0.43429*ALOG(YFD90)
CHD90=18*ZFD90
AB=CHEZF/CHD90
COENR=SQRT(AB)*SQRT(AB)*SQRT(AB)
IF(DBRKR(L)-I)510,510,520
510 VLI(II)=(6-I)*VLB(L)/(6-DBRKR(L))
GO TO 540
520 HI(II)=0.78*I
CONDA(II)=3.1321*IT(L)*I**0.5
CTEVL=1.
FF=78.48/(CHEZF*CHEZF)
VLI(II)=0.1155*HI(II)*SQRT(CTEVL*SIN(ALFAB)*SIN(2*ALFAB)/(I*FF))
IF(ALFAB)530,530,540
530 VLI(II)=-VLI(II)
540 VCISH(II)=3.1321*VLI(II)/CHEZF
PATRS=0.0005*VCISH(II)
C CARACTERISTICAS DAS ONDAS NAS DIVERSAS PROFUNDIDADES
DPSLO=I/LZERO
IF(DPSLO-0.05)80,80,120
80 IF(DBRKR(L)-I)110,90,100
90 HI(II)=HBRKR(L)
CONDA(II)=BRKRL(L)
GO TO 130
100 HI(II)=0.78*I
CONDA(II)=3.1321*IT(L)*I**0.5
GO TO 130
110 CONDA(II)=3.1321*IT(L)*I**0.5
XF=12.566*I/CONDA(II)
CTEF=0.5+XF/(EXP(XF)-EXP(-XF))
HI(II)=0.7071*HZERO(L)*CRF*SQRT(LZERO/(CTEF*CONDA(II)))
GO TO 130
120 ITEND=10
EPS=0.5
RLI=30.

```

```

D=6.2832*I
CALL RTWIT(COPRI,THIPE,RLI,EPS,ITEND,IER)
XFPRI=12.566*I/COPRI
CTEFI=0.5+XFPRI/(EXP(XFPRI)-EXP(-XFPRI))
HI(II)=0.7071*HZERO(L)*CRF*SQRT(LZERO/(CTEFI*COPRI))
CONDA(II)=COPRI
C CALCULO DA AMPLITUDE DA VELOCIDADE ORBITAL NO FUNDO
130 XFCMN=6.2832*I/CONDA(II)
UO(II)=6.2832*HI(II)/(IT(L)*(EXP(XFCMN)-EXP(-XFCMN)))
C CALCULO DO TRANSPORTE POR ARRASTE POR METRO DE LARGURA E POR SEGUNDO
EXPO=0.00004320*CHEZF*CHEZF/(COENR*VLI(II)*VLI(II)*(1+0.5*(QSI*UO(
1II)/VLI(II))**2))
EMEXP=EXP(-EXPO)
SBFAX(II)=PATRS*EMEXP
C CALCULO DO TRANSPORTE EM SUSPENSÃO POR METRO DE LARGURA E POR SEGUNDO
VLCSH(II)=VCISH(II)*SQRT(1+0.5*(QSI*UO(II)/VLI(II))**2)
AVLSH=ABS(VLCSH(II))
Z=0.0225/AVLSH
A=RUGOS/I
RSI = R / I
FACT = 33/RSI
FATOR=ALOG(FACT)
IMAX=10
NI=10
CALL SMPSN(F1,A,1.,0.01,IMAX,SII,S1,NI,IE1)
CALL SMPSN(F2,A,1.,0.01,IMAX,SII,S2,NI,IE2)
E=0.216*A**(Z-1)/(1-A)**Z
UMI=E*S1
DOISI=E*S2
SSFAX(II)=SBFAX(II)*(UMI*FATOR+DOISI)*1.55
C CALCULO DO TRANSPORTE TOTAL POR METRO DE LARGURA DA FAIXA POR SEGUNDO
TRFAX(II)=SBFAX(II)+SSFAX(II)
C CALCULO DO TRANSPORTE TOTAL DURANTE O PERIODO DE ATUAÇÃO DO REGISTRO
STFAX(II)=TRFAX(II)*RSN
C CALCULO DO TRANSPORTE TOTAL EM TODA A LARGURA DA FAIXA
FLARG=552.
STOTF(II)=FLARG*STFAX(II)
STFAI = STFAI + STOTF(II)
IF(STOTF(II))140,140,180
140 IF(I-3)150,160,170
150 SONM1=SONM1+STOTF(II)
GO TO 250
160 SONM3=SONM3+STOTF(II)
GO TO 250
170 SONM5=SONM5+STOTF(II)
GO TO 250
180 IF(I-3)190,200,210
190 SOPM1=SOPM1+STOTF(II)
GO TO 250
200 SOPM3=SOPM3+STOTF(II)
GO TO 250
210 SOPM5=SOPM5+STOTF(II)
250 CONTINUE
WRITE(3,5)

```

```

II=II-3
DO 400 N=1,5,2
II=II+1
WRITE(3,6)N,CONDA(II),HI(II),VCISH(II),VLC SH(II),VLI(II),UO(II
1),SBFAX(II),SSFAX(II),TRFAX(II),STFAX(II),STOTF(II)
400 CONTINUE
WRITE(3,11) STFAI
GO TO 20
900 L=L-1
SOTM1=SOPM1-SONM1
DITM1=SOPM1+SONM1
SOTM3=SOPM3-SONM3
DITM3=SOPM3+SONM3
SOTM5=SOPM5-SONM5
DITM5=SOPM5+SONM5
SOMAT=SOPM1+SOPM3+SOPM5-(SONM1+SONM3+SONM5)
SOPA1=SOPA1+SOPM1
SONA1=SONA1+SONM1
SOPA3=SOPA3+SOPM3
SONA3=SONA3+SONM3
SOPA5=SOPA5+SOPM5
SONA5=SONA5+SONM5
C IMPRESSAO DE RESULTADOS MENS AIS
WRITE(3,7)SOPM1,SONM1,SOTM1,DITM1,SOPM3,SONM3,SOTM3,DITM3,SOPM5,SO
1NM5,SOTM5,DITM5,SOMAT
GO TO 10
C IMPRESSAO DOS RESULTADOS ANUAIS
2000 SOTA1=SOPA1-SONA1
DITA1=SOPA1+SONA1
SOTA3=SOPA3-SONA3
DITA3=SOPA3+SONA3
SOTA5=SOPA5-SONA5
DITA5=SOPA5+SONA5
SOPTR=SOPA1+SOPA3+SOPA5
SONTR=SONA1+SONA3+SONA5
SOTAR=SOPTR-SONTR
WRITE(3,8)SOPA1,SONA1,SOTA1,DITA1,SOPA3,SONA3,SOTA3,DITA3,SOPA5,SO
1NA5,SOTA5,DITA5
WRITE(3,9)SOPTR,SONTR,SOTAR

```

```

C
C          FORMATOS
C

```

```

1 FORMAT(F10.2)
2 FORMAT(5I16)
3 FORMAT(///,' MES ',I10,10X,'RSN(NUMERO DE SEGUNDOS EM QUE ATUA CAD
1A REGISTRO)=' ,F9.2,' SEG')
4 FORMAT(//,2X,'NONDA=' ,I3,3X,'IT=' ,I2,'SEG' ,2X,'IALFZ=' ,I3,'GRAU' ,2
1X,'HZERO=' ,F3.1,'M' ,2X,'IALGB=' ,I3,'GRAU' ,2X,'HBRKR=' ,F4.2,'M' ,2X,
2'DBRKR=' ,F4.2,'M' ,2X,'BRKRL=' ,F4.1,'M' ,2X,'VLB=' ,F6.3,'M/S' ,/)
5 FORMAT(/,2X,'PROF' ,2X,'CONDA' ,3X,'HI' ,5X,'VCISH' ,6X,'VLC SH' ,4X,'VL
1I' ,5X,'UO' ,7X,'SBFAX' ,7X,'SSFAX' ,7X,'TRFAX' ,8X,'STFAX' ,9X,'STOTF' ,
2/)
6 FORMAT(3X,I1,4X,F5.2,2X,F4.2,2X,E10.3,2X,F6.3,2X,F6.3,2X,F5.3,3X,E
110.3,2X,E10.3,2X,E10.3,5X,F6.3,7X,F8.3)

```

```
7 FORMAT(//,10X,'SOPM1=',F10.2,'M3/MES',4X,'SONM1=',F10.2,'M3/MES',4
1X,'SOTM1=',F10.2,'M3/MES',4X,'DITM1=',F10.2,'M3/MES',//,10X,'SOPM3
2=',F10.2,10X,'SONM3=',F10.2,10X,'SOTM3=',F10.2,10X,'DITM3=',F10.2,
3//,10X,'SOPM5=',F10.2,10X,'SONM5=',F10.2,10X,'SOTM5=',F10.2,10X,'D
4ITM5=',F10.2,//,50X,'SOMAT=',F11.2,'M3/MES',/)
8 FORMAT('1',//,50X,'RESULTADOS ANUAIS',//,10X,'SOPA1=',F10.2,'M3/AN
1NO',4X,'SONA1=',F10.2,'M3/ANO',4X,'SOTA1=',F10.2,'M3/ANO',4X,'DITA
2=',F10.2,'M3/ANO',//,10X,'SOPA3=',F10.2,10X,'SONA3=',F10.2,10X,'SO
3TA3=',F10.2,10X,'DITA3=',F10.2,//,10X,'SOPA5=',F10.2,10X,'SONA5=',
4F10.2,10X,'SOTA5=',F10.2,10X,'DITA5=',F10.2)
9 FORMAT(//,50X,'SOPTR=',F11.2,'M3/ANO',//,50X,'SONTR=',F11.2,'M3/AN
1NO',//,50X,'SOTAR=',F11.2,'M3/ANO')
11 FORMAT( /,101X,'STFAI=',F10.3)
CALL EXIT
END
```

PROGRAMA PARA O CÁLCULO DO TRANSPORTE LITORÂNEO
PELAS FÓRMULAS DE CASTANHO E CALDWELL

C
 C CALCULO DO TRANSPORTE LITORANEO AO NORTE DA EMBOCADURA DO RIO SERGIPE,
 C UTILIZANDO AS FORMULAS DE J. PIRES CASTANHO E A DE CALDWELL.
 C NONDA =NUMERO DO REGISTRO
 C IT =PERIODO DA ONDA (SEG)
 C H2O =ALTURA DA ONDA A 20M DE PROF. (M)
 C CRF20 =COEF. DE REFRAÇÃO ENTRE PROF. INF. E PROF. DE 20M
 C HZERO =ALTURA DA ONDA A PROF. INFINITA (M)
 C IALFZ =ANGULO DE ATAQUE A PROF. INFINITA (GRAU)
 C DELZR =ESBELTEZ DA ONDA A PROF. INFINITA
 C HBRKR =ALTURA DA ONDA NA ARREBENTACAO (M)
 C IAFGB =ANGULO DE ATAQUE NO INICIO DA ARREBENTACAO (GRAU)
 C DELBR =ESBELTEZ DA ONDA NA ARREBENTACAO
 C DBRKR =PROFUNDIDADE DE ARREBENTACAO (M)
 C VL =VELOCIDADE DA CORRENTE LITORANEA
 C ENBKR =ENERGIA DA ONDA NA ARREBENTACAO (TEORIA DA ONDA SOLITARIA)
 C PTL =POTENCIA TRANSMITIDA PARALELAMENTE A COSTA
 C QSCST =VAZAO SOLIDA PELA FORMULA DE CASTANHO (KG/S)
 C VTCST =VOLUME TRANSP. PARALELAMENTE A COSTA, F. DE CASTANHO (M3/M)
 C QSCDW =CAPAC. DE TRANSP. PELA FORMULA DE CALDWELL (L/S)
 C QTSMS =CAPACIDADE DE TRANSP. PELA F. DE CASTANHO (L/S)
 C VTCDW =VOLUME TRANSP. PARALELAMENTE A COSTA, F. DE CALDWELL (M3/M)

C
 C SOMATORIOS DADOS PELA FORMULA DE *CASTANHO*
 C
 C SPOMT =VOL. MENSAL TRANSP. NO SENT.*NE-SW* DA COSTA (M3/M/MES)
 C SNEMT = '' '' '' '' '' *SW-NE* '' '' ''
 C SPOAT = '' ANUAL '' '' '' *NE-SW* '' '' (M3/M/ANO)
 C SNEAT = '' '' '' '' '' *SW-NE* '' '' ''
 C STOTT = '' '' '' NOS DOIS SENTIDOS '' '' ''

C
 C SOMATORIOS DADOS PELA FORMULA DE *CALDWELL*
 C
 C SPOMW =VOL. MENSAL TRANSP. NO SENT.*NE-SW* DA COSTA (M3/M/MES)
 C SNEMW = '' '' '' '' '' *SW-NE* '' '' ''
 C SPOAW = '' ANUAL '' '' '' *NE-SW* '' '' (M3/M/ANO)
 C SNEAW = '' '' '' '' '' *SW-NE* '' '' ''
 C STOTW = '' '' '' NOS DOIS SENTIDOS '' '' ''

C
 C
 C DIMENSION NONDA(60),IT(60),H2O(60),CRF20(60),HZERO(60),IALFZ(60),
 C 1DELZR(60),HBRKR(60),IAFGB(60),DELBR(60),DBRKR(60),QSCST(60),
 C 2VTCST(60),QSCDW(60),VTCDW(60),COSHG(6),MES(12),SABS(60),VL(60),
 C 3PTL(60),QTSMS(60),ENBKR(60)
 C DATA COSHG/0.9916,0.9657,0.9363,0.9181,0.9130,0.9174/,MES/9,10,11,
 C 112,1,2,3,4,5,6,7,8/
 C SPOAT=0.
