

DEFORMAÇÃO DAS ONDAS POR DIFRAÇÃO NO MOLHE DO PORTO DO MUCURIPE (FORTALEZA — CEARÁ — BRASIL)

Erasmu da Silva Pitombeira

Laboratório de Ciências do Mar
Universidade Federal do Ceará
Fortaleza — Ceará — Brasil

O Porto do Mucuripe, situado na cidade de Fortaleza, capital do Estado do Ceará (Brasil), admite a atracação de navios de até 8 m de calado e possui uma bacia de evolução com razoáveis condições de manobra. A região onde está localizado apresenta uma linha de costa de particular conformação, onde se destaca a mudança de seu alinhamento entre a Praia do Futuro e aquela onde se encontra o porto (figura 1). Esta diferença no alinhamento das praias dá origem a uma enseada que, dependendo da direção de ataque das ondas, oferece situações de mar calmo. Entretanto, as condições naturais do contorno da linha de costa, não permitiram que a enseada fosse utilizada como porto, pela ocorrência de movimentos ondulatórios, de características suficientes para criar problemas de segurança aos navios ancorados, sem comprometer a capacidade de resistência de suas respectivas amarras. Para proteger a enseada destas ondulações inopurtanas, tornou-se necessária a construção de um molhe de proteção, no ponto de transição do alinhamento da costa, denominado de Ponta do Mucuripe. Além de evitar a entrada de ondulações na enseada, o molhe da Ponta do Mucuripe também deveria impedir que o transporte litorâneo de sedimentos provocasse o assoreamento da bacia portuária.

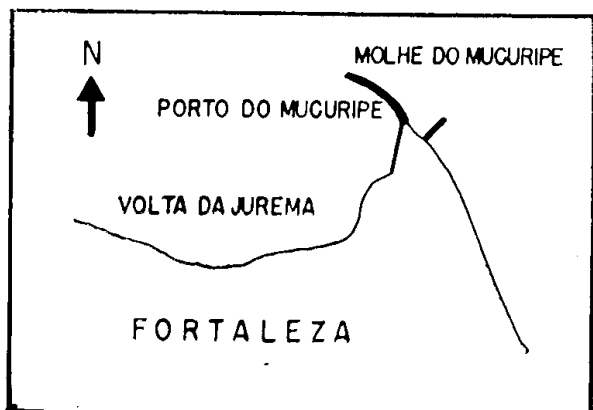


Figura 1 — Localização da área em estudo, no município de Fortaleza (Ceará — Brasil).

Todavia, o molhe construído ocasionou uma deformação nas ondas incidentes sobre esta região costeira, ocorrendo então a entrada de ondas difratadas na bacia de evolução do Porto do Mucuripe. No presente trabalho, será feita uma explanação relativa aos efeitos do molhe do Porto do Mucuripe sobre o comportamento das ondas incidentes sobre as praias situadas a barlar e a sotamar.

MATERIAL E MÉTODOS

Foi levado a efeito um levantamento de dados para definir a distribuição das direções de ataque das ondas na costa de Fortaleza. Os valores relativos à incidência de ondulações (swell) e vagas (sea) foram retirados do "ATLAS OF SEA AND SWELL CHARTS SOUTH ATLANTIC OCEAN (1948)". Estes valores são representativos de uma campanha de campo, com um ano de duração, apresentando situações de mar relativas a todas as estações.

Através de fotografias aéreas foram tomadas informações qualitativas a respeito do real processo de difração de ondas, dentro da bacia do Porto do Mucuripe (figura 2).

Foram utilizados os resultados do estudo de viabilidade para implantação de um "Pier Petrolero", realizado pelo Departamento Nacional de Portos e Vias Navegáveis (DNPVN), no período de agosto de 1971 a agosto de 1972, quando se efetuaram 8.055 medições de agitação, dentro da bacia portuária (figura 3).

DISCUSSÃO

Uma onda que se propaga em águas desimpedidas, ao encontrar um molhe sofre um processo de difração, fazendo com que ocorra uma mudança na direção da sua propagação. Esta mudança acarreta o aparecimento de ondas, em regiões onde normalmente não de-



Figura 2 — Visão aérea demonstrando a curvatura das cristas das ondas pelo efeito de difração do Molhe do Mucuripe.

