

CAPÍTULO II – REVISÃO DE LITERATURA

2.1 TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO

2.1.1 Imagens de Satélite

Tal qual a técnica de obtenção de informações por fotografias aéreas, a imagem de satélite está incluída entre as técnicas de sensoriamento remoto. Assim, o sensoriamento remoto pode ser definido como sendo todo e qualquer processo de captura de informações sobre um objeto, sem contato com este, com o uso de sensores que podem ser transportados a bordo de satélites (sensores orbitais) ou a bordo de aviões (câmeras fotográficas). O objetivo de sensoriamento remoto é estudar o ambiente terrestre, através do registro e análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias presentes na superfície terrestre (RIPSA, 2000).

Todo material, seja ele natural ou artificial, sobre a superfície terrestre é capaz de refletir constantemente radiação eletromagnética. As imagens digitais são o resultado de registros de cenas focalizadas por sensores capazes de captar essas radiações em faixas de frequência bem definidas no espectro eletromagnético. Como cada material possui sua própria assinatura espectral, devido a diferentes composições químicas e/ou propriedades físicas, é possível identificar os alvos e caracterizá-los na imagem digital (RIPSA, 2000).

A imagem de satélite será, então, como uma matriz de n linhas e m colunas, onde cada célula (*pixel*) dessa matriz possui um valor numérico correspondente ao valor de brilho, proporcional à reflectância do alvo na respectiva posição e que varia do branco ao preto (256 níveis de cinza para imagens de 8 bits e 2048 níveis de cinza para imagens de 16 bits) (RIPSA, 2000).

Através de técnicas de processamento da imagem é possível identificar diferentes tipos de alvos, ou mesmo, melhor visualizá-los. Assim, para se realizar um mapeamento, a questão da resolução espacial irá tornar o trabalho viável ou inviável, dependendo da escala em que se deseja trabalhar.

A resolução espacial representa a capacidade do sistema sensor de reconhecer objetos na superfície terrestre. Assim, quanto menor o objeto visível na imagem, maior será a resolução espacial desta. Um sistema sensor que possui resolução espacial de 30 metros significa que objetos distantes menos de 30 metros entre si não serão distinguidos pelo

sensor, ou seja, o tamanho do pixel será 30 x 30 m, ou que, certamente, o menor objeto visível deva ter reflectância que ocupe e/ou predomine (n)o pixel de 30 x 30m.

Caso deseje-se realizar análise multitemporal das imagens de satélite, é importante conhecer a resolução temporal do sensor, ou seja, de quanto em quanto tempo a mesma área é rastreada pelo sensor. Comparações entre cenas dessa natureza podem trazer significantes informações.

Outro aspecto importante é conhecer a resolução espectral do sensor. Esta resolução define-se pelo número de bandas espectrais que um dado sistema sensor comporta e pela largura do intervalo do comprimento de onda coberto por cada uma dessas bandas (Crosta, 1992). Quanto maior o número de bandas e menor a largura do intervalo, maior a resolução espectral do sensor.

Exemplificando o conceito de resolução espectral pode-se comparar duas fotos, uma em preto e branco e outra colorida. A foto em preto e branco representa o objeto em apenas uma banda espectral, enquanto a colorida representa o mesmo objeto em três bandas espectrais: vermelha, verde e azul, combinadas por superposição (RIPSA, 2000).

Atualmente os sistemas orbitais mais utilizados são:

- Sistema Landsat MSS (*Multispectral Scanner*): Sistema americano com resolução espacial de 80 x 80m com 4 Bandas espectrais (4, 5, 6 e 7). A área da cena é de 185kmx185km com resolução temporal de 16 dias.

- Sistema Landsat TM 5 e 6 (*Thematic Mapper*): Sistema americano com resolução espacial de 30mx30m, exceto na banda 6 que é de 120m, com 7 Bandas espectrais (1,2,3,4,5,6 e 7). A Área da cena é de 185x185Km com resolução temporal de 16 dias. Este é o sistema do qual foram obtidas as imagens utilizadas neste trabalho. O TM 7 mantém essas mesmas características com pixel de 15x15m no modo pancromático.

- Sistema SPOT: Sistema francês com resolução temporal de 26 dias, 3 bandas espectrais, resolução espacial de 20 metros (10 metros no modo pancromático), podendo imagear uma faixa de até 475Km para cada um dos lados da órbita.