 C SNEAT=0.
 C SPOAW=0.
 C SNEAW=0.
 C IMES=0
 C 10 READ(1,1)RSN
 C 1 FORMAT(F10.2)
 C SPOMT=0.

```

SNEMT=0.
SPOMW=0.
SNEMW=0.
IMES=IMES+1
L=0
20 L=L+1
   READ(1,2) NONDA(L),IALFZ(L),IT(L),IH20,ICRF
   2  FORMAT(5I16)
   H20(L)=IH20*0.1
   CRF20(L)=ICRF*0.001
   IF(NONDA(L))200,99,30
30  ALFAZ=IALFZ(L)*0.0174533
   I=IT(L)-4
   ZEROL=1.56*IT(L)*IT(L)
   HZERO(L)=H20(L)/(CRF20(L)*COSHG(I))
   DELZR(L)=HZERO(L)/ZEROL
   HBRKR(L)=HZERO(L)/(3.3*DELZR(L)**(1./3.))
   DBRKR(L)=1.28*HBRKR(L)
   BRKRL=4.1787*IT(L)*SQRT(DBRKR(L))
   DELBR(L)=HBRKR(L)/BRKRL
   SALFB=3.34*SQRT(DBRKR(L)/ZEROL)*SIN(ALFAZ)
   ALFAB=ATAN(SALFB/SQRT(1-SALFB*SALFB))
C   ENERGIA DA ONDA NA ARREB.(TEORIA DA ONDA SOLITARIA)
   ENBKRL=21582.*HBRKR(L)**3
C   POTENCIA TRANSMITIDA PARALELAMENTE A COSTA
   PTL(L)=ENBKRL*SIN(ALFAB)*COS(ALFAB)/IT(L)
C   CALCULO DE S
   DM=0.003623
   RK=0.004
   AI=DM*DELBR(L)/(RK*SIN(ALFAB)/COS(ALFAB))
   AIABS=ABS(AI)
   EPSON=-1.72*AIABS+SQRT((2.9584*AIABS+3.68)*AIABS)
   CB=4.197*SQRT(DBRKR(L))
   VL(L)=EPSON*CB*SIN(ALFAB)
   S=EPSON**3*SIN(ALFAB)/(1.78*AIABS)
   SABS(L)=ABS(S)
   ALFGB=ALFAB/0.0174533
   AGABS=ABS(ALFGB)
   IAFGB(L)=AGABS*(AGABS+0.5)/ALFGB
   QSCST(L)=SABS(L)*PTL(L)/4.226
   QTSMS(L)=QSCST(L)/1600.*1000
   VTCST(L)=QSCST(L)*RSN/1600.
   PTLM=0.000001*PTL(L)
   APTLM=ABS(PTLM)
   QSCDW(L)=5.0000*APTLM**0.8*1000
   IF(ALFAB)38,39,39
38  QSCDW(L)=-QSCDW(L)
39  VTCDW(L)=QSCDW(L)*RSN
   IF(VTCST(L))50,60,40
40  SPOMT=SPOMT+VTCST(L)
   GO TO 60
50  SNEMT=SNEMT+VTCST(L)
60  IF(VTCDW(L))80,20,70
70  SPOMW=SPOMW+VTCDW(L)

```

```
GO TO 20
80 SNEMW=SNEMW+VTCDW(L)
GO TO 20
90 L=L-1
SPOAT=SPOAT+SPOMT
SNEAT=SNEAT+SNEMT
SPOAW=SPOAW+SPOMW
SNEAW=SNEAW+SNEMW
```

C
C

```
IMPRESSAO MENSAL DE RESULTADOS
WRITE(3,3)MES(IMES),RSN
3 FORMAT(///,' MES ',I10,10X,'RSN(NUMERO DE SEGUNDOS EM QUE ATUA CA
1DA REGISTRO=',F9.2,'SEG')
WRITE(3,4)
4 FORMAT(//,2X,'NONDA',2X,'IT',2X,'H20',2X,' PTL ',2X,'HZERO',2X,' S
1ABS',3X,'DELZR',2X,'HBRKR',2X,'IAFGB',5X,'EB',4X,'DBRKR',4X,'QTSMS
2',6X,'VTCST',5X,'QSCDW',6X,'VTCDW',/)
WRITE(3,5)(NONDA(J),IT(J),H20(J),PTL(J),HZERO(J),SABS(J),DELZR(J),
1HBRKR(J),IAFGB(J),VL(J),DBRKR(J),QTSMS(J),VTCST(J),QSCDW(J),VTCDW(
2J),J=1,L)
5 FORMAT(3X,I3,3X,I2,2X,F3.1,1X,F8.2,1X,F3.1,2X,F6.4,3X,F6.4,3X,F3.1
1,4X,I3,1X,F9.1,2X,F4.2,2X,F9.6,1X,F9.2,1X,F9.6,2X,F9.2)
WRITE(3,6)SPOMT,SPOMW,SNEMT,SNEMW
6 FORMAT(//,78X,'SPOMT=',F10.2,4X,'SPOMW=',F11.2,//,78X,'SNEMT=',F10
1.2,4X,'SNEMW=',F11.2)
GO TO 10
```

C
C

```
RESULTADO ANUAL
200 STOTT=SPOAT-SNEAT
STOTW=SPOAW-SNEAW
WRITE(3,7)SPOAT,SNEAT,STOTT,SPOAW,SNEAW,STOTW
7 FORMAT('1',//,25X,'RESULTADOS ANUAIS',//,20X,'SPOAT =',F12.2,' M3/
1ANO',//,20X,'SNEAT =',F12.2,' M3/ANO',//,20X,'STOTT =',F12.2,' M3/
2ANO',//,20X,'SPOAW =',F12.2,' M3/ANO',//,20X,'SNEAW =',F12.2,' M3/
3ANO',//,20X,'STOTW =',F12.2,' M3/ANO')
CALL EXIT
END
```


RESULTADOS

VARIÁVEIS

- NONDA = nº de ordem do registro
- IT = período da onda
- H20 = altura da onda à profundidade de 20 m
- HZERO = altura da onda à profundidade infinita
- IALFZ = ângulo de ataque à profundidade infinita
- HBRKR = altura da onda no início da arrebentação
- DBRKR = profundidade de arrebentação
- IAFGB = ângulo de ataque no início da arrebentação para o cálculo do transporte litorâneo pelas fórmulas de Castanho e Caldwell
- IALGB = ângulo de ataque no início da arrebentação para o cálculo do transporte litorâneo pela fórmula de Bijker.
- QTSMS = capacidade de transporte em litros por segundo (fórmula de Castanho)
- QSCDW = capacidade de transporte em litros por segundo (fórmula de Caldwell)
- QBJKR = capacidade de transporte em litros por segundo (fórmula de Bijker)

MES 9 , RSN(NUMERO DE SEGUNDOS EM QUE ATUA CADA REGISTRO) = 78545.44SEG

| NONDA | IT | H2O | HZERO | IALFZ | HBRKR | DBRKR | IAFGB | IALGB | QTSMS | LOSCDW | QBJKR |
|-------|-----|-----|-------|--------|-------|-------|--------|--------|-------|--------|-------|
| | (S) | (M) | (M) | (GRAU) | (M) | (M) | (GRAU) | (GRAU) | (L/S) | (L/S) | (L/S) |
| 1 | 6 | 1.8 | 1.9 | 10 | 1.8 | 2.25 | 7 | 5 | 19.6 | 38.2 | 27.5 |
| 2 | 6 | 1.8 | 1.9 | 17 | 1.8 | 2.25 | 11 | 8 | 59.2 | 57.3 | 46.2 |
| 3 | 6 | 1.4 | 1.4 | 18 | 1.5 | 1.90 | 11 | 8 | 34.0 | 37.5 | 34.1 |
| 4 | 6 | 1.2 | 1.2 | 18 | 1.3 | 1.72 | 10 | 8 | 22.6 | 28.2 | 27.2 |
| 5 | 6 | 1.5 | 1.6 | -3 | 1.6 | 1.99 | -2 | -1 | -0.7 | -10.5 | -6.4 |
| 6 | 6 | 1.6 | 1.7 | 3 | 1.6 | 2.08 | 2 | 1 | 0.8 | 11.8 | 7.0 |
| 7 | 6 | 1.4 | 1.4 | -4 | 1.5 | 1.90 | -2 | -2 | -1.2 | -11.6 | -7.7 |
| 8 | 6 | 1.3 | 1.3 | 3 | 1.4 | 1.81 | 2 | 1 | 0.5 | 8.0 | 5.2 |
| 9 | 6 | 1.5 | 1.6 | 3 | 1.6 | 1.99 | 2 | 1 | 0.7 | 10.5 | 6.4 |
| 10 | 5 | 1.1 | 1.1 | -4 | 1.1 | 1.41 | -3 | -2 | -0.6 | -6.7 | -5.2 |
| 11 | 5 | 1.3 | 1.3 | -4 | 1.2 | 1.58 | -3 | -2 | -1.0 | -9.1 | -6.6 |
| 12 | 7 | 1.3 | 1.4 | -5 | 1.6 | 2.05 | -3 | -2 | -1.7 | -13.3 | -9.1 |
| 13 | 6 | 1.6 | 1.7 | -4 | 1.6 | 2.08 | -3 | -2 | -1.7 | -14.8 | -9.4 |
| 14 | 6 | 1.9 | 2.0 | -12 | 1.8 | 2.33 | -8 | -6 | -33.5 | -48.6 | -35.6 |
| 15 | 5 | 1.7 | 1.7 | -4 | 1.5 | 1.88 | -3 | -2 | -2.0 | -15.1 | -9.7 |
| 16 | 6 | 1.5 | 1.6 | -4 | 1.6 | 1.99 | -3 | -2 | -1.4 | -13.1 | -8.5 |
| 17 | 6 | 1.6 | 1.7 | -4 | 1.6 | 2.08 | -3 | -2 | -1.7 | -14.8 | -9.4 |
| 18 | 6 | 1.2 | 1.2 | 3 | 1.3 | 1.72 | 2 | 1 | 0.4 | 6.9 | 4.6 |
| 19 | 6 | 1.1 | 1.1 | -4 | 1.3 | 1.62 | -2 | -2 | -0.6 | -7.4 | -5.4 |
| 20 | 6 | 1.2 | 1.2 | -4 | 1.3 | 1.72 | -2 | -2 | -0.8 | -8.7 | -6.2 |
| 21 | 5 | 1.2 | 1.2 | -4 | 1.2 | 1.49 | -3 | -2 | -0.8 | -7.9 | -5.9 |
| 22 | 6 | 1.3 | 1.3 | -4 | 1.4 | 1.81 | -2 | -2 | -1.0 | -10.1 | -6.9 |
| 23 | 6 | 1.2 | 1.2 | -4 | 1.3 | 1.72 | -2 | -2 | -0.8 | -8.7 | -6.2 |
| 24 | 6 | 1.1 | 1.1 | -4 | 1.3 | 1.62 | -2 | -2 | -0.6 | -7.4 | -5.4 |
| 25 | 5 | 1.3 | 1.3 | -4 | 1.2 | 1.58 | -3 | -2 | -1.0 | -9.1 | -6.6 |
| 26 | 5 | 1.2 | 1.2 | -4 | 1.2 | 1.49 | -3 | -2 | -0.8 | -7.9 | -5.9 |
| 27 | 6 | 1.5 | 1.6 | 3 | 1.6 | 1.99 | 2 | 1 | 0.7 | 10.5 | 6.4 |
| 28 | 6 | 1.1 | 1.1 | -4 | 1.3 | 1.62 | -2 | -2 | -0.6 | -7.4 | -5.4 |
| 29 | 6 | 1.3 | 1.3 | -4 | 1.4 | 1.81 | -2 | -2 | -1.0 | -10.1 | -6.9 |
| 30 | 7 | 1.4 | 1.5 | -5 | 1.7 | 2.15 | -3 | -2 | -2.1 | -15.2 | -10.1 |
| 31 | 6 | 1.3 | 1.3 | -4 | 1.4 | 1.81 | -2 | -2 | -1.0 | -10.1 | -6.9 |
| 32 | 5 | 1.0 | 1.0 | 3 | 1.0 | 1.32 | 2 | 1 | 0.2 | 4.4 | 3.4 |
| 33 | 6 | 1.1 | 1.1 | -4 | 1.3 | 1.62 | -2 | -2 | -0.6 | -7.4 | -5.4 |

MES 10 . RSN(NUMERO DE SEGUNDOS EM QUE ATUA CADA REGISTRO)= 81163.63SEG