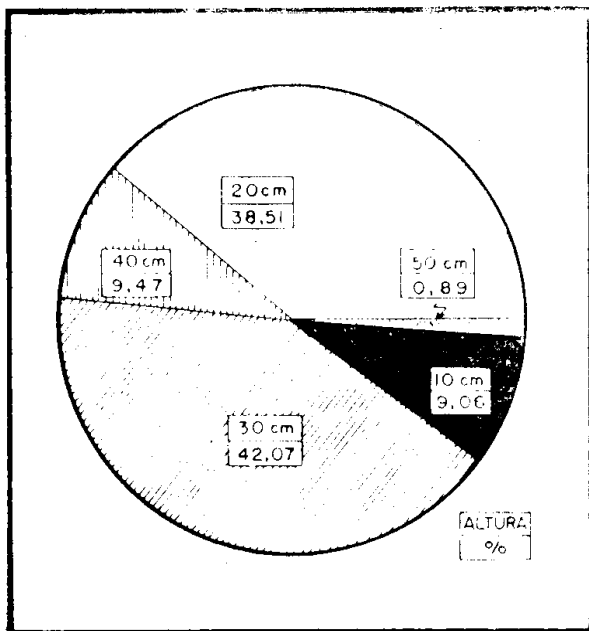


Figura 3 — Frequências anuais de características de ondas dentro da bacia do Porto do Mucuripe.

veriam ocorrer, provocando ondulações na denominada *zona de sombra* do molhe (figura 4).

Fisicamente, o fenômeno da difração das ondas, quando encontram um molhe, é explicado como sendo um processo de expansão lateral de energia, aparecendo uma extensão das cristas, que originam ondas de iguais períodos

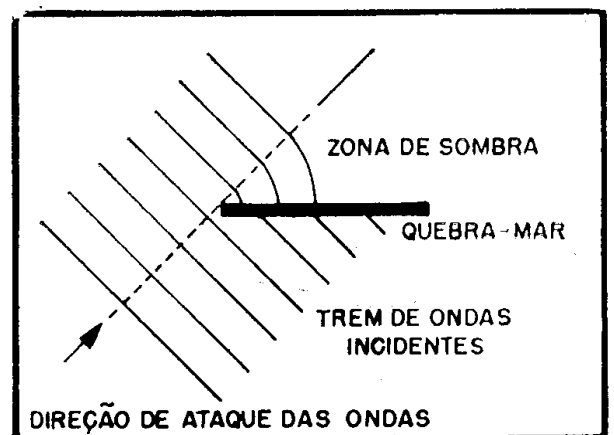


Figura 4 — Esquemática geral do processo físico de difração das ondas.

e comprimentos, porém com alturas e energias menores por unidade de comprimento de crista. Estas ondas, criadas na *zona de sombra* do molhe, apresentam cristas curvas, com direção de propagação compreendida angularmente entre a direção de ataque da onda incidente e a direção de locação do molhe.

Conhecendo-se as características de uma onda, ao largo de uma obra costeira, pode-se determinar aquelas da onda gerada por difração. O comprimento da onda difratada é igual ao da onda incidente, e a altura daquela é dada pela equação

$$H = \frac{1}{4\pi\sqrt{R/L}} \left[\frac{1}{\sin(\frac{\theta_0 + \theta}{2})} + \frac{1}{\sin(\frac{\theta_0 - \theta}{2})} \right] H_0$$

onde, H = altura da onda difratada, H_0 = altura da onda incidente, L = comprimento da onda, θ_0 = ângulo formado pela direção de propagação da onda incidente e o alinhamento do molhe, θ = ângulo formado pela direção pontual de propagação da onda difratada e o alinhamento do molhe, e R = distância horizontal entre o cabeço do molhe e o ponto considerado na crista da onda difratada (figura 5).

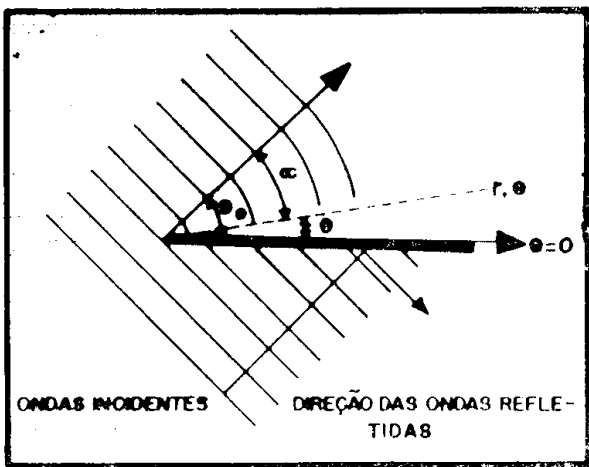


Figura 5 — Representação gráfica geral dos parâmetros definidores do processo de difração de ondas.