- Sistema IKONOS II: Sistema americano com sensores de altíssima resolução espacial, com 4 bandas do espectro: azul, verde, vermelho e infravermelho próximo. Resolução espacial de 1 metro no modo pancromático e 4 metros no multiespectral com 2048 níveis de cinza. Tamanho da cena é de 13Kmx13Km. (RIPSA, 2000).

2.1.2 Fotografias Aéreas

Várias são as aplicações da fotografia aérea, principalmente pelo potencial de resposta que tal recurso possibilita. Um bom exemplo são as cartas da SUDENE (SUDENE,

1974) que se originaram de informações de fotografias aéreas tratadas para dar o formato final digitalizado e impresso.

A primeira sugestão de se utilizar fotografias aéreas apareceu na França. Em 1858, a partir de um balão nas proximidades de Paris, foram tiradas as primeiras fotografias aéreas, nas quais podiam ser reconhecidas as casas. Assim é que se introduziu a fotografia aérea nas táticas de guerra durante a 1ª Guerra Mundial. Atualmente, o desenvolvimento tecnológico permite que aviões supersônicos obtenham fotos a mais de 20.000m de altitude (Mota, 1997).

Algumas áreas do território nacional são consideradas de segurança pelas Forças Armadas, devendo ser obtida autorização prévia para sua utilização. Este foi o caso do estudo ora apresentado, sendo necessário o envio da proposta de trabalho ao Comando da FAE – Terceira Força Aérea Brasileira, juntamente com os documentos de comprovação de pagamento, para obtenção da autorização de reprodução das fotografias aéreas utilizadas neste estudo.

Os compêndios para pesquisa de material fotográfico disponível podem ser obtidos em algumas instituições, tais como:

- Diretoria do Serviço Geográfico do Exército – Rio de Janeiro, destaque para fotos na escala 1:60.000 da USAF e cartas topográficas.
- Prospec – Levantamentos, Prospecções e Aerofotogrametrias S/A, Petrópolis, Rio de Janeiro e São Paulo.
- Arquivos de Fotografias Aéreas (AFA) da FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da USP.
- Serviços regionais e autarquias: SUDENE, Instituto Geográfico e Geológico de São Paulo, Departamento Nacional de Produção Mineral (Rio de Janeiro), SUVALE, SUDECO, SUDAN, Casas da Lavoura do Interior de São Paulo, etc. (Mota, 1997).

As fotografias aéreas podem ser classificadas em três diferentes tipos, de acordo com a inclinação, em relação à vertical, do eixo óptico da câmara com que elas foram obtidas. Esses três tipos são: oblíquas altas, oblíquas baixas e verticais (Ricci, 1965).

Nas fotos verticais, o tipo utilizado neste trabalho, procura-se manter o eixo óptico da câmara na posição vertical o mais possível. Devido à instabilidade do avião, as condições de verticalidade perfeita nem sempre podem ser conseguidas.

Dispondo-se de uma série contínua de fotografias aéreas, pode-se partir a elaboração de um fotomosaico. Um fotomosaico é um conjunto de várias fotografias aéreas associadas de modo a fornecer representação contínua da área coberta por essas fotos. Do ponto de vista qualitativo, apresenta, portanto, documentação do terreno muito mais

completa que qualquer mapa com escala equivalente, se bem que, comumente, mais difícil de ser lido (Ricci, 1965).

O problema principal, na confecção de um fotomosaico, é o de combinar o conjunto de fotos de modo que os detalhes das margens comuns de cada par de fotos se correspondam o mais possível, evitando-se assim, ao máximo, os deslocamentos, duplicações ou omissões de imagens. Concomitantemente, dever-se-á procurar ajustamento satisfatório dos pontos de controle planimétrico (Ricci, 1965).

Neste trabalho, foram utilizadas técnicas de geo-referenciamento para a construção do fotomosaico sobre o qual foram realizados o mapeamento dos recifes costeiros e as análises a respeito da presença desses recifes e os efeitos na faixa litorânea.