| NONDA | IT | H2O | HZERO | IALFZ | HBRKR | DBRKR | IAFGB | IALGB | QTSMS | QSCDW | QBJKR |
|-------|-----|-----|-------|--------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|
| | (S) | (M) | (M) | (GRAU) | (M) | (M) | (GRAU) | (GRAU) | (L/S) | (L/S) | (L/S) |
| 34 | 6 | 1.8 | 1.9 | 10 | 1.8 | 2.25 | 7 | 5 | 19.6 | 38.2 | 27.5 |
| 35 | 6 | 1.8 | 1.9 | 17 | 1.8 | 2.25 | 11 | 8 | 59.2 | 57.3 | 46.2 |
| 36 | 6 | 1.4 | 1.4 | 18 | 1.5 | 1.90 | 11 | 8 | 34.0 | 37.5 | 34.1 |
| 37 | 6 | 1.2 | 1.2 | 18 | 1.3 | 1.72 | 10 | 8 | 22.6 | 28.2 | 27.2 |
| 38 | 6 | 1.5 | 1.6 | -3 | 1.6 | 1.99 | -2 | -1 | -0.7 | -10.5 | -6.4 |
| 39 | 6 | 1.6 | 1.7 | 3 | 1.6 | 2.08 | 2 | 1 | 0.8 | 11.8 | 7.0 |
| 40 | 6 | 1.4 | 1.4 | -4 | 1.5 | 1.90 | -3 | -2 | -1.2 | -11.6 | -7.7 |
| 41 | 6 | 1.3 | 1.3 | 3 | 1.4 | 1.81 | 2 | 1 | 0.5 | 8.0 | 5.2 |
| 42 | 6 | 1.5 | 1.6 | 3 | 1.6 | 1.99 | 2 | 1 | 0.7 | 10.5 | 6.4 |
| 43 | 5 | 1.1 | 1.1 | -4 | 1.1 | 1.41 | -3 | -2 | -0.6 | -6.7 | -5.2 |
| 44 | 5 | 1.3 | 1.3 | -4 | 1.2 | 1.58 | -3 | -2 | -1.0 | -9.1 | -6.6 |
| 45 | 7 | 1.3 | 1.4 | -5 | 1.6 | 2.05 | -3 | -2 | -1.7 | -13.3 | -9.1 |
| 46 | 6 | 1.6 | 1.7 | -4 | 1.6 | 2.08 | -3 | -2 | -1.7 | -14.8 | -9.4 |
| 47 | 6 | 1.9 | 2.0 | -12 | 1.8 | 2.33 | -8 | -6 | -33.5 | -48.6 | -35.6 |
| 48 | 5 | 1.7 | 1.7 | -4 | 1.5 | 1.88 | -3 | -2 | -2.0 | -15.1 | -9.7 |
| 49 | 6 | 1.5 | 1.6 | -4 | 1.6 | 1.99 | -3 | -2 | -1.4 | -13.1 | -8.5 |
| 50 | 6 | 1.6 | 1.7 | -4 | 1.6 | 2.08 | -3 | -2 | -1.7 | -14.8 | -9.4 |
| 51 | 6 | 1.2 | 1.2 | 3 | 1.3 | 1.72 | 2 | 1 | 0.4 | 6.9 | 4.6 |
| 52 | 6 | 1.1 | 1.1 | -4 | 1.3 | 1.62 | -2 | -2 | -0.6 | -7.4 | -5.4 |
| 53 | 6 | 1.2 | 1.2 | -4 | 1.3 | 1.72 | -2 | -2 | -0.8 | -8.7 | -6.2 |
| 54 | 5 | 1.2 | 1.2 | -4 | 1.2 | 1.49 | -3 | -2 | -0.8 | -7.9 | -5.9 |
| 55 | 6 | 1.3 | 1.3 | -4 | 1.4 | 1.81 | -2 | -2 | -1.0 | -10.1 | -6.9 |
| 56 | 6 | 1.2 | 1.2 | -4 | 1.3 | 1.72 | -2 | -2 | -0.8 | -8.7 | -6.2 |
| 57 | 6 | 1.1 | 1.1 | -4 | 1.3 | 1.62 | -2 | -2 | -0.6 | -7.4 | -5.4 |
| 58 | 5 | 1.3 | 1.3 | -4 | 1.2 | 1.58 | -3 | -2 | -1.0 | -9.1 | -6.6 |
| 59 | 5 | 1.2 | 1.2 | -4 | 1.2 | 1.49 | -3 | -2 | -0.8 | -7.9 | -5.9 |
| 60 | 6 | 1.5 | 1.6 | 3 | 1.6 | 1.99 | 2 | 1 | 0.7 | 10.5 | 6.4 |
| 61 | 6 | 1.1 | 1.1 | -4 | 1.3 | 1.62 | -2 | -2 | -0.6 | -7.4 | -5.4 |
| 62 | 6 | 1.3 | 1.3 | -4 | 1.4 | 1.81 | -2 | -2 | -1.0 | -10.1 | -6.9 |
| 63 | 7 | 1.4 | 1.5 | -5 | 1.7 | 2.15 | -3 | -2 | -2.1 | -15.2 | -10.1 |
| 64 | 6 | 1.3 | 1.3 | -4 | 1.4 | 1.81 | -2 | -2 | -1.0 | -10.1 | -6.9 |
| 65 | 5 | 1.0 | 1.0 | 3 | 1.0 | 1.32 | 2 | 1 | 0.2 | 4.4 | 3.4 |
| 66 | 6 | 1.1 | 1.1 | -4 | 1.3 | 1.62 | -2 | -2 | -0.6 | -7.4 | -5.4 |

MES 11

RSN(NUMERO DE SEGUNDOS EM QUE ATUA CADA REGISTRO) = 48905.66SEG

| NONDA | IT | H2O | HZERO | IALFZ | HBRKR | DBRKR | IAFGB | IALGB | QTSMS | QSCDW | QBJKR |
|-------|-----|-----|-------|--------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|
| | (S) | (M) | (M) | (GRAU) | (M) | (M) | (GRAU) | (GRAU) | (L/S) | (L/S) | (L/S) |
| 67 | 7 | 1.2 | 1.3 | 21 | 1.5 | 1.94 | 11 | 8 | 31.4 | 34.9 | 33.1 |
| 68 | 6 | 0.9 | 0.9 | 10 | 1.1 | 1.42 | 5 | 4 | 3.1 | 10.5 | 10.1 |
| 69 | 5 | 0.8 | 0.8 | 3 | 0.9 | 1.14 | 2 | 1 | 0.1 | 2.9 | 2.5 |
| 70 | 6 | 0.9 | 0.9 | 10 | 1.1 | 1.42 | 5 | 4 | 3.1 | 10.5 | 10.1 |
| 71 | 6 | 0.8 | 0.8 | 7 | 1.0 | 1.31 | 4 | 3 | 1.0 | 6.3 | 6.0 |
| 72 | 6 | 1.0 | 1.0 | 10 | 1.2 | 1.52 | 5 | 4 | 4.1 | 12.8 | 11.8 |
| 73 | 6 | 0.9 | 0.9 | 10 | 1.1 | 1.42 | 5 | 4 | 3.1 | 10.5 | 10.1 |
| 74 | 7 | 0.6 | 0.6 | 3 | 1.0 | 1.22 | 1 | 1 | 0.1 | 2.1 | 1.7 |
| 75 | 6 | 0.9 | 0.9 | 17 | 1.1 | 1.42 | 9 | 7 | 9.4 | 15.8 | 17.0 |
| 76 | 6 | 0.8 | 0.8 | 42 | 1.0 | 1.32 | 20 | 15 | 34.3 | 24.1 | 32.0 |
| 77 | 6 | 1.3 | 1.3 | 27 | 1.4 | 1.81 | 16 | 12 | 59.3 | 43.7 | 44.6 |
| 78 | 6 | 1.5 | 1.6 | 27 | 1.6 | 1.99 | 17 | 12 | 86.5 | 56.9 | 54.9 |
| 79 | 6 | 1.2 | 1.2 | 17 | 1.3 | 1.72 | 10 | 7 | 20.2 | 27.0 | 25.7 |
| 80 | 6 | 1.1 | 1.1 | 18 | 1.3 | 1.62 | 10 | 7 | 17.9 | 24.0 | 24.0 |
| 81 | 7 | 1.1 | 1.2 | 29 | 1.4 | 1.83 | 15 | 11 | 44.8 | 37.4 | 38.5 |
| 82 | 7 | 1.0 | 1.1 | 29 | 1.3 | 1.72 | 14 | 10 | 34.9 | 31.4 | 33.6 |
| 83 | 7 | 1.0 | 1.1 | 38 | 1.3 | 1.72 | 18 | 13 | 54.1 | 37.4 | 41.7 |
| 84 | 7 | 1.1 | 1.2 | 29 | 1.4 | 1.83 | 15 | 11 | 44.8 | 37.4 | 38.5 |
| 85 | 6 | 0.9 | 0.9 | 27 | 1.1 | 1.42 | 14 | 10 | 22.4 | 22.2 | 26.2 |
| 86 | 7 | 0.9 | 1.0 | 21 | 1.3 | 1.60 | 10 | 7 | 14.6 | 20.5 | 21.7 |
| 87 | 6 | 0.7 | 0.7 | 17 | 0.9 | 1.20 | 8 | 6 | 4.8 | 9.9 | 11.7 |
| 88 | 7 | 1.0 | 1.1 | 38 | 1.3 | 1.72 | 18 | 13 | 54.1 | 37.4 | 41.7 |
| 89 | 5 | 0.9 | 0.9 | 36 | 1.0 | 1.23 | 20 | 15 | 35.3 | 24.0 | 30.6 |
| 90 | 6 | 0.9 | 0.9 | 34 | 1.1 | 1.42 | 17 | 13 | 33.1 | 25.8 | 32.2 |
| 91 | 5 | 0.9 | 0.9 | 36 | 1.0 | 1.23 | 20 | 15 | 35.3 | 24.0 | 30.6 |
| 92 | 6 | 0.8 | 0.8 | 34 | 1.0 | 1.31 | 17 | 12 | 24.3 | 20.8 | 27.1 |
| 93 | 6 | 0.8 | 0.8 | 42 | 1.0 | 1.32 | 20 | 15 | 34.3 | 24.1 | 32.0 |
| 94 | 5 | 0.9 | 0.9 | 36 | 1.0 | 1.23 | 20 | 15 | 35.3 | 24.0 | 30.6 |
| 95 | 5 | 0.9 | 0.9 | 36 | 1.0 | 1.23 | 20 | 15 | 35.3 | 24.0 | 30.6 |
| 96 | 6 | 1.2 | 1.4 | 78 | 1.4 | 1.83 | 36 | 26 | 216.0 | 72.5 | 71.0 |
| 97 | 6 | 0.9 | 0.9 | 42 | 1.1 | 1.43 | 21 | 15 | 46.7 | 29.9 | 38.1 |
| 98 | 5 | 1.1 | 1.1 | 29 | 1.1 | 1.41 | 18 | 13 | 42.3 | 30.3 | 35.8 |
| 99 | 6 | 0.9 | 0.9 | 42 | 1.1 | 1.43 | 21 | 15 | 46.7 | 29.9 | 38.1 |
| 100 | 7 | 0.9 | 1.0 | 38 | 1.3 | 1.60 | 17 | 13 | 41.0 | 30.8 | 35.6 |
| 101 | 6 | 1.0 | 1.1 | 50 | 1.2 | 1.57 | 25 | 18 | 84.1 | 42.0 | 42.8 |
| 102 | 6 | 1.2 | 1.2 | 28 | 1.3 | 1.72 | 16 | 12 | 51.1 | 38.6 | 41.0 |
| 103 | 7 | 0.9 | 1.0 | 24 | 1.3 | 1.60 | 11 | 8 | 18.8 | 22.6 | 24.5 |
| 104 | 6 | 0.9 | 0.9 | 34 | 1.1 | 1.42 | 17 | 13 | 33.1 | 25.8 | 32.2 |
| 105 | 7 | 1.0 | 1.1 | 38 | 1.3 | 1.72 | 18 | 13 | 54.1 | 37.4 | 41.7 |
| 106 | 5 | 1.1 | 1.1 | 42 | 1.1 | 1.41 | 25 | 19 | 74.2 | 37.7 | 45.5 |
| 107 | 7 | 1.3 | 1.4 | 42 | 1.6 | 2.07 | 22 | 16 | 130.6 | 66.2 | 74.0 |
| 108 | 7 | 0.9 | 1.0 | 38 | 1.3 | 1.60 | 17 | 13 | 41.0 | 30.8 | 35.6 |
| 109 | 6 | 1.4 | 1.4 | 27 | 1.5 | 1.90 | 16 | 12 | 72.1 | 50.1 | 49.8 |
| 110 | 6 | 1.3 | 1.3 | 3 | 1.4 | 1.81 | 2 | 1 | 0.5 | 8.0 | 5.2 |
| 111 | 6 | 1.2 | 1.2 | 3 | 1.3 | 1.72 | 2 | 1 | 0.4 | 6.9 | 4.6 |
| 112 | 6 | 1.4 | 1.4 | 3 | 1.5 | 1.90 | 2 | 1 | 0.6 | 9.2 | 5.8 |
| 113 | 7 | 2.1 | 2.2 | 21 | 2.2 | 2.82 | 13 | 10 | 138.6 | 98.6 | 81.0 |
| 114 | 6 | 1.9 | 2.0 | 10 | 1.8 | 2.33 | 7 | 5 | 22.6 | 42.2 | 29.8 |
