



MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE

MARINHA DO BRASIL

Guia de Diretrizes de Prevenção e Proteção à Erosão Costeira



Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil

Secretaria de Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental

Secretaria da Comissão Interministerial para os Recursos do Mar

Edição
2018

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE

MARINHA DO BRASIL

Guia de Diretrizes de Prevenção e Proteção à Erosão Costeira

Edição 2018

Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil

Secretaria de Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental

Secretaria da Comissão Interministerial para Recursos do Mar

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL

HELDER ZAHLUTH BARBALHO
Ministro da Integração Nacional

ADRIANO PEREIRA JÚNIOR
Secretário Nacional de Defesa Civil

PAULO ROBERTO FARIAS FALCÃO
Diretor do Departamento de
Reabilitação e Reconstrução

MARCUS VINÍCIUS FAGUNDES MOTA
Coordenador Geral de Reabilitação e
Reconstrução

MARINHA DO BRASIL

GILBERTO MAGALHÃES OCCHI
Ministro da Integração Nacional

ADRIANO PEREIRA JÚNIOR
Secretário Nacional de Defesa Civil

PAULO ROBERTO FARIAS FALCÃO
Diretor do Departamento de
Reabilitação e Reconstrução

MARCUS VINÍCIUS FAGUNDES MOTA
Coordenador Geral de Reabilitação e
Reconstrução

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE

JOSÉ SARNEY FILHO
Ministro da Integração Nacional

ADRIANO PEREIRA JÚNIOR
Secretário Nacional de Defesa Civil

PAULO ROBERTO FARIAS FALCÃO
Diretor do Departamento de
Reabilitação e Reconstrução

MARCUS VINÍCIUS FAGUNDES MOTA
Coordenador Geral de Reabilitação e
Reconstrução

MARINHA DO BRASIL

GILBERTO MAGALHÃES OCCHI
Ministro da Integração Nacional

ADRIANO PEREIRA JÚNIOR
Secretário Nacional de Defesa Civil

PAULO ROBERTO FARIAS FALCÃO
Diretor do Departamento de
Reabilitação e Reconstrução

MARCUS VINÍCIUS FAGUNDES MOTA
Coordenador Geral de Reabilitação e
Reconstrução

Brasil. Ministério da Integração Nacional/ Ministério da Integração Nacional/Marinha do Brasil

Guia de Diretrizes de Prevenção e Proteção Costeira. – Brasília/DF, 2016.

Xx p.

ISBN XXX-XX-XXXX-XXX-X

1. Erosão Costeira. 2. Gerenciamento Costeiro. 3. Orla Marítima. Proteção Costeira

Sumário

Sumário	5
Lista de Figuras.....	7
Lista de Tabelas	9
Lista de Quadros.....	10
Lista de Abreviaturas	11
Lista de Símbolos.....	12
1 Introdução	13
1.1 A erosão costeira e seus impactos	13
1.2 Medidas mitigadoras e preventivas frente a erosão costeira.....	15
1.3 Responsáveis pelas medidas mitigadoras e preventivas	17
1.4 Gestão Integrada da Zona Costeira	18
1.5 Guia de Obras costeiras como ferramenta da Gestão Integrada da Zona Costeira....	20
1.6 Objetivos do Guia e sua organização	21
1.7 Referências	24
2 Prevenção, Proteção e Recuperação à Erosão Costeira.....	25
2.1 Aspectos Gerais.....	25
2.2 Alternativas para Prevenção, Proteção e Recuperação Costeira.....	27
2.2.1 Ações Não Estruturais – Prevenção para que a Erosão Costeira não Atinja as Benfeitorias	32
2.2.2 Ações Estruturais – Obras de Proteção e Recuperação Costeira.....	36
2.2.2.1 A Alimentação Praia na Proteção e Recuperação Costeira	38
2.2.2.1.1 Planejamento da Alimentação praia.....	38
2.2.2.1.2 Definição de Praia e a Influência do Tamanho de Grão na Alimentação Praia	39
2.2.2.1.3 Definição da Linha Base de Projeto.....	43
2.2.2.1.4 Profundidade de Fechamento.....	45
2.2.2.1.5 Tipos de Alimentação Praia.....	48

2.2.2.1.6	Jazida de Areia (Fonte de Sedimentos)	50
2.2.2.1.7	Métodos para Implementação de Alimentação Praial	55
2.2.2.1.8	Métodos de Projeto	58
2.2.2.1.9	Métodos para a Estabilização da Alimentação Praial	69
2.2.2.1.10	Proteção de Falésias com Alimentação Praial	72
2.3	Considerações Finais	73
2.4	Referências	75
3	Introdução sobre a articulação institucional em casos de necessidade de obras de proteção costeira	85
	Fenômeno Erosivo	86

Lista de Figuras

Figura 1 – Fontes e sumidouros atuando no balanço sedimentar costeiro. Fonte: Van Rijn (1998).	26
Figura 2 – Alternativas de proteção costeira. Fonte: USACE (2002b, adaptado de Gilbert e Vellinga, 1990).	28
Figura 3 – Modelo conceitual de estratégias preventivas e mitigadoras de acordo com o paradigma proposto por Klein <i>et al.</i> (2005), modificado de Nordstrom (2000). Em (1) é possível observar um grande volume de alimentação praial que não recupera a praia, mas providencia uma proteção de emergência a esta. Neste caso as dunas e os ambientes praias nem sempre estão presentes. Aqui é importante destacar que objetivos de curto prazo desperdiçam dinheiro em longo prazo. Em (2) é possível observar volumes menores de alimentação praial, mas frequentes, promovendo uma recuperação da zona costeira (praia e dunas) em longo prazo. Economiza dinheiro em longo prazo pois o aumento do volume residual diminui os intervalos dos projetos e requisitos dos aterros Fonte: Adaptado de Klein <i>et al.</i> (2005).	31
Figura 4 - Perfil da zona costeira, instrumentos e competências. Fonte: Scherer (2013, adaptado do Manual de Fundamentos para Gestão Integrada - Projeto Orla (MMA, 2006)). ZEEC = Zoneamento Ecológico Econômico Costeiro; PGZC = Plano de Gestão da Zona Costeira.	34
Figura 5 – Exemplo de como diferentes tamanhos de grãos e declividades definem o estágio morfodinâmico da praia. Fonte: Klein e Menezes (2001).	42
Figura 6 - Perfis praias médios encontrados por Benedet <i>et al.</i> (2004) na praia de Longboat Key (EUA), apresentando as diferentes respostas hidrodinâmicas ao aterro (alimentação praial) com sedimento mais fino que o nativo (1993) (declividade suave e um sistema de bancos bem definidos) e ao aterro com sedimento mais grosso que o nativo (1997) (declividade íngreme sem bancos). Fonte: Modificado de Benedet <i>et al.</i> (2004).	43
Figura 7 – (A) Levantamento da linha de costa em campo com uso de um GPS/RTK adaptado a uma roda de bicicleta sobre o indicador areia seca/molhada. Fotografia Mariela Muler. (B) Representação da linha de costa coletada em campo. Fotografia de fundo SDS, 2010. Fonte: Klein <i>et al.</i> (2016).	45
Figura 8 - Zonação do perfil praial transversal à costa destacando as profundidades de fechamento interna (h^*) e externa (h_{fe}). Fonte: Hallermeier (1981).	46
Figura 9 - Identificação da profundidade de fechamento interna do perfil praial. Seta indicando a posição do perfil onde a declividade tende à zero. Fonte: Klein <i>et al.</i> (2016)	46
Figura 10 – Representação esquemática indicativa da inconsistência entre as referências verticais topográficas (IBGE) e batimétricas (DHN). Z = Cota. Fonte: Klein <i>et al.</i> (2016).	47
Figura 11 – Perfis transversais de alimentação em ambientes de dunas, praia e antepraia. Abaixo a distribuição dos sedimentos ao longo da costa e a partir de uma fonte (<i>Sand Engine</i>). Fonte: Van Rijn (1998).	49
Figura 12 – Fluxograma esquemático demonstrando uma metodologia para exploração de jazidas de areia, onde as principais etapas incorporam uma série de atividades limitadas por circunstâncias locais. Cada tarefa destina-se a direcionar o curso das ações subsequentes para que a busca por jazidas siga uma estratégia lógica produzindo uma metodologia de exploração eficiente. Fonte: Finkl e Khalil (2005).	51
Figura 13 – Exemplos de áreas de jazidas dragadas em frente a praia de Delray, costa sudeste da Florida/EUA, a qual tem passado por um programa de alimentação praial monitorado desde 1973. A batimetria é apresentada em formato 3D evidenciando os recifes paralelos a praia e os buracos das jazidas dragadas. Os anos indicam em que ano cada jazida foi dragada. Fonte: Modificado de Benedet (2016).	55
Figura 14 – Tipos de transposição de sedimentos. Em (A) é representado o processo de <i>bypassing</i> em Torres/RS de forma a transpor os sedimentos retidos no molhe que fixa a	

desembocadura do rio Mampituba para sotamar; em (B) o processo de <i>overpassing</i> na Ilha de Santa Catarina (Florianópolis/SC) da praia do Santinho para a praia dos Ingleses e; em (C) o processo de <i>backpassing</i> na praia de Barra Velha/SC de forma a devolver o sedimento acumulado no esporão arenoso para a praia a barlar. As setas vermelhas indicam o sentido da transposição de sedimento, já as setas brancas indicam o sentido normal do transporte de sedimentos na zona costeira. Fonte imagens: Google Earth.	56
Figura 15 – Fatores a serem levados em consideração num projeto de alimentação praial. B= Altura da berma; Δy =Avanço/Retração da linha de costa; h^* =Profundidade de fechamento. Fonte: Modificado de Campbell e Benedet (2004b).	59
Figura 16 – Princípios do método holandês de alimentação praial: (A) O primeiro passo é graficar os dados de volumes medidos em função do tempo; (B) A partir da taxa de erosão calculada é definido o volume de adição de areia na praia em função do tempo de vida desejado do projeto e; (3) É adicionado ao cálculo 40% ou 20% de perda a fim de contabilizar perdas extras ao sistema praial. VA =Volume calculado para a alimentação; Q =Taxa de erosão; T =Tempo de vida útil do projeto; A_f =Parâmetro de escala do perfil final; A_N =Parâmetro de escala do perfil nativo. Fonte: Verhagen (1992).	61
Figura 17 – Elevação da berma determinada pela média de diferentes perfis medidos. Fonte: (USACE, 2003a).	62
Figura 18 - Variação no parâmetro de escala de sedimento, A , em função do tamanho do sedimento, D , e da velocidade de queda do grão, ωs . Fonte: Dean (1987, modificado de Moore, 1982).	65
Figura 19 – Exemplos de perfis de equilíbrio com tamanho de grão de 0,23mm e 0,41mm até a sua respectiva profundidade de fechamento.	66
Figura 20 – Três possíveis tipos de perfis de equilíbrio praias pós projeto de alimentação. Os símbolos são referentes às Equações 12, 13 e 14. Fonte: Dean (1991).	67
Figura 21 – Vista em planta da praia de modo a evidenciar as perdas de sedimento pelo espalhamento longitudinal, além do movimento da areia para equilibrar o perfil. Fonte: Dean (2002).	69
Figura 22 – Efeito do espigão agindo (a) de forma isolada e (b) num campo de espigões sobre o transporte sedimentar. Fonte: Machado (2010, modificado de USACE, 2002b).	70
Figura 23 – Tipos de mudanças na linha de costa associadas a quebra-mares individuais e múltiplos. Fonte: Machado (2010, modificado de USACE, 2002a).	71
Figura 24 – Erosão de falésia relativa ao limite do <i>runup</i> . A erosão ocorre se $Z_{falésia} < Runup + Maré Média (\eta_t)$. Fonte: Van Rijn (1998).	72
Figura 25 – Proteção de falésias com projetos de alimentação praial. Fonte: Modificado de Van Rijn (1998).	73
Figura 26 – Processo de planejamento e desenho de um projeto costeiro. Fonte: Modificado de USACE (2003b).	82

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Parâmetro de escala do perfil, <i>A</i> , versus o tamanho mediano de grão, <i>D</i>	65
--	----

Lista de Quadros

Quadro 1 – Análise comparativa entre as alternativas de adaptação, retração e proteção com estruturas fixas e/ou alimentação praial. Fonte: Modificado de Machado (no prelo, derivado de Bello (2016)).	30
Quadro 2 - Instrumentos jurídicos que viabilizam uma zona de proteção à costa nos municípios litorâneos. Fonte: Strohaecker e Toldo Jr (2009).	35
Quadro 3– Diretrizes de políticas para gestão costeira aplicáveis a ambientes de praias e dunas. Fonte: Modificado de Nordstrom (2008, derivado da Comissão Helsinski (www.helcom.fi/Recommendations.html) e do Código Europeu de Conduta para Zonas Costeiras (COUNCIL OF EUROPE, 1999) e sintetizado por Nordstrom <i>et al.</i> , 2007).	36
Quadro 4 – Classificação das estruturas costeiras em termos de função. Fonte: Klein <i>et al.</i> (2005).	37
Quadro 5 – Zonação hidrodinâmica e morfológica de um sistema praial de alta energia visto em perfil. Praias de menor energia são menores em escala e tem uma pequena ou não existente zona de surfe. Fonte: Adaptado de Short (1999).	40
Quadro 6 - Estados morfodinâmicos de praias com maré. Fonte: IH CANTABRIA – MMA (no prelo a).	41
Quadro 7 – Exemplo do que levar em consideração nos custos de uma dragagem de jazida em alto mar para alimentação de uma praia. Os valores foram baseados em obras passadas e não representam a realidade atual, portanto não devem ser levados como verdade absoluta.	58
Quadro 8 – Passo-a-passo para aplicar o método Holandês sem a presença de 10 anos de dados de perfil de praia e de antepraia medidos, proposto por Verhagen (1992; VAN RIJN, 1998).	63

Lista de Abreviaturas

CEM – Manual de Engenharia Costeira (*Coastal Engineering Manual*)
CEPAL – Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (*Comisión Económica para América Latina y el Caribe*)
DGPS – Sistema de Posicionamento Global Diferencial (*Differential Global Positioning System*)
DHN – Diretoria de Hidrografia e Navegação
DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
EUA – Estados Unidos da América
GPS – Sistema de Posicionamento Global (*Global Positioning System*)
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IH – Instituto Hidráulico
MMA – Ministério do Meio Ambiente
NGVD – *National Geodetic Vertical Datum*
PGZC – Plano de Gestão da Zona Costeira
RS – Rio Grande do Sul
RTK – Levantamento Cinemático em Tempo Real (*Real Time Kinematic*)
RTR – Parâmetro de Variação Relativa da Maré (*Relative Tide Range*)
SC – Santa Catarina
SDS – Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável de Santa Catarina
SIGM – Sistema de Informação Geográfica Marinho
SPU – Secretaria de Patrimônio da União
USACE – Corpo de Engenheiros do Exército Americano (*United States Army Corps of Engineers*)
ZEA – Zona de Erosão Acentuada
ZEEC – Zoneamento Ecológico Econômico Costeiro

Lista de Símbolos

A – Parâmetro de escala de sedimento
 A_F – Parâmetro de escala do perfil final (pós aterro)
 A_N – Parâmetro de escala do perfil nativo
 B – Altura da berma em relação ao nível zero
 C – Concentração de sedimentos em suspensão
 D – Diâmetro mediano do sedimento
 g – Aceleração da gravidade
 h – Profundidade através da costa até uma determinada distância y / Variação de nível no tempo a cada par de pontos (x, y) .
 h_* – Profundidades de fechamento interna
 hf_e – Profundidades de fechamento externa
 H_b – Altura significativa de onda na arrebentação
 H_{S12} – Altura significativa de onda excedida 12 horas ao ano
 k – Constante adimensional
 m – Expoente que depende de como a energia da onda é dissipada
 M' – Parâmetro de variação relativa da maré
 q_x – Fluxo de sedimentos normal à costa
 q_y – Fluxo de sedimentos paralelo à costa
 Q – Taxa de erosão
 t – Tempo
 T – Período de pico de onda / Tempo de vida útil do projeto
 T_S – Período significativo de onda associado a H_{S12}
 V – Ganhos e perdas de sedimentos / Volume de sedimento por m de praia
 V_A – Volume calculado para a alimentação
 w – Velocidade de queda do grão
 W_* – Distância da profundidade de fechamento original até a costa
 y – Distância da profundidade h à costa
 Z – Cota
 Δy – Retração da linha de costa
 Δy_0 – Avanço desejado da linha de costa
 ε – Porosidade do sedimento
 η_t – Maré medida
 ρ_s – Densidade da areia
 σ – Desvio padrão da altura de onda
 ω_s – Velocidade de queda do grão
 Ω^* – Parâmetro adimensional de queda do grão
 ∇ – Nível zero do mar

1 Introdução

1.1 A erosão costeira e seus impactos

A zona costeira é reconhecida como uma das áreas mais complexas e sensíveis: além da **suscetibilidade** a processos naturais relacionados à interação dos ambientes marinhos e continentais, é afetada ainda pelo fenômeno das mudanças climáticas, bem como se sujeita a forte pressão urbana (cerca de um quarto da população nacional reside em municípios litorâneos). Este fenômeno se dá em função da apropriação da Zona Costeira, para o desenvolvimento de atividades e usos que lhe são próprios, tendo como principais vetores indutores as atividades portuárias, industriais, petrolíferas, pesca, imobiliárias e de exploração turística (MMA, 2008).

Nota de rodapé para o termo **suscetibilidade**

A intensa urbanização em direção à linha de costa vem causando alterações no litoral brasileiro, sobretudo seu deslocamento sobre o ambiente praial. O principal efeito observado é o desequilíbrio desse ambiente, com aumento nas taxas de erosão ao longo da costa, evidenciando a perda de espaço físico para desenvolvimento das atividades econômicas e sociais (MMA, 2008).

Inserir comentários sobre o Plano Nacional de Adaptação às Mudanças do Clima, Ana Marcelina encaminhará o texto (Data 19/2/2018)

Um marco histórico na gestão da zona costeira foi o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC - Lei nº 7.661/88), que considera como Zona Costeira o espaço geográfico de interação do ar, do mar e da terra, incluindo seus recursos renováveis ou não, e abrangendo uma faixa marítima e outra terrestre que vai desde a planície costeira até a plataforma continental interna.

No presente contexto como um dos principais problemas ambientais e sociais do litoral brasileiro, a erosão costeira é responsável por danos em diversos setores desta porção do território. Desta forma, os impactos negativos nessas atividades vão desde perda do valor imobiliário das edificações, comprometimento do potencial turístico, gastos para recuperação dos locais impactados, até impactos como a redução da largura de praias e desequilíbrio de habitats naturais como manguezais, dunas e restingas (FARINACCIO, 2008; e SOUZA, 2009). Nesse sentido, os impactos da erosão costeira sobre a linha de costa podem ser tanto físicos como ecossistêmicos e sociais, sendo que em linhas de costa densamente ocupadas esses danos são potencializados (FARINACCIO, 2008).

Nos **impactos físicos**, construções de estruturas na faixa de praia alteram os estoques de areia disponíveis, o que induz a alterações na estrutura da praia¹. Onde se retira areia, que outrora amortizava a força das ondas, para substituí-la por construções rígidas, surgem condições potenciais para se instalar a erosão. Na maioria dos casos, as construções ocupam uma área onde estariam a vegetação de restinga e outras feições como dunas, sendo essas, importantes componentes da regulação dos estoques de areias para as praias. Por exemplo, segundo Nordstrom (2010) as areias disponíveis em uma praia variam ao longo do ano, de acordo com as alternâncias entre tempo bom (quando geralmente ocorre o engordamento da praia) e tempestade (quando geralmente ocorre a erosão). Entre esses períodos, a vegetação retém a areia em períodos de acreção da praia e disponibiliza a areia em períodos erosivos, criando um sistema em equilíbrio (NORDSTROM, 2010).

No que se refere aos **impactos ecossistêmicos**, esses têm efeito sobre os diferentes ecossistemas e organismos que se sustentam no ambiente praial e em suas adjacências. Por exemplo, em uma escala local, são afetados os organismos de menor tamanho² que vivem nas areias de uma praia, impactados diretamente pela modificação da estrutura da praia e pela quantidade de areias em suspensão (Baptista Neto, 2008 e NORDSTROM, 2010). Ora, em alguns casos, quanto mais areia em suspensão na água, mais danos significativos sofrem organismos filtradores de nutrientes na coluna d'água (Baptista Neto, 2008).

Comentado [A1]: Solicitar explicação ao Nilton

Inserção de parágrafo referentes aos impactos ecossistêmicos, Ana Marcelina encaminhará o texto (Data 19/2/2018)

Ademais, determinadas comunidades de organismos têm sua distribuição associada às condições de hidrodinâmica³ da praia, as quais, assim como a distribuição de sedimentos, são alteradas pelas modificações da morfodinâmica praial, na qual ocorrem atividades biológicas importantes na faixa de aproximadamente 50 a 100 metros da linha máxima da maré

1 Outros termos são utilizados para definir a estrutura da praia como **morfologia, relevo ou perfil praial**. Já quando o sistema praial é analisado como um todo, considerando também as diversas dinâmicas responsáveis por suas modificações, geralmente utiliza-se o termo **morfodinâmica**, para caracterizar essa interação (GARRISON, 2010; e NORDSTROM, 2010).

2 Também classificados como organismos bentônicos (GARRISON, 2010).

3 Ondas, ventos, correntes, entre outras dinâmicas (GARRISON, 2010).

(GARRISON, 2010; e NORDSTROM, 2010). Já os organismos de maior porte são aqueles que se encontram em ecossistemas costeiros como restingas e dunas, os quais têm tanto sua função ecológica, quanto sua função ecossistêmica prejudicada, quando são reduzidos ou suprimidos pela erosão costeira. Por exemplo, algumas espécies do litoral, com seu habitat em dunas e restingas, podem atuar no controle de vetores de doenças e pragas, ou dispersora de sementes (GARRISON, 2010; e NORDSTROM, 2010). Nilton revisar este texto, pois o grupo não entendeu

No caso, dos impactos sociais os danos se estendem desde os prejuízos econômicos pelos quais arcam os proprietários, quer particulares, quer entes públicos, até os impactos financeiros sobre as pessoas atingidas pelo fenômeno erosivo. Vale ressaltar que os prejuízos econômicos e financeiros também são contabilizados no atendimento aos atingidos, assim como se estendem por um longo período em função da recuperação e manutenção das intervenções realizadas para mitigar a erosão costeira (FARINACCIO, 2008; e PAULA, 2015).

Por todos esses impactos, a recorrência e relevância econômica e social do fenômeno na Zona Costeira brasileira fez com que a erosão costeira fosse elencada no rol de Desastres Naturais (CENAD, 2012) reconhecidos pela Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (Cobrade). O que demonstra também a preocupação da sociedade e do poder público para a busca de soluções e medidas para enfrentar/combater a erosão costeira.

Soluções e medidas que podem ser tomadas não só por particulares atingidos por esse desastre natural, mas também pelas três escalas de poder: municipal, estadual e federal, devem convergir para formar um leque de alternativas que englobam desde obras costeiras, a reordenamento das ocupações e construções litorâneas, alternativas que por si só também têm seus impactos, seja no âmbito econômico e social, seja no âmbito ambiental.

1.2 Medidas mitigadoras e preventivas frente a erosão costeira

No Brasil e no mundo, as medidas frente aos impactos da erosão costeira são diversas, no entanto, podem ser organizadas sob o ponto de vista da **prevenção** e da **mitigação**. Ou seja, existem medidas voltadas para se evitar os impactos da erosão costeira já existente (prevenção), assim como existem medidas para atenuá-la (mitigação). Erico, Charline e Marcelo, passar o pente fino. O grupo entendeu que as definições técnicas serão entendidas com o apoio da academia (Data 19/2/2018)

A maior parte dessas **medidas**, sobretudo as **mitigadoras**, constituem-se em obras rígidas, ou seja, construções na linha de costa. Dentre tais obras, existe um extenso rol de estruturas que podem ser utilizadas para diferentes casos de erosão costeira, assim como uma

grande variação dessas estruturas que podem ser utilizadas diante de diferentes necessidades e orçamentos (FARINACCIO, 2008 e PAULA, 2015).

O grande problema da maioria dessas medidas mitigadoras que utilizam a instalação de estruturas rígidas, aderentes ao continente ou não (a exemplo de muros de proteção, diques, quebra-mares, gabiões e outras técnicas de contenção), é que elas são construídas para solucionar um problema local, mas podem passar a induzir o processo de erosão em áreas próximas. Isto leva a um “efeito dominó”, com prejuízos para o patrimônio público e privado, demandando da população atingida e dos gestores a adoção de medidas emergenciais e descontínuas, com custo elevado de obras pontuais (FARINACCIO, 2008; SOUZA, 2009; e PAULA, 2015).

Nesse contexto e para fazer face aos efeitos da erosão e às mudanças do clima, uma das melhores soluções de proteção costeira que vem adotado internacionalmente é a recuperação das praias, com aumento do estoque de areia e restabelecimento do equilíbrio do ambiente praiar, uma vez que diminui a energia das ondas de tempestade, bem como recupera o seu *habitat* com sua rica biodiversidade, que dependem de praias saudáveis (NORDSTROM, 2010).

Verificar a utilização dos termos restauração, recuperação, mitigação, prevenção. Data 19/2/2018) Érico, Charline, Marcelo. Unificá-los de acordo com o Capítulo 2

Ademais, nota-se o aumento de obras não convencionais e sem nenhum fundamento daquelas usualmente utilizadas, sendo que não atendem os requisitos para sua efetividade. Nesse sentido, ao longo da Zona Costeira brasileira, ocorrem em demasia obras que possuem mais finalidade estética do que de proteção. Por exemplo, calçadões ou jardins em uma orla que sofre processo de erosão, são realmente efetivos?

Já as **medidas preventivas** devem ter como princípio básico a defesa intransigente da linha de costa como um compromisso nacional, assumindo que há um duplo problema, em que se somam a falta de areia nas praias e o avanço do nível do mar (SOUZA, 2009; e NORDSTROM, 2010). Como medida preventiva pode-se enfatizar o ordenamento do litoral, que além de estabelecer faixa de proteção destinada a absorver o recuo da linha de costa/erosão costeira, deve considerar ainda a avaliação de cenários de atuação em determinados trechos costeiros, considerando a remoção ou o recuo de construções na linha de costa *versus* a sua proteção, avaliação esta que deve ser fundamentada por análises de custo/benefício (FARINACCIO, 2008).

Desta forma, são necessárias ações voltadas para reordenamento do litoral e das condições naturais dos ecossistemas que mitigam a erosão costeira. Como exemplo, a

remoção de construções na linha de costa, seguida da recuperação de dunas, podem evitar que a erosão costeira se agrave em determinada região, ou mesmo venha a ocorrer (NORDSTROM, 2010).

Em todas as medidas, **mitigadoras e preventivas**, requer-se a adoção de alguns **protocolos**, desde as mais simples obras onde se tem a logística envolvida com o transporte de materiais, a construção e as devidas autorizações legais, até as obras de maior vulto, onde existe o processo de licenciamento ambiental (NORDSTROM, 2010).

No entanto, no caso do litoral brasileiro são escassas as referências, os manuais ou mesmo normativas técnicas que elenquem, em conjunto, a dissertação dos **processos** que envolvam o licenciamento, fiscalização, a construção de diretrizes para a consecução das intervenções e monitoramento dessas obras e seus respectivos impactos. São mais facilmente encontrados trabalhos pontuais que descrevem as vantagens e desvantagens de determinadas alternativas, ou livros voltados para esmiuçar os instrumentos e técnicas que envolvam a construção de uma dessas alternativas.