O valor da amplitude de uma onda difratada pode ser calculado em diversas profundidades, através de processo gráfico (Iribarren, 1954). Uma onda que tenha um período de 10 seg., altura de 3,50 m e direção NE, que incida sobre o molhe do Porto do Mucuripe, ocasionará ondas difratadas com valores de altura e suas direções como apresentadas na figura 6).

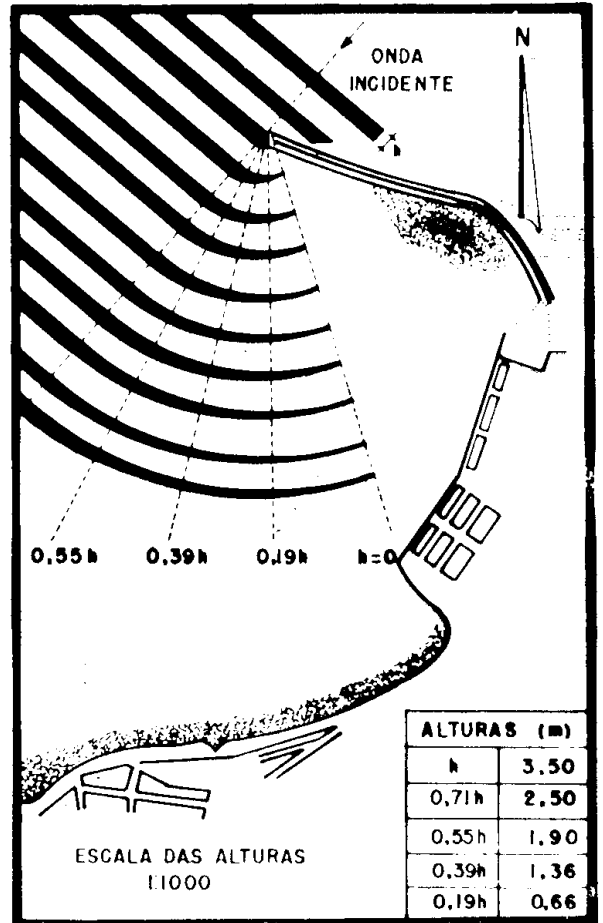


Figura 6 — Amplitude de ondas difratadas dentro do Porto do Mucuripe, segundo o processo gráfico de Iribarren (1954).

Considerando que uma baía portuária deve ser protegida contra o ataque direto das ondas, o molhe do Porto do Mucuripe funciona de maneira aceitável. Relativamente à incidência direta das ondas provenientes das direções SE e NE, de maiores frequências de ocorrência (tabela I; figura 7), o molhe coloca a baía portuária a salvo; entretanto, esta é invadida por ondas oriundas do processo de difração das ondas incidentes sobre o molhe, que criam um estado ondulatório dentro da *zona de sombra*, não permitindo que o mar permaneça calmo, tão necessário ao ambiente portuário.

Os processos efetivos de entrada de ondas difratadas na baía do Porto do Mucuripe são bem visíveis. Através de fotografias aéreas, pode-se observar o encurvamento sofrido pelas cristas das ondas incidentes, depois que estas superam o obstáculo oferecido pelo molhe do Porto do Mucuripe.

Um acréscimo no comprimento do molhe do Porto do Mucuripe fará com que se disponha de uma maior baía portuária, ampliando a área com efetivas condições de mar calmo.

