

**LIDRIANA DE SOUZA PINHEIRO**

**RISCOS E GESTÃO AMBIENTAL NO ESTUÁRIO DO RIO  
MALCOZINHADO, CASCAVEL-CE.**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Oceanografia do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do grau de **DOUTOR EM OCEANOGRAFIA**.

Área de concentração: Oceanografia abiótica

Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Carmen Medeiros.

Co-orientador: Prof. Dr. Jáder Onofre de Moraes.

**Recife  
2003**

**LIDRIANA DE SOUZA PINHEIRO**

**RISCOS E GESTÃO AMBIENTAL NO ESTUÁRIO DO RIO MALCOZINHADO,  
CASCAVEL-CE**

**Tese de Doutorado em Oceanografia defendida em 18 de agosto de 2003 e  
Aprovada com Distinção.**

**FOLHA DE APROVAÇÃO**

---

**Dra. Carmen Medeiros**  
Universidade Federal de Pernambuco  
ORIENTADORA

---

**Dr. Jader Onofre de Morais**  
Universidade Estadual do Ceará  
CO-ORIENTADOR

**BANCA EXAMINADORA:**

---

**Dr. Marcos José Nogueira de Souza**  
Universidade Estadual do Ceará  
Departamento de Geociências

---

**Dra. Tereza Cristina Medeiros Araújo**  
Universidade Federal de Pernambuco  
Departamento de Oceanografia

---

**Dr. José Nilson Beserra Campos**  
Universidade Federal do Ceará  
Departamento de Engenharia Hidráulica e  
Ambiental

---

**Dr. Virgínio Henrique de M. Lopes Neumann**  
Universidade Federal de Pernambuco  
Departamento de Geologia

---

**Dra. Lúcia Maria Mafra Valença**  
Universidade Federal de Pernambuco  
Departamento de Geologia

---

**Dra. Edvânia Torres Aguiar Gomes**  
Universidade Federal de Pernambuco  
Departamento de Geografia

**“Ninguém realiza  
grandes obras se não  
for capaz de sonhar  
grande...”**

**Lênin**

Aos meus pais  
Francisco Pinheiro e  
Lourdes pelo amor e  
dedicação.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, luz da minha vida.

Ao Prof. Jáder Onofre de Moraes pelo exemplo de conduta, incentivo e apoio que foram imprescindíveis na realização de um sonho e na construção do meu futuro.

À minha orientadora Prof<sup>a</sup>. Carmen Medeiros, exemplo de talento e competência, que com muita dedicação e companheirismo me apoiou em todos os momentos deste curso.

Aos Professores José Nilson B. Campos, Tereza Cristina Medeiros de Araújo, Marcos José Nogueira de Souza e Virgínio Henrique de M. Lopes Neumann por participarem da banca examinadora, com criteriosas e valiosas contribuições.

À Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico-FUNCAP na pessoa do seu Diretor Científico, Prof. José Vitorino de Souza cujo apoio tornou possível à conclusão deste estudo em tempo hábil.

Ao Prof. Marcos José Nogueira de Souza que durante sua gestão como coordenador do Mestrado Acadêmico em Geografia da UECE disponibilizou toda a infra-estrutura logística para a realização dos trabalhos de campo e laboratório.

As professoras Cátia Fernandes Barbosa e Lúcia Maria Mafra Valença pelas valiosas sugestões e a atenção dispensada no exame de qualificação.

Ao Departamento de Oceanografia da UFPE e aos professores do Programa de Pós-Graduação em Oceanografia que muito contribuíram para minha formação.

À Tereza Rocha Lima (Diretora Administrativa da SECITECE) pelo exemplo de profissionalismo e dedicação à Ciência e Tecnologia do Estado do Ceará e à constante disposição em ajudar a quem se propõe ao trabalho com seriedade.

Ao Prof. Georg Friedrich Irion do Institut für Meereskund (Senckenberg Institut) na Alemanha pela ajuda nas análises de difratometria de Raio X, coletas em campo e valiosas discussões sobre a sedimentologia da área.

Ao amigo Paulo Roberto Silva Pessoa pela dedicação e ajuda nos trabalhos de campo (Expedição MALC 1 e 2).

A amiga Christina “Chris” pelo apoio permanente e por sua preciosa amizade.

Ao Jorge Eduardo de Abreu Paula e Davis Pereira de Paula do LGCO/UECE pela inestimável ajuda nos trabalhos de campo e laboratório.

Aos queridos companheiros do Laboratório de Oceanografia Física, Estuarina e Costeira/UFPE (Prof. Moacyr Araújo “Moa”, Isaac Cristiano, Marquinhos, Marcelo Rollnic, Pedro Lins, Josafat e Fábio) pelas enriquecedoras discussões e companheirismo.

Aos professores e funcionários do Mestrado Acadêmico em Geografia da Universidade Estadual do Ceará, em especial ao Prof. Luiz Cruz Lima, pelo exemplo de dedicação e entusiasmo na construção de uma nova geografia na UECE.

Ao coordenador do curso de bacharelado em geografia da Universidade Estadual do Ceará, Prof. Elton Castelo Benevides pelo apoio e compreensão na fase final do meu curso de doutorado, sem os quais não teria sido possível defender em tempo hábil.

Aos pesquisadores e bolsistas do Laboratório de Geologia e Geomorfologia Costeira e Oceânica da UECE, (Luzineide Gomes, Carolina Braga, Hélio Ximenes, Raquel Lemos, João Paulo Portela, Lílian Pinheiro, Valberlândia Nascimento e Márcia Marques), pelo apoio permanente.

Aos meus inesquecíveis amigos de curso (Carlinha, Paula, Jorge, Alex, Jaime, Marcos Honorato, Max, Stella, Fabiana, Bira) pelas longas horas de estudo e bons momentos vividos.

Aos geólogos José Ferreira de Sousa e Fernando Antônio Castelo Branco pelo experiente apoio que deram nas minhas atividades de docência, além do carinho e amizade.

Aos órgãos FUNCEME, SEMACE, DNOCS, IPLANCE, SEINFRA pela cessão dos dados meteorológicos, imagens de satélite, bases cartográfica, fotografias aéreas e imagens digitais da área. A KL Engenharia pela disponibilização dos estudos hidrológicos do Açude Público Malcozinhado.