São ainda mais escassas as referências sobre obras e **processos** para suas consecuições, voltadas para detalhar passo a passo as ações a serem realizadas pelo empreendedor, responsável direto pela tomada de decisão para a escolha das medidas mitigadoras e preventivas.

1.3 Responsáveis pelas medidas mitigadoras e preventivas

No contexto brasileiro, observam-se casos em que os empreendedores das obras de proteção costeira são particulares com obras de pequeno a grande porte das mais variadas naturezas (construção de muretas de proteção em frente a edificações implantadas no litoral, residências, infraestrutura/equipamentos urbanos, poços para exploração de petróleo, parques eólicos, dentre outros). Além dos usuários privados, há casos que se originam a partir de ações desenvolvidas pelos entes federativos (Municípios, Estados e União). Todos esses atores são responsáveis pelas medidas mitigadoras e preventivas voltadas para a proteção costeira, embora nem sempre estas sejam executadas com responsabilidade e baseadas em estudos prévios necessários.

Em todos os casos as intervenções na linha de costa devem ser **precedidas de protocolos** que assegurem sua efetividade e longevidade, como qualquer obra, seja na linha de costa ou não. Além desses objetivos, tais obras também requerem estudos que garantam que seus impactos sejam qualificados como positivos ou negativos, e mensurados tanto com relação à magnitude quanto à abrangência.

Por exemplo, uma grande problemática decorrente das obras costeiras é a questão da extensão de suas áreas de influência, e de seus impactos. Ora, quem é o responsável por uma erosão causada por uma obra de proteção costeira? Se a obra de um município causa a erosão no município limítrofe, quem é o responsável pelos danos?

Diante dessas premissas e questionamentos, o empreendedor fica refém de uma série de requisitos, os quais, como já mencionado, ainda não possuem referências ou manuais que os organizem e os expliquem didaticamente. Do mesmo modo, fica refém, quando existe a necessidade de se adequar a um rito processual determinado em normativas que também carecem de caráter didático, ou que sejam voltadas para o tema deste guia.

Mas, independentemente das dificuldades, o empreendedor será o responsável direto pela gestão da medida escolhida, seja ela mitigadora ou preventiva. Portanto, deve-se frisar que o responsável pela medida tem a partir desse Guia as informações necessárias para não só se tornar do ponto de vista legal, mas também ambiental.

Necessário destacar que, quando se fala em zona costeira, ainda que o empreendedor seja o responsável direto pela gestão do projeto e da obra, arcando com seu planejamento e seus impactos, há todo um conjunto de atores que operam nos diferentes setores da costa brasileira que devem ser implicados e responsabilizados de acordo com suas competências. Isto porque, de acordo com as premissas da gestão integrada, aqueles que também utilizam os recursos e sistemas oferecidos pela Zona Costeira são de fato responsáveis pela gestão deste território (SOUZA, 2009), bem como é obrigação legal dos poderes públicos das três esferas de governo a manutenção das áreas de uso comum do povo, incluídas as praias (BRASIL, 1998).

REVISÃO DE 31/1/2018 PAROU AQUI

1.4 Gestão Integrada da Zona Costeira

Quando se fala nos responsáveis, não se exime a responsabilidade conjunta daqueles que também usufruem dos ônus e bônus dos recursos existentes e provenientes da Zona Costeira, sejam eles ambientais, sociais ou econômicos (SOUZA, 2009).

Diante dessa realidade, a Gestão Integrada da Zona Costeira é essencial para considerar a ampla participação dos responsáveis em um ambiente complexo e dinâmico como este território. Ambiente que também abarca o extensivo rol de políticas públicas e seus instrumentos, os quais também se encontram em uma complexa e dinâmica trama que envolve diferentes competências e instâncias (SOUZA, 2009).

Mas, o que é a Gestão Integrada da Zona Costeira?

Em suma, a Gestão Integrada da Zona Costeira pode ser considerada como um compartilhamento de responsabilidades voltadas para um conjunto de recursos e sistemas conectados (SOUZA, 2009). De forma prática é a gestão feita por muitos, integrando os diferentes instrumentos e saberes de cada um.

Ora, como pode ser feita a gestão de um rio próximo ao litoral sem considerar tanto a opinião do órgão responsável pela gestão do rio, quanto o conhecimento do órgão que monitora as marés? A gestão pode ser feita de forma integrada, por exemplo, conciliando a permissão para ocupações próximas ao rio com a análise de uma eventual maré alta e uma cheia do rio as quais podem levar a ações que previnam a ocupação de áreas inundáveis.

Entretanto, como demonstra as lacunas para o alcance da Gestão Integrada da Zona Costeira são inúmeras, sobretudo se considerada a trama entre os instrumentos das diversas políticas que se entrelaçam na gestão do ambiente costeiro (SOUZA, 2009). Ou então, se considerados os diferentes interesses conflitantes existentes sobre determinados recursos.

Com isso, deve ser considerada a oferta de sedimentos que chega ao mar pelos canais de rios, riachos e dunas que são distribuídos ao longo da costa pelas correntes marinhas. As áreas que recebem pouca contribuição de sedimentos vindo do continente, tendem a aumentar o *déficit* sedimentar (MMA, 2006 e NORDSTROM, 2010). Um exemplo é a Praia de Ponta Negra, que perdeu e perde sedimentos constantemente pela erosão costeira, acentuada pelo fluxo do lençol freático que aflora e empurra os sedimentos para o mar (MMA, 2016). Este desequilíbrio foi acentuado com a ocupação na faixa de praia que de uma vez por todas, retirou a possibilidade da areia das dunas serem distribuídas na enseada (MMA, 2016).

Nesse aspecto, existe a necessidade de se buscar cada vez mais ferramentas ou iniciativas que efetivem a Gestão Integrada da Zona Costeira. Por exemplo, pode se evitar a erosão costeira por meio de alguma política de preservação e recuperação que beneficie a manutenção de vegetações litorâneas como as restingas, mangues ou os marismas?

A resposta é sim, porque se sabe que tais vegetações mitigam os efeitos da erosão costeira. Mas, qual é o nome dessa ferramenta? Como se pode usá-la? Em qual órgão público ela se encontra? Quem é o responsável por sua implementação?

Com tantos questionamentos, algumas dessas ferramentas e iniciativas já estão em discussão no âmbito de alguns fóruns e espaços que englobam diversas representações para compreender e discutir as especificidades da Zona Costeira. Dentre tais iniciativas e espaços, pode se citar o Grupo de Integração do Gerenciamento Costeiro (GI-Gerco) como um espaço com ampla representatividade que trata dos assuntos referentes a Zona Costeira brasileira (BRASIL, 2014).

Além de ser um exemplo da Gestão Integrada da Zona Costeira, o GI-Gerco também é um espaço onde diferentes órgãos e instituições, federais, estaduais e municipais atuam sobre diversas problemáticas, tendo como fundamentação os instrumentos da gestão costeira que possibilitam o adequado e participativo ordenamento deste território e que asseguram a sustentabilidade das modificações na linha de costa (BRASIL, 2014).

Já como ferramenta da Gestão Integrada da Zona Costeira pode-se elencar o Projeto Orla⁴, o qual busca ordenar os espaços litorâneos aproximando as políticas ambiental e patrimonial (BRASIL, 2007). Em consonância com a Gestão Integrada da Zona Costeira, o Projeto Orla requer para sua efetivação ampla participação de diferentes setores da sociedade organizada, os quais são responsáveis pelo zoneamento dos posteriores usos permitidos e ocupação da Zona Costeira (BRASIL, 2007 e OLIVEIRA & NICOLÓDI, 2012).

O Projeto Orla pode ser utilizado como instrumento para que a gestão municipal considere em seu planejamento territorial a conservação da linha de costa e o potencial dos ecossistemas costeiros para adaptação às mudanças do clima. Assim deve considerar instrumentos de modelagem costeira para que os Planos de Gestão Integrada da Orla-PGIs possam considerar o fenômeno da erosão em praias com maior tendência a perda de sedimentos (OLIVEIRA & NICOLÓDI, 2012).

Outrossim, no contexto dos exemplos de espaço e ferramenta citados, e mais especificamente voltados para a problemática da erosão costeira e suas medidas mitigadoras e preventivas, existe a necessidade de se trazer a Gestão Integrada para as intervenções cada vez mais comuns na Zona Costeira.

1.5 Guia de Obras costeiras como ferramenta da Gestão Integrada da Zona Costeira

Uma das lacunas observadas que podem ser preenchidas com a Gestão Integrada da Zona Costeira é justamente a questão da erosão, principalmente quando consideradas as obras de proteção costeiras como intervenções potencializadoras desses impactos sistêmicos que se estendem por áreas maiores que seus objetos de proteção, ou prolongam e magnificam os danos da erosão costeira (FARINACCIO, 2008; e SOUZA, 2009).

⁴ O Projeto Orla está inserido no âmbito do Ministério do Planejamento, e conta com um rol de publicações e oficinas de capacitação, as quais auxiliam ainda mais na compreensão do tema da Gestão Integrada da Zona Costeira. Ademais, o projeto também demonstra sistematicamente como podem ser realizadas ações que integrem o Zoneamento Ecológico Econômico convencional às características do ambiente costeiro, criando assim o Zoneamento Ecológico Econômico Costeiro.

São poucos os estudos mais abrangentes que analisam os impactos a médio longo prazo das modificações no ambiente costeiro, podendo ser citadas as publicações do Ministério do Meio Ambiente, como o documento “Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro” (BRASIL, 2006), ou trabalhos voltados para analisar efeitos sistêmicos da erosão costeira, nesse caso os diagnósticos da vulnerabilidade a essas erosões, realizados por alguns estados.

Diante de tais carências e de tamanha lacuna, o Grupo de Integração do Gerenciamento Costeiro (GI-Gerco) propiciou a obtenção de contribuições técnicas necessárias para a construção de diretrizes voltadas para regular as obras de intervenção e proteção costeira. Desse modo, no âmbito do GI-Gerco, desenvolveu-se o Grupo de Trabalho de Obras e Riscos Costeiros, um fórum para discussão de intervenções frente à erosão costeira, que conta com a participação de órgãos e instituições com expertise no assunto.

Como um dos objetivos do Grupo de Trabalho de Obras e Riscos Costeiros surgiu o Guia de Diretrizes para Obras de Proteção Costeira, uma iniciativa voltada para suprir a demanda ora demonstrada mediante à falta de informações sobre as obras de intervenção e proteção costeira.

Foi com esse entendimento que o Guia foi planejado, colocando-se em primeiro lugar como uma ferramenta para auxiliar na tomada de decisões dos responsáveis pelas obras costeiras, e posteriormente como mais uma das iniciativas em prol da Gestão Integrada da Zona Costeira.

1.6 Objetivos do Guia e sua organização

Por que tanto se questionam os impactos dessas obras, sendo elas tão necessárias? Por que ainda não existe um Manual ou Guia para, pelo menos, minimizar as dificuldades dos responsáveis por sua consecução?

São as principais perguntas que balizaram a construção do Guia de Diretrizes para Obras de Proteção Costeira, o qual pretende demonstrar as nuances para a consecução de algumas das alternativas/obras voltadas para a proteção costeira. Descrevendo ainda o processo para sua escolha, construção e manutenção, desde as etapas de concepção e necessidade, até os ritos de seu processo de licenciamento e regularização, apontando os órgãos e instituições competentes para tanto.

Assim, o Guia de Diretrizes para Obras de Proteção Costeira é voltado para os responsáveis pela gestão que envolva a concepção, consecução e monitoramento de uma obra costeira. Aqueles que são também os responsabilizados pelos impactos, que arcam o ônus, os quais requerem cada vez mais subsídios para se adequar a uma necessidade da sociedade, a

proteção contra a erosão costeira, mas que por outro lado são monitorados de perto pelo fato das modificações impostas à linha de costa.

Para tanto, foram organizadas no Capítulo 1 do presente Guia as informações básicas referentes à erosão costeira, as premissas para a utilização de medidas mitigadoras e preventivas voltadas para essa problemática, os responsáveis por essas medidas, os fundamentos da Gestão Costeira Integrada da Zona Costeira e os objetivos desse documento.

No Capítulo 2 são propostas alternativas para prevenção e recuperação à erosão costeira, além disso, são demonstradas as etapas básicas para o desenvolvimento alimentação praial.

Já as informações referentes à articulação institucional para intervenções estruturantes na linha de costa estão disponíveis no Capítulo 3. Ademais, apresenta-se Fluxograma das etapas básicas para a concepção, desenvolvimento e implantação de solução técnica.

Por fim, objetivando facilitar ainda mais a aproximação do leitor com os termos utilizados tanto na área técnica quanto nas normativas referentes ao tema, ao final do Guia é apresentado o Glossário. Nessa parte, são elencados termos que são comumente utilizados nas referências aqui utilizadas, mas que também são objetos de dúvida nos processos e discussões no âmbito da gestão costeira.

Fique atento!

Evitar determinadas obras pode ser uma boa prevenção à erosão costeira! Se uma modelagem aponta para o impacto de obras em determinado local, este deveria ser um norte para o redirecionamento do projeto de execução, observados os limites ambientais para tal construção.

As obras não são a única solução frente a erosão costeira!

O Guia de Proteção de Obras Costeiras tem entre suas premissas a utilização de intervenções mais sustentáveis para mitigação e prevenção da erosão costeira. Assim, nem todas as soluções voltadas para a problemática da erosão estão aqui abordadas porque

existem outros instrumentos que podem ser elencados para evitar que obras rígidas sejam tidas como as únicas soluções diante da erosão costeira.

Assim, iniciativas que envolvam instrumentos de políticas de ordenamento que onerem ou proíbam as ocupações na linha de costa, ou que minimizem os efeitos dessas ocupações, são iniciativas que diminuem os danos da erosão costeira e que em determinado caso podem até torná-la insignificante do ponto de vista de seus prejuízos econômicos e ambientais.

Em um exemplo mais peculiar, uma iniciativa local de “não fazer nada” prevendo que a erosão costeira danificará determinado local, com ou sem obra, pode ser tida como uma alternativa anormal, mas que atualmente quando integrada com ações de recuperação de dunas, restingas, de modo a permitir a dinâmica natural destas paisagens, tal exemplo tem efeitos mais duradouros e sustentáveis do que obras costeiras.

Portanto, aproveite o Guia de Proteção de Obras Costeiras e suas valiosas informações, mas sempre com a ressalva que a erosão costeira pode ser uma problemática evitada, na maioria das vezes com ações menos onerosas e mais sustentáveis.

1.7 Referências

BAPTISTA NETO, J.A. Poluição Marinha. **Rio de Janeiro: Interciencia**, 2008. 412p.

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Secretaria do Patrimônio da União; Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Qualidade Ambiental. Projeto Orla: fundamentos para gestão integrada. **Brasília: MMA**, 2007. 73p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Os 25 anos de Gerenciamento Costeiro no Brasil Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro. Brasília, 2014. 178p. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/gestao-territorial/gerenciamento-costeiro/publica%C3%A7%C3%B5es>>. Acesso em: 4 de jan. de 2018.

BRASIL. Lei Nº 9.636, de 15 de maio de 1998. Dispõe sobre a regularização administração aforamento e alienação de bens e imóveis de domínio da União. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9636.htm>

CENTRO NACIONAL DE GERENCIAMENTO DE RISCOS E DESASTRES (CENAD). Anuário Brasileiro de Desastres Naturais: 2013. **Secretaria Nacional de Defesa Civil. Brasília: CENAD**, 2013. 106p.

FARINACCIO, A. Impacto na dinâmica costeira decorrentes de intervenções em praias arenosas e canais estuarinos de áreas densamente ocupadas no litoral de São Paulo, uma aplicação do conhecimento a áreas não ocupadas. **Tese de Doutorado. São Paulo: USP**, 2008. 229p.

GARRISON, T. Fundamentos de oceanografia. **São Paulo: Cengage Learning**, 2010. 426p.

PAULA, D.P. Erosão costeira e estruturas de proteção no litoral da Região Metropolitana de Fortaleza (Ceará, Brasil): um contributo para artificialização do litoral. Revista Rede Eletrônica do PRODEMA, 9(1): 73-86. Fortaleza. 2015. Disponível em: <<http://www.revistarede.ufc.br/revista/index.php/rede/article/view/306>> Acesso em: 4 jan. 2018.

MINISTERIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Erosão e progradação no litoral brasileiro. Brasília, 2006. 476p.

OLIVEIRA, M. R. L.; NICOLODI, J. L. A Gestão Costeira no Brasil e os dez anos do Projeto Orla. Uma análise sob a ótica do poder público. Revista de Gestão Costeira Integrada, v. 12, p. 89-98, 2012. Disponível em: <http://www.aprh.pt/rgci/pdf/rgci-308_Oliveira.pdf>. Acesso em: 4 jan. 2018.

NORDSTROM, K.F. Recuperação de Praias e Dunas. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 352p.

SOUZA, C.R. de G. A Erosão Costeira e os Desafios da Gestão Costeira no Brasil. Revista da Gestão Costeira Integrada 9(1):17-37. 2009. Disponível em: <http://abes-sp.org.br/docs/pdf/celia_erosao_costeira_e_desafios_gestao_costeira.pdf> . Acesso em: 4 jan. 2018.

2 Prevenção, Proteção e Recuperação à Erosão Costeira

2.1 Aspectos Gerais

O Brasil possui aproximadamente 10.800km de linha de costa, distribuídos em cerca de 395 municípios ao longo de 17 estados litorâneos (MMA, 2008; 2010), onde residem 26,6% da população brasileira (IBGE, 2010). Destes, estados como o Amapá e o Rio de Janeiro, por exemplo, possuem mais de 80% de sua população residente na zona costeira (IBGE, 2010), o que indica um alto nível de pressão antrópica sobre a mesma. Entretanto, esta intensa ocupação se torna um problema quando interfere na dinâmica das praias, impedindo o livre transporte de sedimentos nestas áreas (MUEHE, 2005).

O transporte de sedimentos no ambiente costeiro acontece através da combinação de processos dinâmicos como ventos, ondas e correntes. Dos agentes transformadores da morfologia e perfil praial, destaca-se a ação das ondas incidentes, capazes de retrabalhar e redistribuir o sedimento inconsolidado transportando-o perpendicular ou longitudinalmente ao longo da linha de costa, acarretando em processos deposicionais e erosivos (VAN RIJN, 1998). Como resultado deste transporte, o balanço sedimentar é o que define a forma final da praia.

O conceito de balanço sedimentar e a sua estimativa envolve entender as fontes e sumidouros de sedimentos, os caminhos e a magnitude do transporte sedimentar para uma determinada região (célula litorânea) ao longo de um período de tempo definido (Equação 1; Figura 1) (KOMAR, 1976). A partir daí pode-se avaliar as consequências e a dimensão destas na evolução costeira natural (ex.: erosão costeira próxima a desembocaduras) e os possíveis efeitos da interferência humana nestas regiões (ex.: construção de quebra-mares, barragens, mineração de areia) (VAN RIJN, 1998).

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \varepsilon \left(\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} \right) - \frac{\partial V}{\partial t} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde h é a variação de nível no tempo a cada par de pontos (x, y) . Representa diminuição no caso de erosão e aumento no caso de acreção; t é o tempo; ε é a porosidade do sedimento; C é a concentração de sedimentos em suspensão; q_x é o fluxo de sedimentos normal à costa; q_y é o fluxo de sedimentos paralelo à costa e; V são os ganhos e perdas de sedimentos. Em outras palavras, o primeiro termo da equação é o que está entrando na zona de surfe e o segundo é o que é retirado ou adicionado do material em trânsito.

A zona costeira, de forma geral, sem nenhum tipo de ação estrutural, pode ser considerada em balanço sedimentar em equilíbrio, ou seja, a quantidade de sedimentos que entra é a mesma que sai de um sistema (KOMAR, 1976; USACE, 2002a). Quando, seja por causa natural ou antrópica, o balanço de sedimentos é alterado, pode resultar em processos erosivos. A erosão costeira acontece quando há mais perdas de sedimentos que ganhos, alterando o equilíbrio dinâmico original do local (KOMAR, 1976). E, segundo Muehe (2006), ao longo de todo o litoral brasileiro, o resultado é o predomínio de balanço negativo de sedimentos, ou seja, processos erosivos sobre os de acresção e equilíbrio.

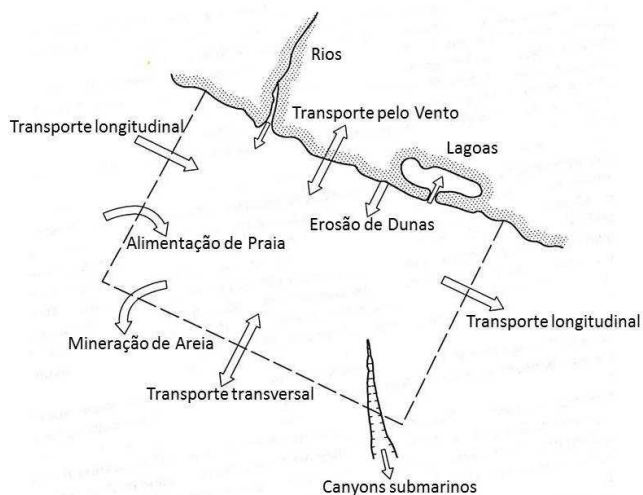


Figura 1 – Fontes e sumidouros atuando no balanço sedimentar costeiro. Fonte: Van Rijn (1998).

A intensificação desses processos erosivos está diretamente ligada às ocupações indiscriminadas que ocorrem junto ao prisma praial, no processo de urbanização da zona costeira, e na intervenção pelo homem através de estruturas que acarretam na diminuição do fornecimento de sedimentos ao longo do litoral por via fluvial (ex.: barragens e dragagens), na degradação de estruturas naturais (e.g., construção sobre dunas e extração de areia) e em obras de engenharia costeira (ex.: molhes e obras de proteção costeira) (KOMAR, 1976; ALVEIRINHO DIAS, 1993; MUEHE, 2006), trazendo consigo prejuízos socioeconômicos para a população.

A fim de mitigar estes prejuízos, faz-se então necessária a implantação de medidas de prevenção, e/ou obras de proteção e/ou recuperação costeira.

A prevenção à erosão costeira acontece quando são planejadas ações de ordenamento territorial e gerenciamento de perigos⁵ e riscos⁶ costeiros. Estas ações, consideradas como não estruturais, são dependentes da compatibilização entre as políticas públicas que atuam na zona costeira a nível federal, estadual e local, sendo eficazes com menores custos e com efeitos em longo prazo de atuação.

Porém quando ações preventivas não bastam contra a inundação causada pelo aumento do nível do mar, pela incidência de ondas extremas e/ou por eventos sucessivos de erosão decorrentes de tempestades, recorre-se às ações estruturais de proteção e/ou recuperação costeira. Entretanto obras na zona costeira sem considerar metodologias adequadas podem apresentar resultados com medidas mal sucedidas e custos elevados. Constituindo assim na degradação dos recursos naturais que representam uma ameaça à sustentabilidade econômica e a qualidade ambiental e de vida das populações humanas (FARINACCIO, 2008).

O desafio é, portanto lidar com perigos e riscos costeiros de forma a integrar sem depreciar o uso da praia pelo homem com os processos costeiros naturais envolvidos. Neste contexto, o objetivo deste capítulo é apresentar medidas de prevenção e metodologias de proteção e/ou recuperação costeira frente a processos erosivos atuantes na zona costeira.

2.2 Alternativas para Prevenção, Proteção e Recuperação Costeira

Gilbert e Vellinga (1990) apresentaram cinco alternativas para mitigar danos costeiros frente às mudanças climáticas (eventos de grandes tempestades, aumento do nível do mar): Adaptação, retração, proteção com estruturas fixas, proteção com alimentação praial e a alternativa de fazer nada (Figura 2).

A adaptação costeira pode se dar através, por exemplo, da elevação de estruturas, de restrições de zoneamento, de avisos de tempestade e, se for o caso, do planejamento para situações emergenciais (ex.: remoções de pessoas em casos de inundação). A retração é a mudança permanente e/ou o abandono da infraestrutura costeira para reacomodação em um novo local, a qual pode ser feita de maneira preventiva. Ambas são ações consideradas não estruturais de prevenção à erosão costeira.

⁵ Perigo é definido como qualquer evento, fenômeno físico ou resultado da atividade humana, que pode causar danos em termos de perda de vidas humanas, propriedades, perdas socioeconômicas e degradação ambiental na zona costeira (CEPAL, 2011).

⁶ Risco é a probabilidade de consequências prejudiciais ou perdas esperadas resultantes de um perigo em um período de tempo (CEPAL 2011).

Alternativas para Proteção Costeira (Mitigação de danos causados por marés de tempestades, aumento do nível do mar, erosão costeira)

Hoje



Ações Mitigadoras

Adaptação



Proteção com estruturas



Proteção com alimentação praial



Retração



Fazer nada



Figura 2 – Alternativas de proteção costeira. Fonte: USACE (2002b, adaptado de Gilbert e Vellinga, 1990).

A alternativa de proteção utilizando estruturas fixas (obras de reflexão ou retenção de sedimentos) como muros de proteção, quebra-mares, espigões e molhes faz com que haja um maior controle sobre o transporte sedimentar costeiro, visando à diminuição da taxa de erosão local por retenção de sedimentos. Já a proteção e/ou recuperação através da alimentação praial é caracterizada como a adição de sedimentos sob o perfil de praia submerso e subaéreo e/ou nas dunas para reconstrução destes, além de ser utilizado para manter o balanço de sedimentos na região. Estas duas alternativas são consideradas como ações estruturais de proteção da costa e, se associadas, podem potencializar a solução para o problema de erosão costeira.

No Quadro 1 é apresentado uma análise comparativa entre as alternativas de adaptação, retração e proteção utilizando estruturas fixas e/ou através da alimentação praial.

Por fim, a opção de fazer nada permite que a erosão continue e os danos causados apenas sejam contabilizados. Esta ação é apenas indicada quando as ações estruturais e não estruturais forem consideradas inviáveis ou não forem viáveis economicamente (USACE, 2002b).

Quadro 1 – Análise comparativa entre as alternativas de adaptação, retração e proteção com estruturas fixas e/ou alimentação praial. Fonte: Modificado de Machado (no prelo, derivado de Bello (2016)).

