

ÍNDICE GERAL – VOLUME 1

1 IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDIMENTO.....	1/1
1.1. Identificação do Empreendedor.....	1/1
1.2. Identificação da Empresa Consultora.....	1/1
2.... HISTÓRICO DO EMPREENDIMENTO.....	1/11
2.1. Impacto dos Processos Erosivos no Empreendimento	9/11
3. REGULAMENTAÇÃO APLICÁVEL.....	1/25
3.1. Dispositivos legais	1/25
3.1.1. Legislação Federal	2/25
3.1.2. Legislação Estadual	9/25
3.1.3. Legislação Municipal	12/25
3.2. Planos e programas governamentais	14/25
3.3. Normas técnicas.....	23/25
3.4. Certidões e Anuências.....	25/25
4. OBJETIVOS DO EMPREENDIMENTO.....	1/2
5. JUSTIFICATIVAS.....	1/10
5.1. Justificativa técnica.....	1/10
5.2. Justificativa ambiental.....	4/10
5.3. Justificativa econômica e social.....	5/10
5.4. Justificativa político-governamental.....	6/10
5.5. Possíveis conflitos de uso dos locais de influência.....	6/10
6. ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS E LOCACIONAIS	1/89
6.1. Modelagem Matemática	1/89
6.1.1. Características das Ondas Oceânicas na Área de Interesse.....	3/89
6.1.2. Estudo de transformação de ondas	12/89
6.1.2.1. Preparação do Modelo	12/89
6.1.2.2. Calibração do Modelo	16/89

6.1.2.3. Características das Ondas Costeiras.....	17/89
6.1.3. Dinâmica dos Perfis de Praia	24/89
6.1.3.1.. Estatísticas Locais do Nível da Água na Área do Projeto	24/89
6.1.3.2 Evolução dos Perfis a Médio e Longo Prazo	26/89
6.1.4. Transporte de Sedimentos ao Longo do Litoral.....	33/89
6.1.5. Conceitos de Intervenções Humanas	38/89
6.1.5.1. Estruturas Costeiras Intrusivas.....	38/89
6.1.5.2. Estruturas Costeiras Não Intrusivas	53/89
6.1.6. Proteção Costeira Recomendada.....	65/89
6.1.6.1. Revisão das Vantagens e Desvantagens dos Conceitos Apresentados.....	66/89
6.1.6.2. Solução Recomendada para o Hotel.....	67/89
6.1.7. Conclusões.....	73/89
6.1.7.1. Características das ondas	73/89
6.1.7.2. Resposta dos Perfis de Praia	74/89
6.1.7.3. Transporte de Sedimentos no Litoral	74/89
6.1.7.4. Conceitos de Intervenções	75/89
6.1.7.5. Solução Recomendada para o Resort	77/89
6.2. Avaliação de Alternativas	78/89
6.2.1. Forma de Operação das Estruturas	79/89
6.2.2. Comparação entre Alternativas.....	83/89
6.2.3. Conclusões da Análise	88/89
7. CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO.....	1/20
7.1 Apresentação do empreendimento.....	1/20
7.2 Descrição do empreendimento.....	4/20
7.3. Localização do empreendimento	17/20
7.3.1 Localização regional	17/20
7.3.2 Locais de intervenção	17/20
7.4 Projeto.....	18/20
7.5 Órgão financiador e valor do empreendimento	18/20
7.6 Cronograma físico-financeiro	19/20

LISTA DE TABELAS

TABELA 3.3-1 – Relação das normas técnicas aplicáveis para o empreendimento, segundo a ABNT.23

LISTA DE QUADROS

QUADRO 6.1.2- 1 – Alturas extremas de ondas estimadas para várias profundidades e períodos de retorno. 23

QUADRO 6.1.3- 1 – Elevação máxima do nível da água acima do nível médio das águas. 26

QUADRO 6.1.3- 2 – Máximo recuo da linha de costa estimado (metros) para vários períodos de retorno. 33

QUADRO 6.1.5- 1 – Avaliação de posições extremas e média da linha de costa (em metros) para uma estrutura única de 40 metros. 44