Aos amigos da FUNCAP (Prof<sup>a</sup>. Lúcia Maciel, Dr. Marcos Filho, Elenir, Rosângela, Aurilene, Telma, Selma, Rita, Paizinha, Raquel, Priscila e Sampaio) que de forma direta ou indireta contribuíram com este trabalho.

A Myrna, Secretária do PPGO, pela eficiência e atenção a todos que a solicitam.

Aos meus irmãos Leyliane, Laldiane, Aderson por todos os momentos de alegria.

À minha vovó Telina e a toda a minha família pelo amor e carinho dedicados em toda a minha existência, o que me tornou uma pessoa feliz.

A D. Lenora e Fátima que me proporcionaram o aconchego de casa e ao pequeno Diogo que fez da minha estada em Recife uma festa.

A todos que de uma forma ou de outra contribuíram para o alcance deste trabalho.

## RESUMO

O sistema estuarino-lagunar do Rio Malcozinhado está localizado no município de Cascavel, 75 km a sudeste de Fortaleza, Estado do Ceará, Nordeste do Brasil. A bacia hidrográfica com uma área total de 380 km<sup>2</sup> está situada em terrenos do embasamento cristalino, sedimentos da Formação Barreiras e depósitos Quaternários. A expansão urbana nas últimas duas décadas foi responsável por uma série de impactos na dinâmica estuarina e nas praias adjacentes. Esses processos tendem a se incrementar com o funcionamento de um reservatório com capacidade de 3,8 milhões de m<sup>3</sup>, localizado a 7,5 km do sistema estuarino. A par destes problemas e considerando a hipótese de minimizá-los e/ou eliminá-los, este trabalho considerou os elementos estruturais, dinâmicos e controladores da evolução da área de influência direta do estuário, visando a delimitação dos riscos e impactos para seu uso adequado e respectiva gestão ambiental. A morfodinâmica atual está subordinada, sobretudo, ao regime sazonal das precipitações onde se somam os processos de remobilização pela deriva litorânea, deflação eólica e oscilações das marés. O acúmulo de sedimentos verificados na margem direita do rio proporcionou uma migração do canal no período de 09 anos de aproximadamente 111 m, causando erosão em Águas Belas. O sistema estuarino é raso com profundidade média de 1,50 m, e substrato formado predominantemente por lamas arenosas e argilo-arenosas. A taxa de transporte de sedimentos para a deriva litorânea foi calculada em 1,14 g/s e 3,34 g/s nos períodos de estiagem e chuvoso, respectivamente. No período de estiagem, o estuário apresentou regime eualino enquanto que no período chuvoso foi polialino com salinidade variando de 0 a 23,9 ups. A alta evaporação no mês de setembro ocasionou a inversão da distribuição longitudinal da salinidade. No que concerne a circulação, a velocidade da corrente variou sazonalmente de 0 a 0,89 m/s, com os maiores valores médios no período chuvoso. O eixo principal das correntes foi de E-W conforme a geomorfologia do estuário. Segundo a classificação de Hansen & Rattray (1966) o sistema é do sub-tipo 1a. Em alguns pontos foi observada circulação do tipo gravitacional. Pelos resultados apresentados a principal fonte para misturar o sistema e transportar sal estuário acima e abaixo é o processo de difusão turbulenta. O volume de sal exportado nos períodos de estiagem e chuvoso foi de 1,12 e 0,42 toneladas, indicando a importância da ação fluvial na minimização do processo de hipersalinização. A faixa de praia sob influência direta do Rio Malcozinhado é um ambiente fortemente instável com a zona de pós-praia totalmente ocupada e com estruturas de proteção. A retomada da erosão é independente da diminuição ou aumento do aporte de sedimentos do Rio Malcozinhado e outros processos associados. Quanto às implicações para o manejo e proteção de ambientes estuarinos foi montada uma matriz onde foram avaliadas as respostas das relações entre os elementos naturais e antrópicos e o que representam na vulnerabilidade, sustentabilidade e uso potencial da área em médio prazo.

Palavras-chave: estuários, gestão ambiental.



## ABSTRACT

The Rio Malcozinhado lagoon-estuarine system is located in the Cascavel municipality, in the Ceará State Southeastern littoral 75km away from Fortaleza, Northeastern Brazil. Its 380 km<sup>2</sup> hydrographic basin lies on basement rocks, Plio-Pleistocene Barreiras Formation sediments and Quaternary deposits. The urban expansion of the area in the last two decades was responsible for a series of impacts in the estuarine dynamics and adjoining beaches. There is a growing tendency of this process once a reservoir has been already implanted with a capacity of 3.8 million of square meters upstream the estuarine system. Aware of these problems and considering the hypothesis of minimizing and/or to eliminate them, this work considered the structural, dynamic and controlling elements of the state of current evolution in the area of direct influence of the estuary, aiming at the delimitation of the risks and impacts for its adequate use and respective environmental management. The present morphodynamics is subordinated to a seasonal regimen of precipitations, together with the longshore drift, remobilization processes by aeolian deflation and tide oscillations. The sediment accumulation verified at the right edge of the river provided to a canal migration of approximately 110 meters causing erosion in Aguas Belas, over a period of 9 years. It is a shallow estuarine system with average depth of 1.50 m, and predominantly sandy mud and sandy clay substratum, as shown by the bathymetry and collected sediments and analysis which have been carried out. The longshore drift sediment transport ranges from 1,4 gs<sup>-1</sup> and 3,34 in the dry and wet season, respectively. The euhaline regimen predominates as the dry period lasts while that in the rainy period was polyhaline with salinity varying from zero to 23,95. The high evaporation in September caused the inversion of the longitudinal distribution of the salinity. Concerning to circulation, currents varied seasonally in speed from 0 to 0,892 ms<sup>-1</sup>, with the highest mean values in the rainy period. The current axis keeps with the estuary geomorphology. The estuary system, according to classification of Hansen & Rattray (1966), is of the subtype 1a showing at some points gravitational circulation. As shown in the results, the process of turbulent diffusion is the principal source to mixing the system and to carry on salt upstream and downstream the estuary. The salt exported volumes in the wet and dry periods were 1,12 and 0,426 tons, indicating the importance of the fluvial action in making the water less saline. The stretch of the beach under direct influence of the River Malcozinhado is a strong unstable environment with the backshore zone being totally occupied and undergoing the implantation of protecting structures. The erosion is recurrent independently of the reduction or increment of sediments stemmed from the Malcozinhado River and other associates processes. In order to handling and protecting this estuarine system a matrix has been mounted to assess the responses arisen from the relationships between the natural and anthropic elements and work out what they represent to the vulnerability, sustainability, and potential use of this area at medium range.