2.1.3 Sistemas de Posicionamento por Satélites (GPS/DGPS)

A possibilidade de identificar pontos na superfície terrestre vem se desenvolvendo rapidamente com os Sistemas de Posicionamento Global (*Global Positioning Systems – GPS*). As primeiras tentativas de posicionamento foram realizadas com os métodos de triangulação iniciados no século XVII na França (Blitzkow, 1995). Desde então, o avanço tecnológico tem permitido obter pontos com precisões cada vez maiores.

Em 1973, teve início o desenvolvimento do *Global Positioning System (GPS)*, projetado pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos para fornecer a posição instantânea, bem como a velocidade de um ponto sobre a superfície da Terra, ou bem próxima a ele, num referencial tridimensional (Blitzkow, 1995).

O GPS entrou em operação regular comercial em 1991, mas somente em 1993 a constelação foi concluída. Ele foi configurado de forma que, em qualquer lugar do mundo e a qualquer momento, existam pelo menos quatro satélites acima do plano de horizonte do observador (Silva, 1999).

Atualmente, os satélites que compõem o Sistema de Posicionamento Global orbitam ao redor da Terra distribuídos em 6 órbitas distintas, possuem altitude de 10.900 milhas náuticas (20.200 Km), em 6 planos orbitais com inclinação de 55°, com um período de revolução de 12 horas siderais, o que acarreta que a configuração dos satélites se repita 4 minutos mais cedo diariamente em um mesmo local (Silva, 1999).

Cada satélite GPS transmite dois sinais de rádio: L1 – 1575,42 Mhz e L2 – 1227,60 Mhz. O sinal L1 é modulado com dois ruídos pseudo randômicos: *p-code (precision code)* e *c/a code (coarse/acquisition code)* (RIPSA, 2000).

A classificação dos receptores pode ser feita, genericamente pelo tipo de aplicações a que se destinam. Assim, temos as aplicações voltadas para o posicionamento em tempo

real (navegação), que se caracteriza pela observação dos códigos *c/a* e *p* e aquelas voltadas para aplicações estáticas que se utilizam, principalmente, da fase das portadoras L1 e L2 (Silva, 1999).

A medida do tempo de propagação do sinal entre um determinado satélite é determinada pela observação dos códigos. Ao se multiplicar o tempo de propagação pela velocidade da luz, temos a distância percorrida pelo sinal. Com a observação de 3 satélites, temos a geometria mínima para a determinação das coordenadas do centro elétrico da antena do receptor. Para minimizar o erro de leitura e, portanto, ter segurança nas medidas das coordenadas, em virtude das oscilações existentes nos receptores, recomenda-se que sejam observados 4 satélites. Para a aquisição da posição de determinada latitude-longitude de coordenadas UTM, o receptor GPS precisa somente receber o sinal de 3 satélites. Entretanto, para a posição de altitude, no mínimo são necessários receber os sinais de 4 satélites (Silva, 1999).

Os sinais transmitidos são suficientemente intensos para penetrar em nevoeiros, chuvas, nevascas, poeiras e tempos instáveis. A precisão da informação coletada pelos GPSs é bastante variável (Silva, 1999).

Sabe-se que desde de 2 de maio de 2000, por determinação do governo norte americano, proibiu-se a introdução do erro aleatório no sinal dos satélites. Com isso, a precisão de localização com aparelhos receptores de GPS espera-se que aumente em até dez vezes, chegando a valores de 1 a 10m (RIPSA, 2000).

Esta precisão pode ser bastante melhorada com a utilização de um segundo receptor proporcionando aos usuários uma precisão desde métrica até milimétrica. Esta correção é chamada de DGPS (*Differential Global Positioning System*). Para se alcançar este nível de precisão, um receptor é colocado fixo em um ponto com coordenadas previamente determinadas e, mediante a comparação de valores obtidos pelo rastreamento dos satélites com os valores conhecidos, são encontradas as correções a serem aplicadas. Estas correções podem ser obtidas de duas maneiras em tempo real, através de um rádio receptor que transmite as correções para um determinado GPS, ou através de satélites. Esse modo permite um alcance bem maior que através de rádio. Os rádios se limitam a correções em pequenas áreas, pois dependem do relevo e dos órgãos estaduais de comunicação. Correções podem ser feitas posteriormente a partir da utilização de determinados aplicativos, os dados são transferidos para um computador e em seguida um determinado programa realiza os ajustes necessários (Silva, 1999).