	Adaptação	Retração	Proteção com Estruturas Fixas e/ou Alimentação Praial
Modo de Operação	Melhora a resiliência das populações costeiras, aumentando a sua capacidade em conviver com os impactos de eventos.	Reduz a vulnerabilidade ao impacto causado pelo aumento do nível do mar através da limitação dos danos causados.	Reduz a vulnerabilidade ⁷ ao impacto causado pelo aumento do nível do mar, através da diminuição da probabilidade de ocorrência deste impacto.
Requisitos Chaves	Habilidade e disposição de efetuar mudanças no estilo de vida.	Disponibilidade de terra sobressalente ou comunidades de acolhimento em caso de retração.	Níveis altos de tecnologia, na maioria dos casos.
Efeitos nos Ecossistemas Costeiros	Permite que os ecossistemas costeiros se adaptem naturalmente.	Permite que os ecossistemas costeiros se adaptem naturalmente.	A proteção com estruturas fixas pode levar a uma perda de ecossistemas costeiros através da compressão costeira ⁸ . Entretanto a proteção com alimentação praial gera zonação morfológica e biológica.
Implicações Econômicas	Possui potenciais benefícios econômicos compensatórios, uma vez que a terra inundada pode ser usada para novos fins de geração de renda. Requer investimentos econômicos como os incididos na implementação de mudanças de uso da terra, modificações de construções e criação de infraestrutura de alerta confiável.	A prevenção de perda de vidas possui valor inestimável. No entanto, retirar comunidades de terras agrícolas altamente produtivas ou investimentos costeiros valiosos pode ser muito oneroso.	Benefícios econômicos em função da prevenção da perda de renda e dos danos físicos aos recursos naturais e artificiais. Porém os custos com a construção e manutenção das estruturas de proteção, além de receita perdida por quaisquer mudanças culturais, sociais e ambientais podem ser elevados.
Impactos Sócio-culturais	Alteração na adaptação podem criar condições de vida menos desejáveis ou podem requerer mudanças de estilos de vida que são difíceis de implementar.	O aumento da pressão sobre a infraestrutura nas comunidades de acolhimento pode desagradar os anfitriões, criando hostilidade entre estes e a população realocada.	As medidas de proteção podem causar efeitos negativos nas zonas costeiras não protegidas pelas estruturas de proteção.

⁷ Vulnerabilidade é a capacidade de uma determinada comunidade ou área geográfica de antecipar, enfrentar, resistir e se recuperar do impacto causado por uma ameaça ou risco, sendo a mesma constituída por múltiplos fatores institucionais, econômicos e socioculturais (CEPAL, 2011).

⁸ O termo compressão costeira (*coastal squeeze*) descreve o processo de subida do nível do mar e outros fatores, como o aumento das ondas de tempestade, que empurram os habitats costeiros em direção ao continente. Da mesma forma, em áreas com estruturas de desenvolvimento urbano ou de proteção costeira, onde uma margem artificial e estática entre a terra e o mar é criada, habitats costeiros são comprimidos (DOODY, 2013).

Contudo, o paradigma é, um sistema que se aproxima do estado original de uma praia, antes da degradação induzida por impactos humanos, deve incorporar, pelos projetos de engenharia, também funções morfológicas e ecológicas que se baseiam nos princípios da forma e função que imitam a natureza (NORDSTROM, 2000; WATERMAN, 2010), ou seja, devem criar ou recuperar a zonação morfológica e biológica previamente existente. Neste sentido, Klein *et al.* (2005), modificado de Nordstrom (2000), apresenta um modelo conceitual simplificado de ações preventivas e mitigadoras que refletem na recuperação do ambiente praial (zona costeira) ao longo do tempo (Figura 3). Os autores contam como historicamente se dá a implementação de ações de mitigação, sendo a recuperação a intervenção mais avançada dessas ações e a prevenção uma ação ainda recente.

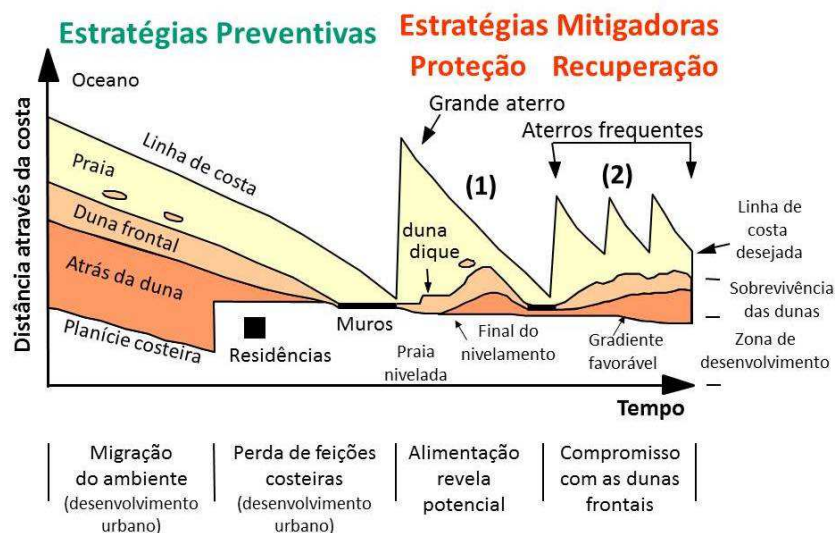


Figura 3 – Modelo conceitual de estratégias preventivas e mitigadoras de acordo com o paradigma proposto por Klein *et al.* (2005), modificado de Nordstrom (2000). Em (1) é possível observar um grande volume de alimentação praial que não recupera a praia, mas providencia uma proteção de emergência a esta. Neste caso as dunas e os ambientes praias nem sempre estão presentes. Aqui é importante destacar que objetivos de curto prazo desperdiçam dinheiro em longo prazo. Em (2) é possível observar volumes menores de alimentação praial, mas frequentes, promovendo uma recuperação da zona costeira (praia e dunas) em longo prazo. Economiza dinheiro em longo prazo pois o aumento do volume residual diminui os intervalos dos projetos e requisitos dos aterros. Fonte: Adaptado de Klein *et al.* (2005).

Neste modelo conceitual (ver Figura 3) são apresentadas medidas mitigadoras divididas em duas principais categorias: (1) Proteção costeira utilizando estruturas fixas ou material sedimentar para defesa de benfeitorias contra o ataque direto de ondas; (2) Recuperação do ambiente praial (zona costeira) o mais próximo de suas características originais, com a zonação morfológica e biológica reestabelecidas. Muitas vezes ações mitigadoras são necessárias em

praias impactadas pelo desenvolvimento urbano, especialmente em locais onde este desenvolvimento não é supervisionado ou é ilegal (KLEIN *et al.*, 2009). E dentre as opções disponíveis, o aumento da largura da praia através de repetitivos episódios de alimentação praial é a estratégia apresentada que fornece maior benefício para a estabilização da linha de costa (ver Figura 3).

No Brasil, muitas ações corretivas, ao longo do litoral, tendem a focar exclusivamente na estratégia mitigadora que proporciona apenas proteção imediata (KLEIN *et al.*, 2009; MUEHE, 2006). Uma abordagem mais eficaz seria aplicar uma recuperação baseada na ciência, a qual é mais duradoura e econômica, do que recorrer a soluções políticas que irão falhar devido à falta de percepção e apreciação de esforços anteriores bem sucedidos em outros lugares (KLEIN *et al.*, 2005). Outro fator importante, é que praias em processo erosivo natural ou devido a ação do homem, mesmo após uma intervenção, irão continuar em processo erosivo (balanço sedimentar negativo), pois não há como controlar a ação de tempestades ou elevação do nível do mar. Ou seja, sempre estará sendo feito um projeto que visará mitigar o processo erosivo, por isso o método “Construindo com a Natureza” (*Building with Nature*) (WATERMAN, 2010) é o considerado mais efetivo. Neste modelo (ver Figura 3), compreende-se que os processos erosivos são contínuos e não ocorrem de uma hora para outra, e que é possível fazer um planejamento estabelecendo uma linha da qual a praia não deve mais recuar (largura mínima). Quando chegar nesta posição, obrigatoriamente deve-se fazer um novo projeto de proteção ou de recuperação costeira.

Já as medidas com áreas de recuo e adaptação descritas anteriormente são aqui consideradas medidas preventivas, ou seja, devem ser implementadas antes que seja necessária a realização de uma medida de mitigação.

2.2.1 Ações Não Estruturais – Prevenção para que a Erosão Costeira não Atinja as Benfeitorias

Ações não estruturais são medidas que não interferem de forma física com a zona costeira, mas que atuam nos aspectos socioeconômicos desta, gerando condições de contorno mais favoráveis no sentido de reduzir as intervenções estruturais (ALFREDINI, 2005).

Normalmente ações não estruturais são ações de planejamento territorial e gerenciamento de riscos e perigos costeiros. Metodologias que auxiliam na identificação, classificação e/ou quantificação de perigos (ex.: KLEIN *et al.*, 2016) e riscos (ex.: BONETTI *et al.*,

2012) costeiros são importantes instrumentos de suporte da gestão integrada da zona costeira. Assim, entre outras ações, podem ser citadas algumas ações para a conservação da zona costeira (ALFREDINI, 2005; SCHERER, 2013):

- Faixa de terreno sem construções para conservação da praia natural;
- Limites para a mineração nas bacias hidrográficas que contribuem com o transporte litorâneo;
- Preferir o desenvolvimento urbano normal à costa e não concentrado na zona costeira;

Destes, o primeiro pode ser citado como o mais usual ao longo do globo. A criação de uma zona de amortecimento ou proteção (*setback distance*) da praia, uma faixa de terreno da planície costeira, paralela e junta à praia, com determinada largura mínima, medida a partir do limite superior da praia (própria planície costeira ou alguma estrutura antrópica) no sentido do continente, seria uma alternativa (SOUZA, 2009a). Segundo a autora, esta zona deveria: (1) ser conservada de qualquer ocupação antrópica; (2) ter restaurada as condições de permeabilidade original do terreno, com a recuperação da duna frontal anteriormente existente e, de preferência, da sua vegetação original.

Segundo o Decreto Federal nº 5.300/04 que dispõe sobre regras de uso e ocupação da zona costeira e estabelece critérios de gestão da orla marítima, no seu Art. 23, o limite da orla marítima (zona costeira) é demarcado como a isóbata batimétrica de 10m, e o limite terrestre como 50m em áreas urbanizadas e 200m em áreas não urbanizadas, em direção ao continente a partir da linha de preamar ou do limite final do ecossistema (BRASIL, 2004).

No Brasil, as praias oceânicas são bens da União, assim como o Mar Territorial e os Terrenos de Marinha (SENADO FEDERAL, 1988), onde o órgão competente para a gestão é a Secretaria do Patrimônio da União (SPU). Mas, apesar de constar como competência da SPU, muitas vezes a gestão e fiscalização das praias são exercidas pelo poder municipal, onde essa sobreposição de responsabilidade entre os diferentes órgãos pode levar a conflitos (Figura 4) (SCHERER, 2013).



Figura 4 - Perfil da zona costeira, instrumentos e competências. Fonte: Scherer (2013, adaptado do Manual de Fundamentos para Gestão Integrada - Projeto Orla (MMA, 2006)). ZEEC = Zoneamento Ecológico Econômico Costeiro; PGZC = Plano de Gestão da Zona Costeira.

Entre os instrumentos municipais para gestão da zona costeira, apresenta-se no Quadro 2 instrumentos previstos no Estatuto da Cidade (BRASIL, 2001) e em outros institutos jurídicos para auxiliar o Poder Público (STROHAECKER; TOLDO JR, 2009). Os autores sugerem maiores recuos frontais para novas edificações em ambientes suscetíveis⁹ à perigos naturais e, em áreas já ocupadas, medidas compensatórias aos proprietários no seu direito de construir, descontadas as áreas apropriadas sem autorização do sistema praial, ou desapropriadas por interesse público.

No entanto, se destaca que no Brasil de forma geral, o instrumento que tem o objetivo de planejar os usos da praia é o Projeto de Gestão Integrada da Orla Marítima – Projeto Orla (SCHERER, 2013). Este é um instrumento do Programa Nacional de Gerenciamento Costeiro, estabelecido pelo Decreto Federal 5.300 de 2004 (BRASIL, 2004), o qual possui como principal objetivo:

“compatibilizar as políticas ambiental e patrimonial do governo federal, no trato dos espaços litorâneos sob propriedade ou guarda da União, buscando dar uma nova abordagem ao uso e gestão dos terrenos e acrescidos de marinha, como forma de consolidar uma orientação cooperativa e harmônica entre as ações e políticas praticadas na orla marítima” (MMA, 2006).

A metodologia deste projeto leva em consideração a cooperação entre as diversas esferas governamentais, União, Estado e Município, além de levar em consideração a

⁹ Suscetibilidade é a intensidade ou probabilidade de resposta de um ambiente ou sistema frente a um perigo, incluindo tanto os efeitos prejudiciais como benéficos (CEPAL, 2011).

participação popular. No entanto, o uso pretendido na zona costeira não deve se sobrepor à legislação existente ambiental (ex.: Áreas de Preservação Permanente) ou regras de uso da praia (ex.: Uso privado da faixa de areia) (SCHERER, 2013). Ele também institui um Plano de Intervenção, sendo preparado com base no reconhecimento das características naturais e nos tipos de uso e ocupação existentes e projetados para a zona costeira (SOUZA, 2009b).

Quadro 2 - Instrumentos jurídicos que viabilizam uma zona de proteção à costa nos municípios litorâneos. Fonte: Strohaecker e Toldo Jr (2009).

Legislação	Instrumento	Sugestão	Localização
Plano Diretor	Recuo frontal (recuo de jardim) para as novas edificações.	Ampliar ao máximo a largura do recuo frontal.	Imóveis situados nas vias adjacentes à zona costeira.
Estatuto da Cidade*	Transferência do direito de construir.	Proprietário do imóvel pode transferir ou vender o estoque potencial de construção a outro investidor.	Imóveis situados nas vias adjacentes à zona costeira.
Estatuto da Cidade*	Direito de preferência na compra.	Preferência de compra pelo poder público municipal para implantação de parque linear à zona costeira.	Áreas mais vulneráveis aos efeitos da energia de ondas e elevação do nível médio do mar.
Legislação municipal específica	Parcelamento do solo urbano	Obrigatoriedade de implantação de parque adjacente à zona costeira com, no mínimo, 150m de largura.	Vazios urbanos; Glebas a serem parceladas para fins de loteamento.
Legislação municipal específica	Parcelamento do solo urbano	Face de quarteirão voltada para a costa fixada, no mínimo, em 120m e, no máximo, em 200m.	Vazios urbanos; Glebas a serem parceladas para fins de loteamento.
Decreto Lei 3.665/41	Desapropriação.	Para fins de implantação de parque adjacente à zona costeira.	Áreas vulneráveis aos efeitos da energia de ondas e elevação do nível médio do mar.

* É necessário instituir legislação específica, em nível municipal, coadunada ao que estabelecem a Lei Orgânica e o Plano Diretor.

Estas ações vão de encontro à políticas internacionais de conservação e recuperação das zonas costeiras, que evidenciam que as diretrizes para preservar a dinâmica natural, providenciar o desenvolvimento sustentável e proteger habitats e paisagens podem ser compatíveis com a necessidade de proteger vidas humanas e assentamentos urbanos dentro de projetos de proteção à costa (Quadro 3) (NORDSTROM, 2008).

Quadro 3– Diretrizes de políticas para gestão costeira aplicáveis a ambientes de praias e dunas. Fonte: Modificado de Nordstrom (2008, derivado da Comissão Helsinki (www.helcom.fi/Recommendations.html) e do Código Europeu de Conduta para Zonas Costeiras (COUNCIL OF EUROPE, 1999) e sintetizado por Nordstrom *et al.*, 2007).

Proteger vidas humanas e assentamentos urbanos
Proteger a faixa costeira
Estabelecer uma faixa de proteção em direção à terra e ao mar ao longo da costa; Restringir atividades que modifiquem permanentemente a paisagem.
Preservar a dinâmica costeira natural
Estabelecer zonas de não desenvolvimento (sem urbanização) para proteção da natureza e segurança contra a elevação do nível do mar; Restringir, remover ou modificar estruturas de proteção fora de área povoadas, em favor de ambientes naturais; Restringir medidas de defesa onde falésias ativas forneçam sedimentos; Utilizar materiais naturais como rochas, areia, solo ou madeira em estruturas de defesa costeira; Considerar a relação mútua entre parâmetros fisiográficos, ecológicos e econômicos; Prevenir a fragmentação do habitat; Criar e manter corredores ecológicos.
Providenciar desenvolvimento e turismo sustentáveis e ambientalmente corretos
Avaliar a capacidade de ocupação do ambiente; Orientar e gerenciar o turismo de acordo com as metas de conservação; Estabelecer novas estruturas turísticas em locais onde tal estrutura já exista; Aumentar a consciência ambiental dos turistas; Ter perda zero de habitats costeiros; Aplicar o princípio do “usuário-pagador” para a gestão e monitoramento ambiental e proteção costeira (Ex. Bombinhas/SC); Tratar a linha de costa como domínio público.
Proteger habitats, paisagens terrestres e marítimas ameaçadas ou em risco
Acrescentar medidas para a proteção de habitats, dando preferência a áreas ameaçadas ou em risco; Proibir atividades que danifiquem habitats ou providenciar medidas de mitigação ou compensação; Conduzir projetos de recuperação para habitats; Prevenir a introdução de espécies exóticas.

Por fim, como ação preventiva, recomenda-se fortemente a aplicação da política do Projeto Orla na zona costeira de todo o Brasil.

2.2.2 Ações Estruturais – Obras de Proteção e Recuperação Costeira

Ações estruturais são medidas físicas (ex.: obras de defesa na costa) contra a erosão costeira que tem o papel de agir na ação das ondas e no transporte de sedimentos favorecendo a estabilização ou a progradação da linha de costa através da reflexão das ondas e retenção e/ou adição de sedimentos (ALFREDINI, 2005; KLEIN *et al.*, 2005).

As obras de proteção e recuperação costeira são utilizadas para proteger ou recuperar os sistemas naturais (falésias, dunas, mangues e praias; gerando zonação morfológica e biótica) ou para proteger elementos humanos (construções, infraestrutura, etc.) do litoral (USACE, 2002b). O tamanho, a forma, a orientação, o tipo de material utilizado, a idade e o

estado de reparo dessas obras tendem, porém, a afetar a capacidade dos processos naturais, paisagens e habitats de evoluírem (NORDSTROM, 2014).

Modelos tradicionais de classificação de obras costeiras tipicamente consideram apenas o tipo ou o peso (densidade) do material com uma referência mínima do desempenho estrutural (KLEIN *et al.*, 2009). Entretanto, é oportuno assumir que as estruturas costeiras foram originalmente desenhadas com base em observações empíricas de feições naturais em ambientes costeiros e que os projetos de engenharia tentam imitar a natureza (ex.: quebramares atuando como ilhas) (KLEIN *et al.*, 2005). Assim, com base em similaridades ambientais e no desempenho das estruturas, Klein *et al.* (2005) propuseram uma classificação funcional que organiza as estruturas costeiras em termos de: (1) Reflexão e/ou dissipação de energia das ondas; (2) Armadilha de sedimentos e; (3) Adição de sedimentos (Quadro 4).

Quadro 4 – Classificação das estruturas costeiras em termos de função. Fonte: Klein *et al.* (2005).

Processo/ Tipo estrutural	Função	Similaridade ambiental	Efeito no balanço sedimentar
1. Reflexão e/ou dissipação de ondas 1.1 Muro vertical 1.2 Enrocamento 1.3 Quebramar	Proteção de estradas, casas, passarelas, etc., contra a ação das ondas, refletindo ou dissipando a energia das ondas.	Costões rochosos, afloramentos rochosos, ilhas.	Negativo como resultado da turbulência da onda e interação e reflexão da onda na base da estrutura. Escavamento da base das estruturas. Rebaixamento do perfil praial.
2. Armadilha de sedimentos 2.1 Espigão 2.2 Quebramar 2.3 Rebaixamento do lençol freático 2.4 Cercas ou plantio de vegetação	Reter sedimentos que estão disponíveis para o transporte longitudinal ou transversal na porção submersa e subaérea da praia.	Promontórios, ilhas, vegetação, deposição de sedimentos na face praial.	Positivo a barlar da estrutura, mas pode ser negativo a sotamar da estrutura.
3. Adição de sedimentos 3.1 Alimentação praial 3.2 Transposição sedimentar 3.2.1 <i>Bypassing</i> 3.2.2 <i>Backpassing</i> 3.2.3 <i>Overpassing</i>	Adicionar ou manter sedimentos dentro da célula costeira.	Transporte de sedimentos longitudinal e transversal à praia.	Mantém em balanço a erosão na célula costeira, negativo na área da jazida e positivo a sotamar.

Da perspectiva de paisagem, projetos de alimentação praial são as melhores soluções para mitigar o problema da erosão, criar espaço recreacional (FINKL; WALKER; 2005) e recriar zonação morfológica e biológica (NORDSTROM, 2008), além de ser a técnica menos intrusiva dentre as opções de obras de engenharia costeira (DEAN; DALRYMPLE, 2004). Por ser a única alternativa que introduz areia ao sistema, ou seja, incidindo diretamente no déficit sedimentar, esta é a solução mais eficaz, benigna e aceitável para a mitigação da erosão praial,

pois recupera a faixa de areia sem trazer impactos diretos para as áreas adjacentes (DEAN; DALRYMPLE, 2004). Este é o chamado conceito de “Construindo com a Natureza” (*Building with Nature*) amplamente introduzido na literatura pela escola Holandesa de engenharia costeira (WATERMAN, 2010).

2.2.2.1 A Alimentação Praia na Proteção e Recuperação Costeira

A alimentação praial consiste na adição de material arenoso ao longo da costa para estabelecer e, subsequentemente, manter uma largura da praia desejada, utilizando material adequado obtido de áreas de empréstimo (jazidas), com o objetivo de resolver um *déficit* contínuo de sedimentos manifestado pela retração da linha de costa (DEAN, 2002). Esta adição de sedimentos é primeiramente utilizada para proteção costeira, por exemplo, para proteger estradas e casas contra a inundação costeira e a ação das ondas, mas também tem função recreativa e estética (USACE, 2003a) ou de recuperação da zona morfológica e biótica da praia (NORDSTROM, 2008), ou seja, reconstrução do perfil previamente existente. Funciona como um tampão à ação de ondas de tempestades e contra a inundação.

2.2.2.1.1 Planejamento da Alimentação praial

O processo de planejamento de qualquer obra costeira inicia com duas perguntas básicas “Qual é o problema?” e “Qual é o objetivo do projeto?”, sendo ambas tão importantes quanto difíceis de responder, mas que sem uma resposta clara, pode-se não chegar à resolução do problema (USACE, 2003b). É necessário que através da percepção de questões técnicas, científicas e sociais, haja o desenvolvimento de critérios de avaliação de cada passo do projeto de forma a resultar em um projeto otimizado que atenda o problema originalmente declarado. Outro fator importante é que estas obras não devem atender somente indivíduos, e sim uma comunidade inteira, as quais devem fazer parte de um planejamento integrado entre os entes municipais, estaduais e federais, sendo de extrema importância uma consulta pública ou plebiscito à população envolvida.

De forma técnica, deve ser planejado o perfil praial almejado com a alimentação artificial e a frequência da manutenção deste; o ciclo de vida útil da obra; as taxas de erosão pré e pós-projeto; o perfil de equilíbrio pós-projeto; o volume e largura da praia pós-projeto; a compatibilidade do tamanho de grão; possível reestabelecimento das dunas quando da

existência prévia; a determinação de possíveis jazidas para usos repetitivos; o local da obra; e os impactos nas áreas adjacentes do projeto (DELFT HYDRAULICS, 1987). Segundo Dean (2002) são três os fatores primordiais que definem o desempenho geral de uma obra de alimentação praial: o histórico da variação da linha de costa, o conhecimento sobre as características do sedimento nativo e da possível jazida e o clima de ondas do local.

Já questões relacionadas a políticas públicas que devem ser avaliadas incluem o contínuo processo de monitoramento do projeto, em ordem de avaliar: (1) se a obra está em conformidade com o projeto e; (2) o desempenho do projeto de forma a se aplicar a correta manutenção do mesmo (USACE, 2003b). Isso, em obras de alimentação praial, é especialmente importante para estabelecer de quanto em quanto tempo uma nova alimentação será necessária. Salienta-se que é importante estabelecer a posição da linha de costa que deve ser mantida¹⁰ e não permitir que esta recue mais em direção ao continente, fazendo com que muitas vezes haja perda das benfeitorias estabelecidas (por ex.: calçadas).

No Anexo I (Figura 26) é apresentado o passo-a-passo seguido no desenvolvimento correto de um projeto de obras costeiras, conforme o processo de planejamento descrito no Manual de Engenharia Costeira (*Coastal Engineering Manual - CEM*) (USACE, 2003b).

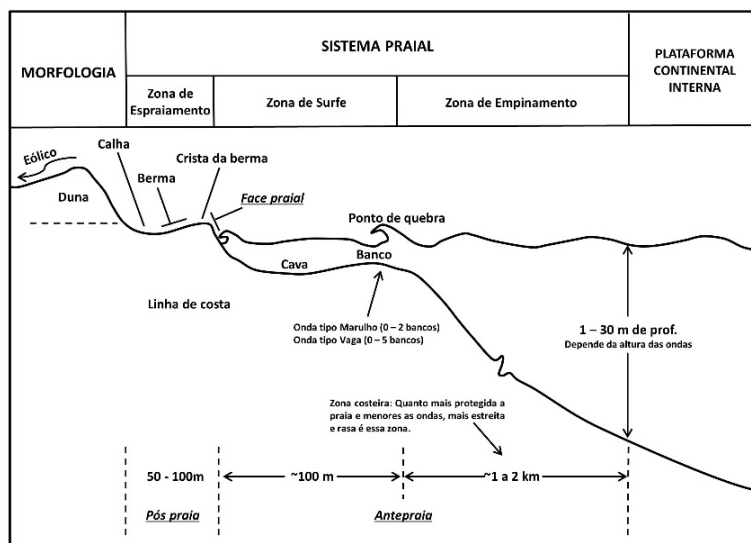
2.2.2.1.2 Definição de Praia e a Influência do Tamanho de Grão na Alimentação Praial

Existem várias definições de praia na literatura nacional e internacional, sendo aqui apresentada a que inclui as modificações induzidas pelo homem. Ou seja, praias são definidas como um espaço arenoso entre a zona de surfe e a duna frontal ou estruturas construídas pelo homem (ex.: passarelas de pedestres), formadas por componentes de diferentes amplitudes, pela influência dos processos naturais (ex.: morfodinâmica) assim como por intervenções humanas (ex.: estruturas de proteção) e atividades recreacionais (ex.: esportes, banho) que permanentemente interagem num processo de retroalimentação (KLEIN *et al.*, 2009). Possuem como principais funções: a proteção contra a ação das ondas e a inundação, paisagem, estética, recreação, lazer e turismo.

¹⁰ A exemplo dos Países Baixos (*Netherlands*) que definiu que através de uma política pública a manutenção da linha de costa deve permanecer na mesma localização do ano de 1990.

Praias, em dimensão espacial, podem ser definidas em duas dimensões de acordo com sua zonação hidrodinâmica e morfológica (Quadro 5) e em três dimensões se for incluída a extensão longitudinal destas (SHORT, 1999).

Quadro 5 – Zonação hidrodinâmica e morfológica de um sistema praial de alta energia visto em perfil. Praias de menor energia são menores em escala e tem uma pequena ou não existente zona de surfe. Fonte: Adaptado de Short (1999).



Zonação Hidrodinâmica:

- **Zona de Empinamento:** Região onde a onda começa a sentir o fundo (profundidade de fechamento) e se deformar até a sua quebra;
- **Zona de Surfe:** Região onde ocorre o processo de quebra da onda (deslizante, mergulhante, ascendente ou frontal) e este domina a geração de correntes e o transporte de sedimentos até a região onde a onda colapsa e espraia;
- **Zona de Espraçamento:** Região desde onde a onda colapsa até onde o seu espraçamento alcança, é identificada como aquela onde ocorre o máximo fluxo e o mínimo refluxo da onda.