Key-word: estuaries, environmental management.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b>	
<b>LISTA DE TABELAS</b>	
<b>LISTA DE QUADROS</b>	
<b>LISTA DE MAPAS</b>	
<b>LISTA DE SIGLAS</b>	

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	20
1.1. Localização da área de estudo .....	23
<b>2. HIPÓTESES E OBJETIVOS</b> .....	25
<b>3. METODOLOGIA.</b> .....	27
3.1. Fundamentação Teórica.....	27
3.1.1. Considerações iniciais.....	27
3.1.2. Contexto hidrodinâmico e hidrológico .....	30
3.1.3. Morfodinâmica e sedimentologia .....	38
3.1.4. Zoneamento geoambiental.....	42
3.2. Procedimentos Técnico-operacionais .....	47
3.2.1. Atividades de reconhecimento básico .....	48
3.2.1.1. Levantamento bibliográfico .....	48
3.2.1.2. Sensoriamento remoto e confecção de material cartográfico .....	48
3.2.2. Atividades de campo .....	50
3.2.2.1. Processos hidrodinâmicos e características hidrológicas .....	50
3.2.2.2. Contexto morfodinâmico e hidrossedimentológico .....	52
3.2.3. Atividades de laboratório .....	53
3.2.4. Análise dos dados .....	55
<b>4. COMPARTIMENTAÇÃO DAS UNIDADES GEOAMBIENTAIS COSTEIRAS</b> .....	57
4.1. Sistemas Ambientais.....	57
4.1.1. Tabuleiros Pré-litorâneos .....	58
4.1.2. Planície Litorânea .....	60
4.1.3. Planícies Fluviais.....	67
4.1.4. Morfogênese Plio-Quaternária .....	70
4.2. Características socioeconômicas e socioambientais.....	72
<b>5. VARIÁVEIS CONTROLADORAS DOS PROCESSOS COSTEIROS</b> .....	77
5.1. Características climáticas regional .....	
5.1.1. O contexto hidroclimático local .....	78

5.1.1.1. Temperatura e umidade relativa do ar .....	78
5.1.1.2. Insolação e evaporação .....	80
5.1.1.3. Evapotranspiração .....	81
5.1.1.4. Regime pluviométrico .....	82
5.1.1.5. Balanço hídrico .....	86
5.2. O controle das características hidroclimáticas nos parâmetros oceanográficos .....	88
5.2.1. Ventos .....	88
5.2.2. Ondas .....	93
5.2.3. Correntes longitudinais .....	98
5.2.4. Marés .....	104
<b>6. RECURSOS HÍDRICOS, USO E OCUPAÇÃO DO SOLO: SUAS IMPLICAÇÕES NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL.</b> .....	108
6.1. Caracterização dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos .....	108
6.2. Caracterização do escoamento superficial .....	116
<b>7. O AMBIENTE ESTUARINO E SUA MORFODINÂMICA</b> .....	121
7.1. Dinâmica evolutiva em médio e curto prazos .....	121
7.2. Taxas de erosão e progradação do canal estuarino na foz .....	125
7.3. Aspectos morfológicos .....	129
7.4. Características sedimentológicas e transporte em suspensão .....	132
7.4.1. Distribuição longitudinal dos sedimentos estuarinos de fundo e em suspensão.....	133
7.4.2. Concentração de sólidos suspensos totais (SST) e taxas de transporte em suspensão.....	144
7.4.3. Capacidade de retroespalhamento optico.....	148
<b>8. O AMBIENTE ESTUARINO E SUAS CARCATERÍSTICAS HIDROLÓGICAS E HIDRODINÂMICAS</b> .....	151
8.1. Hidrologia .....	151
8.1.1. Salinidade vertical e longitudinal .....	151
8.1.2. Temperatura .....	155
8.1.3. Condutividade . .....	157
8.1.4. Oxigênio saturado .....	159
8.2. Transporte líquido e condições de entranhamento e mistura .....	161
8.2.1. Balanço de água e sal .....	169
<b>9. INFLUÊNCIAS DOS PROCESSOS ESTUARINOS NA MORFODINÂMICA PRAIAL ...</b>	172
9.1. Considerações iniciais .....	172
9.2. Evolução do sistema praial e o surgimento das áreas de riscos .....	173
9.3. Morfodinâmica praial .....	175
9.3.1. Célula 1.....	175

9.3.1.1. Perfil de controle 1: Praia de Águas Belas .....	176
9.3.1.2. Perfil de controle 2: Pontal da Caponga .....	177
9.3.2. Célula 2.....	178
9.3.2.1. Perfil de controle 3: Hotel Summer House .....	178
9.3.2.2. Perfil de controle 4: Mercado dos Peixes.....	180
9.3.3. Célula 3 .....	182
9.3.3.1. Perfil de Controle 5: Riacho Caponga Roseira .....	182
9.3.3.2. Perfil de controle 6: Limite entre Caponga e Praia do Balbino.....	185
9.4. Estágios morfodinâmicos praias e sua relação com a vulnerabilidade à erosão costeira .....	187
9.4.1. Grau de vulnerabilidade à erosão costeira da área de influência do estuário do Rio Malcozinhado.....	189
<b>10. ZONEAMENTO GEOAMBIENTAL E IMPLICAÇÕES PARA A GESTÃO DA ÁREA DE INFLUÊNCIA DIRETA DO AMBIENTE ESTUARINO .....</b>	<b>196</b>
10.1. Zoneamento Geoambiental .....	196
10.2. Prognose e o estabelecimento dos cenários de riscos ambientais .....	204
10.3. Categorias de uso e proposições para a gestão ambiental .....	207
<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>213</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	
<b>ANEXO A .....</b>	