| 115 | 6 | 1.4 | 1.4 | 23 | 1.5 | 1.90 | 14 | 10 | 54.1 | 44.8 | 42.9 |
| 116 | 6 | 1.3 | 1.3 | 27 | 1.4 | 1.81 | 16 | 12 | 59.3 | 43.7 | 44.6 |
| 117 | 6 | 1.2 | 1.2 | 17 | 1.3 | 1.72 | 10 | 7 | 20.2 | 27.0 | 25.7 |
| 118 | 7 | 1.1 | 1.2 | 21 | 1.4 | 1.83 | 11 | 8 | 25.0 | 29.7 | 29.0 |
| 119 | 6 | 1.1 | 1.1 | 27 | 1.3 | 1.62 | 15 | 11 | 38.1 | 32.1 | 35.1 |

MES 12

RSN(NUMERO DE SEGUNDOS EM QUE ATUA CADA REGISTRO)= 50535.85SEG

| NONDA | IT | H2O | HZERO | IALFZ | HBRKR | DBRKR | IAFGB | IALGB | QTSMS | QSCDW | QBJKR |
|-------|-----|-----|--------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|
| (S) | (M) | (M) | (GRAU) | (M) | (M) | (M) | (GRAU) | (GRAU) | (L/S) | (L/S) | (L/S) |
| 120 | 7 | 1.2 | 1.3 | 21 | 1.5 | 1.94 | 11 | 8 | 31.4 | 34.9 | 33.1 |
| 121 | 6 | 0.9 | 0.9 | 10 | 1.1 | 1.42 | 5 | 4 | 3.1 | 10.5 | 10.1 |
| 122 | 5 | 0.8 | 0.8 | 3 | 0.9 | 1.14 | 2 | 1 | 0.1 | 2.9 | 2.5 |
| 123 | 6 | 0.9 | 0.9 | 10 | 1.1 | 1.42 | 5 | 4 | 3.1 | 10.5 | 10.1 |
| 124 | 6 | 0.8 | 0.8 | 7 | 1.0 | 1.31 | 4 | 3 | 1.0 | 6.3 | 6.0 |
| 125 | 6 | 1.0 | 1.0 | 10 | 1.2 | 1.52 | 5 | 4 | 4.1 | 12.8 | 11.8 |
| 126 | 6 | 0.9 | 0.9 | 10 | 1.1 | 1.42 | 5 | 4 | 3.1 | 10.5 | 10.1 |
| 127 | 7 | 0.6 | 0.6 | 3 | 1.0 | 1.22 | 1 | 1 | 0.1 | 2.1 | 1.7 |
| 128 | 6 | 0.9 | 0.9 | 17 | 1.1 | 1.42 | 9 | 7 | 9.4 | 15.8 | 17.0 |
| 129 | 6 | 0.8 | 0.8 | 42 | 1.0 | 1.32 | 20 | 15 | 34.3 | 24.1 | 32.0 |
| 130 | 6 | 1.3 | 1.3 | 27 | 1.4 | 1.81 | 16 | 12 | 59.3 | 43.7 | 44.6 |
| 131 | 6 | 1.5 | 1.6 | 27 | 1.6 | 1.99 | 17 | 12 | 86.5 | 56.9 | 54.9 |
| 132 | 6 | 1.2 | 1.2 | 17 | 1.3 | 1.72 | 10 | 7 | 20.2 | 27.0 | 25.7 |
| 133 | 6 | 1.1 | 1.1 | 18 | 1.3 | 1.62 | 10 | 7 | 17.9 | 24.0 | 24.0 |
| 134 | 7 | 1.1 | 1.2 | 29 | 1.4 | 1.83 | 15 | 11 | 44.8 | 37.4 | 38.5 |
| 135 | 7 | 1.0 | 1.1 | 29 | 1.3 | 1.72 | 14 | 10 | 34.9 | 31.4 | 33.6 |
| 136 | 7 | 1.0 | 1.1 | 38 | 1.3 | 1.72 | 18 | 13 | 54.1 | 37.4 | 41.7 |
| 137 | 7 | 1.1 | 1.2 | 29 | 1.4 | 1.83 | 15 | 11 | 44.8 | 37.4 | 38.5 |
| 138 | 6 | 0.9 | 0.9 | 27 | 1.1 | 1.42 | 14 | 10 | 22.4 | 22.2 | 26.2 |
| 139 | 7 | 0.9 | 1.0 | 21 | 1.3 | 1.60 | 10 | 7 | 14.6 | 20.5 | 21.7 |
| 140 | 6 | 0.7 | 0.7 | 17 | 0.9 | 1.20 | 8 | 6 | 4.8 | 9.9 | 11.7 |
| 141 | 7 | 1.0 | 1.1 | 38 | 1.3 | 1.72 | 18 | 13 | 54.1 | 37.4 | 41.7 |
| 142 | 5 | 0.9 | 0.9 | 36 | 1.0 | 1.23 | 20 | 15 | 35.3 | 24.0 | 30.6 |
| 143 | 6 | 0.9 | 0.9 | 34 | 1.1 | 1.42 | 17 | 13 | 33.1 | 25.8 | 32.2 |
| 144 | 5 | 0.9 | 0.9 | 36 | 1.0 | 1.23 | 20 | 15 | 35.3 | 24.0 | 30.6 |
| 145 | 6 | 0.8 | 0.8 | 34 | 1.0 | 1.31 | 17 | 12 | 24.3 | 20.8 | 27.1 |
| 146 | 6 | 0.8 | 0.8 | 42 | 1.0 | 1.32 | 20 | 15 | 34.3 | 24.1 | 32.0 |
| 147 | 5 | 0.9 | 0.9 | 36 | 1.0 | 1.23 | 20 | 15 | 35.3 | 24.0 | 30.6 |
| 148 | 5 | 0.9 | 0.9 | 36 | 1.0 | 1.23 | 20 | 15 | 35.3 | 24.0 | 30.6 |
| 149 | 6 | 1.2 | 1.4 | 78 | 1.4 | 1.83 | 36 | 26 | 216.0 | 72.5 | 71.0 |
| 150 | 6 | 0.9 | 0.9 | 42 | 1.1 | 1.43 | 21 | 15 | 46.7 | 29.9 | 38.1 |
| 151 | 5 | 1.1 | 1.1 | 29 | 1.1 | 1.41 | 18 | 13 | 42.3 | 30.3 | 35.8 |
| 152 | 6 | 0.9 | 0.9 | 42 | 1.1 | 1.43 | 21 | 15 | 46.7 | 29.9 | 38.1 |
| 153 | 7 | 0.9 | 1.0 | 38 | 1.3 | 1.60 | 17 | 13 | 41.0 | 30.8 | 35.6 |
| 154 | 6 | 1.0 | 1.1 | 50 | 1.2 | 1.57 | 25 | 18 | 84.1 | 42.0 | 42.8 |
| 155 | 6 | 1.2 | 1.2 | 28 | 1.3 | 1.72 | 16 | 12 | 51.1 | 38.6 | 41.0 |
| 156 | 7 | 0.9 | 1.0 | 24 | 1.3 | 1.60 | 11 | 8 | 18.8 | 22.6 | 24.5 |
| 157 | 6 | 0.9 | 0.9 | 34 | 1.1 | 1.42 | 17 | 13 | 33.1 | 25.8 | 32.2 |
| 158 | 7 | 1.0 | 1.1 | 38 | 1.3 | 1.72 | 18 | 13 | 54.1 | 37.4 | 41.7 |
| 159 | 5 | 1.1 | 1.1 | 42 | 1.1 | 1.41 | 25 | 19 | 74.2 | 37.7 | 45.5 |
| 160 | 7 | 1.3 | 1.4 | 42 | 1.6 | 2.07 | 22 | 16 | 130.6 | 66.2 | 74.0 |
| 161 | 7 | 0.9 | 1.0 | 38 | 1.3 | 1.60 | 17 | 13 | 41.0 | 30.8 | 35.6 |
| 162 | 6 | 1.4 | 1.4 | 27 | 1.5 | 1.90 | 16 | 12 | 72.1 | 50.1 | 49.8 |
| 163 | 6 | 1.3 | 1.3 | 3 | 1.4 | 1.81 | 2 | 1 | 0.5 | 8.0 | 5.2 |
| 164 | 6 | 1.2 | 1.2 | 3 | 1.3 | 1.72 | 2 | 1 | 0.4 | 6.9 | 4.6 |
| 165 | 6 | 1.4 | 1.4 | 3 | 1.5 | 1.90 | 2 | 1 | 0.6 | 9.2 | 5.8 |
| 166 | 7 | 2.1 | 2.2 | 21 | 2.2 | 2.82 | 13 | 10 | 138.6 | 98.6 | 81.0 |
| 167 | 6 | 1.9 | 2.0 | 10 | 1.8 | 2.33 | 7 | 5 | 22.6 | 42.2 | 29.8 |
| 168 | 6 | 1.4 | 1.4 | 23 | 1.5 | 1.90 | 14 | 10 | 54.1 | 44.8 | 42.9 |
| 169 | 6 | 1.3 | 1.3 | 27 | 1.4 | 1.81 | 16 | 12 | 59.3 | 43.7 | 44.6 |
| 170 | 6 | 1.2 | 1.2 | 17 | 1.3 | 1.72 | 10 | 7 | 20.2 | 27.0 | 25.7 |
| 171 | 7 | 1.1 | 1.2 | 21 | 1.4 | 1.83 | 11 | 8 | 25.0 | 29.7 | 29.0 |
| 172 | 6 | 1.1 | 1.1 | 27 | 1.3 | 1.62 | 15 | 11 | 38.1 | 32.1 | 35.1 |

MES 1 RSN(NUMERO DE SEGUNDOS EM QUE ATUA CADA REGISTRO)= 68676.88SEG

| NONDA | IT | H2O | HZERO | IALFZ | HBRKR | DBRKR | IAFGB | IALCB | QTSMS | QSCDW | QBJKR |
|-------|-----|-----|-------|--------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|
| | (S) | (M) | (M) | (GRAU) | (M) | (M) | (GRAU) | (GRAU) | (L/S) | (L/S) | (L/S) |
| 173 | 6 | 1.1 | 1.1 | 27 | 1.3 | 1.62 | 15 | 11 | 38.1 | 32.1 | 35.1 |
| 174 | 6 | 0.9 | 0.9 | 27 | 1.1 | 1.42 | 14 | 10 | 22.4 | 22.2 | 26.2 |
| 175 | 6 | 0.9 | 0.9 | 42 | 1.1 | 1.43 | 21 | 15 | 46.7 | 29.9 | 38.1 |
| 176 | 5 | 1.1 | 1.1 | 36 | 1.1 | 1.41 | 22 | 16 | 59.7 | 34.6 | 41.1 |
| 177 | 6 | 1.1 | 1.2 | 42 | 1.3 | 1.63 | 22 | 16 | 78.9 | 43.1 | 50.9 |
| 178 | 5 | 1.4 | 1.4 | 29 | 1.3 | 1.66 | 19 | 14 | 79.6 | 47.2 | 50.3 |
| 179 | 6 | 1.1 | 1.2 | 50 | 1.3 | 1.67 | 26 | 19 | 107.5 | 49.9 | 49.6 |
| 180 | 5 | 1.2 | 1.2 | 36 | 1.2 | 1.49 | 23 | 17 | 74.9 | 40.6 | 46.6 |
| 181 | 5 | 1.2 | 1.2 | 23 | 1.2 | 1.49 | 15 | 11 | 35.4 | 30.4 | 32.7 |
| 182 | 5 | 1.0 | 1.0 | 42 | 1.0 | 1.32 | 24 | 18 | 58.0 | 31.7 | 39.6 |
| 183 | 6 | 0.9 | 0.9 | 42 | 1.1 | 1.43 | 21 | 15 | 46.7 | 29.9 | 38.1 |
| 184 | 6 | 1.3 | 1.4 | 50 | 1.5 | 1.86 | 28 | 20 | 165.1 | 67.4 | 71.7 |
| 185 | 7 | 0.9 | 1.0 | 38 | 1.3 | 1.60 | 17 | 13 | 41.0 | 30.8 | 35.6 |
| 186 | 6 | 0.9 | 0.9 | 34 | 1.1 | 1.42 | 17 | 13 | 33.1 | 25.8 | 32.2 |
| 187 | 6 | 0.9 | 0.9 | 34 | 1.1 | 1.42 | 17 | 13 | 33.1 | 25.8 | 32.2 |
| 188 | 5 | 1.2 | 1.2 | 36 | 1.2 | 1.49 | 23 | 17 | 74.9 | 40.6 | 46.6 |
| 189 | 7 | 1.1 | 1.2 | 29 | 1.4 | 1.83 | 15 | 11 | 44.8 | 37.4 | 38.5 |
| 190 | 6 | 1.1 | 1.1 | 17 | 1.3 | 1.62 | 10 | 7 | 16.0 | 22.9 | 22.7 |
| 191 | 7 | 1.1 | 1.2 | 38 | 1.4 | 1.83 | 19 | 14 | 69.5 | 44.5 | 47.9 |
| 192 | 6 | 0.9 | 0.9 | 27 | 1.1 | 1.42 | 14 | 10 | 22.4 | 22.2 | 26.2 |
| 193 | 7 | 1.1 | 1.2 | 7 | 1.4 | 1.83 | 4 | 3 | 2.4 | 12.7 | 9.9 |
| 194 | 7 | 1.1 | 1.2 | 21 | 1.4 | 1.83 | 11 | 8 | 25.0 | 29.7 | 29.0 |