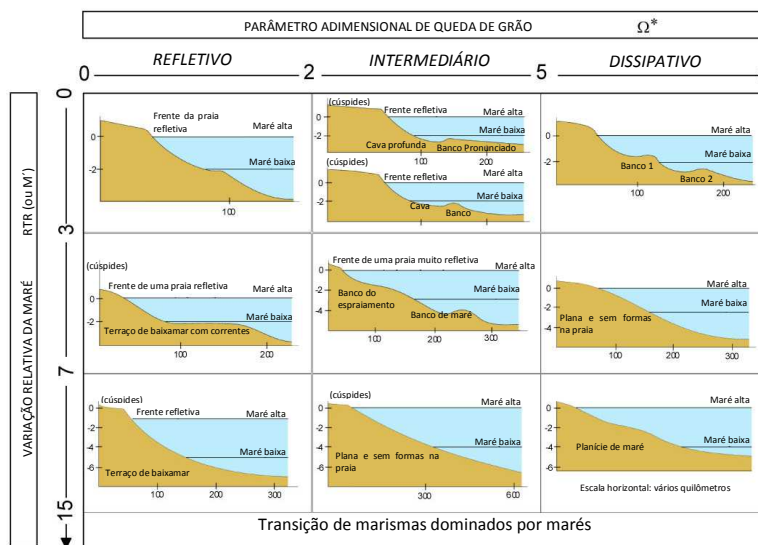
Zonação Morfológica

- **Antepraia:** Porção do perfil que se estende desde o limite da plataforma continental interna até o limite do *runup*;
- **Face Praial:** Região onde domina o processo de espraçamento da onda, estendendo-se a partir da elevação da maré baixa até o máximo do espraçamento;
- **Pós-Praia:** Região entre o limite superior do espraçamento (algumas vezes da crista da berma) e a base da duna frontal ou outra feição fisiográfica. Nesta região domina a ação do vento em condições normais e durante eventos de tempestade é inundada e modificada pela ação das ondas.

A resposta do perfil da praia frente ao clima de ondas levou ainda Masselink e Short (1993) a dividir as praias em diferentes estados morfodinâmicos¹¹ de acordo com as características da costa, clima de ondas e variação da maré (Quadro 6).

Quadro 6 - Estados morfodinâmicos de praias com maré. Fonte: IH CANTABRIA – MMA (no prelo a).

Masselink e Short (1993) complementaram o modelo de Wright e Short (1984) introduzindo o efeito da maré por meio do parâmetro adimensional RTR (ou M') que mede a variação relativa da maré à altura da onda. Utilizando os parâmetros RTR (ou M') e Ω^* , definiram os seguintes estados morfodinâmicos:



Parâmetro adimensional de queda do grão: $\Omega^* = \frac{H_b}{wT}$

Parâmetro de variação relativa da maré: $RTR = \frac{MSR}{H_b}$

Onde:

H_b = Altura significativa de onda na arrebentação;

T = Período de pico;

w = Velocidade de queda do grão;

MSR (ou M) = Variação da maré.

É importante destacar que o parâmetro adimensional de queda do grão, Ω^* , que define o estado morfodinâmico da praia, é fortemente influenciado por mudanças temporais em tamanhos de sedimentos, pelo grau de seccionamento dos sedimentos, padrões sazonais das ondas e a introdução de novos sedimentos ao sistema costeiro através de projetos de

¹¹ Morfodinâmica é o ajuste mútuo entre a topografia e a dinâmica do fluido envolvendo o transporte de sedimentos no tempo (WRIGHT; THOM, 1977).

alimentação praial (Figura 5) (BENEDET *et al.*, 2004). Salienta-se que dentro deste contexto, o mais importante a destacar é que cada tipo de praia está em equilíbrio com o tamanho de grão disponível e o clima de ondas local. Ao mudar o tamanho de grão de uma praia num projeto de alimentação praial, existe uma tendência de mudar também o estágio morfodinâmico desta. Outro ponto importante é que os diferentes tipos de praias apresentam diferentes posições do estoque sedimentar para ser retrabalhado durante eventos de maior energia. Em praias refletivas o estoque sedimentar está na parte aérea, já em praias dissipativas está em bancos na parte submersa. Praias intermediárias encontra-se em ambos os locais (Figura 6).

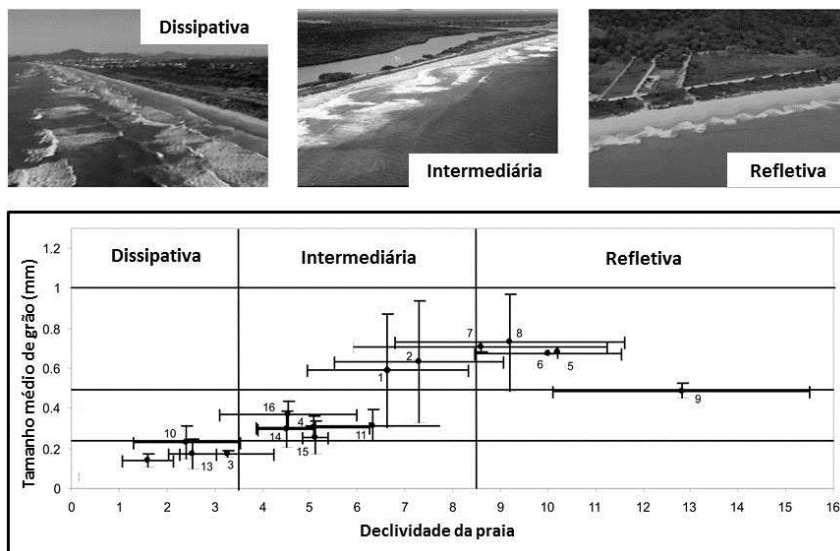


Figura 5 – Exemplo de como diferentes tamanhos de grãos e declividades definem o estágio morfodinâmico da praia. Fonte: Klein e Menezes (2001).

Benedet *et al.* (2004) demonstraram que a adição de sedimento mais grossos e mais finos a uma praia, podem resultar em praias intermediárias. Os mesmos autores ainda evidenciaram que a adição de sedimentos da face da praia, com altas concentrações de sedimentos mais grossos e presença de fragmentos de conchas resultará em uma sessão mais inclinada da praia, produzindo uma tendência de praia com estado morfodinâmico refletivo. Já a adição de amostras de sedimentos com predominância de finos, produzem uma tendência de praia com estado morfodinâmico dissipativo, ou seja, o sedimento se depositará na porção submersa (Figura 6).

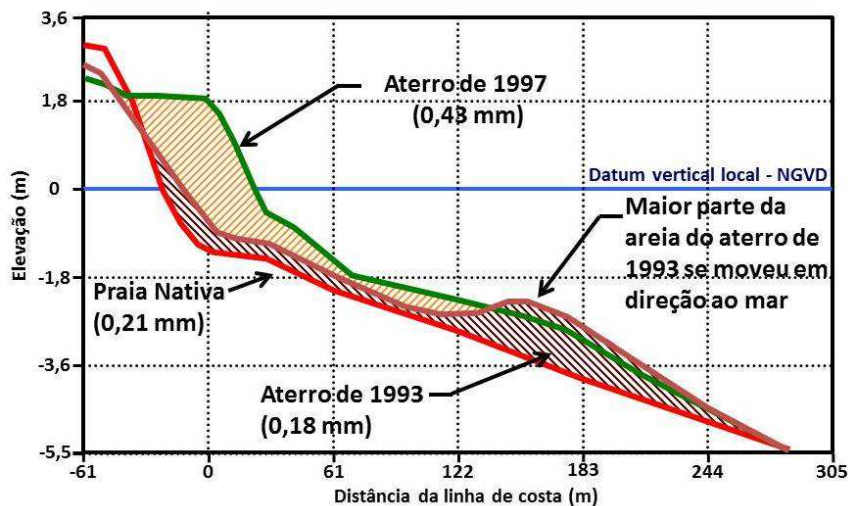


Figura 6 - Perfis praias médios encontrados por Benedet *et al.* (2004) na praia de Longboat Key (EUA), apresentando as diferentes respostas hidrodinâmicas ao aterro (alimentação praial) com sedimento mais fino que o nativo (1993) (declividade suave e um sistema de bancos bem definidos) e ao aterro com sedimento mais grosso que o nativo (1997) (declividade íngreme sem bancos). Fonte: Modificado de Benedet *et al.* (2004).

Assim, conclui-se que o tipo de sedimento adicionado a uma praia terá uma forte relação com a localização em que este se encontrará no perfil praial. Desta forma o ideal, portanto para caracterizar o ambiente praial para a escolha da jazida em um projeto de alimentação, é utilizar amostras de sedimentos do perfil como um todo desde a parte submersa até a subaérea (além de amostragens longitudinais na área toda), sendo este mais representativo para definição do tamanho de grão utilizado num projeto de alimentação praial (amostragem composta). Ou seja, amostras de sedimentos compostos (incluindo amostra de todo o perfil ativo) reproduzem um ambiente praial mais próximo do original.

De forma resumida, sem saber-se qual o tamanho de grão disponível na jazida, não é possível dimensionar o perfil de equilíbrio que resultará, nem o volume a ser adicionado e consequentemente quanto será o investimento necessário (R\$) para a realização da obra de alimentação praial. **Este é o primeiro passo de um projeto de alimentação praial.**

2.2.2.1.3 Definição da Linha Base de Projeto

A linha de costa, por causa da dinâmica natural da zona costeira, pode variar constantemente, de curtas a longas escalas de tempo (ex.: ressacas, ciclos de marés, etc.)

(BOAK; TURNER, 2005). E segundo os mesmos autores são utilizados diferentes indicadores, como feições físicas (ex.: interface areia seca/molhada, linha de preamar, linha de vegetação, etc.), para representar a sua real posição ao longo da costa.

Sabe-se que mudanças sazonais no clima de ondas causam mudanças na posição da linha de costa de uma maneira cíclica, por vezes com maior faixa de areia, por vezes menor. Mas uma observação comum no perfil de praia é que este mantém uma forma média característica de cada costa, com exceção de mudanças causadas por eventos extremos de tempestade (COPOBIANCO *et al.*, 2002). Neste sentido, se a forma do perfil não mudar, qualquer ponto é suficiente para especificar a localização de um perfil inteiro em relação a uma linha de base. **Sendo assim, este é o segundo passo na realização de um projeto de alimentação praial, a definição de uma linha de base.**

A linha de costa de base é a largura em que a praia, em sentido a terra, não deverá recuar em função do processo erosivo. Um exemplo é a linha de costa base fixada nos Países Baixos, onde a posição da linha de costa atual não pode ser menor que a linha de costa do ano 1990 (MIN V&W, 1990). Esta linha de costa de referência foi definida com base em processos físicos e formalmente estabelecida em um processo político, onde o Ministério dos Transportes, Obras Públicas e Gestão da Água dos Países Baixos é o principal responsável pela execução desta política (VAN KONINGSVELD *et al.*, 2007). Isso significa dizer que quando a erosão atinge esta linha, obrigatoriamente um projeto de alimentação praial deve ser executado, já que o processo erosivo é contínuo em local com erosão.

A linha de base pode ser definida através do uso de um GPS/RTK aquisitando em campo a posição desta com base no indicar escolhido ou através da análise de fotografias aéreas verticais e imagens de satélites previamente georreferenciadas (Figura 7) (KLEIN *et al.*, 2016).



Figura 7 – (A) Levantamento da linha de costa em campo com uso de um GPS/RTK adaptado a uma roda de bicicleta sobre o indicador areia seca/molhada. Fotografia Mariela Muler. (B) Representação da linha de costa coletada em campo. Fotografia de fundo SDS, 2010. Fonte: Klein *et al.* (2016).

2.2.2.1.4 Profundidade de Fechamento

A profundidade de fechamento, ou limite do perfil ativo, terceira etapa de um projeto de alimentação praial, é a profundidade imediatamente em direção ao mar da zona de surfe, onde a força das ondas não produzem mais mudanças morfológicas mensuráveis (da ordem de $\pm 0,1\text{m}$) (VAN RIJN, 1998). A partir desta profundidade o transporte de sedimentos transversal e longitudinal causado pela ação das ondas não é mais expressivo.

Hallermeier (1978, 1981) definiu duas profundidades de fechamento, sendo uma interna, h_* , mais próxima a costa, que limita uma intensa atividade no fundo oceânico e uma externa, h_{fe} , mais profunda onde espera-se que ocorra o mínimo de transporte sedimentar pelas ondas (Figura 8). Segundo Dean (2002), a profundidade interna é a que possui relevância na engenharia sendo apropriada para um projeto de alimentação praial.

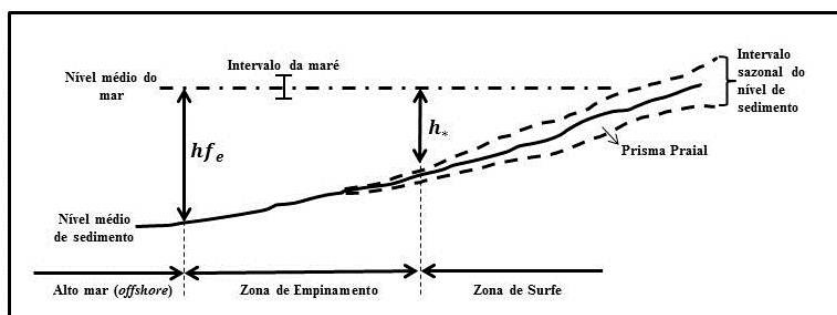


Figura 8 - Zonagem do perfil praiar transversal à costa destacando as profundidades de fechamento interna (h_i) e externa (h_{fe}). Fonte: Hallermeier (1981).

A profundidade de fechamento interna pode ser medida através do monitoramento de perfis ao longo dos anos e em períodos de acreção e erosão praiar. Em maré baixa, com topografia, e na maré alta, com batimetria, ao unir esses dados num mesmo nível de referência e localizar a profundidade onde o perfil praiar não sofre mais alterações significativas mensuráveis (VAN RIJN, 1998; CAMPBELL; BENEDET, 2004a) (Figura 9). No entanto, hoje no Brasil, não existe um Datum vertical comum para áreas emersas (Datum IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) e imersas (Datum DHN – Diretoria de Hidrografia e Navegação), sendo que o primeiro (IBGE) tem como referência o nível médio do mar medido entre os anos de 1948 e 1957 em Imbituba e, o segundo (DHN) tem como referência o nível médio das baixamare de sizígia. Isto implica em uma diferença entre os “zeros” das duas bases (Figura 10), a qual deve ser calculada e corrigida possibilitando a união destas. Uma das metodologias para essa correção é apresentada por Klein *et al.* (2016).

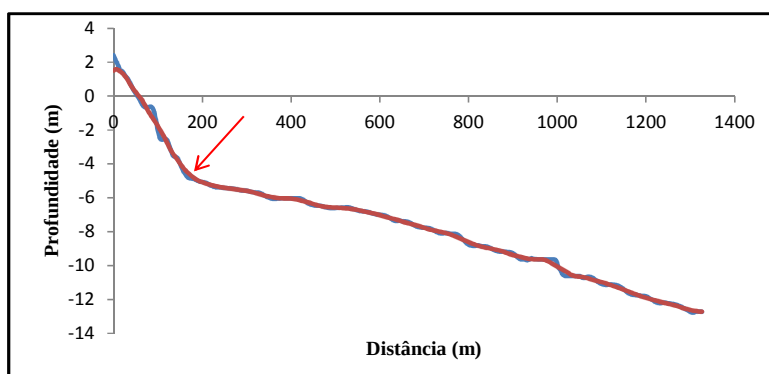


Figura 9 - Identificação da profundidade de fechamento interna do perfil praiar. Seta indicando a posição do perfil onde a declividade tende à zero. Fonte: Klein *et al.* (2016)

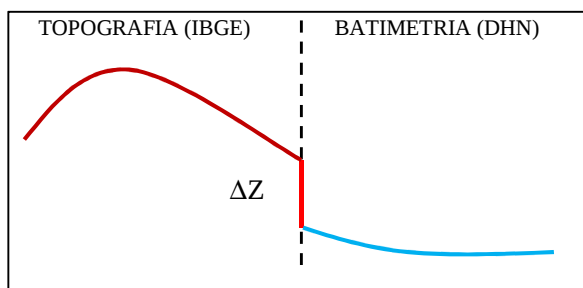


Figura 10 – Representação esquemática indicativa da inconsistência entre as referências verticais topográficas (IBGE) e batimétricas (DHN). Z = Cota. Fonte: Klein *et al.* (2016).

Em caso de impossibilidade de medição, a profundidade de fechamento também pode ser estimada pelas Equações 2, 3 ou 4.

$$\text{Hallermeier (1978): } h_* = 2,28H_{S12} - 68,5 \left(\frac{H_{S12}^2}{gT_s^2} \right) \quad (\text{Eq. 2})$$

$$\text{Hallermeier (1981): } h_* = 2H_{S12} + 11\sigma \quad (\text{Eq. 3})$$

$$\text{Birkemeier (1985): } h_* = 1,75H_{S12} - 57,9 \left(\frac{H_{S12}^2}{gT_s^2} \right) \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde H_{S12} é a altura significativa de onda excedida 12 horas ao ano (m), T_s é o período significativo de onda associado a H_{S12} (s), g é a aceleração da gravidade (m/s^2) e σ é o desvio padrão da altura de onda. Neste caso necessita-se do monitoramento do clima de ondas por um determinado período ou ter acessível dados de reanálise de ondas (por ex.: dados do SMC Brasil (IH CANTABRIA – MMA, no prelo b)).

O conceito de profundidade de fechamento foi estimado através de dados de campo em laboratório e embora seja mais um conceito que uma realidade, esta providencia uma base essencial para um projeto de alimentação praial (DEAN, 2002). Além de definir a profundidade do perfil ativo para a alimentação, ou seja, até onde o sedimento introduzido será distribuído, também esta é necessária para o cálculo da largura da praia seca.

A profundidade de fechamento do perfil, h_* , depende única e exclusivamente das ondas, assim sendo, uma praia aberta, ou seja, exposta a uma frente de onda mais energética, apresentará um perfil ativo mais prolongado do que em uma praia protegida. Por considerar o H_{S12} no seu cálculo, um parâmetro que varia de ano para ano, a profundidade de fechamento também varia. Além disso, em projetos de alimentação praial, caso a declividade do perfil seja

muito íngreme, o transporte para profundidades maiores que a de fechamento pode ocorrer devido ao efeito da gravidade (DEAN, 2002).

2.2.2.1.5 Tipos de Alimentação Praia

Um projeto de alimentação praial ao longo de um trecho definido pode ser realizado de três diferentes formas considerando a dimensão transversal à costa (Figura 11) (VAN RIJN, 1998):

- **Reforço da duna:** As dunas são reforçadas ou protegidas em direção a terra ou ao mar acima do nível da base da duna com o objetivo de evitar rupturas destas durante eventos de tempestade;
- **Alimentação na praia:** A areia é colocada na praia como uma camada de reserva alongada de areia ou como uma fonte contínua de sedimentos em um ou mais locais específicos (estoque de areia). É usada principalmente para compensar a erosão local em regiões com dunas relativamente estreitas e baixas (em regiões onde a segurança costeira é crítica) ou quando não há mais espaço para fins recreacionais na praia.
- **Alimentação na antepraia:** Os bancos de areia são formados a partir de material de dragagem como um banco de alimentação em direção ao mar (*offshore*) em águas rasas ou como um banco de “recife” em águas mais profundas para atuar como um filtro para ondas de tempestade. O objetivo é esta areia avançar para a linha de costa sob a ação das ondas ou então manter o volume na célula litorânea.

Dentro do conceito “Construindo com a Natureza” (*Building with Nature*) e a geração de uma gradação morfológica e biológica, o aconselhável é unir a alimentação da duna com a da praia ou antepraia.

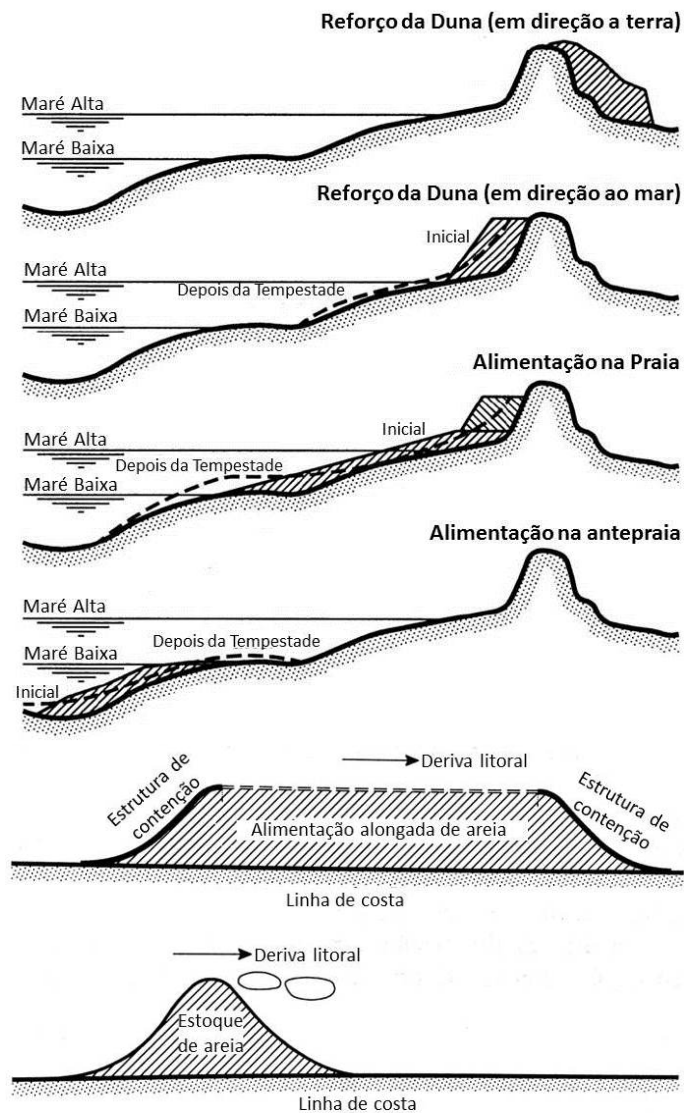


Figura 11 – Perfis transversais de alimentação em ambientes de dunas, praia e antepraia. Abaixo a distribuição dos sedimentos ao longo da costa e a partir de uma fonte (*Sand Engine*¹²). Fonte: Van Rijn (1998).

¹² *Sand Engine* é uma abordagem de intervenção adotada pelos Países Baixos, onde uma alimentação praial muito grande (2,4km comprimento e 1,0km largura) e localmente concentrada (21 milhões de m³) possa estabilizar o litoral na sua posição atual e possa alimentar as seções costeiras adjacentes por um longo período de tempo (20 anos) e espaço (ordem de 10km) (STIVE *et al.*, 2013).

2.2.2.1.6 Jazida de Areia (Fonte de Sedimentos)

A jazida de areia é definida como a área fonte em que o sedimento de boa qualidade e na quantidade adequada será removido para posterior adição à praia, podendo ser localizada em área da plataforma continental (*offshore*) ou na praia, desembocaduras, rios e estuários (jazidas de oportunidade), bem como na planície costeira (projetos pequenos) (DEAN, 2002).

O passo mais importante na alimentação praial é a definição da jazida (primeiro passo), que deve possuir um sedimento compatível, ou seja, com tamanho de grão mais similar ao original. Entretanto como demonstrou Benedet *et al.* (2004) (Item 2.1.2.1.2 – Definição de Praia e a Influência do Tamanho de Grão na Alimentação Praial), quando se adicionam sedimentos mais grossos que o nativo da praia, estes tendem a ficar na parte aérea da praia e quando adiciona-se sedimentos mais finos estes tendem a compor os bancos na zona de surfe. Isto é perfeitamente explicado pela definição do tipo morfodinâmico de praias, bem como pelo perfil de equilíbrio de Dean (Item 2.1.2.1.8.2 – Método de Projeto Americano (DEAN, 1991)). Outro ponto importante é a quantidade de finos (areia muito fina, silte e argila) encontrados na jazida, os quais devem ser inferiores a 10% do total de sedimentos (USACE, 2003a).

A partir da localização das jazidas de areias é estimada a viabilidade econômica do projeto, pois quanto menor a distância da jazida, menores os custos. Além disso, a forma e dimensões da jazida, o método de dragagem e a qualidade dos sedimentos também são importantes definições para o projeto. Em caso de não haver jazida, não há como fazer a alimentação praial e deve-se partir para opções alternativas (estruturas de reflexão ou retenção de sedimentos).

Os tipos de jazidas de areia podem ser divididos em quatro categorias: (1) Continentais – Planície costeira, antigos terraços marinhos e fluviais, rios; (2) Retrobarreiras – planícies de maré, baías, estuários e ambientes lagunares atrás de ilhas barreiras e esporões arenosos; (3) Marinhas – Bancos na plataforma continental, deltas de maré e; (4) Canais de navegação – Material dragado em canais e portos, conhecidos como jazidas de oportunidades (USACE, 2003b).

As buscas por jazidas de areia devem considerar uma série de fatores, entre os quais a geologia (evolução costeira), a geomorfologia (desenvolvimento da estrutura das formas), a estratigrafia (tipo e sequência das camadas sedimentares) e a litologia (propriedades químicas e físicas das rochas ou estratos) (STANLEY, 1996). Para a exploração e delimitação das possíveis

jazidas com quantidade e qualidade de areia, métodos geofísicos (ex.: DGPS – para localização geográfica, sonar de varredura lateral – para morfologia do fundo, reflexores sísmicos e perfiladores de fundo – para determinar a estratigrafia e ambiente deposicional) e geotécnicos ou de amostragem de sedimentos (amostragem de superfície – dragas, testemunhador a vibração – *vibracore*, bomba de hidrojato – *jet probe*) são utilizados (FINKL; KHALIL, 2005).

Para a exploração de áreas de jazidas marinhas, Finkl e Khalil (2005) apresentam uma metodologia eficiente com uma abordagem sistemática conhecida como “Método de Eliminação de Áreas” (Figura 12), amplamente empregado neste tipo de projeto.

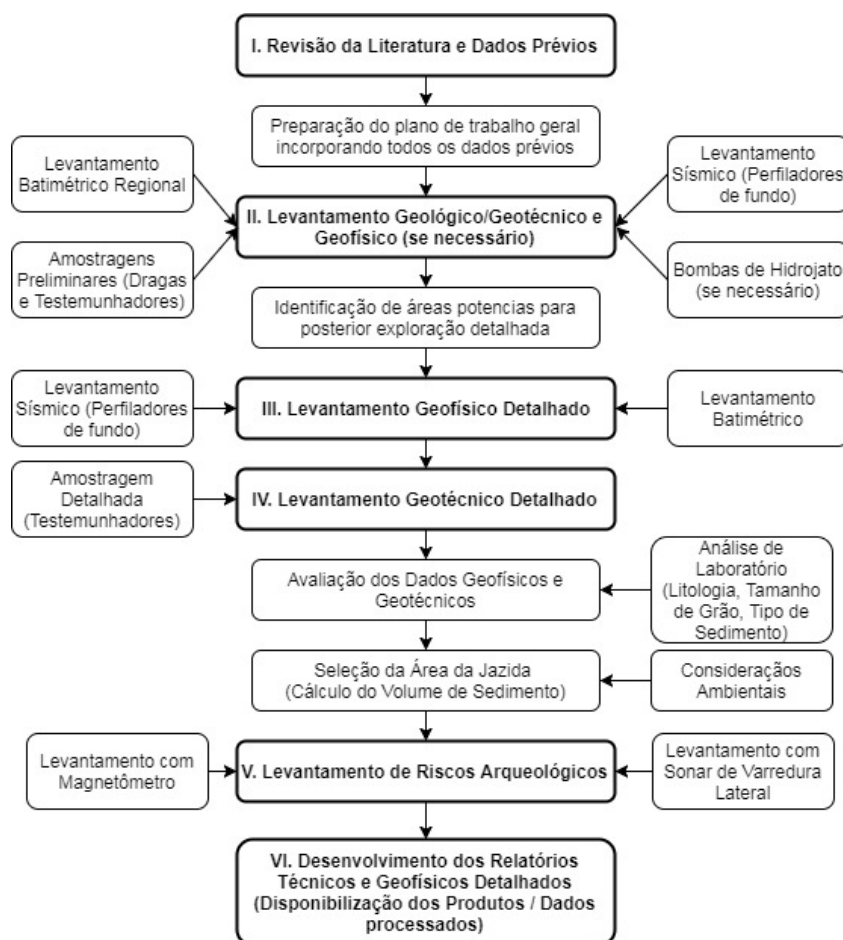


Figura 12 – Fluxograma esquemático demonstrando uma metodologia para exploração de jazidas de areia, onde as principais etapas incorporam uma série de atividades limitadas por circunstâncias locais. Cada tarefa destina-se a direcionar o curso das ações subsequentes para que a busca por jazidas siga uma estratégia lógica produzindo uma metodologia de exploração eficiente. Fonte: Finkl e Khalil (2005).