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da área de estudo.....	24
Figura 2. A ação conjunta da deriva litorânea e diminuição da vazão do rio promoveu a migração da foz do Rio Choro e a erosão da praia de Barra Nova, Cascavel-CE. ....	41
Figura 3. Esboço do zoneamento geoambiental na área de influência direta do Rio Malcozinhado-CE.....	46
Figura 4. Fluxograma Metodológico .....	47
Figura 5. Estações de monitoramento e coleta.....	49
Figura 6. Escarpa da falésia da Formação Barreiras colonizadas por espécies arbóreas dos Tabuleiros Pré-litorâneos e da Caatinga na margem esquerda do estuário. Observar que o primeiro estrato está representado pela <i>Rizophora mangle</i> .....	59
Figura 7. Linha contínua de rochas de praia (Beachrocks) desde a foz do Rio Malcozinhado até a praia da Caponga minimizando a ação erosiva das ondas.....	61
Figura 8. Lagoas freáticas em Águas Belas nos Terraços Marinhos Holocênicos. No período chuvoso as águas invadem as estradas e casas de veraneio criando situações de riscos. ....	63

Figura 9. A pesca artesanal no estuário está associada às culturas de subsistência de feijão e milho dos Tabuleiros Pré-litorâneos. Observar ao fundo a escarpa da falésia que margeia 8 km da planície estuarina.....	65
Figura 10. <i>Rizophora mangle</i> próxima à desembocadura do Rio Malcozinhado. Dentre as outras espécies é a que tem maior ocorrência ao longo dos 11 km de extensão. ....	67
Figura 11. Plantação de cana-de-açúcar e capim nas margens do rio. Ao fundo, indivíduos esparsos de Carnaúba, vegetação típica dessa unidade geoambiental.....	68
Figura 12. Destino do lixo na bacia hidrográfica do Rio Malcozinhado. Fonte: IBGE (2000). ....	75
Figura 13. Posicionamento da Zona de Convergência Intertropical ao longo do ano de 2001 (Imagem do satélite GOES, Canal Infra-vermelho)-Copyright ©INPE/CPTEC 2001.....	77
Figura 14. Flutuação diurna da temperatura na foz do Rio Malcozinhado registrada no dia 27/09 de 2001 a uma altura de 10 m da linha de preamar de sizígia. ....	79
Figura 15. Evaporação média mensal registrada na estação hidroclimática de Fortaleza e a estimada para o espelho d'água do estuário do Rio Malcozinhado, aplicando-se o coeficiente de evaporação "Ka".....	81
Figura 16. Precipitação média na bacia hidrográfica do Rio Malcozinhado mostrando a concentração no trimestre março-abril-maio. (Fonte dos dados de chuva: FUNCEME,2002).....	84
Figura 17. Relação do número de ocorrências de chuva e o valor médio da precipitação mensal calculado para o ano de 2001 utilizando os dados da FUNCEME do ano de 2002.....	85
Figura 18. Direção e velocidade dos ventos na foz do Rio Malcozinhado no mês de abril de 2002. Observar a predominância dos ventos do quadrante SE - S.....	89
Figura 19. . Direção e velocidade dos ventos registrados na foz do Rio Malcozinhado no mês de novembro/2001 e setembro/2002. Observar a predominância de ventos do quadrante NE-SE.....	90
Figura 20. Variação diurna da temperatura média do ar e da velocidade dos ventos na foz do Rio Malcozinhado nos períodos de estiagem e chuva ( 2001/2002).....	91
Figura 21. Figura 21.(a) Distribuição dos valores médios anuais da velocidade e direção dos ventos (m/s) acumulados durante o período de 1976-2000 em Fortaleza. Fonte:CEARÁ-FUNCEME(2002) (b) Distribuição dos valores médios mensais nas estações da FUNCEME, Aeroporto Internacional Pinto Martins e Parque Eólico de Aquiraz.....	92
Figura 22. Altura média das ondas obtidas nas células de monitoramento na praia da Caponga (Fonte: PINHEIRO (2000) e PINHEIRO <i>et al.</i> , (2001).....	93
Figura 23. Histograma da altura significativa das ondas (Hs) registrada no Porto do Mucuripe no ano 1995. (Fonte: INPH/2000).....	94
Figura 24. Variação sazonal da freqüência simples das alturas de ondas e direção predominante observada nos meses de abril e setembro de 2001 no litoral de Aracati	

(Fonte: LEAL, 2003).....	96
Figura 25. Histograma do Período das ondas (Tp) entre março/97 a março/98. Fonte: INPH (2002).....	97
Figura 26. Relação entre a altura (Hb) e a velocidade individual das ondas na arrebentação entre a foz do Rio Malcozinhado e a Praia da Caponga (1999-2000). .....	102
Figura 27. Variação do nível das marés registrada no porto de Mucuripe referente ao período entre maio a junho de 1995. (Fonte: MAIA, 1998).....	105
Figura 28. Variação da maré de sizígia no estuário do Rio Malcozinhado e Porto de Mucuripe no dia 27/09/2001 (período de estiagem).....	106
Figura 29. Variação da maré de sizígia no estuário do Rio Malcozinhado e Porto de Mucuripe no dia 19/04/2002 (período chuvoso).....	106
Figura 30. Variação do nível da maré nas estações 5 e 14 no estuário do Rio Malcozinhado no dia 19 de setembro de 2001 (início do equinócio de primavera).....	107
Figura 31. Qualidade das águas subterrâneas do município de Cascavel. (Fonte: CPRM, 1999).....	111
Figura 32: (a) Mata ciliar do Rio Malcozinhado preservada nas imediações da CE-253 a 1,5 km do estuário. (b) Loteamento de terrenos para a formação de pastos aumentando a vulnerabilidade aos processos erosivos e assoreamento do rio.....	113
Figura 33. Formas de uso e ocupação do solo e sua relação com o escoamento superficial. ....	115
Figura 34. Hidrograma médio mensal das vazões Geradas pelo MODHAC e o volume escoado na Bacia do Rio Malcozinhado (área: 380,00 km <sup>2</sup> ).....	117
Figura 35. Plantações de subsistência no contato das dunas fixas com a Formação Barreiras aproveitando os exutórios do lençol freático nas margens do estuário do Rio Malcozinhado. ....	120
Figura 36. Variação temporal da foz do Rio Malcozinhado e linha de costa adjacente entre os anos de 1959 e 2002. Fonte: Interpretação das fotografias aéreas e imagens de satélite cedidas pelo DNOCS, SEMACE, INCRA e FUNCEME.....	123
Figura 37. Disposição dos cordões arenosos que promoveram o avanço do canal estuarino e conseqüente erosão das estruturas urbanas em Águas Belas. Foto tirada em maio de 2002, na maré vazante de sizígia.....	125
Figura 38. Relação entre as médias pluviométricas e a migração do canal estuarino na direção de Águas Belas entre os anos de 1959 e 2001.....	126
Figura 39. Áreas geradoras de sedimentos incrementando o assoreamento do estuário (⇒ ). (Imagem na escala de 1:4.000 do ano de 1998 cedida pelo IPLANCE).....	127
Figura 40. Batimetria do estuário do Rio Malcozinhado. ....	130
Figura 41. Os perfis 01 e 02 mostram o assoreamento defronte ao distrito de Águas Belas entre os meses de setembro de 2001 e outubro de 2002.....	131
Figura 42. Setorização espacial do campo de amostragem e análise da distribuição longitudinal e transversal dos sedimentos estuarinos e praias.....	132