QUADRO 6.1.5- 2 – Avaliação de posições extremas e média da linha de costa (em metros) para uma estrutura única de 60 metros. 44

QUADRO 6.1.5- 3 - Avaliação de posições extremas e média da linha de costa (em metros) para uma estrutura única de 80 metros. 45

QUADRO 6.1.5- 4 - Avaliação de posições extremas e média da linha de costa (em metros) para uma estrutura única de 100 metros. 45

QUADRO 6.1.5- 5 – Esquemas simulados de engordamento de praia. 66

QUADRO 6.1.6- 1 – Formato e características das estruturas intrusivas recomendadas. 73

QUADRO 6.1.6- 2 – Formato e características da duna artificial. 73

QUADRO 6.2.1- 1 – Comparativo entre as características básicas das alternativas tecnológicas para implantação. 81

QUADRO 6.2.1- 2 – Características básicas do reforço da duna. 82

QUADRO 6.2.2- 1 – Comparação entre as alternativas tecnológicas para controle de processos erosivos em frente ao Hotel Transamérica na Ilha de Comandatuba.84

QUADRO 7.1- 1 – Principais características da estrutura. 4

QUADRO 7.1- 2 – Principais características da duna reforçada. 5

QUADRO 7.6- 1 – Cronograma físico da obra. 20

QUADRO 7.6- 2 – Discriminação dos custos da obra. 21

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2- 1 – Imagem de satélite Landsat TM7 (1987), mostrando a localização da área de estudo e batimetria da região submarina. Fonte: DOMINGUEZ (2003). 3

FIGURA 2- 2 – Ilha da Atalaia. Comparação da posição da linha de costa para o ano de 1960 (em vermelho) e para o ano de 2002 (imagem de satélite). Observar: (i) o deslocamento da Barra Grande para norte em cerca de 1 km. 5

FIGURA 2- 3 – Ilha da Barra Velha. Comparação da posição da linha de costa para o ano de 1960 (em vermelho) e para o ano de 2002 (imagem de satélite). Observar: (i) o deslocamento para sul da Barra do Poxim em 1 km, (ii) o recuo erosivo médio de 120-130 metros da linha de costa oceânica da ilha da Barra Velha e (iii) o deslocamento também para sul da Barra Velha de cerca de 1 km. 6

FIGURA 2- 4 – Ilha de Comandatuba. Comparação da posição da linha de costa para o ano de 1960 (em vermelho) e para o ano de 2002 (imagem de satélite). Observar: (i) a barra do rio Comandatuba permaneceu praticamente estacionária, (ii) a Barra do Poxim se deslocou para sul em torno de 1 km e (iii) a margem esquerda do rio Comandatuba próximo à desembocadura experimentou uma erosão extremamente severa resultando em perda de uma área de 69 hectares. 7

FIGURA 2- 5 – Configuração da desembocadura do rio Comandatuba para diferentes épocas. Quando o talvegue do canal do rio se desloca para sul ocorre erosão na margem direita da desembocadura (indicada pela linha pontilhada vermelha nas figuras B, C e D). Quando o talvegue retorna para uma posição mais ao norte uma flecha arenosa é construída e a margem direita se estende longitudinalmente para norte (indicada pelas setas vermelhas nas figuras B, C e E).

9

FIGURA 2.1- 1 - Impactos da erosão da linha de costa na propriedade do Hotel Ilha de Comandatuba durante a ressaca da primeira semana de setembro de 2006. 11

FIGURA 6.1- 1 – Fotografias mostrando a praia em frente ao hotel durante uma tempestade (Fonte: DOMINGUEZ, 2008). 2

FIGURA 6.1.1- 1 – Posição do ponto do UKMO versus a localização do empreendimento.4

FIGURA 6.1.1- 2 – Distribuição da energia de ondas oceânicas por classe de altura de onda onde “Wave Energy %” representa o percentual da energia das ondas oceânicas e “Hs(m)” representa a altura das ondas em metros. 6