O Método de Eliminação de Áreas consiste em seis passos principais (adaptado de FINKL; KHALIL, 2005):

- I. **Revisar a literatura e definir o sequenciamento do projeto de exploração:** Uma revisão detalhada da literatura, juntamente com a compilação de dados locais já existentes para iniciar o desenvolvimento de um plano de exploração flexível para investigação geotécnica preliminar é a primeira fase. São importantes dados de batimetria, testemunhos e amostras superficiais de sedimentos, geomorfologia, geologia, dinâmica, recifes, naufrágios, cabos, tubulações, entre outros. Uma vez que todos os dados existentes são coletados e revisados, prepara-se um sistema de informação geográfica marinho (SIGM), a fim de espacializar os dados e então um plano de trabalho geral que descreve a sequência do projeto de exploração, incluindo tarefas gerais, linhas de levantamento, seleção de equipamentos e estimativas de custo e áreas preliminares a serem avaliadas. Nesta fase o relatório deve ser submetido ao órgão financiador ou contratante para revisão e aprovação;
- II. **Realizar levantamentos geológico (geotécnico) e geofísico em escala regional:** Nesta fase a investigação geofísica e geotécnica é conduzida para obter dados sobre os sedimentos a fim de auxiliar a avaliar as potenciais jazidas (alvos) e determinar a disponibilidade de volumes adequados de areia. A escala de levantamento sísmico deve ser entre 1 – 2km de espaçamento na malha amostral e, caso encontrados locais com grande potencial de depósito de areia, um levantamento mais detalhado deve ser realizado (Fase III). Realizar levantamento batimétrico (escala regional) e amostragem preliminares de sedimentos utilizando amostradores de fundo, bombas de hidrojato e *vibracores*. De interesse primário são depósitos marinhos, como bancos e paleocanais. São identificadas áreas potenciais (alvo) para posterior exploração detalhada;
- III. **Realizar levantamento geofísico detalhado:** Nesta fase um detalhamento geofísico das áreas alvos utilizando sistemas de posicionamento global diferencial, levantamento batimétrico em detalhe e levantamento de estratigrafia sísmica é necessário. O levantamento sísmico deve ser conduzido em espaçamento de 200 a 300m ou menor, de forma ortogonal às estruturas geológicas externas ou à topografia, caso não se tenha essa informação deve ser em ziguezague aproximadamente perpendicular à costa. Normalmente esta escala de detalhe já é suficiente para localizar potenciais jazidas, mas em casos geologicamente complexos, este espaçamento pode diminuir aumentando o detalhe. Na terceira fase a pesquisa de

campo é planejada, executada e analisada, onde mapas com informações preliminares podem ser desenvolvidos;

- IV. **Realizar levantamento geotécnico detalhado:** Amostras de sedimentos superficiais e subsuperficiais com análise em laboratório para avaliar a litologia, o tamanho de grão, cor da areia, conteúdo do sedimento (conchas, cascalho, finos), entre outros, é realizado. Amostras com dragas dão os primeiros indícios da área da jazida (Fase II), mas ainda é necessária a realização de amostragem profunda com *vibracores*. O espaçamento padrão aceito entre os *vibracores* é de cerca de 300m, sendo que deve estar preenchido em pelo menos 80% em três tentativas. Estes devem ser divididos ao meio, onde uma metade deve ser fotografada e mantida como arquivo, já a outra metade é enviada para análises laboratoriais. A coleta dos *vibracores* acontece enquanto houver amostras compatíveis de sedimento, em caso de insucesso, volta-se a posição inicial e altera o sentido de coleta, de forma a amostrar a área toda do potencial jazida. Amostras sedimentares com bombas de hidrojato, em conjunto com os *vibracores*, também são utilizadas para delimitar a área alvo. Nesta fase é definida a área e o cálculo do volume de areia disponível na jazida e a estimativa do custo da dragagem;
- V. **Realizar levantamento de riscos arqueológicos:** Após a identificação da jazida, quando necessário, ainda deve ser realizado um estudo dos aspectos arqueológicos para fins de obtenção de permissão de extração da areia, afim de evitar destruição a possíveis objetos de valor histórico. Para tal é utilizado o magnetômetro, reflexores sísmicos e perfiladores de fundo, sonar de varredura lateral e levantamento batimétrico. Aqui enquadra-se também a localização de cabos e dutos, pois há restrição de dragagem próximo a estes. Nesta fase, se necessário, as áreas de jazidas devem ser revistas na intenção de evitar objetos de potencial valor histórico ou cabos e dutos;
- VI. **Disponibilizar os relatórios e produtos (dados processados) geotécnicos e geofísicos:** Relatórios mal preparados ou apresentados podem significar esforço mal empregado. Aqui se espera que os relatórios finais descrevam as técnicas, métodos, análises e resultados da busca da jazida. Dados de batimetria, sonar de varredura lateral, perfiladores de fundo, dados magnetométricos, dados sedimentológicos, registros dos *vibracores*, gráficos e tabelas das análises do tamanho de grão são requeridos. Por trabalhar com dados espaciais também se requer mapas com a localização das amostragens e das linhas de levantamento sísmico e batimétrico, localização das estruturas geológicas e estruturas antrópicas, possíveis novas áreas de jazida, entre

outros. Nesta fase é apresentada a posição do embasamento rochoso, a posição de cabos e dutos, as isópacas de areia e área, geometria e volume das jazidas.

Importante também na escolha da jazida são os efeitos desta nas praias adjacentes. A profundidade, localização e orientação das jazidas podem afetar a região costeira, de forma a perturbar o sistema natural e afetar a estabilidade praial através de dois principais processos (DEAN, 2002): (1) Indução do transporte de sedimentos para dentro do buraco da jazida através de processos de gravidade ou simplesmente por este estar localizado dentro da área do perfil ativo (prisma praial), alterando o balanço sedimentar; por isso sugere-se que a jazida esteja em direção ao mar, da profundidade de fechamento, 3m mais profunda, e; (2) Processos de transformação da onda causando refração, difração, reflexão e dissipação de energia. Em ambas as situações pode haver formação de zonas de erosão acentuadas (ZEAs)¹³ e em (2) pode ocorrer variação de segmentos da praia em erosão e acreção (BENEDET *et al.*, 2007; BENEDET; LIST, 2008). Além disso a jazida pode trazer mudanças ambientais para biota ao criar buracos profundos, e diferenças na circulação da água, temperatura e características dos sedimentos superficiais (VAN RIJN, 1998; NORDSTROM, 2000).

Benedet (2016) demonstrou que é possível reduzir os efeitos das intervenções de dragagem em jazidas nas praias adjacentes, através do refinamento do desenho da jazida durante o desenvolvimento do projeto. Resultados encontrados pelo autor indicam que, para alcançar impactos mínimos na praia, a configuração de projeto ideal é um buraco superficial alongado paralelo a praia com uma largura transversal a praia estreita (razão longitudinal para transversal a costa de 4:1 ou maior). Jazidas em áreas mais distantes e profundas também diminuem os impactos à região costeira, no entanto distâncias maiores de transporte geralmente resultam em maiores custos de dragagem. Como os custos são uma das principais preocupações ao realizar um projeto de alimentação praial, uma análise de custos geralmente também é considerada durante o processo de definição da localização e dimensões do buraco da jazida. Na Figura 13 é possível observar exemplos de áreas de jazidas dragadas em frente a praia de Delray, costa sudeste da Florida/EUA, a qual tem passado por um programa de alimentação praial monitorado desde 1973.

¹³ ZEAs são áreas que apresentam desequilíbrio negativo no balanço sedimentar, erodindo mais rapidamente que áreas adjacentes ou mais rápido que o esperado em um projeto de alimentação praial (ARAUJO *et al.*, 2010).

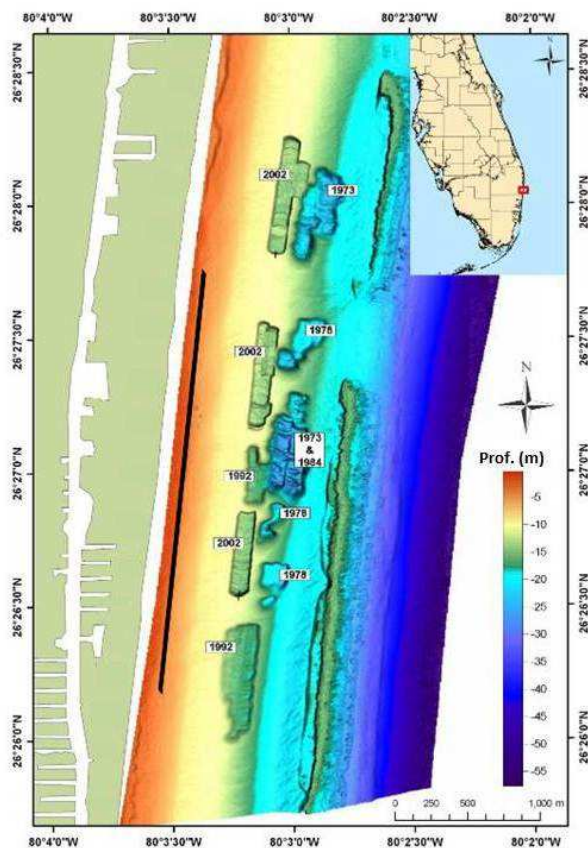


Figura 13 – Exemplos de áreas de jazidas dragadas em frente a praia de Delray, costa sudeste da Florida/EUA, a qual tem passado por um programa de alimentação praial monitorado desde 1973. A batimetria é apresentada em formato 3D evidenciando os recifes paralelos a praia e os buracos das jazidas dragadas. Os anos indicam em que ano cada jazida foi dragada. Fonte: Modificado de Benedet (2016).

2.2.2.1.7 Métodos para Implementação de Alimentação Praial

Os métodos para implementação de obras de alimentação praial, segundo Dean (2002), podem ser mecânicos, através do uso de caminhões ou esteiras transportadoras, ou hidráulicos, por dragagem ou pela transposição de sedimentos artificial.

- **Caminhão:** Transporte através de caminhões e condicionado a região continental, onde a jazida deve estar próxima ao local do projeto. Por transportar uma carga baixa é inviável em obras de grande porte;

- **Esteira transportadora:** Apesar de ser um meio eficiente e barato, a jazida deve estar próxima do local e não transportar grandes volumes. Sugerido para projetos de pequeno porte;
- **Transposição de sedimentos:** O fluxo de sedimentos transpõe obstáculos como recifes, deltas de marés vazantes, canais, promontórios, espigões e quebra-mares, como um processo natural das zonas costeiras. Quando esta transposição de sedimentos acompanha o sentido do transporte de sedimentos, ou seja, de barlar para a sotamar, através de agentes hidrodinâmicos (ondas e correntes de maré), este processo é chamado *bypassing*. Caso esta transposição de sedimentos ocorra pelo vento, é chamada *overpassing*. Já quando este processo ocorre de forma inversa, de sotamar para barlar, é então conhecido como *backpassing*. Em casos onde estes processos não ocorrem de forma natural seja por implantação de estruturas antrópicas ou formações naturais, e o transporte normal de sedimentos fica retido nesses locais, causando erosão nas áreas adjacentes, uma alternativa é criar sistemas artificiais de transposição de sedimentos (Figura 14). De forma artificial pode ser realizado por sistemas de bombas convencionais ou por dragagem;



Figura 14 – Tipos de transposição de sedimentos. Em (A) é representado o processo de *bypassing* em Torres/RS de forma a transportar os sedimentos retidos no molhe que fixa a desembocadura do rio Mampituba para a sotamar; em (B) o processo de *overpassing* na Ilha de Santa Catarina (Florianópolis/SC) da praia do Santinho para a praia dos Ingleses e; em (C) o processo de *backpassing* na praia de Barra Velha/SC de forma a devolver o sedimento acumulado no esporão arenoso para a praia a barlar. As setas vermelhas indicam o sentido da transposição de sedimento, já as setas brancas indicam o sentido normal do transporte de sedimentos na zona costeira. Fonte: imagens: Google Earth.

- **Dragagem:** Método mais utilizado. O sedimento é transferido de uma jazida para a praia com o auxílio de uma draga através de carregamento ou bombeamento do sedimento. Transporta grandes volumes de areia de lugares mais distantes, sendo seu custo relativamente baixo. Para tal, podem ser utilizados dois tipos de dragas:
 - Draga do tipo estacionária de sucção e recalque (*Cutterhead*) – Utilizada em pequenas distâncias da costa (< 10km), pode trabalhar em águas rasas, mas

não faz buracos rasos. O transporte do material é realizado por tubulações com auxílio de bomba de recalque ou barcaças;

- o Draga do tipo autotransportadora de sucção e arrasto (*Hopper*) – Utilizada para grandes distâncias (>10km), necessita de uma profundidade mínima de 8m para dragar e faz buracos rasos. O m³ é mais caro que a draga do tipo estacionária de sucção e recalque, mas draga mais eficientemente, e o tipo de buraco implica em mínimos impactos à praia, conforme apresentado por Benedet (2016).

A dragagem de áreas marinhas (*offshore*) é utilizada em mais de 95% dos projetos de alimentação praial no mundo (DEAN, 2002). Para tal o custo da dragagem leva em consideração a distância da área da jazida para a área a ser recuperada e o tipo de draga a ser utilizada, que depende do tipo de sedimento e da profundidade/desenho da jazida. A estimativa do custo da dragagem pode ser dividida em três partes:

- Mobilização e desmobilização da draga: Consiste no deslocamento de todos os equipamentos e pessoal para realizar a dragagem, bem como também os custos com itens administrativos;
- Custo unitário da dragagem, do transporte e da colocação do volume de sedimento especificado na praia, e;
- Custo de construção e remoção de diques de contenção quando necessário.

No Quadro 7 é apresentado um exemplo do que se deve levar em consideração nos custos de uma dragagem de jazida em alto mar para alimentação de uma praia. Os valores foram baseados em obras passadas e não representam a realidade atual, portanto não devem ser considerados como verdade absoluta.

Quadro 7 – Exemplo do que levar em consideração nos custos de uma dragagem de jazida em alto mar para alimentação de uma praia. Os valores foram baseados em obras passadas e não representam a realidade atual, portanto não devem ser levados como verdade absoluta.

Como exemplo para um volume (V) de 1.000.000,00m³ de areia dragado em uma jazida à 10km da praia:

$$R\$ \text{ total} = \text{Mob/Desm} + R\$ \text{ por m}^3 * V + \text{Engenharia/Sondagem/Modelagem/etc.}$$

$\text{Mob/Desm} = R\$5.000.000,00 (\pm 8\% \text{ do projeto})$

$\text{Preço por m}^3 = R\$28,00$

$\text{Engenharia/Sondagem/Modelagem/etc} = \pm 25\% \text{ do projeto}$

$$R\$ \text{ total} = R\$5.000.000,00 + R\$28.000.000,00 + R\$8.250.000,00$$

$$R\$ \text{ total} = R\$41.250.000,00$$

ou R\$41,25/m³ dragado efetivo

Além disso deve ser incluso no projeto investimentos com o desenho do projeto e estudos de impacto ambiental que podem chegar até 15% do valor total da obra.

Salienta-se aqui, que o ideal é combinar a realização de alimentação praial, com projetos de dragagem de portos, pois diminui o valor de mobilização e desmobilização e em alguns casos há jazidas de oportunidade. Ou que vários municípios façam um consórcio para realizarem projetos, pois irão diminuir ao final o custo efetivo de dragagem.

2.2.2.1.8 Métodos de Projeto

Em projetos de alimentação praial devem-se levar em consideração dois fatores principais: o perfil de desenho da praia (linha de base) e o perfil desejado de avanço (CAMPBELL; BENEDET, 2004b). O primeiro tem o objetivo de avaliar o custo benefício da obra de acordo com a necessidade para o local, já o segundo determinará o desenho do projeto da praia após a alimentação e quais os custos envolvidos na sua manutenção. Os dois são calculados e colocados ao mesmo tempo em um modelo de construção, que geralmente é mais íngreme do que a praia natural, mas que com o tempo se ajustará ao local devido a ação das ondas. (Figura 15).

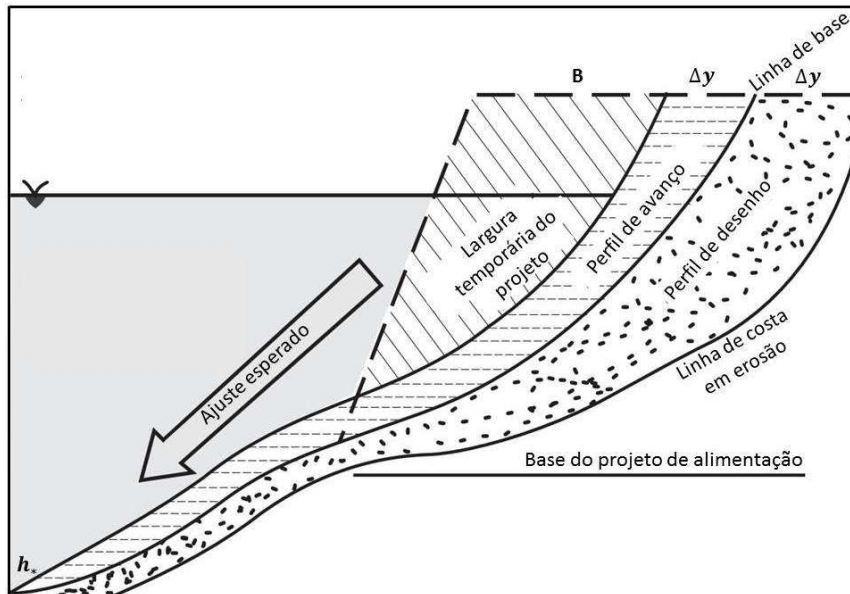


Figura 15 – Fatores a serem levados em consideração num projeto de alimentação praial. B= Altura da berma; Δy =Avanço/Retração da linha de costa; h_s =Profundidade de fechamento. Fonte: Modificado de Campbell e Benedet (2004b).

Dada a complexidade dos processos costeiros, os esforços para entender e projetar uma obra de alimentação praial deve ser fortemente fundamentada na experiência da equipe envolvida e no histórico de comportamento do litoral. E para facilitar a performance do projeto, algumas ferramentas estão disponíveis, entre elas: (1) Observações em campo; (2) Modelos físicos e; (3) Modelos matemáticos e numéricos.

2.2.2.1.8.1 Método de Projeto Holandês (VERHAGEN, 1992)

Na Holanda são utilizados modelos físicos ou matemáticos para entender o comportamento do ambiente ou para comparar alternativas de projeto, mas não para quantificar um projeto de alimentação praial. Para tal, um método mais direto de projeto tem sido provado como mais efetivo, especialmente sabendo que existem disponíveis na costa holandesa anos e anos de dados medidos (VERHAGEN, 1992), que serviram para validar esta metodologia.

Dessa forma, a partir do estabelecimento de uma política pública de manutenção da linha de costa na mesma localização do ano de 1990 (MIN V&W, 1990), o método holandês (Figura 16), descrito por Verhagen (1992), compreende cinco passos principais:

- 1) Realizar medições costeiras do perfil de praia e antepraia (por, pelo menos, 10 anos) para obter conhecimento das taxas erosivas (volume por unidade de comprimento da praia) que ocorrem no local;
- 2) Calcular a “perda de areia” por m^3/ano no perfil ativo por seção costeira;
- 3) Adicionar 40% de perda a fim de contabilizar perdas por finos e pela presença de perfis iniciais mais íngremes após a alimentação praial (perda pela ação da gravidade). Ou 20% quando o tamanho do sedimento da jazida for igual ou maior que o tamanho do sedimento nativo da praia;
- 4) Multiplicar este valor por um tempo de vida de projeto conveniente (ex.: 5 anos) para obter o volume total para adição na praia;
- 5) Adicionar esse volume calculado em algum lugar da praia entre a cota de baixamar menos 1m e a base da duna.

Este método leva em consideração a taxa de erosão, a qual é multiplicada pelo tempo de vida útil do projeto (Equação 5). Após esse tempo de garantia, todo o material adicionado a praia será novamente erodido pelos processos erosivos já conhecidos do local, embora a adição de 40% ou 20% de perdas é um reconhecimento ao espalhamento longitudinal associado ao projeto de alimentação da praia (DEAN, 2002).

$$V_A = Q * T \quad (Eq. 5)$$

Onde V_A é o volume calculado para a alimentação (m^3), Q é a taxa de erosão (m^3/ano) e T é o tempo de vida útil do projeto.

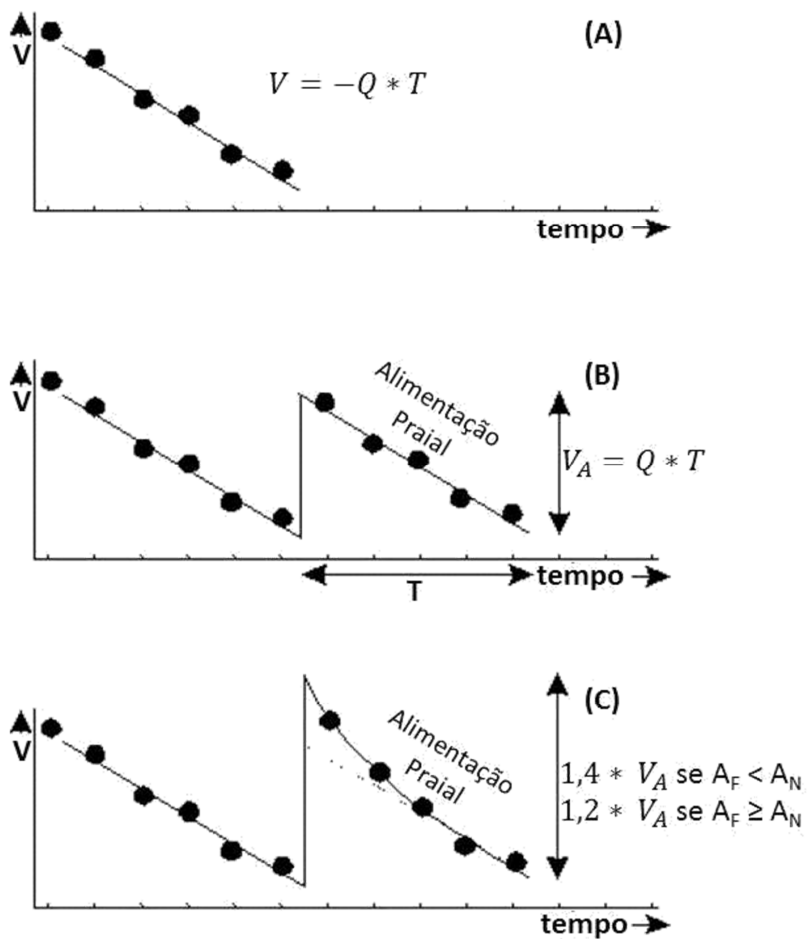


Figura 16 – Princípios do método holandês de alimentação praial: (A) O primeiro passo é graficar os dados de volumes medidos em função do tempo; (B) A partir da taxa de erosão calculada é definido o volume de adição de areia na praia em função do tempo de vida desejado do projeto e; (3) É adicionado ao cálculo 40% ou 20% de perda a fim de contabilizar perdas extras ao sistema praial. V_A =Volume calculado para a alimentação; Q =Taxa de erosão; T =Tempo de vida útil do projeto; A_F =Parâmetro de escala do perfil final; A_N =Parâmetro de escala do perfil nativo. Fonte: Verhagen (1992).

Em casos onde não for possível obter perfis medidos de, pelo menos 10 anos, utiliza-se a Regra de Bruun para calcular o volume praial.

2.2.2.1.8.2 Regra de Bruun

A regra de Bruun é um conceito apresentado por Bruun (1962) que assume que com o aumento do nível do mar, o perfil de equilíbrio da praia e da zona de surfe se movimenta para frente e para trás. Aplicando este conceito em projetos de alimentação praial, de acordo com a regra de Bruun, ao adicionar um volume de areia, o novo perfil praial deve ser o mesmo que o anterior, ou seja, a forma do perfil não é alterada com respeito a linha de água (nível do mar) (ver Figura 15; Equação 6)

$$V = \Delta y(h_* + B) \quad (\text{Eq. 6})$$

Onde V é o volume de sedimento por m de praia (m^3/m); Δy é a retração da linha de costa (m); h_* é a profundidade de fechamento (m) e; B é a altura da berma em relação ao nível zero (m). **Este cálculo faz parte da terceira etapa de um projeto de alimentação praial.** O valor da berma pode ser calculado através da média de perfis medidos no local ou em praias adjacentes com a mesma granulometria e exposição a ação das ondas (Figura 17).

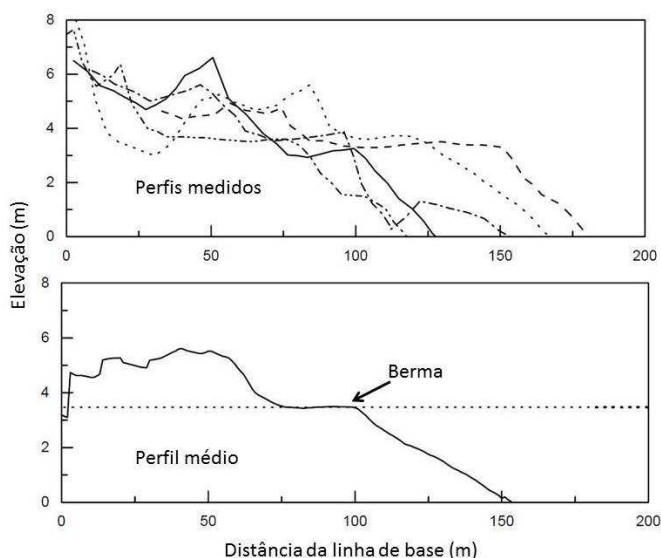


Figura 17 – Elevação da berma determinada pela média de diferentes perfis medidos. Fonte: (USACE, 2003a).

No Quadro 8 é apresentado um passo-a-passo de aplicação do método Holandês em casos onde não há a presença de 10 anos de dados de perfil de praia e de antepraia medidos, proposto por Verhagen (1992).