Figura 43. Evolução das curvas acumuladas dos sedimentos costeiros no Setor I entre os anos de 1999 e 2002.....	133
Figura 44. Migração da barra arenosa na foz do rio Malcozinhado formando seqüências de megaripples no mês de dezembro de 2002.....	134
Figura 45. Evolução das curvas acumuladas da granulometria média no setor III entre os anos de 1999 e 2002.....	135
Figura 46. Evolução das etapas texturais com aumento da energia da onda para o perfil 6 nos meses de junho/99, setembro/99 e maio/00. Fonte: PINHEIRO(2000).....	137
Figura 47. Assoreamento das áreas de manguezais pelo avanço das dunas móveis nos setores 1(a) e 2(b), respectivamente. ....	139
Figura 48. Distribuição longitudinal dos sedimentos de fundo e sua inter-relação com a morfodinâmica estuarina. ....	141
Figura 49. Diagramas da difratometria de raio-X mostrando a distribuição dos minerais de argilas (caolinita, esmectica e illita) nos sedimentos do Rio Malcozinhado. ....	143
Figura 50. Distribuição longitudinal da Capacidade de Retroespalhamento Óptico do estuário do Rio Malcozinhado ao longo de um ciclo completo de maré de sizígia no período de estiagem e chuvoso (2001/2002).....	149
Figura 51. Correlação entre as concentrações de Sólidos Suspensos Totais e a Capacidade de Retroespalhamento Óptico no estuário do Rio Malcozinhado em uma maré de sizígia nos meses de setembro/2001 e abril/2002.....	150
Figura 52. Distribuição horizontal da salinidade média (ups) da coluna d'água ao longo de um ciclo completo de maré de sizígia nos períodos de estiagem e chuvoso (2001/2002).....	153
Figura 53. Distribuição longitudinal da salinidade média (ups) da coluna d'água ao longo de um ciclo completo de maré de sizígia no período de estiagem (setembro/2001) e chuvoso (abril/2002).....	154
Figura 54. Distribuição longitudinal da temperatura (°C) da coluna d'água ao longo de um ciclo completo de maré de sizígia no período de estiagem (setembro/2001) e chuvoso (abril/2002). ....	156
Figura 55. Distribuição horizontal da condutividade (mS/cm) ao longo de um ciclo completo de maré de sizígia no período de estiagem (setembro/2001) e chuvoso (abril/2002). Observar a localização dos pontos de derivação de água doce (☒) que contribuem na diminuição da condutividade durante o período de estiagem.....	158
Figura 56. Distribuição longitudinal do oxigênio saturado (ml/L) na coluna d'água ao longo de um ciclo completo de maré de sizígia no período de estiagem (setembro/2001) e chuvoso (abril/2002). ....	160
Figura 57. Direção e intensidade das correntes para os estágios de preamar, vazante, baixa-mar e enchente durante a maré de sizígia no período de estiagem de 2001.....	163
Figura 58. Direção e intensidade das correntes para os estágios de preamar, vazante, baixa-mar e enchente durante a maré de sizígia no mês de abril de 2002 (período chuvoso).....	166

Figura 59. Os proprietários de hotéis e pousadas nas margens do estuário tentam controlar a erosão colocando estacas, telas e sacos com areia. ....	168
Figura 60. Classificação dos parâmetros de estratificação e circulação de todas as estações ao longo do estuário do Rio Malcozinhado nos períodos de estiagem e chuvoso de acordo com o diagrama de Hansen e Hatray (1966).....	169
Figura 61. Aumento e decréscimo exponencial dos valores médios da salinidade longitudinal do estuário do Rio Malcozinhado em um ciclo completo de maré de sizígia nos períodos de estiagem e chuvoso (2001/2002).....	171
Figura 62. Aspectos evolutivos da praia da Caponga entre os anos de 1993 e 2000. Observar a reconstituição da paisagem através dos gabiões e da alimentação artificial.....	174
Figura 63. Variação volumétrica dos perfis de praia 1 e 2 nos períodos de junho/1999 - junho/2000 e março/2001 a outubro/2001.....	177
Figura 64. Variação volumétrica dos perfis de praia 3 e 4 nos períodos de junho/1999 - junho/2000 e março/2001 a outubro/2001.....	179
Figura 65. Declividade dos perfis de praia 3 e 4.....	181
Figura 66. Variação volumétrica dos perfis de praia 5 e 6 nos períodos de junho/1999 - junho/2000 e março/2001 a outubro/2001.....	183
Figura 67. (a) Urbanizações instaladas na faixa de praia onde nas marés de sizígia são atacadas pelas ondas (agosto/01). (b) Erosões resultantes da migração lateral do riacho Caponga Roseira (agosto/01). ....	185
Figura 68. Ataque frontal das ondas na faixa de praia entre a foz do Riacho Caponga Roseira e a praia do Balbino (agosto/01). ....	186
Figura 69. Diagnóstico do grau de vulnerabilidade à erosão costeira da faixa de praia entre Caponga e Barra Velha, Cascavel-CE.....	191
Figura 70. A ação erosiva das ondas e a falta de manutenção foram responsáveis pela perda da funcionalidade do espigão N° 4 aumentando a erosão na célula 2. ....	193
Figura 71. Riscos e potencialidades no uso das praias de Barra Velha, Águas Belas e Caponga.....	195
Figura 72. Distribuição espacial das categorias de estabilidade ambiental da área de estudo. ....	203