FIGURA 6.1.1- 3 – Distribuição média da energia de ondas oceânicas por intervalo de períodos de onda, onde “Wave Energy %” é o percentual da energia das ondas e “Tz(s)” refere-se ao período das ondas em segundos. 7

FIGURA 6.1.1- 4 – Distribuição média da energia de ondas oceânicas por intervalo de direção, onde “Wave Energy %” é o percentual de energia das ondas e “MWD (deg)” é a direção em graus. 8

FIGURA 6.1.1- 5 – Altura média significativa das ondas durante o período 1991-2007, onde “Hs mean (m)” refere-se à altura média das ondas e “year” refere-se ao ano. 9

FIGURA 6.1.1- 6 – Período médio das ondas para o intervalo entre 1991 a 2007, onde “Mean Wave Period (s)” representa o período médio das ondas em segundos. 10

FIGURA 6.1.1- 7 – Direção média das ondas oceânicas para o período entre 1991 e 2007, onde “Mean Wave Direction (deg)” refere-se à direção média das ondas em graus. 10

FIGURA 6.1.1- 8 – Médias mensais na altura das ondas oceânicas, onde “Hs mean (m)” refere-se à altura média das ondas em metros e “Month” refere-se ao mês. 11

FIGURA 6.1.1- 9 – Períodos médios mensais, onde “Mean Wave Period (s)” refere-se ao período médio das ondas e “month” refere-se ao mês. 12

FIGURA 6.1.1- 10 – Direções médias mensais, onde “Mean Wave Direction (deg)” refere-se à direção em graus, e “month”, refere-se ao mês. 12

FIGURA 6.1.2- 1 –Área utilizada no modelo de ondas, mostrando a batimetria em intervalos de 1 metro. 15

FIGURA 6.1.2- 2 – Zoom da área do projeto mostrando intervalos de profundidade com espaçamento de 1 metro, onde “Project Site” refere-se à área do projeto. 16

FIGURA 6.1.2- 3 – Comparação entre os resultados simulados pelo modelo e os resultados medidos em campo para o mês de julho de 2006. No topo está representada a altura significativa das ondas, no gráfico central está representado o período de pico das ondas e no gráfico inferior está representada a direção média das ondas. “Simulated” refere-se a dados simulados. “Measured”, refere-se a dados medidos. 17

FIGURA 6.1.2- 4 – Distribuição média da energia das ondas por intervalo de altura (gráfico com barras azuis); intervalo de período (gráfico com barras verdes) e intervalo de direção (gráfico com barras amarelas). 19

FIGURA 6.1.2- 5 – Parâmetros médios anuais de ondas costeiras no período entre 2001-2007. Gráfico superior representa a altura média significativa das ondas. Gráfico do meio representa o período médio e o gráfico inferior representa a direção média das ondas costeiras. 20

FIGURA 6.1.2- 6 – Rosas de ondas para as quatro estações ao longo da isóbata de 15m em frente ao Hotel Transamérica. 22

FIGURA 6.1.2- 7 – Variação mensal de parâmetros de ondas costeiras. No alto está representada a altura significativa das ondas. No centro está representado o período das ondas e embaixo está representada a direção média das ondas. 23

FIGURA 6.1.2- 8 – Probabilidade de exceder a altura de onda (H_s) na região oceânica (curva na cor preta), ao longo da isóbata de 15 metros (curva na cor azul) e ao longo da isóbata de 10 metros (curva na cor verde). 24

FIGURA 6.1.3- 1 – Distribuição estatística dos níveis das águas devido aos efeitos das marés astronômicas, ondas e níveis combinados de marés e ondas, associados ao nível médio da estação maregráfica da FEMAR em Canavieiras, Bahia. 26

FIGURA 6.1.3- 2 – Perfis de equilíbrio para diferentes tamanhos de partículas (Fonte: MANGOR, 2004). 29

FIGURA 6.1.3- 3 – Ilustração do conceito do modelo do perfil de praia, onde “Elevated level” significa nível elevado; “Mean Sea Level” significa nível médio do

mar; “Storm Profile” significa perfil de tempestade e “Initial Profile” significa perfil inicial. 30