Quadro 8 – Passo-a-passo para aplicar o método Holandês sem a presença de 10 anos de dados de perfil de praia e de antepaia medidos, proposto por Verhagen (1992; VAN RIJN, 1998).

Passo-a-passo para aplicar o método Holandês sem a presença de 10 anos de dados de perfil de praia e de antepaia, proposto por Verhagen (1992; Van Rijn, 1998). Este método foi validado com dados da costa da Holanda.

1. A partir de imagens de satélite e fotografias aéreas georreferenciadas, definir a variação da linha de costa para um período de tempo (por ex.: 30m em 10 anos, $\Delta y = 3\text{m/ano}$)
2. Obter a altura da berma (B) (através de dados da literatura ou de praias adjacentes) e somar ao valor da profundidade de fechamento (por ex.: $B = 3\text{m}$ e $h_* = 6\text{m}$, total = 9m).
3. Aplicar a Regra de Brunn para obter-se quanto de sedimento foi perdido em 10 anos por unidade de comprimento da praia.

$$V = \Delta y(h_* + B)$$

$$V = (3(6 + 3)) * 1$$

$$V = 27\text{m}^3/\text{ano ou } 27\text{m}^2/\text{m/ano}$$

4. Adicionar 20% se a areia da jazida for igual ou mais grossa que nativa e 40% se for mais fina. Multiplicar o volume por 1,2 ou 1,4 ($5,4\text{m}^3/\text{ano}$ ou $10,8\text{m}^3/\text{ano} \Rightarrow 32,4\text{m}^3/\text{ano}$ ou $37,8\text{m}^3/\text{ano}$).
5. Definir a qual volume ou posição da linha de costa deseja-se retornar, por ex. 7 anos atrás, e multiplicar o valor do item 4 por este, sempre procurando respeitar a densidade entre 200 e 300 m^3/m , com exceção de até 400 m^3/m ($226,8\text{m}^3/\text{m}$ ou $264,6\text{m}^3/\text{m}$). Densidades muito altas favorecem uma perda inicial significativa e deixam a praia muito íngreme.
6. Multiplicar o valor encontrado pela extensão da praia a ser adicionada (2000m) (volume total igual a 453.600m^3 ou 529.200m^3).

É importante salientar que este é o volume de projeto, que definirá a posição da linha de costa de controle (base). Ainda deve-se calcular o volume de avanço, que dá a garantia da obra e diz em quanto tempo deve-se realizar um novo projeto. Para tal basta aplicar a mesma sequência de cálculo.

2.2.2.1.8.3 Método de Projeto Americano (DEAN, 1991)

O método de projeto americano considera que a utilização de modelos que fornecem uma metodologia ou critérios que resumem o conhecimento disponível são importantes na influência das variações naturais e de impacto humano, otimizando assim o desenho do projeto final (COPOBIANCO *et al.*, 2002). Neste caso, para estimar os perfis de desenho (linha

de base) e de avanço da praia desejado é utilizado o método do perfil de equilíbrio de Dean (1977).

2.2.2.1.8.4 Perfil de Equilíbrio de Dean

O método do perfil de equilíbrio de Dean determina o volume de areia necessário para a obra com base na granulometria presente na praia e na jazida, pois o transporte transversal é função das ações hidrodinâmicas e das dimensões e do peso ou densidade das partículas. Neste caso, a altura das ondas é afetada pelas mudanças no perfil (declividade, batimetria), mostrando assim que existe uma relação de equilíbrio entre a dinâmica marinha e a morfologia do perfil (DEAN, 1991).

A definição do perfil de equilíbrio foi proposta de forma preditiva por Dean (1977) com base em Bruun (1954), onde é uma relação simples entre a profundidade de fechamento, a distância da costa e o parâmetro de escala (o qual depende das características do sedimento) (Equações 7 e 8).

$$h = Ay^m \quad (\text{Eq. 7})$$

$$A = k * \omega_s^{0,44} \quad (\text{Eq. 8})$$

Onde h é a profundidade através da costa em uma determinada distância y ; A é o parâmetro de escala de sedimento (depende das características do sedimento); m é um expoente que depende de como a energia da onda é dissipada, fornecendo a forma do perfil (côncavo, convexo ou linear) ($m = 2/3$); k é uma constante adimensional ($k = 0,51$) e ω_s é a velocidade de queda do grão. Estudos realizados no mar da Cantabria, Espanha (IH CANTABRIA - MMA, no prelo a) demonstram que o valor do coeficiente k pode variar entre 0,55 e 0,65 e Almeida (2013) ao testar valores mais realistas para a praia de Piçarras, SC, chegou ao valor de $k=0,61$. Dessa forma podem-se ajustar os valores de k também para a praia onde o projeto será implantado.

A velocidade de queda do grão, para areias de densidade $\rho_s = 2065 \text{ g/cm}^3$, é obtida através das Equações 9, 10 e 11.

$$\omega_s \text{ (m/s)} = 1,1 * 10^6 D^2 \text{ (m)} \quad D < 0,1 \text{ mm} \quad (\text{Eq. 9})$$

$$\omega_s \text{ (m/s)} = 273 D^{1,1} \text{ (m)} \quad 0,1 < D < 1 \text{ mm} \quad (\text{Eq. 10})$$

$$\omega_s \text{ (m/s)} = 4,36 D^{0,5} \text{ (m)} \quad D > 1 \text{ mm} \quad (\text{Eq. 11})$$

onde D é o diâmetro mediano do sedimento.

Posteriormente, Dean (1987), ao relacionar a velocidade de queda do grão com o tamanho de grão, ambos em função do parâmetro de escala, encontrou uma relação linear entre eles (Figura 18), tornando desnecessário o cálculo da velocidade de grão quando apresentou uma tabela com os dados de A em função de D (Tabela 1).

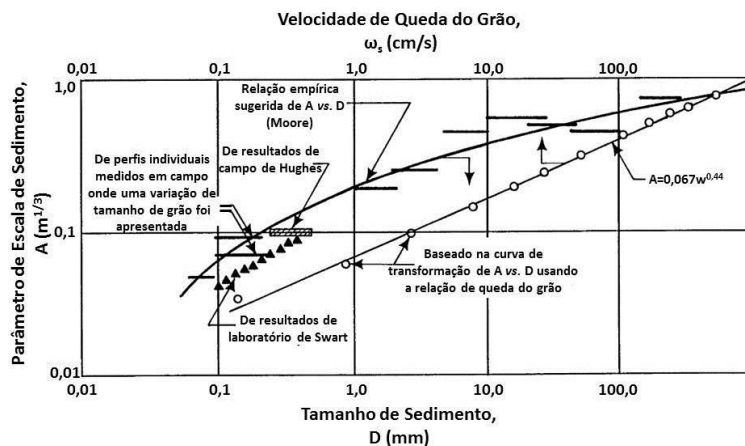


Figura 18 - Variação no parâmetro de escala de sedimento, A , em função do tamanho do sedimento, D , e da velocidade de queda do grão, ω_s . Fonte: Dean (1987, modificado de Moore, 1982).

Tabela 1 – Parâmetro de escala do perfil, A , versus o tamanho mediano de grão, D .

$D(\text{mm})$	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,1	0,063	0,0672	0,0714	0,0756	0,0798	0,084	0,0872	0,0904	0,0936	0,0968
0,2	0,100	0,103	0,106	0,109	0,112	0,115	0,117	0,119	0,121	0,123
0,3	0,125	0,127	0,129	0,131	0,133	0,135	0,137	0,139	0,141	0,143
0,4	0,145	0,1466	0,1482	0,1498	0,1514	0,153	0,1546	0,1562	0,1578	0,1594
0,5	0,161	0,1622	0,1634	0,1646	0,1658	0,167	0,1682	0,1694	0,1706	0,1718
0,6	0,173	0,1742	0,1754	0,1766	0,1778	0,179	0,1802	0,1814	0,1826	0,1838
0,7	0,185	0,1859	0,1868	0,1877	0,1886	0,1895	0,1904	0,1913	0,1922	0,1931
0,8	0,194	0,1948	0,1956	0,1964	0,1972	0,198	0,1988	0,1996	0,2004	0,2012
0,9	0,202	0,2028	0,2036	0,2044	0,2052	0,206	0,2068	0,2076	0,2084	0,2092
1,0	0,210	0,2108	0,2116	0,2124	0,2132	0,2140	0,2148	0,2156	0,2164	0,2172

Nota: (1) Os valores de A acima, para alguns lugares, não pretendem sugerir que são conhecidos por sua precisão, mas são apresentados pela sua consistência e sensibilidade aos efeitos da variação do tamanho de grão. (2) Como um exemplo de uso dos valores da tabela, o valor de A para um tamanho de grão mediano de 0,24mm é $A = 0,112m^{1/3}$.

O perfil praiar de equilíbrio possui quatro características básicas: a tendência de ser côncavo para cima; menor tamanho de sedimento resulta em uma declividade mais suave, e vice-versa; possui face praiar e; ondas muito inclinadas resultam em um perfil com baixa

declividade (DEAN, 1991). Na Figura 19 é apresentado um exemplo de dois perfis de equilíbrio com diferentes tamanhos de grão.

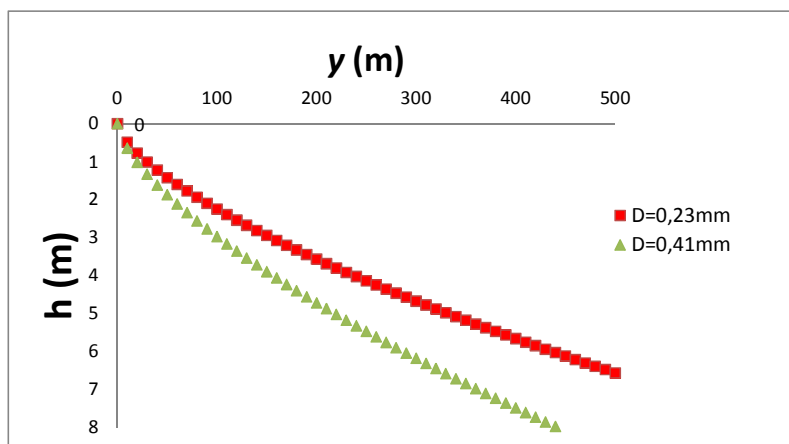


Figura 19 – Exemplos de perfis de equilíbrio com tamanho de grão de 0,23mm e 0,41mm até a sua respectiva profundidade de fechamento.

Segundo Dean (2015) este método possui duas desvantagens: uma declividade infinita e a natureza monotônica dos perfis, que não representam bancos, por exemplo; mas também possui uma grande vantagem que é a simplicidade do método e a sua aplicação imediata para diferentes problemas de interesse da engenharia costeira.

Neste contexto, aplicando o método do perfil de equilíbrio de Dean, três diferentes tipos de perfis de equilíbrio praias pós projeto de alimentação são possíveis (DEAN, 1991):

- Perfil com intersecção: Quando o tamanho de grão do sedimento adicionado for maior que o nativo em um projeto de alimentação ($A_F > A_N$), o novo perfil se encontra com o perfil original antes da profundidade de fechamento. Isto implica em um aumento na declividade do perfil praias e também um aumento na plataforma da praia (parte aérea), configurando uma praia refletiva, que terá o seu volume de sedimento a ser distribuído durante um evento de tempestade na parte subaérea (Figura 20a);
- Perfil sem intersecção: Quando houver adição de sedimento de granulometria similar resulta na reprodução do perfil natural da praia. Também pode ocorrer para os sedimentos que são mais grossos ou mais finos que os nativos (Figura 20b);
- Perfil submerso: Quando for adicionado tamanho de grão menor que o nativo ($A_F < A_N$). Isto incidirá em uma suavização da declividade do perfil, resultando no perfil

subaéreo da praia mais estreito, requerendo assim um maior volume de areia para ter-se um pós-praia mais extenso. É considerado também como um perfil sem intersecção (Figura 20c). A forma final será de um perfil dissipativo ou intermediário, onde a reserva de areia para ser remobilizada durante eventos de tempestades encontra-se na parte submersa do perfil.

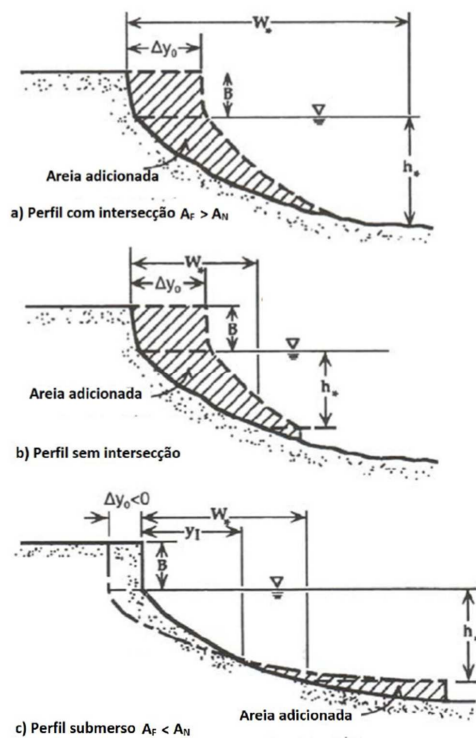


Figura 20 – Três possíveis tipos de perfis de equilíbrio praias pós projeto de alimentação. Os símbolos são referentes às Equações 12, 13 e 14. Fonte: Dean (1991).

Benedet *et al.* (2004), com base em estudos de casos reais sugerem que a adição de sedimentos bimodais pode ser benéfica para os projetos de alimentação praial, criando condições intermediárias. Onde a zona tampão, volume a ser remobilizado em eventos de tempestades, encontra-se tanto na porção aérea da praia (areia grossa) como na porção submersa (areia fina).

2.2.2.1.8.5 Cálculo do Volume de Preenchimento de Areia

Para calcular o volume de preenchimento necessário de areia numa obra de alimentação praial deve-se levar em consideração alguns parâmetros, entre eles a altura de onda (para a profundidade de fechamento) e o tamanho de grão (para o tipo de perfil). Se utilizado um sedimento mais grosso que o original, haverá uma praia com maior declividade e consequentemente uma largura de praia seca emersa maior, já se utilizado um material mais fino que o original, a declividade será mais suave, portanto será necessário mais sedimento para se alcançar essa mesma largura de praia seca (DEAN, 2002). Assim sendo, o cálculo do volume difere de acordo com tipo de sedimento e de perfil (DEAN, 1991):

- **Areia compatível:** Caso o tamanho de sedimento da jazida seja igual ao nativo utiliza-se a Regra de Bruun (Equação 12).

$$V = \Delta y_0(h_* + B) \quad (\text{Eq. 12})$$

Onde V é o volume de sedimento por m de praia (m^3/m); Δy_0 é o avanço desejado da linha de costa (m); h_* é a profundidade de fechamento (m) e; B é a altura da berma em relação ao nível zero (∇) (m).

- **Areia da jazida mais grossa que a nativa:** Perfil com intersecção. Caso $A_F > A_N$, de forma adimensional, utiliza-se a Equação 13, a qual desconsidera a profundidade de fechamento.

$$\frac{V}{BW_*} = \Delta y_0 + \frac{3}{5B} (\Delta y_0)^{5/3} \left(\frac{1}{\left[1 - \left(\frac{A_N}{A_F} \right)^{3/2} \right]^{2/3}} \right) \quad (\text{Eq. 13})$$

Onde W_* é a distância da profundidade de fechamento original até a costa; A_N é o parâmetro de escala do perfil nativo e; A_F é o parâmetro de escala do perfil final (pós aterro).

- **Areia da jazida mais fina que a nativa:** Perfil sem intersecção. Caso $A_F < A_N$, de forma adimensional, se utiliza a Equação 14.

$$\frac{V}{BW_*} = \Delta y_0 + \frac{3}{5B} \left\{ \left[\Delta y_0 + \left(\frac{A_N}{A_F} \right)^{3/2} \right]^{5/3} - \left(\frac{A_N}{A_F} \right)^{3/2} \right\} \quad (\text{Eq. 14})$$

Por fim, para calcular o volume de avanço do projeto de alimentação praial basta aplicar o método holandês, o qual apresentará a quantidade de sedimentos necessária para manter o

desenho da praia até a próxima alimentação praial. Ou ainda, pode-se repetir o cálculo de Dean.

2.2.2.1.9 Métodos para a Estabilização da Alimentação Praial

Um projeto de alimentação praial é considerado como uma perturbação ao sistema praial, o que, sob a ação do clima de ondas, irá espalhar o sedimento adicionado ao longo da linha de costa (Figura 21). O transporte longitudinal de sedimentos é descrito como um dos principais processos costeiros de controle da variação da morfologia praial, determinando a propensão à erosão, acresção ou a estabilização da linha de costa (USACE, 2002b), condicionando assim a evolução temporal da mesma.

É importante destacar que em locais que apresentam um histórico de erosão acentuada, a vida útil da obra também deve ser levada em consideração, pois nestes ambientes os processos físicos continuarão a agir e conseqüentemente também os mecanismos que levam a erosão costeira (DEAN, 2002). Desta forma, em muitos casos, a alimentação praial tem sido utilizada juntamente com algum tipo de estrutura, seja para mitigar alguns dos efeitos adversos no balanço sedimentar, seja para melhorar a eficácia das estruturas (NORDSTROM, 2014).

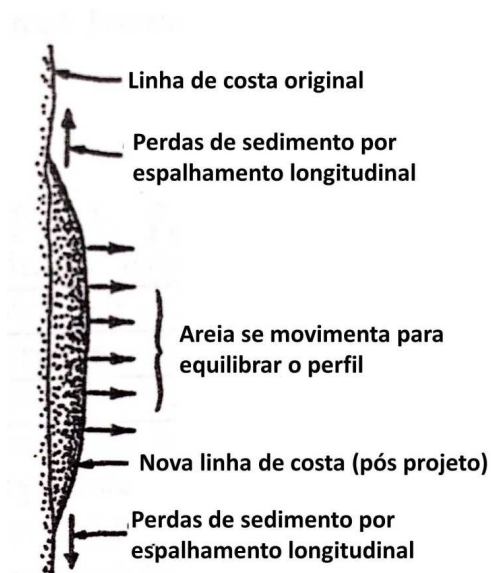


Figura 21 – Vista em planta da praia de modo a evidenciar as perdas de sedimento pelo espalhamento longitudinal, além do movimento da areia para equilibrar o perfil. Fonte: Dean (2002).

Diferentes tipos de estruturas podem ser utilizadas em conjunto com um projeto de alimentação praial para retardar a erosão e assim reduzir os custos com a periodicidade das novas alimentações praiais, entre elas:

- **Espigões:** O espigão é uma estrutura transversal a praia que se estende do pós-praia, suficientemente para não ser contornado pelo espraçamento, até a primeira linha da arrebentação (ALFREDINI, 2005). Este tipo de estrutura age diretamente no transporte de sedimentos longitudinal podendo ser empregado isoladamente ou em conjunto (campo de espigões). Por reter o transporte ao longo da costa, ele acumula sedimentos a barlamar e posteriormente erode a sotamar da estrutura (Figura 22). Pode ser empregado ao final do projeto de alimentação praial para estabilizar este.

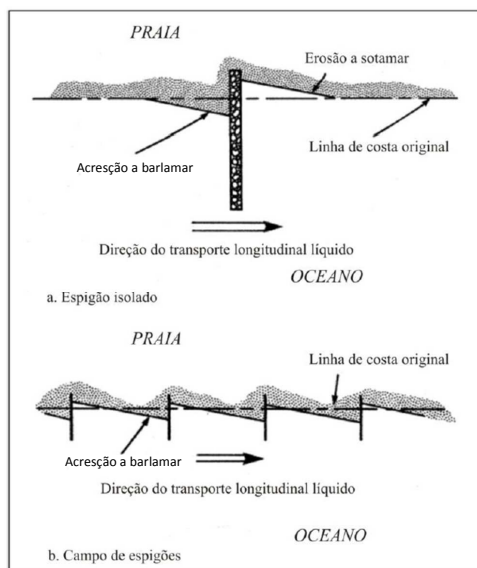


Figura 22 – Efeito do espigão agindo (a) de forma isolada e (b) num campo de espigões sobre o transporte sedimentar. Fonte: Machado (2010, modificado de USACE, 2002b).

- **Quebramares destacados:** Quebramares são estruturas, geralmente paralelas a praia, que tem como objetivo reduzir a soma de energia de onda que chega na área costeira protegida (USACE, 2002b), ou seja, dissipar a energia da onda antes que atinja a praia e com isso reter sedimentos junto a zona de menor energia de onda. São similares a bancos naturais, recifes ou ilhas. A redução de energia de onda e das correntes faz com que haja deposição de sedimentos na zona de sombra atrás do quebramar, formando saliências e/ou tômbolos na praia (SILVESTER; HSU, 1997) (Figura 23). No caso da aplicação deste

conceito, utiliza-se o modelo parabólico da forma em planta para definir a dimensão da saliência ou do tombolo (SILVESTER; HSU, 1997; GONZALEZ; MEDINA, 2001). Na falta de deriva litorânea, as laterais adjacentes da saliência serão “canibalizadas”, ou seja, haverá maior saída de sedimentos.

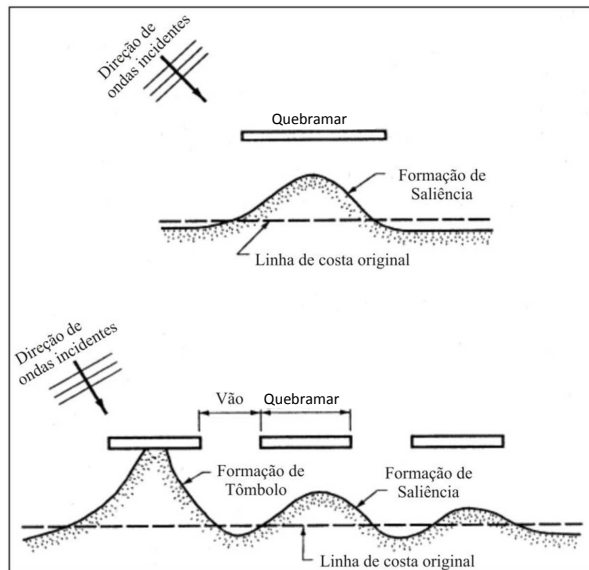


Figura 23 – Tipos de mudanças na linha de costa associadas a quebra-mares individuais e múltiplos. Fonte: Machado (2010, modificado de USACE, 2002a).

Mais informações sobre como calcular a forma em planta que se origina na sombra de um quebra-mar podem ser consultadas no Documento Temático de Recuperação de Praias do SMC – Brasil (IH CANTABRIA – MMA, no prelo).

- **Estabilização de Dunas:** Dunas arenosas são efetivas barreiras contra a inundação costeira porém são vulneráveis aos efeitos de erosão induzida pelo vento e/ou pelo ataque das ondas. Sendo um dos objetivos da alimentação praial a criação de praia emersa seca, a estabilização dessas novas dunas formadas, com o tempo, minimizará a ação erosiva causada pelo vento e, a longo prazo, poderá resultar em acresção de sedimentos (USACE, 2003a). As dunas podem ser estabilizadas com cercas e plantio de vegetação, sendo que estruturas, como passarelas, para atravessar as dunas com o menor impacto possível, também são necessárias.

2.2.2.1.10 Proteção de Falésias com Alimentação Praia

Falésias costeiras são encostas íngremes que expõem formações rochosas e são encontradas onde a encosta é interseccionada por uma linha de costa em retração (SUNAMURA, 1992). Dessa forma, as falésias podem sofrer sérios problemas de erosão na sua base e podem colapsar devido aos processos hidrodinâmicos (*runup* das ondas somados a níveis altos de maré) que as atingem (VAN RIJN, 1998) (Figura 24).

Uma forma de controle desta erosão é a relação largura X altura da praia em frente as falésias, que pode agir como um tampão entre as ondas e as falésias. Portanto a adição de areia, fazendo com que a altura da berma ($=Z_{falésia}$), seja maior que a soma do Runup + Maré Medida (η_t), é uma alternativa de proteção (Figura 24) (VAN RIJN, 1998). De acordo com Everts (1991), a relação da largura da praia (acima do nível do mar) na frente da falésia com a sua retração é a seguinte:

Largura da praia > 60m	Retração da falésia = 0 m/ano;
Largura da praia = 40m	Retração da falésia = 0,03m/ano;
Largura da praia = 30m	Retração da falésia = 0,05m/ano;
Largura da praia = 20m	Retração da falésia = 0,10m/ano;
Largura da praia = 10m	Retração da falésia = 0,20m/ano;
Largura da praia = 0m	Retração da falésia > 0,20m/ano;

Assim sendo, um projeto de alimentação praial, além de proteger as falésias da erosão, também tornam estes locais em áreas de recreação e lazer (Figura 25).

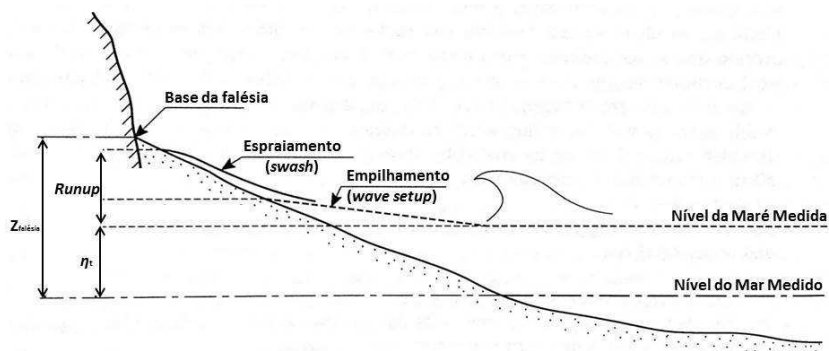


Figura 24 – Erosão de falésia relativa ao limite do *runup*. A erosão ocorre se $Z_{falésia} < Runup + \text{Maré Medida } (\eta_t)$. Fonte: Van Rijn (1998).

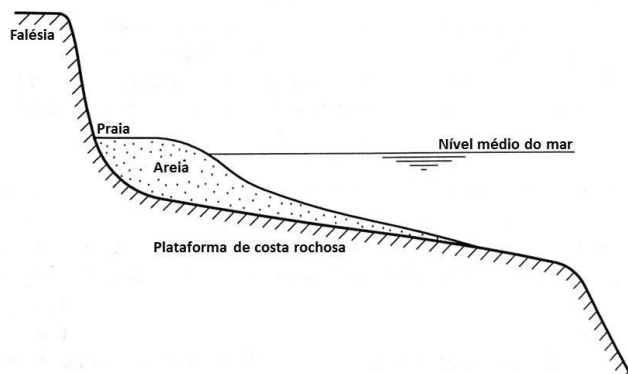


Figura 25 – Proteção de falésias com projetos de alimentação praial. Fonte: Modificado de Van Rijn (1998).