A operação de nivelamento é onerosa e bastante demorada. O IBGE trabalha sobre uma rede de primeira ordem com mais de 200 pontos e já possui mais de 100 pontos geodais levantados. Estes dados possibilitaram a geração da mais recente Carta Geoidal do Brasil, versão 1995, com precisão em torno de 2 metros (Silva, 1999).

Para eliminar a necessidade de o usuário imobilizar um receptor e um ponto que, muitas vezes, oferece grandes dificuldades de acesso para estações, a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do Sistema GPS (RBMC) estabeleceu 9 estações com receptores de última geração. A operação das estações da RBMC é totalmente automatizada e permite ao interessado obter, com GPS, as coordenadas geodésicas de um ponto qualquer do território nacional (Silva, 1999).

O sinal de satélite GPS pode ser absorvido ao atravessar alguns materiais, como, por exemplo, as folhas das árvores, porém, atualmente, o sinal não consegue atravessar sólidos que possuam alguns centímetros de espessura. Dessa forma pode-se perceber que, nas cidades que possuem uma grande quantidade de edifícios ou nos vales encaixados, os receptores de GPS não conseguem receber qualquer sinal. Para o recebimento dos sinais, a melhor posição é aquela em que o operador se coloca ao sul da antena, no Hemisfério Sul e, o contrário, no Hemisfério Norte (Silva, 1999).

2.2 PROCESSOS FÍSICOS LITORÂNEOS

2.2.1 Introdução

Os processos morfogenéticos atuantes sobre as formas de relevo das costas são controlados por vários fatores ambientais, como o geológico, o climático, o biótico e os fatores oceanográficos. Esses fatores variam de um setor a outro da costa, assim como na escala de variação temporal (Christofolletti, 1974).

Serão discutidos aqui os aspectos condicionantes para a geomorfologia costeira, no que se relaciona a presença dos recifes e sua relação com as alterações na faixa litorânea.

2.2.2 O Ambiente Praial

Embora os conceitos utilizados para definir o termo “praia” possam diferir consideravelmente entre si, é evidente o caráter não coesivo dos sedimentos que a compõe e também a dominância nestes sistemas de fatores hidrodinâmicos como ondas e marés (Hoefel, 1998).

Sendo assim, as praias podem ser definidas como depósitos de sedimentos inconsolidados, constituídos geralmente por areias, cascalhos, conchas, entre outros, acumulados predominantemente por ação das ondas que, por apresentarem mobilidade, se ajustam às condições hidrodinâmicas. Representam, por esta razão, um importante elemento de proteção costeira, ao mesmo tempo em que são amplamente usadas para o

turismo e o lazer (Lira, 1997).

King (1959) define praia como um ambiente sedimentar costeiro de composição variada, formado mais comumente por areia, e condicionado pela interação dos sistemas de ondas incidentes sobre a costa. Os limites externos (em direção ao mar) e internos (em direção à terra) de uma praia seriam determinados, respectivamente, pela profundidade a partir da qual as ondas passam a provocar movimento efetivo de sedimento sobre o fundo, e pelo limite superior de ação de ondas de tempestade sobre a costa.

Esses limites seriam definidos por feições que, segundo Reading & Collinson (1996), são primeiramente diferenciadas pelo posicionamento da base de ondas de tempestade e de bom tempo e dos níveis de maré alta e baixa e, secundariamente, pela natureza da transformação da onda.

O ambiente praial pode ser, então, dividido seguindo essas diferentes feições (Fig. 03):

➤ Duna Frontal:

Corresponde às dunas situadas a partir da alta praia, em direção à planície costeira, dispostas longitudinalmente em relação à linha de costa. Constituem importantes fontes de sedimentos (Lira, 1997).

➤ Pós-Praia:

Zona que se estende do limite superior do espraçamento até o início das dunas fixadas por vegetação ou de qualquer outra mudança fisiográfica brusca (Hoefel, 1998).

Segundo Ottmann (1967), para se distinguir essa unidade morfológica, pode-se basear na existência ou não de vegetação, uma vez que a pós-praia normalmente encontra-se desprovida dela, em contraste com a zona das dunas que, freqüentemente, apresenta vegetação permanente.