| 195 | 6 | 1.1 | 1.1 | 17 | 1.3 | 1.62 | 10 | 7 | 16.0 | 22.9 | 22.7 |
| 196 | 6 | 1.2 | 1.2 | 34 | 1.3 | 1.72 | 19 | 14 | 70.5 | 43.8 | 48.7 |
| 197 | 6 | 1.2 | 1.2 | 28 | 1.3 | 1.72 | 16 | 12 | 51.1 | 38.6 | 41.0 |
| 198 | 6 | 1.4 | 1.4 | 27 | 1.5 | 1.90 | 16 | 12 | 72.1 | 50.1 | 49.8 |
| 199 | 6 | 1.1 | 1.1 | 10 | 1.3 | 1.62 | 6 | 4 | 5.3 | 15.2 | 13.5 |
| 200 | 7 | 1.1 | 1.2 | 29 | 1.4 | 1.83 | 15 | 11 | 44.8 | 37.4 | 38.5 |
| 201 | 5 | 1.1 | 1.1 | 14 | 1.1 | 1.41 | 9 | 7 | 10.7 | 17.9 | 18.0 |
| 202 | 6 | 1.2 | 1.2 | 17 | 1.3 | 1.72 | 10 | 7 | 20.2 | 27.0 | 25.7 |
| 203 | 5 | 0.9 | 0.9 | 42 | 1.0 | 1.23 | 23 | 17 | 44.1 | 26.2 | 33.8 |
| 204 | 6 | 1.0 | 1.0 | 34 | 1.2 | 1.52 | 18 | 13 | 43.7 | 31.4 | 37.5 |
| 205 | 7 | 1.0 | 1.1 | 12 | 1.3 | 1.72 | 6 | 4 | 6.3 | 16.3 | 14.7 |
| 206 | 6 | 1.1 | 1.1 | 17 | 1.3 | 1.62 | 10 | 7 | 16.0 | 22.9 | 22.7 |
| 207 | 5 | 1.4 | 1.4 | 23 | 1.3 | 1.66 | 16 | 12 | 53.2 | 40.4 | 40.8 |
| 208 | 6 | 0.9 | 0.9 | 17 | 1.1 | 1.42 | 9 | 7 | 9.4 | 15.8 | 17.0 |
| 209 | 6 | 1.1 | 1.2 | 42 | 1.3 | 1.63 | 22 | 16 | 78.9 | 43.1 | 50.9 |
| 210 | 6 | 0.8 | 0.8 | 27 | 1.0 | 1.31 | 13 | 10 | 16.4 | 17.8 | 22.1 |
| 211 | 6 | 0.9 | 0.9 | 2 | 1.1 | 1.42 | 1 | 1 | 0.1 | 2.9 | 2.0 |

MES 2 RSN(NUMERO DE SEGUNDOS EM QUE ATUA CADA REGISTRO)= 65383.78SEG

| NONDA | IT | H2O | HZERO | IALFZ | HBRKR | DBRKR | IAFGB | IALGB | OTSMS | QSCDW | QBJKR |
|-------|-----|-----|--------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|
| (S) | (M) | (M) | (GRAU) | (M) | (M) | (M) | (GRAU) | (GRAU) | (L/S) | (L/S) | (L/S) |
| 212 | 6 | 1.1 | 1.1 | 34 | 1.3 | 1.62 | 18 | 14 | 56.1 | 37.4 | 43.0 |
| 213 | 6 | 1.1 | 1.1 | 27 | 1.3 | 1.62 | 15 | 11 | 38.1 | 32.1 | 35.1 |
| 214 | 6 | 0.9 | 0.9 | 34 | 1.1 | 1.42 | 17 | 13 | 33.1 | 25.8 | 32.2 |
| 215 | 6 | 1.1 | 1.1 | 23 | 1.3 | 1.62 | 13 | 9 | 28.6 | 28.7 | 30.3 |
| 216 | 6 | 1.0 | 1.0 | 42 | 1.2 | 1.53 | 22 | 16 | 61.5 | 36.2 | 44.4 |
| 217 | 6 | 1.1 | 1.2 | 42 | 1.3 | 1.63 | 22 | 16 | 78.9 | 43.1 | 50.9 |
| 218 | 6 | 1.2 | 1.2 | 34 | 1.3 | 1.72 | 19 | 14 | 70.5 | 43.8 | 48.7 |
| 219 | 6 | 1.1 | 1.1 | 10 | 1.3 | 1.62 | 6 | 4 | 5.3 | 15.2 | 13.5 |
| 220 | 6 | 1.1 | 1.1 | 27 | 1.3 | 1.62 | 15 | 11 | 38.1 | 32.1 | 35.1 |
| 221 | 6 | 1.2 | 1.2 | 28 | 1.3 | 1.72 | 16 | 12 | 51.1 | 38.6 | 41.0 |
| 222 | 7 | 0.9 | 1.0 | 29 | 1.3 | 1.60 | 14 | 10 | 26.4 | 25.8 | 28.7 |
| 223 | 7 | 1.0 | 1.1 | 21 | 1.3 | 1.72 | 10 | 8 | 19.4 | 24.9 | 25.3 |
| 224 | 7 | 1.2 | 1.3 | 24 | 1.5 | 1.94 | 13 | 9 | 40.3 | 38.5 | 37.3 |
| 225 | 7 | 0.9 | 1.0 | 21 | 1.3 | 1.60 | 10 | 7 | 14.6 | 20.5 | 21.7 |
| 226 | 8 | 1.0 | 1.1 | 26 | 1.5 | 1.90 | 12 | 8 | 29.1 | 31.3 | 31.9 |
| 227 | 8 | 1.1 | 1.2 | 13 | 1.6 | 2.03 | 6 | 4 | 9.6 | 22.2 | 19.0 |
| 228 | 6 | 1.4 | 1.4 | 27 | 1.5 | 1.90 | 16 | 12 | 72.1 | 50.1 | 49.8 |
| 229 | 6 | 1.3 | 1.3 | 3 | 1.4 | 1.81 | 2 | 1 | 0.5 | 8.0 | 5.2 |
| 230 | 6 | 1.5 | 1.6 | 27 | 1.6 | 1.99 | 17 | 12 | 86.5 | 56.9 | 54.9 |
| 231 | 6 | 1.1 | 1.1 | 10 | 1.3 | 1.62 | 6 | 4 | 5.3 | 15.2 | 13.5 |
| 232 | 7 | 1.2 | 1.3 | 12 | 1.5 | 1.94 | 6 | 5 | 10.2 | 22.8 | 19.3 |
| 233 | 7 | 1.2 | 1.3 | 3 | 1.5 | 1.94 | 2 | 1 | 0.4 | 7.6 | 4.9 |
| 234 | 6 | 1.7 | 1.8 | 17 | 1.7 | 2.17 | 11 | 8 | 50.8 | 51.5 | 42.6 |
| 235 | 6 | 1.3 | 1.3 | 17 | 1.4 | 1.81 | 10 | 7 | 24.9 | 31.3 | 28.9 |
| 236 | 6 | 1.5 | 1.6 | 10 | 1.6 | 1.99 | 6 | 5 | 12.1 | 27.2 | 21.2 |
| 237 | 6 | 1.3 | 1.3 | -4 | 1.4 | 1.81 | -2 | -2 | -1.0 | -10.1 | -6.9 |
| 238 | 6 | 1.1 | 1.1 | 10 | 1.3 | 1.62 | 6 | 4 | 5.3 | 15.2 | 13.5 |
| 239 | 5 | 1.1 | 1.1 | 9 | 1.1 | 1.41 | 6 | 4 | 4.1 | 12.7 | 11.7 |
| 240 | 6 | 1.1 | 1.1 | 28 | 1.3 | 1.62 | 15 | 11 | 40.6 | 32.9 | 36.3 |
| 241 | 6 | 0.9 | 0.9 | 17 | 1.1 | 1.42 | 9 | 7 | 9.4 | 15.8 | 17.0 |
| 242 | 5 | 0.7 | 0.7 | 23 | 0.8 | 1.04 | 12 | 9 | 8.5 | 11.2 | 15.1 |
| 243 | 6 | 1.1 | 1.1 | 27 | 1.3 | 1.62 | 15 | 11 | 38.1 | 32.1 | 35.1 |
| 244 | 6 | 1.0 | 1.0 | 27 | 1.2 | 1.52 | 14 | 11 | 29.6 | 26.9 | 30.6 |
| 245 | 6 | 1.1 | 1.1 | 27 | 1.3 | 1.62 | 15 | 11 | 38.1 | 32.1 | 35.1 |
| 246 | 5 | 1.1 | 1.1 | 14 | 1.1 | 1.41 | 9 | 7 | 10.7 | 17.9 | 18.0 |
| 247 | 6 | 1.1 | 1.1 | 28 | 1.3 | 1.62 | 15 | 11 | 40.6 | 32.9 | 36.3 |
| 248 | 5 | 1.2 | 1.2 | 23 | 1.2 | 1.49 | 15 | 11 | 35.4 | 30.4 | 32.8 |

MES 3 RSN(NUMERO DE SEGUNDOS EM QUE ATUA CADA REGISTRO)= 46989.47SEG

| NONDA | IT | H20 | HZERO | IALFZ | HBRKR | DBRKR | IAFGB | IALGB | QTSMS | QSCDW | QBJKR |
|-------|-----|-----|-------|--------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|
| | (S) | (M) | (M) | (GRAU) | (M) | (M) | (GRAU) | (GRAU) | (L/S) | (L/S) | (L/S) |
| 249 | 6 | 0.9 | 0.9 | 27 | 1.1 | 1.42 | 14 | 10 | 22.4 | 22.2 | 26.2 |
| 250 | 5 | 1.0 | 1.0 | 14 | 1.0 | 1.32 | 9 | 6 | 8.3 | 15.0 | 15.7 |
| 251 | 6 | 1.1 | 1.1 | 28 | 1.3 | 1.62 | 15 | 11 | 40.6 | 32.9 | 36.3 |
| 252 | 6 | 1.4 | 1.4 | 27 | 1.5 | 1.90 | 16 | 12 | 72.1 | 50.1 | 49.8 |
| 253 | 6 | 1.1 | 1.1 | 17 | 1.3 | 1.62 | 10 | 7 | 16.0 | 22.9 | 22.7 |
| 254 | 6 | 1.0 | 1.0 | 17 | 1.2 | 1.52 | 9 | 7 | 12.4 | 19.2 | 19.8 |
| 255 | 6 | 0.9 | 0.9 | 10 | 1.1 | 1.42 | 5 | 4 | 3.1 | 10.5 | 10.1 |
| 256 | 6 | 0.9 | 0.9 | 17 | 1.1 | 1.42 | 9 | 7 | 9.4 | 15.8 | 17.0 |
| 257 | 6 | 0.8 | 0.8 | 10 | 1.0 | 1.31 | 5 | 4 | 2.3 | 8.4 | 8.5 |
| 258 | 6 | 0.9 | 0.9 | 17 | 1.1 | 1.42 | 9 | 7 | 9.4 | 15.8 | 17.0 |
| 259 | 6 | 1.0 | 1.0 | 10 | 1.2 | 1.52 | 5 | 4 | 4.1 | 12.8 | 11.8 |
| 260 | 5 | 1.0 | 1.0 | 14 | 1.0 | 1.32 | 9 | 6 | 8.3 | 15.0 | 15.7 |
| 261 | 5 | 0.9 | 0.9 | 9 | 1.0 | 1.23 | 5 | 4 | 2.4 | 8.7 | 8.7 |
| 262 | 6 | 1.6 | 1.7 | 42 | 1.6 | 2.09 | 26 | 19 | 208.4 | 85.0 | 87.1 |
| 263 | 6 | 1.1 | 1.1 | 17 | 1.3 | 1.62 | 10 | 7 | 16.0 | 22.9 | 22.7 |
| 264 | 7 | 1.3 | 1.4 | 21 | 1.6 | 2.05 | 11 | 8 | 38.9 | 40.5 | 37.2 |
| 265 | 6 | 1.4 | 1.4 | 33 | 1.5 | 1.90 | 20 | 14 | 100.7 | 57.1 | 59.4 |
| 266 | 7 | 1.3 | 1.4 | 29 | 1.6 | 2.05 | 15 | 11 | 69.7 | 50.9 | 49.4 |
| 267 | 7 | 1.1 | 1.2 | 12 | 1.4 | 1.83 | 6 | 5 | 8.1 | 19.4 | 16.9 |
| 268 | 6 | 1.5 | 1.6 | 10 | 1.6 | 1.99 | 6 | 5 | 12.1 | 27.2 | 21.2 |
| 269 | 6 | 1.1 | 1.1 | 17 | 1.3 | 1.62 | 10 | 7 | 16.0 | 22.9 | 22.7 |
| 270 | 7 | 1.0 | 1.1 | 12 | 1.3 | 1.72 | 6 | 4 | 6.3 | 16.3 | 14.7 |
| 271 | 8 | 1.6 | 1.8 | 38 | 2.1 | 2.63 | 19 | 14 | 194.8 | 97.9 | 97.5 |
| 272 | 9 | 1.8 | 2.0 | -6 | 2.4 | 3.06 | -3 | -2 | -6.3 | -31.6 | -21.2 |
| 273 | 8 | 1.4 | 1.5 | -6 | 1.9 | 2.38 | -3 | -2 | -3.3 | -18.9 | -14.0 |