FIGURA 6.1.3- 4 – Série temporal da movimentação da linha de costa devido aos mecanismos de transporte longitudinal ao longo do perfil de praia no período de junho de 1991 a setembro de 2008, onde “shoreline position (m)” significa posição da linha de costa e “year” significa ano. 31

FIGURA 6.1.3- 5 – História temporal da movimentação da linha de costa devido aos mecanismos de transporte longitudinal ao longo do perfil de praia no período entre janeiro de 2005 e setembro de 2008, onde “shoreline position (m)” significa posição da linha de costa e “year” significa ano. 32

FIGURA 6.1.3- 6 – Estatísticas de excedência para a dinâmica da linha de costa associada ao desenvolvimento de perfis, onde “Exceedance Probability” significa probabilidade de excedência e “shoreline position” significa posição da linha de costa. 33

FIGURA 6.1.4- 1 – Distribuição dos perfis da deriva anual de sedimentos na zona litoral, onde “Transport (m³/yr/m)” é o transporte em metros cúbicos por ano por metro; “x cross shore (m)” é a distância ao longo dos perfis e “z (m)” é a profundidade. 35

FIGURA 6.1.4- 2 – Variação da deriva anual litoral em relação à orientação da linha de costa, onde “Q litoral (m³/mês)” é o volume de sedimentos transportado; “Shoreline orientation (deg)” é a orientação da linha de costa em graus; “Present shoreline orientation” é a orientação atual da linha de costa e “equilibrium shoreline orientation” é a linha de costa na orientação de equilíbrio. 36

FIGURA 6.1.4- 3 – Histórico da deriva anual (1991 – 2008), onde “Q litoral (m³/ano)” é o volume de sedimentos transportados; “transport towards north” significa transporte para o norte e “transport towards south” significa transporte para o sul. 37

FIGURA 6.1.4- 4 – Variação mensal da deriva litoral, onde “Q litoral (m³/mês)” significa volume de sedimentos transportados por mês; “transport towards south” significa transporte para o sul e “transport towards north” significa transporte para o norte. 38

FIGURA 6.1.5- 1 – Características de diferentes estruturas para o gerenciamento costeiro, onde “Traditional breakwater” significa quebra-mar tradicional; “prevailing waves” significa ondas prevaescentes; “Nourishment” significa engordamento; “Loss od sand” significa perda de areia; “Dangerous eddy” significa redemoinho perigoso; “Trapping of debris” significa aprisionamento de detritos; “Large erosion” significa grande erosão; “Optimised Breakwater Layout” significa desenho otimizado do quebra-mar; “Better bypass” significa transporte melhorado de sedimentos; “Moderate” significa erosão moderada; “Smaller eddy” significa redemoinho menor; “Shore Connected Smooth Breakwater” significa quebra-mar suave conectado com a costa; “No eddy” significa sem redemoinho; “Artificial Headland or Reef” significa península ou recife artificial; “Good bypass” significa boa passagem de sedimentos; “No trapping of debris” significa sem aprisionamento de detritos; “New dry area” significa nova área seca. Fonte: Mangor (2001, 2004). 44

FIGURA 6.1.5- 2 – Evolução simulada da linha de costa (1991-2008) para o esquema com uma estrutura intrusiva (Obs: O eixo X foi distorcido), onde “Maximum shoreline position” significa posição máxima da linha de costa; “Minimum shoreline position” significa posição mínima da linha de costa. “Average shoreline position” significa posição média da linha de costa; “Initial shoreline position” significa posição inicial da linha de costa; “Shoreline position” significa posição da linha de costa; “x-longshore” significa distância em metros; “Length of stucture” significa comprimento da estrutura; “North” significa norte; “South” significa sul; “Single structure” significa estrutura única. 45