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. População do Município de Cascavel por situação de domicílio e sexo na sede e distritos no ano de 2000.Fonte: (IBGE,2000).....	73
Tabela 2. Domicílios particulares permanentes e tipo de esgotamento sanitário da área de influência direta na bacia de drenagem do Rio Malcozinhado em 2000.Fonte: (IBGE,2000).....	74



Tabela 3. Valores da energia da onda (estimativas) obtidos da faixa de praia entre a foz do Rio Malcozinhado e Praia da Caponga (1999-2000). Fonte: PINHEIRO (2000).....	101
Tabela 4. Volume de sedimento transportado longitudinalmente por mês (estimativas) entre a foz do Rio Malcozinhado e Praia da Caponga (1999-2000). Fonte: PINHEIRO (2000).....	103
Tabela 5. Compartimentação da bacia de drenagem do Rio Malcozinhado.....	109
Tabela 6. Razão de escoamento superficial ( $\Delta f/P$ ) na bacia de drenagem do Rio Malcozinhado entre os meses de setembro de 2001 e abril de 2002 Fonte: Dados obtidos com a aplicação da equação 1.....	118
Tabela 7. Contribuição total de água doce no sistema estuarino do Rio Malcozinhado entre os meses de setembro de 2001 e agosto de 2002. Vazão afluente estimada com o uso da equação 7.....	119
Tabela 8. Intervalo de variação do D50 (mm) das amostras coletadas nos perfis transversais entre os anos de 1999 e 2002. Fonte: PINHEIRO (2000).....	136
Tabela 9. Concentração dos Sólidos Suspensos Totais (SST) no estuário do Rio Malcozinhado (2001-2002).....	145
Tabela 10. Relação de equilíbrio entre os estados morfodinâmicos da praia e a porcentagem de cada estado para os dados da praia da Caponga.....	188

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Distribuição dos valores médios anuais de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) em Fortaleza acumulados durante o período de 1976-2002. Fonte: CEARÁ-FUNCEME, 2002).....	79
Quadro 2. Determinação do coeficiente $K_a$ em função da superfície do espelho d'água (MOLLE, 1989 <i>apud</i> CEARÁ-SRH, 1997).....	80
Quadro 3. Evapotranspiração Potencial calculada segundo Hargreaves para o Município de Fortaleza (1976-2002). Fonte: CEARÁ-FUNCEME (2002).....	82
Quadro 4. Análise de Frequência dos Totais Anuais de Chuva do posto de Cascavel realizadas em um período de 71 anos. Fonte: Estudo de Aproveitamento Hídrico do Açude Malcozinhado, (CEARÁ-SRH, 1997).....	83
Quadro 5. Análise de frequência dos totais mensais do posto de Cascavel no semestre mais chuvoso durante um período de 71 anos. Fonte: Estudo de Aproveitamento Hídrico do Açude Malcozinhado, (CEARÁ-SRH, 1997).....	85
Quadro 6. Análise de frequência em nível diário das precipitações para o posto de Cascavel durante um período de 71 anos. Fonte: Estudo de Aproveitamento Hídrico do Açude Malcozinhado, (CEARÁ-SRH, 1997).....	86
Quadro 7. Balanço Hídrico do Município de Cascavel entre os anos de 1976 e 1996, calculado pelo método de Thornthwaite e Mather (1955). Fonte: (CEARÁ-FUNCEME, 2002).....	87
Quadro 8. Distribuição das ondas observadas no Farol do Mucuripe no ano de 1995. Fonte: Relatório de Impacto ao Meio Ambiente do projeto de recuperação da praia da	

Caponga, (1997).....	195
Quadro 9. Categorias de sustentabilidade e características físico-ambientais dominantes. Fonte: SOUZA (2002).....	197
Quadro 10. Classificação Ecodinâmica da área. Fonte: Adaptação das categorias de estabilidade e vulnerabilidade de SOUZA(1998) à realidade da área de estudo.....	198
Quadro 11. Zoneamento geoambiental da área de influência direta do estuário do Rio Malcozinhado-Cascavel-CE .....	199
Quadro 12. Cenários dos riscos ambientais na área de influência direta do estuário do Rio Malcozinhado/Cascavel-CE.....	205

## LISTA DE MAPAS

Mapa 1. Compartimentação das Unidades Ambientais .....	69
Mapa 2. Categorias de uso e ocupação.....	212

## LISTA DE SIGLAS

APA- Área de Proteção Ambiental

APP- Área de Preservação Permanente

BID-Banco Interamericano de Desenvolvimento

CAGECE-Companhia de Água e Esgoto do Ceará

CERC - Coastal Engineering Research Center

CIMA-Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento

CIRM-Comissão Interministerial para os Recursos do Mar.

CN –Curva-número

COGERH-Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos

CPRM-Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

CPTEC – Centro de Pesquisas Tecnológicas

DHN-Diretoria de Hidrografia e Navegação

DNOCS – Departamento Nacional de Obras contra as Secas

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral

EIA-Estudo de Impacto Ambiental

FUNCAP-Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico

FUNCEME – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos

GERCO-Gerenciamento Costeiro

GPS – Sistema de Posicionamento Global

IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INPE – Instituto Brasileiro de Pesquisas Espaciais

INPH-Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias

IPLANCE-Instituto de Planejamento do Ceará

PNGERCO-Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro

PRODETURIS – Plano de Desenvolvimento Turístico

RIMA – Relatório de Impacto ao Meio Ambiente

RN – Referencial de Nível

SEDURB-Secretaria de Desenvolvimento Urbano

SEINFRA-Secretaria de Infra-estrutura do Ceará

SEMACE-Superintendência Estadual do Meio Ambiente

SRH/CE-Secretaria de Recursos Hídricos do Ceará

SUDENE-Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste

UECE-Universidade Estadual do Ceará

UFC-Universidade Federal do Ceará

UTM-Projeção Universal Transversa de Mercator

ZCIT-Zona de Convergência Intertropical

## INTRODUÇÃO

Os processos de uso e ocupação das áreas costeiras, sejam os impulsionados pela urbanização ou pelo desenvolvimento turístico, são responsáveis por uma série de modificações significativas e muitas vezes de caráter irreversível. Os projetos concernentes à demanda imposta por esses dois fatores são executados, na grande maioria, sem um adequado planejamento e conhecimento dos processos físicos que regem e modelam as zonas costeiras. Conseqüentemente os impactos se refletem no agravamento das condições de ordem ambiental e socioeconômica.