| 274 | 8 | 1.3 | 1.4 | -15 | 1.8 | 2.27 | -7 | -6 | -20.2 | -33.9 | -31.2 |
| 275 | 7 | 1.0 | 1.1 | 12 | 1.3 | 1.72 | 6 | 4 | 6.3 | 16.3 | 14.7 |
| 276 | 6 | 1.3 | 1.3 | 10 | 1.4 | 1.81 | 6 | 4 | 8.2 | 20.8 | 17.2 |
| 277 | 6 | 1.3 | 1.3 | -12 | 1.4 | 1.81 | -7 | -5 | -12.2 | -24.0 | -20.6 |
| 278 | 6 | 1.6 | 1.7 | -12 | 1.6 | 2.08 | -8 | -6 | -21.2 | -35.3 | -27.8 |
| 279 | 6 | 1.4 | 1.4 | 3 | 1.5 | 1.90 | 2 | 1 | 0.6 | 9.2 | 5.8 |
| 280 | 6 | 1.6 | 1.7 | 10 | 1.6 | 2.08 | 6 | 5 | 14.3 | 30.6 | 23.2 |
| 281 | 6 | 1.1 | 1.1 | 3 | 1.3 | 1.62 | 2 | 1 | 0.3 | 5.9 | 4.1 |
| 282 | 6 | 1.0 | 1.0 | -4 | 1.2 | 1.52 | -2 | -2 | -0.5 | -6.2 | -4.7 |
| 283 | 6 | 0.8 | 0.8 | 17 | 1.0 | 1.31 | 9 | 6 | 6.9 | 12.7 | 14.3 |
| 284 | 6 | 0.9 | 0.9 | 17 | 1.1 | 1.42 | 9 | 7 | 9.4 | 15.8 | 17.0 |
| 285 | 6 | 1.3 | 1.3 | 10 | 1.4 | 1.81 | 6 | 4 | 8.2 | 20.8 | 17.2 |
| 286 | 6 | 1.3 | 1.3 | 10 | 1.4 | 1.81 | 6 | 4 | 8.2 | 20.8 | 17.2 |
| 287 | 6 | 1.4 | 1.4 | 10 | 1.5 | 1.90 | 6 | 5 | 10.0 | 23.9 | 19.2 |
| 288 | 6 | 1.1 | 1.1 | 17 | 1.3 | 1.62 | 10 | 7 | 16.0 | 22.9 | 22.7 |
| 289 | 6 | 1.2 | 1.2 | 13 | 1.3 | 1.72 | 8 | 6 | 11.7 | 22.0 | 19.8 |
| 290 | 6 | 1.2 | 1.2 | 10 | 1.3 | 1.72 | 6 | 4 | 6.7 | 17.9 | 15.3 |
| 291 | 6 | 1.2 | 1.2 | 10 | 1.3 | 1.72 | 6 | 4 | 6.7 | 17.9 | 15.3 |
| 292 | 6 | 1.1 | 1.1 | 17 | 1.3 | 1.62 | 10 | 7 | 16.0 | 22.9 | 22.7 |
| 293 | 6 | 1.1 | 1.1 | 10 | 1.3 | 1.62 | 6 | 4 | 5.3 | 15.2 | 13.5 |
| 294 | 6 | 1.1 | 1.1 | 18 | 1.3 | 1.62 | 10 | 7 | 17.9 | 24.0 | 24.0 |
| 295 | 6 | 1.3 | 1.3 | 27 | 1.4 | 1.81 | 16 | 12 | 59.3 | 43.7 | 44.6 |
| 296 | 6 | 0.8 | 0.8 | 10 | 1.0 | 1.31 | 5 | 4 | 2.3 | 8.4 | 8.5 |
| 297 | 6 | 0.8 | 0.8 | 10 | 1.0 | 1.31 | 5 | 4 | 2.3 | 8.4 | 8.5 |
| 298 | 6 | 1.0 | 1.0 | 10 | 1.2 | 1.52 | 5 | 4 | 4.1 | 12.8 | 11.8 |
| 299 | 6 | 0.8 | 0.8 | 10 | 1.0 | 1.31 | 5 | 4 | 2.3 | 8.4 | 8.5 |
| 300 | 5 | 0.9 | 0.9 | 3 | 1.0 | 1.23 | 2 | 1 | 0.2 | 3.7 | 2.9 |
| 301 | 6 | 1.1 | 1.1 | 10 | 1.3 | 1.62 | 6 | 4 | 5.3 | 15.2 | 13.5 |
| 302 | 6 | 1.1 | 1.1 | 13 | 1.3 | 1.62 | 7 | 5 | 9.3 | 18.7 | 17.5 |
| 303 | 7 | 1.1 | 1.2 | 12 | 1.4 | 1.83 | 6 | 5 | 8.1 | 19.4 | 16.9 |
| 304 | 7 | 0.8 | 0.9 | 21 | 1.2 | 1.48 | 10 | 7 | 10.7 | 16.5 | 18.2 |
| 305 | 7 | 1.0 | 1.1 | 12 | 1.3 | 1.72 | 6 | 4 | 6.3 | 16.3 | 14.7 |

MES 4 RSN(NUMERO DE SEGUNDOS EM QUE ATUA CADA REGISTRO)= 44689.65SEG

| NONDA | IT | H2O | HZERO | IALFZ | HBRKR | DBRKR | IAFGB | IALGB | OTSMS | QSCDW | QBJKR |
|-------|-----|-----|-------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|
| | (S) | (M) | (M) | (GRAU) | (M) | (M) | (GRAU) | (GRAU) | (L/S) | (L/S) | (L/S) |
| 306 | 8 | 0.6 | 0.7 | 13 | 1.1 | 1.36 | 5 | 4 | 1.9 | 7.2 | 7.6 |
| 307 | 8 | 0.7 | 0.8 | 13 | 1.2 | 1.50 | 5 | 4 | 2.9 | 9.6 | 9.7 |
| 308 | 8 | 0.9 | 1.0 | 23 | 1.4 | 1.78 | 10 | 7 | 17.6 | 23.6 | 24.4 |
| 309 | 7 | 0.8 | 0.9 | 21 | 1.2 | 1.48 | 10 | 7 | 10.7 | 16.5 | 18.2 |
| 310 | 7 | 0.7 | 0.7 | 12 | 1.1 | 1.36 | 5 | 4 | 2.4 | 8.4 | 8.7 |
| 311 | 6 | 0.7 | 0.7 | 42 | 0.9 | 1.21 | 19 | 14 | 24.2 | 18.8 | 26.2 |
| 312 | 6 | 0.8 | 0.8 | 34 | 1.0 | 1.31 | 17 | 12 | 24.3 | 20.8 | 27.1 |
| 313 | 7 | 1.2 | 1.5 | 78 | 1.7 | 2.15 | 33 | 24 | 270.3 | 91.5 | 81.7 |
| 314 | 7 | 0.9 | 1.0 | 40 | 1.3 | 1.60 | 18 | 13 | 44.3 | 31.8 | 37.2 |
| 315 | 6 | 1.1 | 1.1 | 34 | 1.3 | 1.62 | 18 | 14 | 56.1 | 37.4 | 43.0 |
| 316 | 10 | 1.4 | 1.5 | 27 | 2.2 | 2.78 | 12 | 9 | 72.5 | 65.0 | 64.5 |
| 317 | 9 | 1.6 | 1.8 | 4 | 2.2 | 2.83 | 2 | 1 | 1.7 | 18.4 | 11.8 |
| 318 | 10 | 1.8 | 2.0 | -7 | 2.6 | 3.27 | -3 | -3 | -8.5 | -36.4 | -24.4 |
| 319 | 9 | 2.0 | 2.2 | 4 | 2.6 | 3.28 | 2 | 2 | 3.1 | 27.8 | 15.5 |
| 320 | 8 | 1.6 | 1.7 | -15 | 2.0 | 2.61 | -8 | -6 | -35.1 | -49.9 | -41.8 |
| 321 | 10 | 1.6 | 1.7 | -7 | 2.4 | 3.03 | -3 | -2 | -6.2 | -29.2 | -21.7 |
| 322 | 8 | 1.3 | 1.4 | 8 | 1.8 | 2.27 | 4 | 3 | 5.2 | 20.7 | 16.8 |
| 323 | 8 | 1.0 | 1.1 | 23 | 1.5 | 1.90 | 10 | 8 | 23.2 | 28.7 | 28.4 |
| 324 | 9 | 1.0 | 1.1 | 4 | 1.6 | 2.07 | 2 | 1 | 0.5 | 7.6 | 5.2 |
| 325 | 9 | 1.2 | 1.3 | -17 | 1.8 | 2.34 | -8 | -6 | -20.6 | -33.5 | -32.6 |
| 326 | 9 | 1.1 | 1.3 | -27 | 1.8 | 2.31 | -12 | -9 | -47.6 | -46.0 | -43.9 |
| 327 | 9 | 1.2 | 1.3 | -50 | 1.9 | 2.37 | -21 | -15 | -136.6 | -72.3 | -82.8 |
| 328 | 8 | 0.9 | 1.0 | -25 | 1.4 | 1.78 | -11 | -8 | -20.6 | -25.2 | -26.3 |
| 329 | 10 | 1.0 | 1.2 | -29 | 1.8 | 2.32 | -11 | -8 | -40.1 | -41.4 | -41.7 |
| 330 | 8 | 0.9 | 1.0 | -21 | 1.4 | 1.81 | -9 | -7 | -15.8 | -23.1 | -25.9 |
| 331 | 6 | 1.3 | 1.3 | -27 | 1.4 | 1.81 | -16 | -12 | -59.3 | -43.7 | -44.1 |
| 332 | 6 | 1.2 | 1.2 | -24 | 1.3 | 1.72 | -14 | -10 | -38.9 | -34.7 | -35.5 |
| 333 | 6 | 0.9 | 0.9 | -35 | 1.1 | 1.43 | -18 | -13 | -36.3 | -27.2 | -29.7 |
| 334 | 6 | 1.2 | 1.2 | -20 | 1.5 | 1.72 | -12 | -9 | -27.7 | -30.4 | -30.0 |
| 335 | 6 | 1.2 | 1.2 | -20 | 1.3 | 1.72 | -12 | -9 | -27.7 | -30.4 | -30.0 |
| 336 | 7 | 1.1 | 1.2 | -23 | 1.4 | 1.83 | -12 | -9 | -29.6 | -31.8 | -31.6 |
| 337 | 7 | 0.8 | 0.9 | -23 | 1.2 | 1.48 | -10 | -8 | -12.7 | -17.6 | -19.9 |
| 338 | 6 | 0.8 | 0.8 | 10 | 1.0 | 1.31 | 5 | 4 | 2.3 | 8.4 | 8.5 |
| 339 | 6 | 0.9 | 0.9 | 10 | 1.1 | 1.42 | 5 | 4 | 3.1 | 10.5 | 10.1 |
| 340 | 6 | 1.1 | 1.1 | 7 | 1.3 | 1.62 | 4 | 3 | 2.4 | 11.5 | 9.5 |
| 341 | 6 | 1.9 | 2.0 | -4 | 1.8 | 2.33 | -3 | -2 | -2.7 | -20.4 | -12.0 |
| 342 | 7 | 1.3 | 1.4 | -13 | 1.6 | 2.05 | -7 | -5 | -14.9 | -28.2 | -23.4 |
| 343 | 6 | 1.4 | 1.4 | -4 | 1.5 | 1.90 | -2 | -2 | -1.2 | -11.6 | -7.7 |
| 344 | 6 | 1.4 | 1.4 | -4 | 1.5 | 1.90 | -2 | -2 | -1.2 | -11.6 | -7.7 |
| 345 | 7 | 1.4 | 1.6 | -31 | 1.7 | 2.21 | -17 | -13 | -105.1 | -65.6 | -64.8 |
| 346 | 6 | 1.2 | 1.2 | -3 | 1.3 | 1.72 | -2 | -1 | -0.4 | -6.9 | -4.6 |
| 347 | 5 | 0.8 | 0.8 | -4 | 0.9 | 1.14 | -2 | -2 | -0.3 | -3.7 | -3.3 |
| 348 | 6 | 1.0 | 1.0 | -13 | 1.2 | 1.52 | -7 | -5 | -7.2 | -15.7 | -15.2 |
| 349 | 6 | 1.1 | 1.1 | -20 | 1.3 | 1.62 | -11 | -8 | -22.0 | -25.9 | -26.5 |
| 350 | 5 | 1.4 | 1.4 | -16 | 1.3 | 1.66 | -11 | -8 | -26.5 | -31.0 | -28.9 |
| 351 | 6 | 1.2 | 1.2 | -12 | 1.3 | 1.72 | -7 | -5 | -9.9 | -20.7 | -18.3 |
| 352 | 6 | 1.2 | 1.2 | -3 | 1.3 | 1.72 | -2 | -1 | -0.4 | -6.9 | -4.6 |
| 353 | 6 | 1.1 | 1.1 | 3 | 1.3 | 1.62 | 2 | 1 | 0.3 | 5.9 | 4.1 |
| 354 | 6 | 0.9 | 0.9 | 3 | 1.1 | 1.42 | 2 | 1 | 0.2 | 4.0 | 3.0 |
| 355 | 6 | 0.8 | 0.8 | -4 | 1.0 | 1.31 | -2 | -2 | -0.3 | -4.1 | -3.4 |
| 356 | 6 | 0.9 | 0.9 | 38 | 1.1 | 1.42 | 19 | 14 | 39.8 | 27.9 | 35.3 |
| 357 | 6 | 1.6 | 1.7 | 50 | 1.7 | 2.14 | 30 | 22 | 280.3 | 97.7 | 96.3 |