2.3 Considerações Finais

Projetos de proteção ou recuperação costeiros, usando o conceito de construindo com a natureza são os mais amplamente aceitos no mundo hoje por propiciarem a geração de uma zonação ou gradiente morfológico e biológico. O que valoriza do ponto de vista ambiental e econômico o ambiente praial. Entretanto de acordo com Dean (2002) os maiores desafios da alimentação praial são: (1) Encontrar recursos de areia compatíveis com o projeto em locais razoavelmente próximos, pois quanto maior a distância da jazida, maior o custo do projeto, além de trazer preocupações jurisdicionais caso a fonte seja de outro local (município, estado); (2) Haver maior cooperação entre engenheiros e ambientalistas no que diz respeito à flora e fauna, de forma a causar o menor impacto possível nestes e; (3) Mudar a percepção negativa que foi lançada sobre o alto custo e a eficácia dos projetos de alimentação praial, os quais necessitam de manutenção efetiva para funcionar, assim como qualquer obra em qualquer lugar. Como exemplo, o custo de alimentação de uma praia, de acordo com o Quadro 7 (R\$41,25/m³) considerando os valores de volumes encontrados no Quadro 8 (226,8m³/m ou 264,6m³/m) custaria em 1km de projeto de alimentação o montante de R\$9.355.500,00/km ou R\$10.914.750,00/km dependendo do tipo de sedimento adicionado. Já uma implantação de asfalto simples de acordo com o DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 2016) custa em média R\$3.172.000,00/km, podendo chegar a R\$10.402.051,87/km em casos mais elaborados com três faixas, por exemplo (valores de novembro de 2016). Esta comparação demonstra como um investimento em um projeto de alimentação praial se aproxima de uma construção de rodovia a qual seguidamente passa por

manutenções, sendo o primeiro, muitas vezes, tão importante ou mais para a população beneficiada.

2.4 Referências

ALFREDINI, P. **Obras e gestão de portos e costas. A técnica aliada ao enfoque logístico e ambiental**. São Paulo: Edigar Blücher, 2005. 688p.

ALMEIDA, L.R. **Estudio de dinámica litoral y evolución de la zona sur de la Playa de Piçarras (Santa Catarina/Brasil)**. 2013. 259p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Gestão integrada de Zonas Costeiras) - Universidade de Cantábria. Santander, 2013.

ALVEIRINHO DIAS, J.M. **Estudo de avaliação da situação ambiental e proposta de medidas de salvaguarda para a faixa costeira portuguesa**. In: Geologia Costeira. 1993. p.13-38.

ARAUJO, R.S.; SPROVIERI, F.C.; FREITAS, D.; KLEIN, A.H.F. Variação da morfologia praial e identificação de zonas de erosão acentuada (ZEA) na Enseada do Itapocorói – SC. **Braz. J. Aquat. Sci. Technol**, v.14, n.1, p.29-38, 2010.

BELLO, R. Sea level rise: Evaluating adaptation strategies and options. In: CONFERENCE ON INTERNATIONAL RESEARCH ON FOOD SECURITY, NATURAL RESOURCE MANAGEMENT AND RURAL DEVELOPMENT VIENNA, 2016, Áustria. **Anais...** 2016.

BENEDET, L.; FINKL, C.W.; CAMPBELL, T.; KLEIN, A. Predicting the effect of beach nourishment and cross-shore sediment variation on beach morphodynamic assessment. **Coastal Engineering**, v.51, p.839-861, 2004

BENEDET, L.; FINKL, C.W.; HARTOG, W.M. Processes controlling development of erosional hot spots on a beach nourishment project. **Journal of Coastal Research**, v.23, n.1, p.33-48, 2007.

BENEDET, L.; LIST, J.H. Evaluation of the physical process controlling beach changes adjacent to nearshore dredge pits. **Coastal Engineering**, v.55, n.12, p.1224-1236, 2008.

BENEDET, L. **Processes controlling beach nourishment performance at Delray Beach**. 2016. 189f. Tese – Delft University of Technology, 2016.

BIRKEMEIER, W.A. Field data on seaward limit of profile change. **Coastal Ocean Engineering**, ASCE: v.111, p.598-602, 1985.

BOAK, E.H.; TURNER, I.L. Shoreline definition and detection: A review. **Journal of Coastal Research**, West Palm Beach (Florida), v.21, n.4, p.688-703, 2005.

BONETTI, J.; KLEIN, A.H.F.; MULDER, M.; DE LUCA, C.B.; SILVA, G.V.; TOLDO JR., E.E.; GONZÁLEZ, M. Spatial and numerical methodologies on coastal erosion and flooding risk assessment. In: Finkl, C. (Ed.) **Coastal Hazards**. Coastal Research Library Series. Dordrecht: Springer, 2012, p.423-44.

BRASIL. Lei Nº 10.257, de 10 de julho de 2001. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.sema.rs.gov.br/sema/html/leisest.html>>.

BRASIL. Decreto Nº 5.300, de 7 de dezembro de 2004. Regulamenta a Lei no 7.661, de 16 de maio de 1988, que institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro - PNGC, dispõe sobre regras de uso e ocupação da zona costeira e estabelece critérios de gestão da orla marítima, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.in.gov.br/imprensa/jsp/jsp/jornaiscompletos_leitura.jsp#pesquisa>

BRUUN, P. **Coastal Erosion and the Development of Beach Profiles**. Technical Memorandum N° 44, Beach Erosion Board, 1954.

BRUUN, P. Seal-level rise as a cause of shore erosion. **Journal of the Waterways and Harbors Division**, v.88, p. 117-130, 1962.

CAMPBELL, T.J.; BENEDET, L. A conceptual model for the retreat and volume loss of the Louisiana barrier islands with implications for the design of beach nourishment. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COASTAL ENGINEERING, 29., 2004. **Proceedings...** World Scientific. 2004a.

CAMPBELL, T.J.; BENEDET, L. **Beach nourishment magnitudes and trends in the U.S.** Journal of Coastal Research, SI39, p.57-64, 2004b.

CEPAL (COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE). **Efectos del cambio climático em la costa de América Latina y el Caribe**: Guía metodológica. Santiago de Chile: Naciones Unidas, 2011.

COPOBIANCO, M.; HANSON, H. LARSON, M.; STEETZEL, H.; STIVE, M.J.F. **Nourishment design and evaluation: applicability of models concepts**. Coastal Engineering, SI47, p.113-135, 2002.

COUNCIL OF EUROPE European Code of Conduct for Coastal Zones, CO-DBP (99)11, Strasbourg, 1999.

DEAN, R.G. **Equilibrium beach profiles: U.S. Atlantic and Gulf coasts**. Report nº 12, Department of Civil Engineering, Ocean Engineering, University of Delaware, Newark, Delaware. 1977.

DEAN, R.G.. Coastal Sediment Processes: Toward Engineering Solutions. In: SPECIALTY CONFERENCE ON COASTAL SEDIMENTS, 1987. **Proceedings...** American Society of Civil Engineers, 1987, p.1-24.

DEAN, R.G. Equilibrium Beach Profiles: Characteristics and Applications. **Journal of Coastal Research**, v.7, n.1, p.53-84, 1991.

DEAN, R.G. **Beach nourishment: Theory and practice**. Singapura: World Scientific Publishing Co Pte Ltd, 2002. 324p.

DEAN, R.G.; DALRYMPLE, A.R. **Coastal processes with engineering applications**. Cambridge: Cambridge University Press, 2004. 489p.

DEAN, R.G. Beach nourishment. In: SATO, S.; ISOBE, M. (Ed.) **Internation compedium of coastal engineering**. Singapore: World Scientific Publishing, 2015, p. 293-334.

DELFT HYDRAULICS. **Manual on Artificial Beach Nourishment**, Centre for Civil Engineering research, codes and Specifications, Rijkswaterstaat, Report 130, 1987. 195 p.

DNIT. Custo Médio gerencial. Disponível em: < http://www.dnit.gov.br/custos-e-pagamentos/copy_of_custo-medio-gerencial> 2016.

DOODY, J.P. Coastal squeeze and managed realignment in southeast England, does it tell us anything about the future? **Ocean and Coastal Management**, v.79, p.34-41, 2013.

EVERST, C.H. Sea cliff retreat and coarse sediment yields in southern California. **Coastal sediments**, p.1589-1598, 1991.

FARINACCIO, A. **Impactos na dinâmica costeira decorrentes de intervenções em praias arenosas e canais estuarinos de áreas densamente ocupadas no litoral de São Paulo, uma aplicação do conhecimento a áreas não ocupadas**. 2008. 217f. Tese (Doutorado em Oceanografia Química e Geológica). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

FINKL, C.W.; KHALIL, S.M. Offshore exploration for sand sources: General guidelines and procedural strategies along deltaic coasts. **Journal of Coastal Research**, v.44, SI, p.203-233, 2005.

FINKL, C.W.; WALKER, H.J. Beach nourishment. In: SCHWARTZ, M. (Ed.) **Encyclopedia of Coastal Science**, Dordrecht: Springer, 2005, p. 147-161.

GILBERT, J.; VELLINGA, P. **Strategies for adaptation to sea level rise**. Report of the Coastal Zone Management Subgroup, Intergovernmental Panel on Climate Change, World Meteorological Organization and U.N. Environmental Programme. Netherlands, 1990.

GONZÁLEZ, M.; MEDINA, R. On the application of static equilibrium bay formulations to natural and man-made beaches. **Coastal Engineering**, v.43, p.209-225, 2001.

HALLERMEIER, R.J. Uses for a calculated limit depth to beach erosion. In: Coastal Engineering Conference, ASCE, 16., 1978, Hamburg, Germany. **Proceedings...** 1978, p.1493-1512.

HALLERMEIER, R.J. A profile zonation for seasonal sand beaches from wave climate. **Coastal Engineering**, v.4, p. 253–277, 1981.

IBGE, **Cidades@** dados do censo demográfico 2010 por cidade. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. 2010.

IH CANTABRIA – MMA. **Sistema de modelagem costeira, SMC – Brasil: Documento temático – Recuperação de praias**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. No prelo a.

IH CANTABRIA – MMA. **Sistema de modelagem costeira, SMC – Brasil: Documento temático – Ondas**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. No prelo b.

KLEIN, A.H.F.; MENEZES, J.T. Beach morphodynamics and profile sequence for a headland bay coast. **Journal of Coastal Research**, West Palm Beach (Florida), v.17, n.4, p.812-835, 2001.

KLEIN, A.H.F.; DIEHL, F.L.; BENEDET, L. The paradigm between beach protection and beach restoration: Case studies in Santa Catarina state, southeastern Brazil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COASTAL CONSERVATION AND MANAGEMENT IN THE ATLANTIC AND MEDITERRANEAN, 2005, Tavira. **Book of Abstracts...** 2005, p.327-329.

KLEIN, A.H.F.; ARAUJO, R.S.; POLLETE, M.; SPERB, R.M.; FREITAS NETO, D.; CAMARGO, J.M.; SPROVIERI, F.C.; PINTO, F.T. Ameliorative strategies at Balneário Piçarras beach-Brazil. In: Willian, A.T., Micallef, A. (Org.). **Beach management: Principles and practice**. Earthscan, 2009.

KLEIN, A.H.F.; PRADO, M.F.V.; DALINGHAUS, C.; CAMARGO, J.M. **Metodologia para quantificação de perigos costeiros e projeção de linhas de costa futuras como subsídio para estudos de adaptação da zona costeira do litoral norte da Ilha de Santa Catarina e entorno**. Florianópolis, 2016. 206p. (Relatório Técnico Final)

KOMAR, P.D. **Beach processes and sedimentation**. New Jersey: Prentice-Hall, 1976. 429p.

MACHADO, V. B. **Mapeamento e análise de obras de engenharia costeira no litoral do estado de Santa Catarina**. 2010. 256f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Oceanografia). Universidade do Vale do Itajaí - UNIVALI. Itajaí, SC, 2010.

MACHADO, V. B. **Metodologia para análise de implantação de medidas de adaptação costeira frente a elevação do nível médio do mar: Estudo de caso Enseada do Itapocorói - SC**. No prelo. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Oceânica). Universidade Federal de Rio Grande - FURG. Rio Grande, RS, no prelo.

MASSELINK, G.; SHORT, A. D. The effect of tide range on beach morphodynamics and morphology – a conceptual beach model. **Journal of Coastal Research**, v.9, p.785-800, 1993.

MIN V&W. **Coastal defence after 1990, a policy choice for coastal protection**. 1st Coastal Policy Document, Ministry of Transport, Public Works and Watermanagement, The Hague NL, 1990.

MMA (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE) - **Projeto Orla: fundamentos para a gestão integrada**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente / Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, 2006. 74p.

MMA. **Macrodiagnóstico da zona costeira e marinha do Brasil**. Orgs. ZAMBONI, A; NICLODI, J.L. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2008.

MMA. **Panorama da conservação dos ecossistemas costeiros e marinhos no Brasil**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade e Florestas/Gerência de Biodiversidade Aquática e Recursos Pesqueiros, 2010. 148p.

MOORE, B.D. **Beach profile evolution in response to changes in water level and wave height**. 1982. Masters Thesis, Department of Civil Engineering, University of Delaware, 1982.

MUEHE, D. Aspectos gerais da erosão costeira no Brasil. **Mercator**, v.4, n.7, p.97-110, 2005.

MUEHE, D. (Ed.). **Erosão e progradação do litoral brasileiro**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006.

NORDSTROM, K.F. **Beaches and dunes of developed coasts**. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.

NORDSTROM, K.F.; LAMPE, R.; JACKSON, N.L. Increasing the dynamism of coastal landforms by modifying shore protection methods: examples from the eastern German Baltic Sea Coast. **Environmental Conservation**, v.34, p.205–214, 2007.

NORDSTROM, K.F. **Beach and dune restoration**. New York: Cambridge University Press, 2008. 187p.

NORDSTROM, K.F. Living with shore protection structures: a review. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v.150, p.11–23, 2014.

SCHERER, M. Gestão de praias no Brasil: Subsídios para uma reflexão. **Revista de Gestão Costeira Integrada / Journal of Integrated Coastal Zone Management**, v.13, n.1, p.3-13, 2013.

SENADO FEDERAL - Constituição da República Federativa do Brasil. Senado Federal, Brasília, DF, Brasil. 1988. Disponível em: http://www.senado.gov.br/legislacao/const/con1988/CON1988_05.10.1988/CON1988.pdf

SHORT, A.D. **Handbook of beach and shoreface morphodynamics**. New York: John Wiley & Sons, 1999. 379p.

SILVESTER, R.; HSU, J.R.C. **Coastal stabilization**. Advanced Series on Ocean Engineering. v.14. Singapore: World Scientific, 1997. 578p.

SOUZA, C.R.G. A erosão nas praias do estado de São Paulo: Causas, consequências, indicadores de monitoramento e risco. In: Bononi, V.L.R.; Santos Júnior, N.A (Orgs.). **Memórias do conselho científico da Secretaria do Meio Ambiente: A síntese de um ano de conhecimento científico acumulado**. São Paulo: Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo, 2009a

SOUZA, C.R.G. A erosão costeira e os desafios da gestão costeira no Brasil. **Revista de Gestão Costeira Integrada / Journal of Integrated Coastal Zone Management**, v.9, n.1, p.17-37, 2009b.

STANLEY, D.J. Eastern Mississippi delta: late Wisconsin unconformity, overlying transgressive facies, sea level and subsidence. **Engineering Geology**, v.45, p.359-381, 1996.

STIVE, J.F.; SCHIPPER, M.A.; LUIJENDIJK, A.P.; AARNINKHOF, S.G.J.; VAN GELDER-MAAS, C.; VAN THIEL DE VRIES, J.S.M.; DE VRIES, S.; HENRIQUEZ, M.; MARX, S.; RANASINGHE, R. A new alternative to saving our beaches from sea-level rise: The sand engine. **Journal of Coastal Research**, v.29, n.5, p.1001-1008, 2013.

STROHAECKER, T.M.; TOLDO JR., E.E. Medidas não estruturais de proteção à costa: O caso do município de Capão da Canoa no litoral norte do estado do Rio Grande do Sul. In: ENCUESTRO DE GEÓGRAFOS DE AMERICA LATINA, 12, 2009, Montevideo. **Anais...** 2009.

SUNAMURA, T. **Geomorphology of rocky coasts**. Chichester: Wiley, 1992.

USACE (US ARMY CORPS OF ENGINEERS). Longshore sediment transport. In: USACE. **Coastal Engineering Manual** - Chapter 2, Part III. Vicksburg, Mississippi: EM 1110-2-1100, 2002a. 113p.

USACE (US ARMY CORPS OF ENGINEERS). Shore protection projects. In: USACE. **Coastal Engineering Manual** - Chapter 3, Part V. Vicksburg, Mississippi: EM 1110-2-1100, 2002b. 116p.

USACE (US ARMY CORPS OF ENGINEERS). Beach fill design. In: USACE. **Coastal Engineering Manual** - Chapter 4, Part V. Vicksburg, Mississippi: EM 1110-2-1100, 2003a. 113p.

USACE (US ARMY CORPS OF ENGINEERS). Planning and design process. In: USACE. **Coastal Engineering Manual** - Chapter 1, Part V. Vicksburg, Mississippi: EM 1110-2-1100, 2003b. 21p.

VAN KONINGSVELD, M.; OTTEN, C.J.; MULDER, J.P.M. **Dunes: The Netherlands soft but secure sea defences**. 2007

VAN RIJN, L.C. **Principles of coastal morphology**. Amsterdam, Holanda: Aqua Publications, 1998.

VERHAGEN, H.J. Method for artificial beach nourishment. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COASTAL ENGINEERING, ASCE, 23., 1992. **Proceedings...** Venice, 1992. p.2474-2485.

WATERMAN, R.E. **Integrated coastal policy via building with nature**. 2010. 69p. Tese (Engenharia Civil e Geociências). Technische Universiteit Delft, Delft, Netherlands, 2010.

WRIGHT, L.D.; SHORT, A.D. Morphodynamic variability of beaches and surfzones: A synthesis. **Marine Geology**, v.56, p.92-118, 1984.

WRIGHT, L.D.; THOM, B.G. Coastal depositional landforms: A morphodynamic approach. **Progress in Physical Geography**, v.1, p.412-459, 1977.

Anexo I

Representação dos passos seguidos no desenvolvimento de um projeto de obras costeiras, conforme o processo de planejamento e de desenho descrito no Manual de Engenharia Costeira (*Coastal Engineering Manual*) (USACE, 2003b).

Legenda:

- (A) Definição clara do problema do projeto, incluindo o objetivo do mesmo;
- (B) Quantificação das condições ambientes atuais e futuras (no caso de não realização do projeto);
- (C) Identificação e análise das diferentes alternativas de projetos;
- (D) Seleção da alternativa com o melhor custo X benefício;
- (E) Desenvolvimento e teste do desenho funcional (se a obra atende a sua função de forma eficaz);
- (F) Desenvolvimento e teste do desenho estrutural (se a obra resiste frente ao clima local, ex. ondas de tempestades);
- (G) Constatação da construtibilidade (meios, métodos e materiais envolvidos na construção a obra), operação e manutenção, além do custo do ciclo de vida da obra;
- (H) Desenho do projeto final, juntamente com as devidas especificações;
- (I) Construção do projeto;
- (J) Monitoramento e avaliação do desempenho do projeto.

Processos Costeiros se referem a dados físicos, como vento, ondas, correntes, nível, batimetria, entre outros, e às ferramentas de análise, ambos relevantes ao problema costeiro em questão.

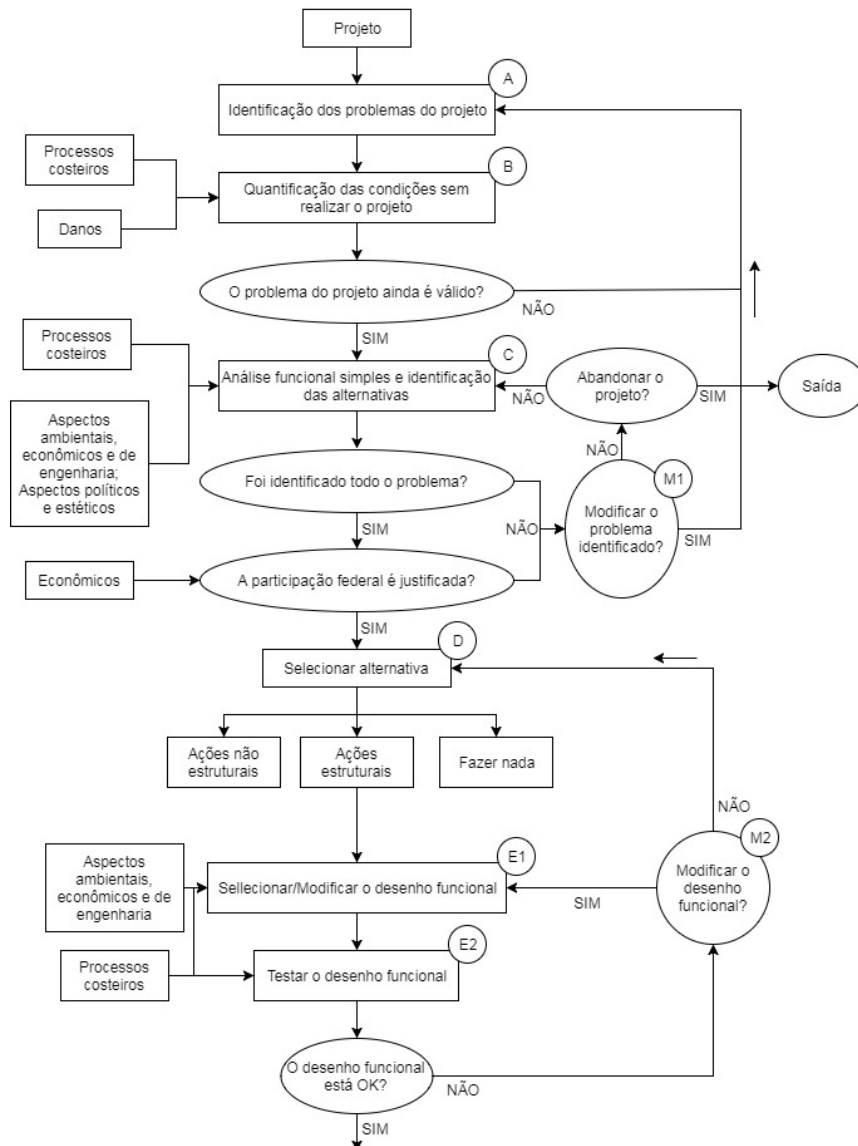


Figura 26 – Processo de planejamento e desenho de um projeto costeiro. Fonte: Modificado de USACE (2003b).

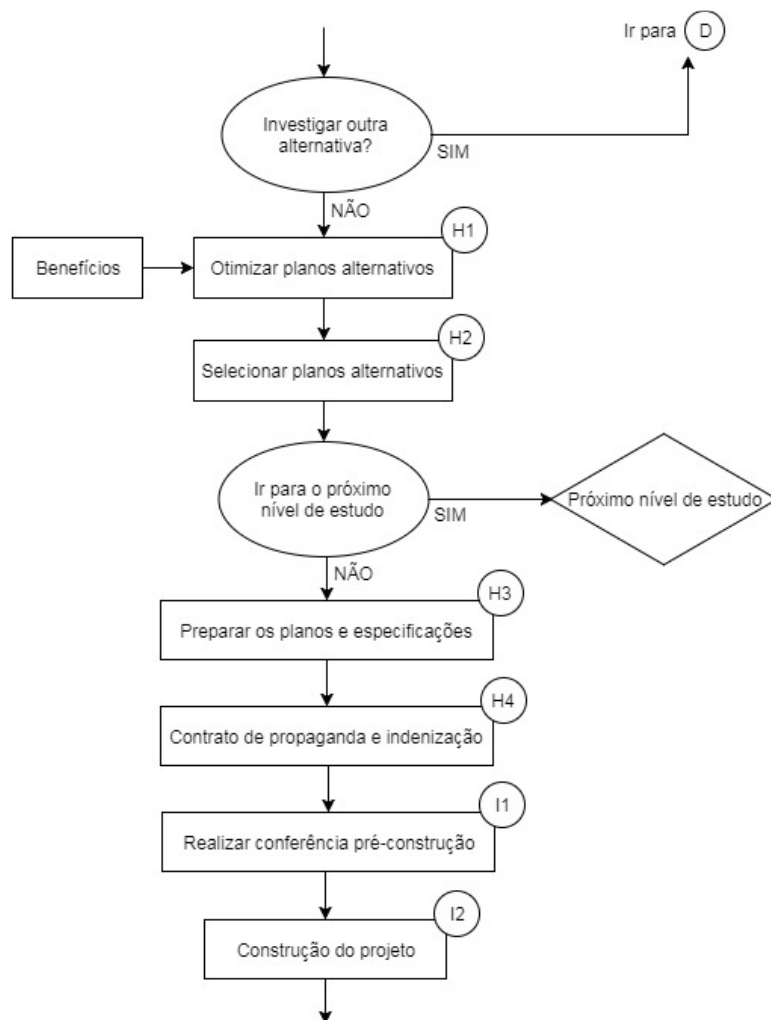


Figura 26 (CONTINUAÇÃO) – Processo de planejamento e desenho de um projeto costeiro. Fonte: Modificado de USACE (2003b).

3 Introdução sobre a articulação institucional em casos de necessidade de obras de proteção costeira

Os fatores que dificultam a conservação dos litorais são muitos, e a limitação de fazê-lo tem sido compartilhada por vários países. Com proporções continentais, o Brasil exhibe uma zona costeira igualmente agigantada: se contabilizadas reentrâncias e baías, sua soberania estende-se por mais de 15 mil quilômetros de linha de costa. Nesse contexto, é certo que, para lidar com o problema da erosão costeira, é necessário o envolvimento de diferentes instituições (públicas, privadas, militares, municipais, estaduais e federais), pois os problemas são complexos e sobrepõem competências legais, sendo necessária a manifestação (por meio de autorizações, anuências e licenças) dos órgãos públicos que atuam na linha de costa ao longo das etapas de planejamento, licenciamentos, execução, monitoramento e manutenção da obra.

A articulação institucional é a integração entre órgãos e entidades para a elaboração e a aplicação de políticas públicas que cuidam de problemas complexos, neste caso, o fenômeno da erosão costeira. O objetivo deste Guia é estabelecer um fluxo com as etapas necessárias para diagnóstico, planejamento e execução de obras preventivas de contenção da erosão costeira e os momentos de necessária aproximação e integração com as diversas instituições que podem ou devem ser consultadas ou instadas a se manifestar.

Vale destacar que o fluxo aqui descrito apresenta-se como uma sugestão para que se obtenha a formalização de obras de proteção costeira. Buscou-se, porém, apontar a maior parte dos estágios para o alcance do objetivo da intervenção costeira, indicando instituições e documentos que provavelmente terão de integrar o processo em algum momento. Dessa forma, pode-se afirmar que dificilmente um projeto distante da articulação institucional aqui sistematizada cumprirá todos os requisitos necessários à legalidade do processo administrativo - poderá não ser ambientalmente sustentável ou não ter garantida a viabilidade técnica e econômica, por exemplo. Assim, cabe ao empreendedor ser proativo, não esperar os questionamentos e sanções no âmbito jurídico para alinhar a atuação juntos às instituições de controle. Para além do arranjo proposto, todas as legislações aplicáveis às atividades descritas ou aos empreendimentos objeto deste Guia devem ser criteriosamente atendidas, assim como devem ser respeitados os procedimentos que as instituições brasileiras atualmente adotam, seja na esfera federal, estadual ou municipal.

Considerando as constantes atualizações na legislação e o contínuo avanço do conhecimento científico acerca do tema, o arranjo institucional também poderá passar por revisões futuras, de forma que novas instituições possam ser convidadas a contribuir com o Guia e fluxo propostos, de acordo com a sua inserção neste contexto institucional.

Ainda a respeito do papel das instituições diante de fenômenos de erosão costeira, vale ressaltar que todos os entes federativos têm obrigação legal de zelar pela manutenção da linha de costa, conforme disposto no artigo 11 da Lei nº 9.636, de 15 de maio de 1998, abaixo:

§ 4º Constitui obrigação do Poder Público federal, estadual e municipal, observada a legislação específica vigente, zelar pela manutenção das áreas de preservação ambiental, das necessárias à proteção dos ecossistemas naturais e de uso comum do povo, independentemente da celebração de convênio para esse fim.