➤ Praia ou Estirâncio

Corresponde ao setor entre os níveis de maré alta e de maré baixa, que sofre, normalmente, a ação das marés e os efeitos de espraçamento das ondas após a arrebentação (Suguio, 1992). A morfologia do estirâncio pode variar consideravelmente, dependendo do poder da onda, da amplitude da maré e do tamanho dos grãos disponíveis (Reading & Collinson, 1996). Seu perfil representa a seção normal de um ambiente praial, sendo sempre côncavo para cima na sua maior porção.

➤ Antepraia

É o setor de ambiente permanentemente submerso, onde se delimita com a praia ao longo do nível de maré baixa tendo sua parte mais profunda ao nível de base da onda de bom tempo. Neste setor, os processos litorâneos são mais atuantes, tendo em vista a ação

da corrente longitudinal induzida por ondas (Lira, 1997). Neste local estão os recifes costeiros, objeto deste estudo.

Suguio (1998) definiu alguns termos empregados na figura seguinte:

- Zona de Arrebentação: Faixa em geral estreita, onde as ondas se rompem pela diminuição da profundidade das águas até abaixo de um determinado valor igual ou inferior à base das ondas. A movimentação dos sedimentos, tanto rumo ao mar quanto rumo à praia, ocorre no sentido desta zona.
- Zona de Espraçamento: Zona em que ocorre o espalhamento da água do mar, após a arrebentação das ondas, seguindo acima sobre a superfície praial.
- Zona de Surfe: Área situada entre o limite externo de arrebentação e o limite de espraçamento das ondas.