| 358 | 7 | 1.1 | 1.2 | 29 | 1.4 | 1.83 | 15 | 11 | 44.8 | 37.4 | 38.5 |
| 359 | 7 | 1.4 | 1.5 | 3 | 1.7 | 2.15 | 2 | 1 | 0.6 | 10.1 | 6.1 |
| 360 | 6 | 1.5 | 1.6 | 18 | 1.6 | 1.99 | 11 | 8 | 40.8 | 42.6 | 37.6 |
| 361 | 7 | 1.7 | 1.8 | 3 | 1.9 | 2.45 | 2 | 1 | 1.0 | 14.6 | 8.8 |
| 362 | 7 | 1.5 | 1.6 | 21 | 1.8 | 2.25 | 12 | 9 | 56.8 | 52.9 | 50.3 |
| 363 | 7 | 1.7 | 1.8 | 3 | 1.9 | 2.45 | 2 | 1 | 1.0 | 14.6 | 8.8 |

MES 5

RSN(NUMERO DE SEGUNDOS EM QUE ATUA CADA REGISTRO) = 60872.72SEG

| NONDA | IT (S) | H2O (M) | HZERO (M) | IALFZ (GRAU) | HBRKR (M) | DBRKR (M) | IAFGB (GRAU) | IALGB (GRAU) | QTSMS (L/S) | QSCDW (L/S) | QBJKR (L/S) |
|-------|-----------|------------|--------------|-----------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|
| 364 | 7 | 1.4 | 1.5 | 12 | 1.7 | 2.15 | 7 | 5 | 15.3 | 30.4 | 24.1 |
| 365 | 6 | 1.8 | 1.9 | 16 | 1.8 | 2.25 | 7 | 5 | 19.6 | 38.2 | 27.5 |
| 366 | 6 | 1.2 | 1.2 | 17 | 1.3 | 1.72 | 10 | 7 | 20.2 | 27.0 | 25.7 |
| 367 | 6 | 1.1 | 1.1 | 17 | 1.3 | 1.62 | 10 | 7 | 16.0 | 22.9 | 22.7 |
| 368 | 6 | 0.9 | 0.9 | 17 | 1.1 | 1.42 | 9 | 7 | 9.4 | 15.8 | 17.0 |
| 369 | 8 | 1.2 | 1.3 | 31 | 1.7 | 2.16 | 15 | 11 | 64.8 | 50.0 | 55.2 |
| 370 | 7 | 1.1 | 1.2 | 21 | 1.4 | 1.83 | 11 | 8 | 25.0 | 29.7 | 29.0 |
| 371 | 9 | 1.0 | 1.1 | 4 | 1.6 | 2.07 | 2 | 1 | 0.5 | 7.6 | 5.2 |
| 372 | 7 | 0.9 | 1.0 | 12 | 1.3 | 1.60 | 6 | 4 | 4.7 | 13.4 | 12.6 |
| 373 | 8 | 0.8 | 0.9 | 23 | 1.3 | 1.64 | 10 | 7 | 12.8 | 18.9 | 20.5 |
| 374 | 9 | 0.9 | 1.0 | 15 | 1.5 | 1.93 | 6 | 4 | 7.4 | 17.8 | 16.6 |
| 375 | 6 | 0.6 | 0.6 | 10 | 0.8 | 1.08 | 5 | 3 | 1.1 | 4.9 | 5.6 |
| 376 | 6 | 0.7 | 0.7 | 17 | 0.9 | 1.20 | 8 | 6 | 4.8 | 9.9 | 11.7 |
| 377 | 7 | 0.6 | 0.6 | 21 | 1.0 | 1.22 | 9 | 6 | 5.0 | 9.6 | 11.8 |
| 378 | 7 | 0.6 | 0.6 | 21 | 1.0 | 1.22 | 9 | 6 | 5.0 | 9.6 | 11.8 |
| 379 | 8 | 1.2 | 1.3 | -6 | 1.7 | 2.15 | -3 | -2 | -2.2 | -14.2 | -11.3 |
| 380 | 7 | 0.8 | 0.9 | -13 | 1.2 | 1.48 | -6 | -4 | -4.1 | -11.4 | -11.5 |
| 381 | 7 | 0.9 | 1.0 | 3 | 1.3 | 1.60 | 1 | 1 | 0.2 | 4.4 | 3.2 |
| 382 | 6 | 0.8 | 0.8 | 10 | 1.0 | 1.31 | 5 | 4 | 2.3 | 8.4 | 8.5 |
| 383 | 7 | 0.9 | 1.0 | 12 | 1.3 | 1.60 | 6 | 4 | 4.7 | 13.4 | 12.6 |
| 384 | 8 | 1.1 | 1.2 | 13 | 1.6 | 2.03 | 6 | 4 | 9.6 | 22.2 | 19.0 |
| 385 | 7 | 1.2 | 1.3 | 12 | 1.5 | 1.94 | 6 | 5 | 10.2 | 22.8 | 19.3 |
| 386 | 8 | 0.8 | 0.9 | 13 | 1.3 | 1.64 | 6 | 4 | 4.1 | 12.3 | 11.8 |
| 387 | 7 | 0.8 | 0.9 | 19 | 1.2 | 1.48 | 9 | 6 | 8.8 | 15.3 | 16.6 |
| 388 | 8 | 1.2 | 1.3 | 4 | 1.7 | 2.15 | 2 | 1 | 0.8 | 10.3 | 7.5 |
| 389 | 8 | 0.9 | 1.0 | 8 | 1.4 | 1.78 | 4 | 3 | 2.0 | 10.4 | 8.7 |
| 390 | 9 | 1.1 | 1.2 | -6 | 1.7 | 2.20 | -3 | -2 | -1.7 | -12.6 | -10.4 |
| 391 | 6 | 1.7 | 1.8 | -4 | 1.7 | 2.17 | -3 | -2 | -2.0 | -16.6 | -10.2 |
| 392 | 6 | 1.7 | 1.8 | -12 | 1.7 | 2.17 | -8 | -6 | -24.9 | -39.5 | -30.3 |
| 393 | 6 | 1.6 | 1.7 | -20 | 1.6 | 2.08 | -13 | -9 | -59.3 | -51.9 | -45.6 |
| 394 | 6 | 1.8 | 1.9 | -12 | 1.8 | 2.25 | -8 | -6 | -29.0 | -44.0 | -32.9 |
| 395 | 6 | 1.5 | 1.6 | -4 | 1.6 | 1.99 | -3 | -2 | -1.4 | -13.1 | -8.5 |
| 396 | 6 | 1.2 | 1.2 | -4 | 1.3 | 1.72 | -2 | -2 | -0.8 | -8.7 | -6.2 |
| 397 | 6 | 1.4 | 1.4 | 7 | 1.5 | 1.90 | 4 | 3 | 4.5 | 18.0 | 13.5 |
| 398 | 7 | 2.0 | 2.1 | 3 | 2.1 | 2.73 | 2 | 1 | 1.5 | 19.7 | 11.1 |
| 399 | 7 | 1.3 | 1.4 | -5 | 1.6 | 2.05 | -3 | -2 | -1.7 | -13.3 | -9.1 |
| 400 | 7 | 1.1 | 1.2 | -5 | 1.4 | 1.83 | -3 | -2 | -1.1 | -9.7 | -7.1 |
| 401 | 7 | 1.3 | 1.4 | -5 | 1.6 | 2.05 | -3 | -2 | -1.7 | -13.3 | -9.1 |
| 402 | 6 | 1.0 | 1.0 | 3 | 1.2 | 1.52 | 2 | 1 | 0.2 | 4.9 | 3.6 |
| 403 | 7 | 1.2 | 1.3 | 13 | 1.5 | 1.94 | 7 | 5 | 12.0 | 24.3 | 20.8 |
| 404 | 8 | 1.1 | 1.2 | 20 | 1.6 | 2.03 | 9 | 7 | 23.0 | 30.9 | 28.8 |
| 405 | 7 | 0.8 | 0.9 | 3 | 1.2 | 1.48 | 1 | 1 | 0.1 | 3.6 | 2.7 |
| 406 | 6 | 1.9 | 2.0 | 10 | 1.8 | 2.33 | 7 | 5 | 22.6 | 42.2 | 29.8 |
| 407 | 6 | 2.3 | 2.4 | -35 | 2.1 | 2.68 | -25 | -18 | -420.5 | -150.7 | -129.7 |

MES 6 RSN(NUMERO DE SEGUNDOS EM QUE ATUA CADA REGISTRO)= 57600.00SEG

| NONDA | IT | H2O | HZERO | IALFZ | HBRKR | DBRKR | IAFGB | IALGB | QTSMS | QSCDW | QBJKR |
|-------|-----|-----|-------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|
| | (S) | (M) | (M) | (GRAU) | (M) | (M) | (GRAU) | (GRAU) | (L/S) | (L/S) | (L/S) |
| 408 | 7 | 1.0 | 1.1 | 21 | 1.3 | 1.72 | 10 | 8 | 19.4 | 24.9 | 25.3 |
| 409 | 7 | 1.1 | 1.2 | 29 | 1.4 | 1.83 | 15 | 11 | 44.8 | 37.4 | 38.5 |
| 410 | 7 | 1.0 | 1.1 | 24 | 1.3 | 1.72 | 12 | 9 | 24.9 | 27.5 | 28.6 |
| 411 | 6 | 1.4 | 1.4 | -20 | 1.5 | 1.90 | -12 | -9 | -41.6 | -40.5 | -37.7 |
| 412 | 6 | 1.3 | 1.3 | -12 | 1.4 | 1.81 | -7 | -5 | -12.2 | -24.0 | -20.6 |
| 413 | 5 | 1.4 | 1.4 | 17 | 1.3 | 1.66 | 12 | 9 | 29.9 | 32.5 | 30.7 |
| 414 | 5 | 1.2 | 1.2 | -4 | 1.2 | 1.49 | -3 | -2 | -0.8 | -7.9 | -5.9 |
| 415 | 6 | 1.0 | 1.0 | -4 | 1.2 | 1.52 | -2 | -2 | -0.5 | -6.2 | -4.7 |
| 416 | 7 | 1.1 | 1.2 | -5 | 1.4 | 1.83 | -3 | -2 | -1.1 | -9.7 | -7.1 |
| 417 | 6 | 0.9 | 0.9 | 3 | 1.1 | 1.42 | 2 | 1 | 0.2 | 4.0 | 3.0 |
| 418 | 6 | 0.8 | 0.8 | -4 | 1.0 | 1.31 | -2 | -2 | -0.3 | -4.1 | -3.4 |
| 419 | 8 | 1.2 | 1.3 | -6 | 1.7 | 2.15 | -3 | -2 | -2.2 | -14.2 | -11.3 |
| 420 | 6 | 1.4 | 1.4 | -12 | 1.5 | 1.90 | -7 | -5 | -14.9 | -27.5 | -23.0 |
| 421 | 6 | 2.1 | 2.2 | -20 | 1.9 | 2.49 | -14 | -10 | -121.9 | -85.9 | -67.5 |
| 422 | 6 | 1.8 | 1.9 | -4 | 1.8 | 2.25 | -3 | -2 | -2.3 | -18.5 | -11.1 |
| 423 | 6 | 2.0 | 2.1 | -4 | 1.9 | 2.41 | -3 | -2 | -3.1 | -22.5 | -12.9 |
| 424 | 6 | 1.6 | 1.7 | -4 | 1.6 | 2.08 | -3 | -2 | -1.7 | -14.8 | -9.4 |
| 425 | 7 | 1.5 | 1.6 | 3 | 1.8 | 2.25 | 2 | 1 | 0.7 | 11.5 | 7.4 |
| 426 | 6 | 1.5 | 1.6 | 3 | 1.6 | 1.99 | 2 | 1 | 0.7 | 10.5 | 6.4 |
| 427 | 7 | 2.2 | 2.3 | 3 | 2.3 | 2.91 | 2 | 1 | 2.0 | 23.6 | 12.8 |
| 428 | 7 | 2.0 | 2.1 | 3 | 2.1 | 2.73 | 2 | 1 | 1.5 | 19.7 | 11.1 |
| 429 | 7 | 2.4 | 2.6 | 12 | 2.4 | 3.08 | 8 | 6 | 64.4 | 83.0 | 56.3 |
| 430 | 7 | 1.8 | 1.9 | 12 | 2.0 | 2.55 | 7 | 5 | 30.0 | 48.6 | 37.8 |
| 431 | 6 | 1.9 | 2.0 | 3 | 1.8 | 2.33 | 2 | 2 | 1.3 | 16.2 | 9.0 |
| 432 | 7 | 1.6 | 1.7 | 12 | 1.8 | 2.35 | 7 | 5 | 21.9 | 39.0 | 32.0 |
| 433 | 6 | 1.8 | 1.9 | -3 | 1.8 | 2.25 | -2 | -1 | -1.1 | -14.7 | -8.3 |
| 434 | 6 | 1.2 | 1.2 | 17 | 1.3 | 1.72 | 10 | 7 | 20.2 | 27.0 | 25.7 |
| 435 | 7 | 1.4 | 1.5 | 12 | 1.7 | 2.15 | 7 | 5 | 15.3 | 30.4 | 24.1 |
| 436 | 6 | 1.6 | 1.7 | 10 | 1.6 | 2.08 | 6 | 5 | 14.3 | 30.6 | 23.2 |
| 437 | 6 | 1.6 | 1.7 | -4 | 1.6 | 2.08 | -3 | -2 | -1.7 | -14.8 | -9.4 |