TABELA I

Variação anual das características de ondas na costa de Fortaleza (Ceará — Brasil).

| Características das ondas | Direções/Percentagens | | | | |
|---------------------------|-----------------------|-------|-------|-------|------|
| | N | NE | E | SE | S |
| Ondulações (swell) | 2,82 | 12,93 | 27,20 | 48,86 | 8,19 |
| Vagas (sea) | — | 5,87 | 30,46 | 59,98 | 3,69 |

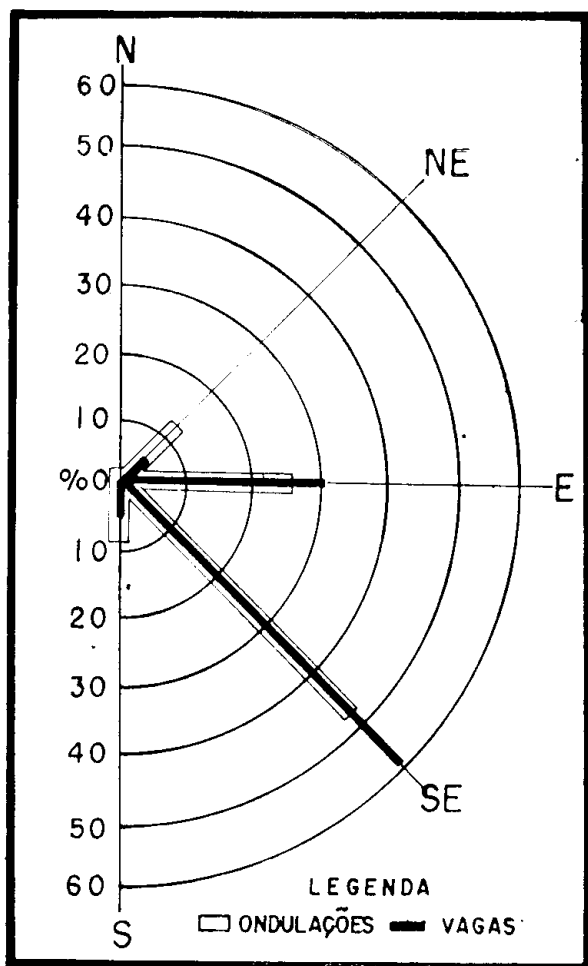


Figura 7 — Frequências anuais de características de ondas na costa de Fortaleza (Ceará — Brasil).

CONCLUSÕES

1 — O processo de difração de ondas, ocorrido no molhe do Porto do Mucuripe, cria situações embaraçosas no sistema ondulatório da baía portuária, pela incidência de ondas difratadas.

2 — Para reduzir a incidência destas ondas difratadas, é necessário um acréscimo no tamanho do molhe atualmente existente, levando seu cabeço até maiores profundidades, bem como a definição da direção de locação para este aumento.

SUMMARY

The evolution basin of the Mucuripe Harbour has been a target for diffracted waves stemmed from the *Mucuripe break water*, which, in principle, should act as a mean of defense against the waves of frontal incidence.

Studies on measurements of water roughness, aerophotogrametry and theoretical processes for determination of wave amplitudes, were made. All of them confirmed the presence of the diffracted waves within the harbour basin.

The above-mentioned studies led us to point out that the effects of diffraction would be avoided by the extension of the break water in the appropriate direction, determined under a theoretical model.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- Anônimo — 1970 — *Pier Petroleiro do Mucuripe. Relatório Final*. Departamento Nacional de Portos e Vias Navegáveis, 45 pp., illus., Rio de Janeiro.
- Anônimo — 1973 — *Pier Petroleiro do Mucuripe. Relatório Parcial*. Departamento Nacional de Portos e Vias Navegáveis, 38 pp., illus., Rio de Janeiro.
- Barber, N. F. — 1969 — *Water waves*. Wykeham Publications, 1 : 142 pp., illus., London.
- Guerreiro Jr., J. — 1966 — *Memória justificativa da implantação de um Porto Pesqueiro em Mucuripe*. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste, Grupo Coordenador do Desenvolvimento da Pesca (GCDP), 17 pp., Recife.
- Ippen, A. T. — 1966 — *Estuary and Coastline Hydrodynamics*. McGraw-Hill Book Company, 744 pp., illus., Cambridge.
- Iribarren, C. R. — 1954 — *Obras Marítimas, Oleajes y Diques*. Editorial Dossat, 312 pp., illus., Madrid.
- United States Navy — 1948 — *Atlas of Sea and Swell Charts South Atlantic Ocean*, 12 pp., Washington.
- Wood, A. M. M. — 1969 — *Coastal Hydraulics*. Macmillan and Co. Ltd., 187 pp., illus., London.