O assoreamento de cursos fluviais, as atividades de extrativismo, a construção de barragens, ocupação da faixa de praia e exploração turística de forma desordenada representam, dentre outros, o comprometimento e/ou a destruição de ecossistemas costeiros, onde se destacam os estuários, que interagem de forma significativa na sustentabilidade ambiental, produtividade dos ecossistemas e qualidade de vida da população local.

No litoral leste do Ceará, um exemplo da ação desses processos e impactos é observado na zona costeira do município de Cascavel, 70 km a sudeste de Fortaleza. Essa área é dotada de grande beleza paisagística, encontrando-se contemplada pelo Plano de Desenvolvimento Turístico no Litoral Leste (PRODETURIS-ROTA DO SOL NASCENTE) e pelo Programa de Gerenciamento de Recursos Hídricos, ambos com projetos para gestão de recursos naturais, desenvolvimento e expansão urbana.

No entanto, a expansão urbana da área nas últimas décadas foi responsável pela erosão das praias da Caponga e Águas Belas, desmatamento de mangue e assoreamento dos estuários do Rio Malcozinhado e Riacho Caponga Roseira. Atualmente a malha urbana dos distritos litorâneos de Cascavel é totalmente interligada, totalizando um percentual de ocupação de 83,06%. Cerca de 60% correspondem às áreas localizadas entre a foz do Rio Malcozinhado e a praia do Balbino. O distrito de Águas Belas ocuparia 15%, o que permite assinalar que apenas 5% representam as áreas com características naturais preservadas.

Na praia de Águas Belas, onde deságua o Rio Malcozinhado, a direção da deriva litorânea, sazonalidade climática, especulação imobiliária e os desmatamentos no médio e baixo cursos promoveram nos últimos 10 anos um avanço de 111 m do canal estuarino com o surgimento de áreas de riscos e assoreamento de manguezais. A praia da Caponga, o setor de maior adensamento urbano do litoral de Cascavel, teve um recuo de faixa de praia de 160 m entre os anos de 1980 e 1998. Para minimizar os impactos da erosão foram utilizadas realimentação artificial e implantação de seis espigões do tipo gabião que resultou na recuperação da praia de 160 m (PINHEIRO,2000).

Fato relevante a salientar é a construção recente do açude situado 7,5 km à montante do estuário Rio Malcozinhado, com objetivo de abastecimento dos distritos de Caponga, Águas Belas e Pindoretama. Este açude faz parte do plano de implementação de açudes estratégicos coordenado pela Secretaria de Recursos Hídricos do Governo do Estado do Ceará. O volume do reservatório é de 37,84 milhões de m<sup>3</sup>, com uma vazão regularizada na cota de sangria de  $Q_{90}$  0,426 m<sup>3</sup>/s (CEARÁ,1997). A vazão medida no Rio Malcozinhado, no mês de abril de 2002 foi de 6,53 m<sup>3</sup>/s, o que implica na redução de 75,45% da contribuição desse curso d'água no sistema estuarino.

Certamente, barragens semelhantes a esta causam impactos notórios tais como assoreamento à montante, e à jusante intensificam o emagrecimento das praias, a erosão de desembocaduras fluvial, modificações nas características hidrológicas e circulação estuarina, associados a outros problemas sócio-econômicos no baixo curso. Entretanto, a luta pela água no estado do Ceará é uma realidade onde a implantação de reservatórios torna-se realmente necessária. Por essa razão, este estudo contemplou, de forma integrada, todos os elementos estruturais, dinâmicos e controladores do estado de evolução atual, riscos e agressões ambientais na área de influência direta do estuário do Rio Malcozinhado. Dentro desse contexto, os estudos sobre hidrodinâmica, morfodinâmica e principais tensores antrópicos desempenharam papel relevante na contextualização do potencial ecológico e sustentabilidade ambiental na zona costeira.

Diante do exposto, o trabalho está dividido em dez capítulos distribuídos da seguinte forma: A parte introdutória destaca os impactos na zona costeira de Cascavel, a importância prática de estudos integrados e os objetivos do estudo; No segundo e terceiro capítulos aborda-se toda a estrutura teórica e metodológica utilizada e a importância da aplicação da teoria dos geossistemas na hierarquização das informações ambientais pertinentes aos sistemas costeiros; O quarto capítulo traz a compartimentação das unidades geoambientais destacando-se os aspectos fisiográficos e sócio-econômicos. Aborda-se ainda, através da compartimentação geomorfológica, o processo de evolução da paisagem ao longo do Tércio-Quaternário;

No quinto capítulo são identificados os sistemas dinâmicos e controladores dos processos costeiros. Os recursos hídricos e as formas de uso e ocupação do solo são avaliados no sexto capítulo segundo suas implicações no escoamento superficial; O sétimo e oitavo capítulos sintetizam a integração dos elementos estruturais e dinâmicos da zona costeira com a avaliação dos processos de morfodinâmica estuarina, variações verticais e longitudinais das características hidrológicas e circulação estuarina. O nono discute as possíveis influências dos processos estuarinos na dinâmica praias e sugestões de monitoramento sistemático; O décimo capítulo mostra o cenário atual e as projeções futuras através do zoneamento geoambiental com as respectivas propostas para o desenvolvimento sustentável local.

### 1.1. Localização da área de estudo

A área em estudo está inserida na bacia hidrográfica do Rio Malcozinhado no litoral sudeste do Estado do Ceará. A área delimitada neste estudo como de influência direta do sistema estuarino foi de 70,07 km<sup>2</sup>, agrupando os distritos costeiros de Caponga, Águas Belas, Barra Velha, Guanacés e Cascavel. O Rio Malcozinhado banha os municípios de Horizonte, Pacajus e Cascavel desaguando no Oceano Atlântico na localidade de Águas Belas (Cascavel), onde forma um estuário com 5 km<sup>2</sup> de área e 11,2 km de extensão colonizados por manguezais de médio e pequeno porte (Figura 1).