Por fim, foi construído um fluxograma, documento integrante deste Guia de Obras de Proteção Costeira, que segue anexo a este capítulo 3 de modo a ilustrar as etapas de uma obra ou intervenção costeira e que está de acordo com o texto aqui desenvolvido.

Fenômeno Erosivo

Entendendo o “problema”

O fenômeno erosivo é o centro da análise, sendo que as consequências para a linha de costa/sociedade os pontos que serão tratados por ações específicas. São exemplos de fenômenos de erosão costeira:

- diminuição da faixa de praia;
- destruição de equipamentos urbanos pela ação das marés;
- assoreamentos de canais;

Exemplos de obras



Para saber mais sobre os tipos genéricos da orla marítima, com diferentes formas de uso e ocupação do solo, ver os capítulos 5 e 6 da publicação FUNDAMENTOS PARA GESTÃO INTEGRADA.

1. Ficha de caracterização do problema

A partir do diagnóstico de uma situação de erosão costeira, faz-se necessário inicialmente promover uma caracterização conjuntural mínima: deve-se proceder a uma pesquisa para entender o histórico de fenômenos erosivos, intervenções e ocupações da área, as possíveis causas da erosão e os principais impactos observados, dentre outros. Nesse sentido, como parte do fluxograma proposto, apresenta-se a “Ficha de Caracterização da Situação”, no Anexo I deste Guia, com o objetivo de orientar as informações iniciais que devem ser levantadas em um processo de possível intervenção costeira.

A Ficha deve apresentar dados sobre a área afetada, documentos técnicos e científicos produzidos, matérias jornalísticas, dossiê fotográfico, indicação dos atores sociais afetados, caracterização dos impactos sociais, ambientais e econômicos, legislações aplicáveis, planejamentos ambientais e urbanos incidentes na área, peculiaridades; enfim, todas as informações disponíveis que possam corroborar a necessidade de estudo de intervenção para a área afetada.

O intuito do documento é possibilitar que qualquer pessoa, física ou jurídica, inclusive sem conhecimentos técnicos aprofundados, possa iniciar um processo de intervenção na área afetada junto a uma instituição pertinente.

2. *Elaboração do Termo de Referência do Estudo de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental - TR-EVTEA*

Com a identificação do problema, cabe ao proponente elaborar um Termo de Referência (TR) para a contratação de um Estudo de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental (EVTEA). Este estudo apontará a viabilidade de execução da obra pretendida, isto é, irá dimensionar a abrangência da situação e a das possíveis respostas. Da mesma forma, o

EVTEA definirá a viabilidade do empreendimento. A realização de qualquer intervenção sem o devido planejamento poderá gerar impactos ambientais, cujo responsável estará sujeito às sanções penais e administrativas prevista Lei dos Crimes Ambientais (Lei federal nº 9.605, de 12/02/1998).

Definindo e entendendo “proponente”

O chamado “proponente” ou “empreendedor” é a instituição (pessoa jurídica, de direito público ou privado) que, por iniciativa própria ou por demanda de terceiros, atuará como articuladora do processo de planejamento e execução da intervenção. Não significa, entretanto, que o proponente será o único responsável pelo êxito do empreendimento. Ele deve, inclusive, requisitar a participação dos poderes públicos municipal, estadual ou federal, no que lhes couber, para o desenvolvimento da resolução do problema identificado.

Importante ressaltar a existência de ótimas experiências de formação de Grupos de Trabalho para solução de problemas complexos por meio da integração de diferentes atores com diversas expertises, como forma de potencializar os esforços e ideias

A viabilidade ambiental refere-se à compatibilidade entre a intervenção que se planeja realizar e os impactos positivos e negativos sobre os elementos socioambientais locais e regionais, considerando as alternativas tecnológicas e locacionais existentes.

Tendo em vista o seu condão de orientar as próximas etapas do processo, o EVTEA é um documento de extrema importância. Assim, sua qualidade é determinante para o sucesso do produto final: a obra. Iniciam-se nele os estudos essenciais para o correto diagnóstico do problema e determinação das possíveis soluções, e a comparação entre elas para definição de qual seria a mais indicada, de acordo com diversos critérios, entre eles o técnico, ambiental e o econômico. A proposta é que o EVTEA possibilite o conhecimento de parte da realidade com que se estará lidando e o domínio do problema. Portanto, um EVTEA bem elaborado tem o potencial de facilitar a condução das etapas posteriores, fazendo com que o proponente esteja mais próximo de uma obra bem-sucedida.

De caráter eminentemente técnico, o EVTEA indicará alternativas de obras de proteção costeira, avaliando-as detalhadamente, no nível necessário exigido pelo TR. A Definição da alternativa a ser adotada na proteção costeira visando à recuperação da orla marítima e das praias será feita pelo Poder Público Estadual e Municipal, por meio de uma Comissão Técnica.

Fique Atento!

No desenvolvimento dos estudos das alternativas de obras de proteção costeira **deverão ser considerados minimamente os seguintes aspectos:**

- a) Identificação e definição de pelo menos 02 alternativas, para obras de proteção costeira, para recuperação da orla marítima e das praias arenosas (aterro hidráulico), bem como, se na área houver intervenções emergenciais, prever as medidas corretivas necessárias às obras já implantadas;
- b) Simulações em modelos analíticos e numéricos das alternativas, de forma a validar as propostas;
- c) Avaliação das alternativas identificadas sob o ponto de vista técnico, socioeconômico e ambiental;
- d) Análise comparativa das alternativas demonstrando a viabilidade técnica, socioeconômica e ambiental e o adequado tratamento das alterações ambientais que possam ocorrer com sua implantação;
- e) Avaliação das alternativas identificadas de modo a considerar a durabilidade e

- a disponibilidade de material (jazidas de areia, para o caso de ser proposta a técnica de engordamento da praia - “aterro hidráulico”, pedreiras, se for utilizada a técnica de enrocamento da praia), sistema de operação e custo de manutenção, durante a vida útil do empreendimento;
- f) As alternativas devem considerar soluções técnicas estruturais tanto para contenção da erosão costeira quanto para a estabilidade de praias arenosas, bem como abordar aquelas para as obras/intervenções de contenção já implantadas na orla marítima.

É relevante que o proponente atue de maneira coesa, alinhando as expectativas dos diversos órgãos envolvidos. Certamente isso demandará investimento na articulação entre todas as instituições interessadas, mas evitará atrasos indevidos e inoportunos, especialmente após o início da obra, já que podem implicar sua paralisação. Deve-se observar, por exemplo, a compatibilidade entre a solução desejada e as diversas legislações incidentes sobre a área, como o Plano Diretor Municipal e Lei Orgânica do município.

Assim, o TR do EVTEA, que configura o planejamento da contratação, deve ser elaborado a partir de estudos técnicos preliminares e conter os elementos necessários para caracterizar o objeto da licitação com nível de precisão adequado. Sua função é determinar o que é esperado do EVTEA, quais requisitos e modelos serão exigidos para aceitação do estudo no momento da sua entrega final.

Cabe ao proponente elaborar os diversos **Termos de Referência** apontados ao longo deste capítulo 3. Tratando-se de assunto essencialmente técnico, caso não disponha de equipe especializada, é recomendada a contratação de consultor(es) com domínio e experiência para a elaboração do TR.

3. Licitação e Contratação do EVTEA

O TR elaborado servirá de fundamento para a delimitação do objeto da licitação - o Estudo de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental. A lei federal que institui normas para a licitação e contratos de Administração Pública é a Lei 8.666/93. Dada a importância de contratações com o uso de recursos públicos que tratam da execução de obras e serviços de engenharia, esta lei possui uma seção específica relativa às Obras e Serviços. Nesta seção são expostas as condições para realização de chamamentos públicos, vedações, formas de execução das obras ou serviços, bem como os requisitos a serem considerados nos projetos de engenharia.

Desta forma, seu conhecimento é instrumento básico para o início de um procedimento que culmine na execução de obras para a proteção da linha de costa, passando pelas etapas de elaboração de estudos de viabilidade e projetos de engenharia.

Posteriormente, foi promulgada a Lei 12.462/2011 que instituiu o Regime Diferenciado de Contratações Públicas – RDC. Este normativo apresenta novas modalidades de licitação que podem ser aplicadas na contratação de projetos e obras de proteção costeira que podem minimizar seu tempo, bem como seu processo administrativo.

É importante que o proponente tenha a o conhecimento pleno da utilização destes recursos normativos, pois é comum que os órgãos responsáveis pela licitação não sejam os mesmos que executam as obras, havendo, dentro de uma mesma estrutura administrativa, um

descompasso entre o andamento das obras e os procedimentos legais que garantem os repasses aos empreiteiros, podendo gerar a paralização das obras.

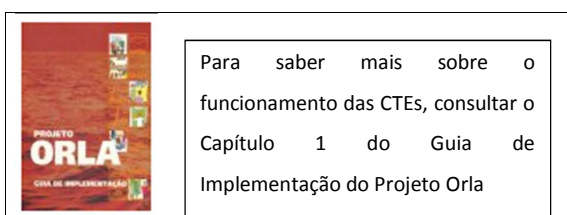
4. Desenvolvimento e entrega EVTEA/Anteprojeto

A empresa vencedora do certame ficará responsável pela elaboração do EVTEA. Como exposto, o Estudo pretende detalhar o problema, sendo que seu objetivo é descrever a situação e elaborar alternativas para a intervenção, bem como sua análise e comparação, de forma a determinar vantagens e desvantagens a fim de fundamentar decisões futuras. Deverão ser analisados o diagnóstico e os prognósticos tanto da não intervenção quanto das alternativas apontadas.

Nessa etapa é importante buscar todos os dados e informações possíveis. Para isto pode se fazer necessária a articulação com as Câmaras Técnicas Estaduais (CTEs), que poderão facilitar o contato com as instituições que podem ter conhecimentos úteis para subsidiar o EVTEA. Nesse sentido, é recomendado consultar a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), que pode dispor de informações importantes para o mapeamento de áreas com potencialidade de jazidas; o Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias (INPH), que realiza estudos hidrodinâmicos regionais; universidades com interesse acadêmico no campo, que podem inclusive já haver realizado levantamentos de dados úteis; Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE); Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO).

Deve-se observar a necessidade de obtenção de autorizações prévias para a realização dos estudos em campo, como Marinha, por meio da Capitania dos Portos com jurisdição na área, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN), Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) e outros que se façam necessários.

É importante que sejam observados os planos e programas incidentes na área de intervenção, como o Plano Diretor, Plano de Gestão Integrada da Orla – PGI, Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro - PEGC e Plano Municipal de Gerenciamento Costeiro – PMGC.



5. Requerimento à SPU e Pedido Preliminar à Marinha

A Secretaria do Patrimônio da União (SPU) deve ser questionada, em sua Superintendência no Estado, sobre projetos ou solicitações de utilização que possam se sobrepor na área de interesse. Caso não haja requerimentos de terceiros para a poligonal do projeto, a SPU poderá expedir uma Declaração de Disponibilidade da Área, que atesta que até

aquele momento não havia outros interessados ou usos previstos. Havendo qualquer alteração no projeto ou na execução, a SPU deve ser novamente solicitada a se manifestar.

Quaisquer intervenções nas áreas de praia e mar territorial dependem de ciência e autorização da SPU. A “Autorização de Obras”, poderá ser expedida a pedido, para aquelas intervenções que não venham a alterar a sua característica de bem de uso comum da população (ou seja, que mantenham seu uso público, irrestrito e integralmente sem fins lucrativos). As obras de proteção costeira que se limitam a resolver o problema da progradação da linha de costa e diminuição da faixa de areia geralmente podem ser regularizadas apenas por meio de autorização de obras; para obras que incluam qualquer alteração de uso do espaço, como a instalação de quiosques por exemplo, deverão ser objeto de outros tipos de regularização da utilização outorgadas a critério da SPU.

Recebido o requerimento com a descrição da intervenção, área influenciada, poligonal do canteiro de obras, cronograma com previsão de início e de fim e outros documentos e informações solicitados, a SPU analisará o pedido e, se for o caso, expedirá a **autorização de obras**.

Recomenda-se, portanto, que após a finalização do EVTEA, quando será conhecida a solução mais indicada, o proponente requeira a autorização de obras junto à Superintendência do Patrimônio da União no Estado em que se situam o(s) município(s) atingido(s), caso a intervenção proposta mantenha na área apenas uso público de acesso irrestrito e atividades que não envolvam exploração econômica.

Cabe destacar que a autorização de obras expedida pela SPU apenas atesta a conformidade do pleito da obra a ser realizado em área da União, sem eximir o empreendedor da necessidade de obtenção de demais autorizações, licenças ambientais, certidões, dentre outros.

6. Requerimento de Licença Prévia no Órgão Ambiental Competente

A licença ambiental é o ato administrativo, com **prazo de validade definido**, em que o órgão ambiental estabelece as condições, restrições e medidas de controle e monitoramento a serem cumpridas no planejamento, instalação e operação da atividade ou empreendimento. Durante o processo de licenciamento, geralmente, o órgão ambiental expede as seguintes licenças: (i) Licença Prévia - LP, que aprova a localização e atesta a viabilidade ambiental da atividade ou empreendimento; (ii) Licença de Instalação - LI, que autoriza a instalação da atividade ou empreendimento; (iii) Licença de Operação, que autoriza a operação da atividade ou empreendimento, após verificação do efetivo cumprimento das condições das licenças anteriores, e determina as medidas de controle ambiental e condições para operação. Destaca-se que as licenças ambientais poderão ser expedidas isolada ou sucessivamente, de acordo com a natureza, características e fase do empreendimento ou atividade.

Com base no EVTEA, adaptado na forma de um “Projeto Básico/Anteprojeto”, o empreendedor deve requerer a Licença Prévia ao órgão ambiental competente, definido pela Lei Complementar nº 140, de 08/12/2011.

7. Emissão de Termo de Referência para Licenciamento Ambiental

Após a análise de competência, o órgão ambiental deverá elaborar o Termo de Referência para o devido licenciamento ambiental. Neste momento é definido o tipo de estudo ambiental adequado para o caso específico, tal qual o Estudo de Impacto Ambiental e

respectivo Relatório de Impacto Ambiental - EIA/RIMA, ou outro tipo de Estudo Ambiental Simplificado e quais as informações mínimas devem compor o Estudo, bem como são indicadas quais outras instituições devem ser acionadas.

Para ilustrar o procedimento mais completo possível das próximas etapas, foram simulados dois cenários para os estudos solicitados pelo órgão ambiental: (i) EIA/RIMA, especificamente, conforme itens 8 e 9 (ii) outros tipos de estudos ambientais, conforme item 10.

8. Licitação e Contratação do EIA/RIMA

Com o TR emitido pelo órgão ambiental, o proponente deverá licitar (Lei nº 8.666/93) e contratar Consultoria Ambiental devidamente habilitada para elaboração do EIA/RIMA.

Cabe ao proponente atuar como coordenador e fiscal do trabalho, orientando à elaboração do objeto contratual, nos prazos acordados e no formato especificado.

A contratada deverá entregar os produtos conforme versa o TR elaborado pelo Órgão Ambiental, respeitando a estrutura proposta e os conteúdos exigidos. Cabe ao empreendedor os alinhamentos necessários junto ao Órgão Ambiental e a obtenção de autorizações para os trabalhos de campo que se façam necessárias.

O EIA e o RIMA são dois documentos distintos com focos diferenciados, mas elaborados no mesmo momento e com base nas mesmas pesquisas. Enquanto o EIA é o diagnóstico das potencialidades naturais e socioeconômicas, dos impactos do empreendimento e das medidas destinadas a mitigação, compensação e controle desses impactos, o RIMA oferece informações essenciais para que a população tenha conhecimento das vantagens e desvantagens do projeto e as consequências ambientais de sua implementação. Em termos gerais, pode-se dizer que o EIA é um documento técnico e o RIMA, um relatório gerencial, voltado ao grande público, de forma que tais diretrizes podem ser consultadas no Caderno de Licenciamento Ambiental do MMA¹⁴, que não isenta a pesquisa da legislação e de outra literatura pertinente.

9. Audiência Pública Obrigatória

Após o recebimento do EIA/RIMA, o Município deve submeter o produto a todos os interessados por meio de Audiência Pública, conforme Resolução CONAMA nº 9/1987. Desta forma, busca-se dirimir dúvidas e recolher críticas e sugestões. Necessário observar os prazos e meios de divulgação e as formalidades do evento, que é condição de validade das licenças concedidas. Tendo em vista que o apoio da população é essencial para o sucesso do projeto, é fundamental sempre buscar a inclusão de segmentos da sociedade civil organizada nas discussões decorrentes do processo. Ver Portaria Interministerial nº 60 de 24/03/2015.

10. Outros tipos de Estudos Ambientais (conforme definido no TR)

¹⁴ Caderno de Licenciamento Ambiental. MMA. <http://www.mma.gov.br/estruturas/dai_pnc/_arquivos/pnc_caderno_licenciamento_ambiental_01_76.pdf> Consultado em 25/07/2017.

Em função da complexidade ou do tipo de intervenção, o Órgão Ambiental poderá solicitar estudos diferenciados ou simplificados, tais como:

- Plano de Controle Ambiental - PCA;
- Relatório de Controle Ambiental - RCA;
- Relatório Ambiental Simplificado - RAS.

A depender do arranjo local, poderão ser realizadas reuniões públicas, temáticas ou consultas públicas.

11. Complementações

Após recebimento das críticas e sugestões oriundas da Audiência Pública, o órgão ambiental poderá solicitar ao empreendedor a complementação das informações apresentadas ou mesmo novos estudos. Caberá então ao empreendedor viabilizar a realização destes estudos, seja por meio de nova contratação por parte do proponente (caso a complementação não tenha sido descrita no TR) seja por solicitação de correção/revisão do conteúdo pelo empreendedor, de acordo com solicitações do órgão ambiental.

É necessária atenção especial do proponente ao conteúdo apresentado pelo EIA/RIMA, averiguando se o empreendedor de fato executou o solicitado.

12. Licença Prévia - LP

O ato da aprovação do EIA/RIMA ou de outro estudo definido pelo órgão ambiental subsidia a emissão da Licença Prévia (LP), que atesta a viabilidade ambiental e locacional da intervenção, estabelecendo então os requisitos e condições prévias ao início da execução do empreendimento/atividade. É expedida pelo órgão ambiental e publicada no Diário Oficial, além disso, a LP não autoriza nenhuma intervenção.

13. Elaboração dos Termos de Referência do Projeto Básico (conforme Lei nº 8666/93) e do Projeto Básico Ambiental (PB e PBA)

Após emissão da licença prévia, o proponente deverá elaborar o Termo de Referência do Projeto Básico, documento técnico e executivo que irá subsidiar de fato as atividades operacionais de instalação do empreendimento. Além disso, quando couber, o proponente deverá elaborar o Termo de Referência do Projeto Básico Ambiental, em caráter executivo, de todos os programas ambientais previstos no EIA/RIMA e na Licença Prévia.

Ambos os Termos de Referência dos Projetos Básico e Básico Ambiental (PB e PBA) podem ser elaborados pelo proponente ou empresa contratada

Para o caso do Projeto Básico Ambiental, os programas de monitoramento, mitigação de impactos e compensatórios necessários à continuação do processo de licenciamento ambiental estarão listados na Licença Prévia, sendo que sua implementação faz parte dos condicionantes para a emissão da Licença de Instalação (LI).

O Projeto Básico, segundo o art. 6º da Lei nº 8.666/93, é o "conjunto de elementos necessários e suficientes, com nível de precisão adequado, para caracterizar a obra ou serviço, ou complexo de obras ou serviços objeto da licitação, elaborado com base nas indicações dos estudos técnicos preliminares, que assegurem a viabilidade técnica e o adequado tratamento do impacto ambiental do empreendimento, e que possibilite a avaliação do custo da obra e a definição dos métodos e do prazo de execução". Este Termo de Referência do Projeto Básico deverá contemplar as diretrizes estabelecidas neste Guia.

Dessa forma, a entrega dos TR-PB e TR-PBA constituem etapas fundamentais para o Requerimento da licença de Instalação e para a elaboração do projeto executivo que dará forma à intervenção. Será também com base nele que várias instituições poderão fundamentar suas licenças e autorizações necessárias.

14. Licitação, Contratação e Entrega do Projeto Básico (conforme Lei 8.666/93) e Projeto Básico Ambiental

Após a elaboração do TR, o proponente poderá licitar (Lei nº 8.666/93) e contratar empresa de consultoria especializada para elaboração do Projeto Básico e do Projeto Básico Ambiental. Caberá ao proponente acompanhar, fiscalizar e coordenar a elaboração dos documentos, em harmonia com os interesses institucionais e legais.

15. Requerimento de Licença de Instalação

Uma vez concluídos o Projeto Básico e o Projeto Básico Ambiental, bem como atendidas as condicionantes da Licença Prévia, o proponente poderá solicitar ao Órgão Ambiental a LI.

Fique Atento!

Caso não tenham sido previstas inicialmente áreas com uso privativo ou atividades de natureza comercial/exploradoras da atividade econômica, e não tenha havido alterações, a autorização de obras inicialmente outorgada pela SPU será suficiente. De outro modo, será necessário solicitar à SPU a utilização contínua da área, por meio de uma cessão de uso, transferência da gestão das praias ou outro instrumento. A autorização de obras é um ato administrativo que autoriza (mais fácil de compreender) determinada intervenção em uma área específica. A outorga da utilização da área por outro lado, concretiza-se com a assinatura de um contrato.

16. Licença de Instalação - LI

Quando expedida pelo órgão ambiental e publicada no Diário Oficial, a LI autoriza a instalação do empreendimento de acordo com as especificações constantes nos planos, programas e projetos aprovados, incluindo as medidas de controle ambiental e demais condicionantes. Qualquer alteração no projeto inicial deve ser formalmente enviada ao órgão licenciador para avaliação.

Ressalte-se que a autorização embasada pela Licença de Instalação refere-se exclusivamente ao aspecto ambiental, não desobrigando o empreendedor da obtenção de outras autorizações, certidões, outorgas, ou outros documentos cabíveis, prévios ao início da intervenção.

17. *Requerimento de autorização de dragagem à Marinha*

A Marinha do Brasil é responsável pelo ordenamento do espaço aquaviário e pela segurança da navegação. Assim, a NORMAN 11/DPC - Normas da autoridade marítima para obras, dragagens, pesquisa e lavra de minerais sob, sobre e às margens das águas jurisdicionais brasileiras - determina que o início de obras de dragagem localizadas em águas brasileiras depende de consulta prévia à autoridade marítima (Capitania dos Portos, Delegacia ou Agência, conforme o caso), e informa documentos necessários em cada caso.

Após consultada, a Marinha realizará análises técnicas concernentes à segurança da navegação e ao ordenamento do espaço aquaviário e expedirá declaração de “nada a opor” à intervenção proposta.

18. *Elaboração dos Projetos Executivos e Execução da Obra (conforme Lei 8.666/93)*

O projeto executivo deve levar em consideração todos os estudos já realizados anteriormente. Tal projeto contém as diretrizes necessárias e suficientes para a completa execução da obra, que deve observar os padrões de qualidade e segurança exigidos. Normalmente este projeto e a obra são realizados por empresa especializada, contratada através de licitação. Para esta contratação deve ser elaborado um Termo de Referência (TR). O Termo de Referência é o primeiro passo para realização da licitação e contratação, sua função é determinar e delimitar o que é esperado do serviço, requisitos, modelos a serem exigidos para sua aceitação.

Fique Atento!

Procedimento sugerido, mas ficará a cargo do Município definir a melhor maneira de gerenciar os contratos, de acordo com a análise de conveniência e oportunidade dentro dos limites legais.

19. Execução dos Programas Básicos Ambientais - PBA

A execução dos programas ambientais é uma etapa importante para o sucesso do projeto. Devem ser considerados os planos e programas aprovados e as condicionantes listadas nas licenças ambientais emitidas, sendo que a execução deve ser realizada por empresa especializada, contratada através de licitação. Para esta contratação, quando couber, deve ser elaborado um Termo de Referência (TR).

20. Supervisão da Obra e da Execução dos Programas Ambientais

A supervisão da obra e da execução dos programas ambientais poderá ser realizada pelo proponente, mas caso não tenha corpo técnico especializado, este deve contratar, através de licitação uma empresa responsável para realização deste serviço. Para esta contratação deve ser elaborado um Termo de Referência (TR).

Após a elaboração do TR, o proponente deverá licitar com base na Lei nº 8.666/93 e contratar empresa para supervisão da obra e supervisão dos programas ambientais. Caso o proponente tenha condições, pode ele mesmo executar estas supervisões. O órgão ambiental também poderá acompanhar a implantação dos programas ambientais por meio de relatórios dos programas de monitoramento e vistorias.

21. Entrega do relatório final da obra e requerimento da Licença de Operação - LO

Após finalizada a obra e antes de sua entrega ao gestor do contrato, a empresa contratada elaborará o Relatório de Conclusão do empreendimento. A partir da posse deste Relatório de Conclusão da obra, o empreendedor deverá elaborar Relatório Final de Implantação dos Programas Ambientais, o qual também deverá atender às condicionantes da Licença de Instalação, e solicitar a Licença de Operação (LO) ao órgão ambiental competente.

22. Licença de Operação - LO

A Licença de Operação é aquela que permitirá o acompanhamento da efetividade das intervenções e obras realizadas, bem como autorizar sua operação, após verificar o cumprimento do que consta nas licenças anteriores, como as medidas de controle ambiental e as condições determinadas para a operação.

A LO é expedida pelo órgão ambiental competente e publicada no Diário Oficial. Tem por finalidade autorizar a operação da atividade ou do empreendimento, após verificar o cumprimento do que consta nas licenças anteriores como as medidas de controle ambiental e as condições determinadas para a operação.

23. Termo de Recebimento Definitivo da Obra

Após a licença de operação emitida, o proponente recebe definitivamente a obra do empreendedor, através da assinatura do Termo de Recebimento Definitivo da Obra.

Neste ponto a obra passou por toda a fase de planejamento, viabilização, instalação, intervenção e encontra-se pronta para operar ou para ser utilizada.

Obra Recebida

Após o cumprimento das etapas anteriores, a obra poderá ser recebida pelo Município.

Fique Atento!

Acompanhamento do monitoramento do volume de sedimentos da parte aérea e submersa, das condicionantes da LO e renovações periódicas são necessárias.

24. Monitoramento e manutenção contínuos

As obras ou as intervenções costeiras, a exemplo da alimentação de praias, são efetivamente obras de engenharia, e, como tal, demandam manutenções em frequências adequadas para que possam perdurar, evitando intervenções futuras de maior magnitude, o que poderia ensejar novo processo de licenciamento ambiental e aumento do gasto público.

Através do monitoramento é possível medir quais os níveis de erosão que afetam continuamente a praia e propor medidas preventivas necessárias à sua manutenção. O monitoramento e manutenção podem ser realizados por empresa especializada, tendo por base os estudos realizados nas etapas anteriores, contratada pelo proponente, caso este não tenha corpo técnico especializado para tal serviço.

Fique Atento!

Intervenções de manutenção podem ser caracterizadas pelos reduzidos porte e impacto em relação às intervenções de instalação, podendo ser contempladas na Licença de Operação, desde que descritas no escopo do projeto e aprovadas pelo órgão licenciador.