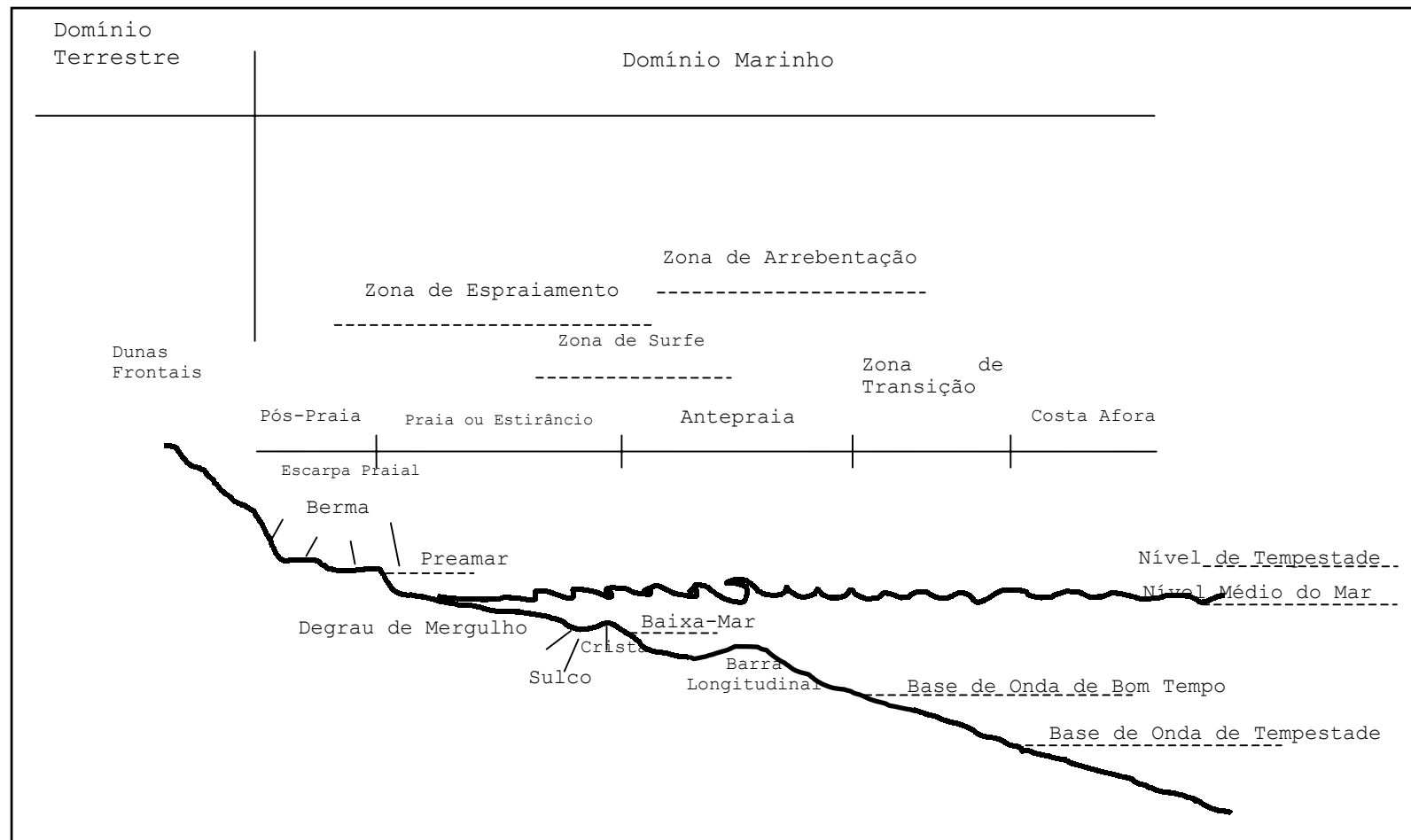


Figura 03 – Divisão do Ambiente Praial com os principais elementos morfológicos (Lima, 2001).

2.2.3 Processos Físicos Litorâneos em Águas Rasas

2.2.3.1 Ondas

A morfologia dos perfis de praias arenosas, em uma determinada região, é função do nível energético das ondas. A onda vem a ser, portanto, o mais importante agente marinho que governa o desenvolvimento da linha de costa. As ondas irão selecionar e redistribuir sedimentos, modificando a configuração da linha de costa. Como consequência direta deste fenômeno, as regiões submetidas a diversos regimes de ondulação relacionadas com diferentes estações do ano, inverno e verão, por exemplo, ou submetidas periodicamente a tempestades, mostram variações cíclicas no perfil de praia, através da movimentação de enormes volumes de areia. Em condições de alta energia, as ondas erodem a praia, retirando dali a areia que se deposita em bancos construídos sob a zona de arrebentação (Lira, 1997).

O processo se reverte quando, em condições de baixa energia, há um lento e gradativo transporte da areia em direção à praia, promovendo a construção das bermas que costumam aparecer na pós-praia (Lira, 1997). Entende-se por berma: “Porção praticamente horizontal da praia ou pós-praia formada pela sedimentação por ação das ondas. Algumas praias não possuem bermas, enquanto outras apresentam uma ou várias bermas” (Suguio, 1998).

Entender os processos físicos das ondas e correntes litorâneas e a influência da presença dos recifes sobre a configuração da linha de costa vem a ser de fundamental importância nos estudos costeiros.

2.2.3.2 Refração e Difração das Ondas

As ondas representam a transferência direta da energia cinética da atmosfera para a superfície oceânica. Quando as ondas de profundidade vindas do alto mar se aproximam da zona litorânea, elas sofrem alterações. A medida que diminui a profundidade da água, o movimento orbital vai se alterando, passando do circular para o elíptico e, depois, para o movimento linear de vaivém (Fig. 04) (Open University, 1998).