FIGURA 6.1.5- 3 – Evolução simulada da linha de costa (1991 – 2008) para um esquema com duas estruturas (Obs: o eixo X está distorcido) onde “Maximum shoreline position” significa posição máxima da linha de costa; “Minimum shoreline position” significa posição mínima da linha de costa. “Average shoreline position” significa posição média da linha de costa; “Initial shoreline position” significa posição inicial da linha de costa; “Shoreline position” significa posição da linha de costa; “x-longshore” significa distância em metros; “Length of stuctures” significa comprimento das estruturas; “North” significa norte; “South” significa sul; “Twin structures” significa estrutura dupla. 48

FIGURA 6.1.5- 4 – Evolução simulada da linha de costa (1991-2008) para o esquema com uma estrutura intrusiva, considerando uma rotação anti-horária na direção de ondas oceânicas de 10º (Obs: o eixo X está distorcido) onde “Maximum shoreline position” significa posição máxima da linha de costa; “Minimum shoreline position” significa posição mínima da linha de costa. “Average shoreline position” significa posição média da linha de costa; “Initial shoreline position” significa posição inicial da linha de costa; “Shoreline position” significa posição da linha de costa; “x-longshore” significa distância em metros; “Length of stuctures” significa comprimento das estruturas; “North” significa norte; “South” significa sul; “Single structure” significa estrutura única e “10º deviation offshore wave directions” significa desvio de 10 graus na direção das ondas oceânicas. 50

FIGURA 6.1.5- 5 - Evolução simulada da linha de costa (1991-2008) para o esquema com duas estruturas intrusivas, considerando uma rotação anti-horária na direção de ondas oceânicas de 10º (Obs: o eixo X está distorcido) onde “Maximum shoreline position” significa posição máxima da linha de costa; “Minimum shoreline position” significa posição mínima da linha de costa. “Average shoreline position” significa posição média da linha de costa; “Initial shoreline position” significa posição inicial da linha de costa; “Shoreline position” significa posição da linha de costa; “x-longshore” significa distância em metros; “Length of stuctures” significa comprimento das estruturas; “North” significa norte; “South” significa sul; “Twin structures” significa estruturas duplas e “10º deviation offshore wave directions” significa desvio de 10 graus na direção das ondas oceânicas. 51

FIGURA 6.1.5 - 6 – Campos de ondas simulados no entorno de uma península artificial. Figura no topo: Maré alta média do período de sizígia. Figura abaixo: Maré baixa média do período de sizígia, onde “Sign. Wave height (m)” significa altura significativa da onda em metros e “Below 0.2” significa menor que 0,2 metros. 53

FIGURA 6.1.5- 7 – Fluxo simulado direcionado por ondas no entorno de duas estruturas costeiras na maré alta. Topo: Espigão clássico. Fundo: Península artificial, onde “Current speed (m/s)” significa velocidade das correntes em metros por segundo. 54

FIGURA 6.1.5- 8 – Campo de ondas simulado no entorno de duas estruturas costeiras na maré baixa. Topo: Espigão clássico. Fundo: Península artificial, onde

“Current speed (m/s)” significa velocidade das correntes em metros por segundo.

55

FIGURA 6.1.5- 9 – Exemplos de enrocamento, onde “MHWS” significa maré alta média do período de sizígia; “Cliff” significa barranco; “Dike” significa dique; “Fill” significa enchimento; “Rubble-mound revetment” significa revestimento feito de pedras; “Interlocking concrete slab revetment” significa revestimento feito de pranchas de concreto interconectadas; “Gabion mattress revetment at foot of dike” significa revestimento com gabiões no pé do dique. 58

FIGURA 6.1.5- 10 – Exemplo de revestimento de emergência construído com blocos de concreto. O revestimento será posteriormente enterrado em uma duna artificial (fonte: Danish Coastal Authority). 58

FIGURA 6.1.5- 11 – Plantio de grama (Marram grass) e colocação de cercas de vegetação em dunas artificiais (fonte: Danish Coastal Authority). 60