| 438 | 6 | 1.8 | 1.9 | 17 | 1.8 | 2.25 | 11 | 8 | 59.2 | 57.3 | 46.2 |
| 439 | 6 | 1.9 | 2.0 | 10 | 1.8 | 2.33 | 7 | 5 | 22.6 | 42.2 | 29.8 |
| 440 | 6 | 1.8 | 1.9 | 3 | 1.8 | 2.25 | 2 | 1 | 1.1 | 14.7 | 8.3 |
| 441 | 8 | 2.1 | 2.3 | 4 | 2.4 | 3.12 | 2 | 2 | 3.6 | 29.2 | 16.6 |
| 442 | 7 | 2.0 | 2.1 | 12 | 2.1 | 2.73 | 8 | 6 | 39.6 | 59.1 | 44.0 |
| 443 | 7 | 1.9 | 2.0 | 12 | 2.1 | 2.64 | 7 | 6 | 34.6 | 53.7 | 40.8 |
| 444 | 7 | 2.1 | 2.2 | 12 | 2.2 | 2.82 | 8 | 6 | 45.1 | 64.7 | 47.2 |
| 445 | 6 | 1.6 | 1.7 | 10 | 1.6 | 2.08 | 6 | 5 | 14.3 | 30.6 | 23.2 |
| 446 | 6 | 1.9 | 2.0 | 10 | 1.8 | 2.33 | 7 | 5 | 22.6 | 42.2 | 29.8 |
| 447 | 6 | 1.7 | 1.8 | 10 | 1.7 | 2.17 | 7 | 5 | 16.8 | 34.3 | 25.4 |
| 448 | 6 | 1.8 | 1.9 | 17 | 1.8 | 2.25 | 11 | 8 | 59.2 | 57.3 | 46.2 |
| 449 | 6 | 1.8 | 1.9 | 17 | 1.8 | 2.25 | 11 | 8 | 59.2 | 57.3 | 46.2 |
| 450 | 6 | 1.4 | 1.4 | 10 | 1.5 | 1.90 | 6 | 5 | 10.0 | 23.9 | 19.2 |
| 451 | 6 | 1.5 | 1.6 | 18 | 1.6 | 1.99 | 11 | 8 | 40.8 | 42.6 | 37.6 |
| 452 | 6 | 1.8 | 1.9 | 13 | 1.8 | 2.25 | 9 | 6 | 34.3 | 46.0 | 35.6 |

MES 7 RSN(NUMERO DE SEGUNDOS EM QUE ATUA CADA REGISTRO)= 59520.00SEG

| NONDA | IT | H2O | HZERO | IALFZ | HBRKR | DBRKR | IAFGB | IALGB | QTSMS | QSCDW | QBJKR |
|-------|-----|-----|-------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|
| | (S) | (M) | (M) | (GRAU) | (M) | (M) | (GRAU) | (GRAU) | (L/S) | (L/S) | (L/S) |
| 453 | 7 | 1.0 | 1.1 | 21 | 1.3 | 1.72 | 10 | 8 | 19.4 | 24.9 | 25.3 |
| 454 | 7 | 1.1 | 1.2 | 29 | 1.4 | 1.83 | 15 | 11 | 44.8 | 37.4 | 38.5 |
| 455 | 7 | 1.0 | 1.1 | 24 | 1.3 | 1.72 | 12 | 9 | 24.9 | 27.5 | 28.6 |
| 456 | 6 | 1.4 | 1.4 | -20 | 1.5 | 1.90 | -12 | -9 | -41.6 | -40.5 | -37.7 |
| 457 | 6 | 1.3 | 1.3 | -12 | 1.4 | 1.81 | -7 | -5 | -12.2 | -24.0 | -20.6 |
| 458 | 5 | 1.4 | 1.4 | 17 | 1.3 | 1.66 | 12 | 9 | 29.9 | 32.5 | 30.7 |
| 459 | 5 | 1.2 | 1.2 | -4 | 1.2 | 1.49 | -3 | -2 | -0.8 | -7.9 | -5.9 |
| 460 | 6 | 1.0 | 1.0 | -4 | 1.2 | 1.52 | -2 | -2 | -0.5 | -6.2 | -4.7 |
| 461 | 7 | 1.1 | 1.2 | -5 | 1.4 | 1.83 | -3 | -2 | -1.1 | -9.7 | -7.1 |
| 462 | 6 | 0.9 | 0.9 | 3 | 1.1 | 1.42 | 2 | 1 | 0.2 | 4.0 | 3.0 |
| 463 | 6 | 0.8 | 0.8 | -4 | 1.0 | 1.31 | -2 | -2 | -0.3 | -4.1 | -3.4 |
| 464 | 8 | 1.2 | 1.3 | -6 | 1.7 | 2.15 | -3 | -2 | -2.2 | -14.2 | -11.3 |
| 465 | 6 | 1.4 | 1.4 | -12 | 1.5 | 1.90 | -7 | -5 | -14.9 | -27.5 | -23.0 |
| 466 | 6 | 2.1 | 2.2 | -20 | 1.9 | 2.49 | -14 | -10 | -121.9 | -85.9 | -67.5 |
| 467 | 6 | 1.8 | 1.9 | -4 | 1.8 | 2.25 | -3 | -2 | -2.3 | -18.5 | -11.1 |
| 468 | 6 | 2.0 | 2.1 | -4 | 1.9 | 2.41 | -3 | -2 | -3.1 | -22.5 | -12.9 |
| 469 | 6 | 1.6 | 1.7 | -4 | 1.6 | 2.08 | -3 | -2 | -1.7 | -14.8 | -9.4 |
| 470 | 7 | 1.5 | 1.6 | 3 | 1.8 | 2.25 | 2 | 1 | 0.7 | 11.5 | 7.4 |
| 471 | 6 | 1.5 | 1.6 | 3 | 1.6 | 1.99 | 2 | 1 | 0.7 | 10.5 | 6.4 |
| 472 | 7 | 2.2 | 2.3 | 3 | 2.3 | 2.91 | 2 | 1 | 2.0 | 23.6 | 12.8 |
| 473 | 7 | 2.0 | 2.1 | 3 | 2.1 | 2.73 | 2 | 1 | 1.5 | 19.7 | 11.1 |
| 474 | 7 | 2.4 | 2.6 | 12 | 2.4 | 3.08 | 8 | 6 | 64.4 | 83.0 | 56.3 |
| 475 | 7 | 1.8 | 1.9 | 12 | 2.0 | 2.55 | 7 | 5 | 30.0 | 48.6 | 37.8 |
| 476 | 6 | 1.9 | 2.0 | 3 | 1.8 | 2.33 | 2 | 2 | 1.3 | 16.2 | 9.0 |
| 477 | 7 | 1.6 | 1.7 | 12 | 1.8 | 2.35 | 7 | 5 | 21.9 | 39.0 | 32.0 |
| 478 | 6 | 1.8 | 1.9 | -3 | 1.8 | 2.25 | -2 | -1 | -1.1 | -14.7 | -8.3 |
| 479 | 6 | 1.2 | 1.2 | 17 | 1.3 | 1.72 | 10 | 7 | 20.2 | 27.0 | 25.7 |
| 480 | 7 | 1.4 | 1.5 | 12 | 1.7 | 2.15 | 7 | 5 | 15.3 | 30.4 | 24.1 |
| 481 | 6 | 1.6 | 1.7 | 10 | 1.6 | 2.08 | 6 | 5 | 14.3 | 30.6 | 23.2 |
| 482 | 6 | 1.6 | 1.7 | -4 | 1.6 | 2.08 | -3 | -2 | -1.7 | -14.8 | -9.4 |
| 483 | 6 | 1.8 | 1.9 | 17 | 1.8 | 2.25 | 11 | 8 | 59.2 | 57.3 | 46.2 |
| 484 | 6 | 1.9 | 2.0 | 10 | 1.8 | 2.33 | 7 | 5 | 22.6 | 42.2 | 29.8 |
| 485 | 6 | 1.8 | 1.9 | 3 | 1.8 | 2.25 | 2 | 1 | 1.1 | 14.7 | 8.3 |
| 486 | 8 | 2.1 | 2.3 | 4 | 2.4 | 3.12 | 2 | 2 | 3.6 | 29.2 | 16.6 |
| 487 | 7 | 2.0 | 2.1 | 12 | 2.1 | 2.73 | 8 | 6 | 39.6 | 59.1 | 44.0 |
| 488 | 7 | 1.9 | 2.0 | 12 | 2.1 | 2.64 | 7 | 6 | 34.6 | 53.7 | 40.8 |
| 489 | 7 | 2.1 | 2.2 | 12 | 2.2 | 2.82 | 8 | 6 | 45.1 | 64.7 | 47.2 |
| 490 | 6 | 1.6 | 1.7 | 10 | 1.6 | 2.08 | 6 | 5 | 14.3 | 30.6 | 23.2 |
| 491 | 6 | 1.9 | 2.0 | 10 | 1.8 | 2.33 | 7 | 5 | 22.6 | 42.2 | 29.8 |
| 492 | 6 | 1.7 | 1.8 | 10 | 1.7 | 2.17 | 7 | 5 | 16.8 | 34.3 | 25.4 |
| 493 | 6 | 1.8 | 1.9 | 17 | 1.8 | 2.25 | 11 | 8 | 59.2 | 57.3 | 46.2 |
| 494 | 6 | 1.8 | 1.9 | 17 | 1.8 | 2.25 | 11 | 8 | 59.2 | 57.3 | 46.2 |
| 495 | 6 | 1.4 | 1.4 | 10 | 1.5 | 1.90 | 6 | 5 | 10.0 | 23.9 | 19.2 |
| 496 | 6 | 1.5 | 1.6 | 18 | 1.6 | 1.99 | 11 | 8 | 40.8 | 42.6 | 37.6 |
| 497 | 6 | 1.8 | 1.9 | 13 | 1.8 | 2.25 | 9 | 6 | 34.3 | 46.8 | 35.6 |

MES 8 RSN(NUMERO DE SEGUNDOS EM QUE ATUA CADA REGISTRO)=133920.00SEG

| NONDA | IT | H2O | HZERO | IALFZ | HBRKR | DBRKR | IAFGB | IALGB | QTSMS | QSCDW | QBJKR |
|-------|-----|-----|--------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| (S) | (M) | (M) | (GRAU) | (M) | (M) | (GRAU) | (GRAU) | (L/S) | (L/S) | (L/S) | |
| 498 | 7 | 1.3 | 1.4 | 19 | 1.6 | 2.05 | 10 | 8 | 32.1 | 37.6 | 33.8 |
| 499 | 7 | 1.5 | 1.6 | 3 | 1.8 | 2.25 | 2 | 1 | 0.7 | 11.5 | 7.4 |
| 500 | 6 | 2.5 | 2.6 | 3 | 2.2 | 2.80 | 2 | 2 | 2.7 | 27.1 | 13.5 |
| 501 | 6 | 1.8 | 1.9 | -12 | 1.8 | 2.25 | -8 | -6 | -29.0 | -44.0 | -32.9 |
| 502 | 7 | 1.4 | 1.5 | -13 | 1.7 | 2.15 | -7 | -5 | -18.2 | -32.4 | -26.1 |
| 503 | 7 | 1.4 | 1.5 | 19 | 1.7 | 2.15 | 11 | 8 | 39.1 | 43.2 | 37.7 |
| 504 | 7 | 1.3 | 1.4 | 7 | 1.6 | 2.05 | 4 | 3 | 3.8 | 17.3 | 12.7 |
| 505 | 7 | 1.2 | 1.3 | 19 | 1.5 | 1.94 | 10 | 7 | 25.9 | 32.4 | 30.1 |
| 506 | 6 | 1.3 | 1.3 | 10 | 1.4 | 1.81 | 6 | 4 | 8.2 | 20.8 | 17.2 |
| 507 | 6 | 1.1 | 1.1 | 18 | 1.3 | 1.62 | 10 | 7 | 17.9 | 24.0 | 24.0 |
| 508 | 6 | 1.1 | 1.1 | 3 | 1.3 | 1.62 | 2 | 1 | 0.3 | 5.9 | 4.1 |
| 509 | 6 | 1.6 | 1.7 | 10 | 1.6 | 2.08 | 6 | 5 | 14.3 | 30.6 | 23.2 |
| 510 | 7 | 1.4 | 1.5 | 12 | 1.7 | 2.15 | 7 | 5 | 15.3 | 30.4 | 24.1 |
| 511 | 7 | 1.8 | 1.9 | 12 | 2.0 | 2.55 | 7 | 5 | 30.0 | 48.6 | 37.8 |
| 512 | 7 | 1.5 | 1.6 | 3 | 1.8 | 2.25 | 2 | 1 | 0.7 | 11.5 | 7.4 |
| 513 | 7 | 1.7 | 1.8 | 3 | 1.9 | 2.45 | 2 | 1 | 1.0 | 14.6 | 8.8 |
| 514 | 7 | 1.5 | 1.6 | 12 | 1.8 | 2.25 | 7 | 5 | 18.4 | 34.6 | 29.3 |
| 515 | 8 | 1.5 | 1.6 | 4 | 2.0 | 2.50 | 2 | 2 | 1.5 | 15.6 | 10.3 |
| 516 | 7 | 1.7 | 1.8 | 19 | 1.9 | 2.45 | 11 | 8 | 65.4 | 62.0 | 54.3 |
| 517 | 9 | 1.5 | 1.6 | 22 | 2.1 | 2.71 | 11 | 8 | 61.7 | 61.8 | 57.3 |