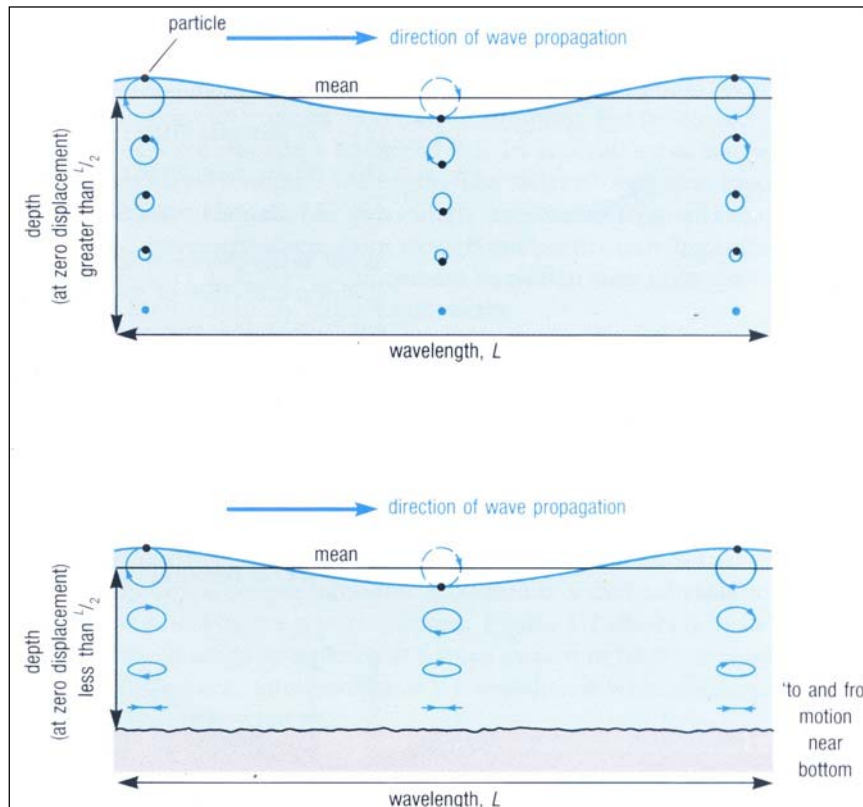


Figura 04 – Movimento orbital de uma partícula em águas profundas e em águas rasas (Open University, 1998).

A diminuição da profundidade próximo a costa faz com que as ondas passem a sofrer os efeitos de fricção do seu movimento orbital com o fundo, provocando a diminuição do comprimento de onda, em contraposição ao aumento da altura das cristas, adquirindo elevada esbeltez. O processo avança com a diminuição da profundidade até que a onda se desestabiliza e quebra, produzindo a arrebentação.

Este movimento vem a ser importante para os processos de movimentação dos sedimentos na zona costeira, já que ao sentir o fundo, as ondas também fazem o fundo sentir sua passagem, movendo sedimentos que eventualmente podem chegar à costa.

Assim sendo, quando as ondas formadas em oceano aberto aproximam-se de águas rasas, passam a interagir com o fundo, sua velocidade de propagação se altera e progressivamente se reorientam para permanecerem paralelas à linha de costa. A essa redução da velocidade associada à mudança de direção de propagação, em função da batimetria local, dá-se o nome de refração (Fig. 05) (UNICAMP, 2002).

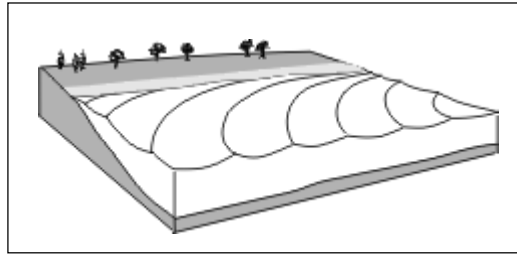


Figura 05 – Padrão de refração de um trem de ondas (UNICAMP, 2002)

A refração tende a promover o parelhamento das cristas em relação ao contorno submerso, promovendo a concentração de energia em determinados pontos como promontórios, e dissipação em outros como embaixamentos.

As linhas de recifes funcionarão concentrando e dissipando energia, modificando significativamente a energia das ondas incidentes sobre a costa. Ao encontrarem os recifes, as ondas sofrem uma perda substancial de energia através da arrebentação, modificando o espectro de ondas resultantes por ondas de baixa frequência.

As barreiras provocadas pelos recifes tendem a concentrar a energia das ondas do seu lado interno e a depositar material através dos processos de refração e difração.

A Figura 06 (base fotográfica: SUDENE-GERAN 70, 1969) exemplifica os efeitos da presença dos recifes sobre o espectro de ondas incidentes.