FIGURA 6.1.5- 12 – Condições de equilíbrio necessárias para praias engordadas visando obter largura adicional da praia de ΔW com areia de empréstimo mais fina (parte superior da figura) e mais grossa (parte inferior da figura) em relação à areia nativa, onde “Distance to shoreline” significa distância em relação à linha de costa; “Closure depth” significa profundidade de fechamento; “Native profile” significa perfil nativo (ou original); “ Δw ” significa largura adicional de praia; “Fill volume” significa volume de preenchimento; “Depth” significa profundidade; “ $d_{borrow} < d_{native}$ ” significa tamanho de partícula do empréstimo menor que o tamanho de partícula da areia nativa; “ $d_{borrow} > d_{native}$ ” significa tamanho de partícula do empréstimo maior que tamanho da partícula nativa. 63

FIGURA 6.1.5- 13 – Princípios de engordamento no topo do perfil (topo), na praia (centro) e na face da praia (base), onde “Backshore nourishment” significa engordamento do topo do perfil de praia; “Beach nourishment” significa engordamento da praia e “Shoreface nourishment” significa engordamento da face de praia. 65

FIGURA 6.1.5- 14 – Métodos de engordamento praticados pela Autoridade Costeira Dinamarquesa. Observa-se o engordamento de praia mediante descarga de tubulação diretamente na praia e mediante bombeamento pela proa de navios. Observa-se também o engordamento da face de praia utilizando barcaças divisíveis. 66

FIGURA 6.1.5- 15 – Resposta simulada da linha de costa a esquemas de engordamento (Obs: Eixo X distorcido), onde “Scheme 1” significa o engordamento com 400.000m³ de areia ao longo de 1.600m de praia; “Scheme 2” significa o engordamento com 200.000 m³ de areia ao longo de 1.600 m de praia; “Scheme 3” significa o engordamento com 200.000 m³ de areia ao longo de 800 m de praia; “y – cross shore (m)” significa distância do perfil transversal da praia; “x – longshore (m)” significa distância da linha de costa; “Initial situation” significa situação inicial e “Situation after 15 years” significa situação após 15 anos. 67

FIGURA 6.1.6- 1– Localização das estruturas intrusivas. No topo a península artificial. Embaixo, o espigão, onde “Sand fill” significa preenchimento com areia; “Artificial headland” significa península artificial; “Groin” significa espigão e “Bathymetry (m)” significa batimetria.72

FIGURA 6.1.6- 2 – Localização e propriedades da estrutura intrusiva e duna artificial, onde “z(m) + NR” significa altura em relação ao nível de referência em metros (datum da marinha do Brasil); “X-cross shore (m)” significa distância transversal da costa em metros; “Artificial dune” significa duna artificial; “Cross-shore range of Groin” significa alcance transversal do espigão; “Cross-shore range of Artificial Headland” significa alcance transversal da península artificial; “MHWS” significa nível médio da água na maré alta de sizígia; “MWL” significa nível médio das águas”; “MLWS” significa nível médio da água na maré baixa de sizígia e “Measured beach profile (Aug 2008)” significa perfil de praia medido em agosto de 2008. 73

FIGURA 6.2.1- 1 – Imagens das alternativas tecnológicas. Na figura superior, o espigão reto. Na figura inferior, a península artificial. 80

FIGURA 6.2.1- 2 – Imagem de duna recoberta por vegetação fixadora. 82

FIGURA 7.1- 1 – Layout do espigão em forma de ferradura. 3

FIGURA 7.1- 2 – Esquema de localização do empreendimento. 4

FIGURA 7.1- 3 – Aspecto de duna reforçada e fixada com vegetação natural. 5

FIGURA 7.2- 1 Caminhão basculante posicionado para descarga dos blocos. 8

FIGURA 7.2- 2 – Descarga dos blocos de rocha para formação do corpo do enrocamento. 9

FIGURA 7.2- 3 -Arrumação dos blocos com a utilização da retro-escavadeira.	9
FIGURA 7.2- 4 -Arrumação da carapaça de proteção com guindaste.	10
FIGURA 7.2- 5 – Balsa utilizada para transporte do continente para a Ilha de Comandatuba.	16
FIGURA 7.2- 6 – Vista interna da balsa.	16
FIGURA 7.2- 7 – Via de serviço.	17