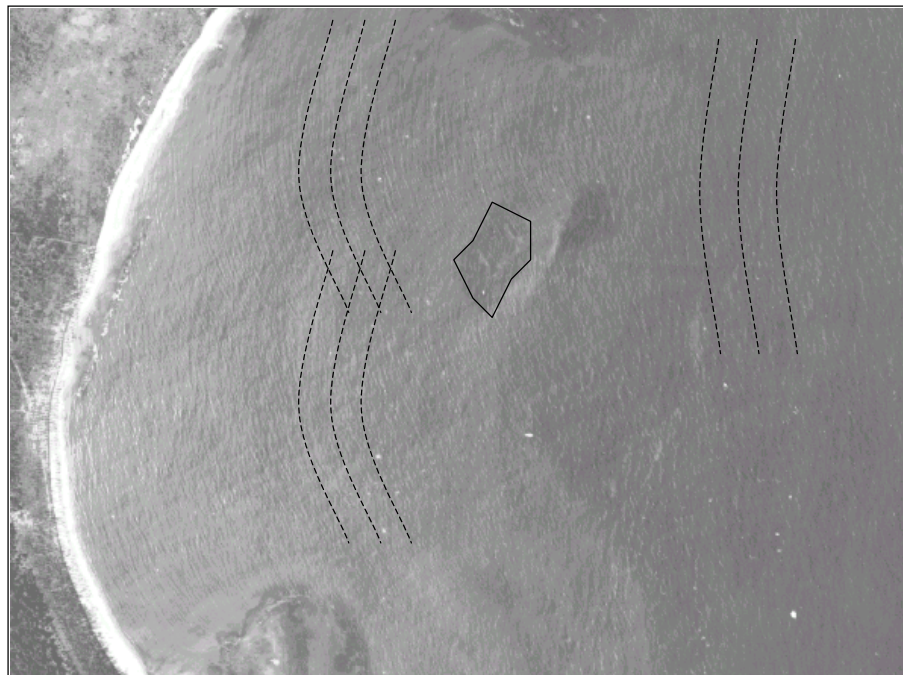


Figura 06 – Efeito da presença dos recifes sobre o espectro de ondas incidentes.

(base fotográfica: SUDENE-GERAN 70, 1969)

A difração está associada à redistribuição lateral de energia ao longo da crista da onda, dos pontos de maior altura para os de menor (Hoefel, 1998).

A figura 07 ilustra os efeitos das ondas sobre uma linha de recifes contínua ou interrompida e suas consequências sobre a morfologia da linha de praia adjacente.

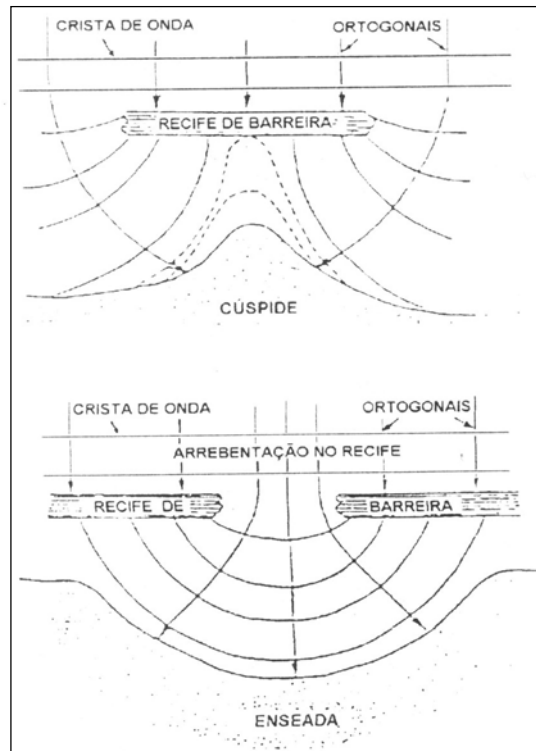


Figura 07 – Representação ilustrativa dos efeitos das ondas sobre a linha de recifes.
(Lira, 1997)

Observa-se que quando a linha de praia cresce em direção à barreira de recifes, geralmente, há tendência para formação de um cúspide, semelhante a um tómbolo. Apresentando interrupções nessa linha de recifes, pode-se formar um embaiamento na linha de praia em frente ao canal. O efeito geral resultante é a produção de uma linha de costa irregular, com alternância de enseadas e pontas arenosas (Lira, 1997), como pode-se observar na faixa costeira de Tamandaré e no litoral sul de Pernambuco como um todo (Fig.08).

Assim sendo, os fenômenos de refração e difração provocados pela presença dos recifes ocasionará uma morfologia característica do tipo tómbolo – enseada, seguido de tómbolo – enseada. Pode-se observar na figura 08: Praia de Carneiros com a Ponta de Manguinhos (tômbolo), seguida da Praia de Campas (enseada), depois, Pontal da Perua Preta, de Tamandaré e do Lira (tômbolos), seguidos da Praia de Tamandaré (enseada).



Figura 08 – Imagem do Satélite Landsat TM 5 em composição em RGB Bandas 3, 2 e 1, respectivamente, ilustrando o padrão de tómbolos e enseadas presentes no litoral de Tamandaré – PE.