A nascente do rio encontra-se localizada no Parque Industrial Têxtil do município de Horizonte percorrendo áreas com agricultura de subsistência, produção industrial de castanha de caju e extração de areia e argila (utilizadas para fins cerâmicos, na fabricação de telhas e tijolos). O acesso rodoviário, a partir de Fortaleza, é feito através da BR-116 e da CE-040 até o município de Cascavel, totalizando um percurso de 74 Km. De Fortaleza à praia de Águas Belas, o percurso é feito pela CE-253. O acesso ao rio e estuário é feito através de estradas carroçáveis ou através de pequenas embarcações.

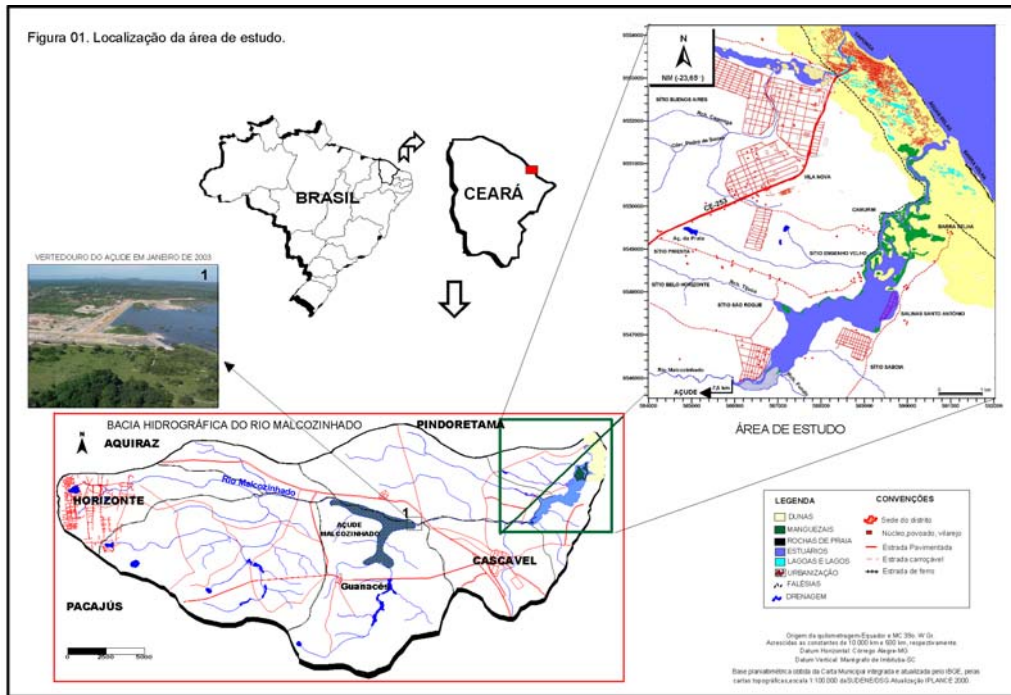


Figura1. Localização da área de estudo



## **. HIPÓTESES E OBJETIVOS**

As hipóteses que nortearam este trabalho foram estruturadas sob as seguintes afirmativas:

- 1) A maioria das desembocaduras dos rios nordestinos pode ser considerada como estuários temporários, com características típicas somente durante o período chuvoso, quando a circulação e distribuição da salinidade longitudinal apresentam características tipicamente estuarinas;
- 2) as drenagens da zona costeira do Estado do Ceará estão evoluindo para sistemas fluvio-lagunares ou estuarinos-lagunares em virtude das condições climáticas mais severas associadas ao intenso transporte e disponibilidade de sedimentos durante grande parte do ano;
- 3) o baixo grau de sustentabilidade e alto grau de vulnerabilidade ambiental, decorrentes dos processos morfodinâmicos da área, são vigentes antes mesmo da construção do Açude Público Malcozinhado;
- 4) a redução da vazão de água doce implicará no processo de hipersalinização e conseqüente declínio da produtividade biológica.

Em decorrência destas hipóteses esta tese tem como objetivo geral estabelecer o grau de interações dos sistemas ambientais e socioeconômicos e suas conseqüências na qualidade ambiental da área, construção de cenários de riscos ambientais pela implantação de novos equipamentos urbanos além de contribuir com uma série de sugestões para seu monitoramento, manejo e gestão integrada.

Para atingir este objetivo geral foram visualizados os seguintes objetivos específicos:

- Identificar os estágios de ocupação dentro de uma escala têmporo-espacial, considerando aspectos evolutivos pretéritos para prever intervenções futuras;

- Aplicar novas tipologias de classificação geomorfológica dos ambientes estuarinos, partindo do pressuposto evolutivo morfodinâmico de curto e médio prazo em regiões semi-áridas;
- Avaliar de forma integrada, os impactos efetivos que a construção desta barragem poderia ocasionar na hidrodinâmica, hidrologia e morfodinâmica do ambiente estuarino mediante o estágio de degradação atual da bacia hidrográfica;
- Identificar os níveis de interferência do reservatório na ampliação das áreas de erosão na faixa de praia adjacente à foz e na estabilidade do setor protegido por gabiões e enrocamentos na praia da Caponga;
- Utilizar os conhecimentos de hidrodinâmica e morfodinâmica estuarina e principais tensores antrópicos como “elemento-chave” para o estabelecimento de novas categorias de uso e ocupação do solo e potencialidades ambientais de sistemas com características semelhantes.
- Contribuir com informações práticas e modelos de monitoramento integrado que possam ser úteis ao manejo de áreas estuarinas ou da zona costeira propriamente dita, contribuindo para a elevação da qualidade de vida da população local e proteção do patrimônio natural.

**Formatado:** Com marcadores  
+ Nivel: 1 + Alinhado em: 18  
pt + Tabulação após: 36 pt +  
Recur em: 36 pt,  
Tabulações: 18 pt, Tabulação  
de lista

### **3. METODOLOGIA**

#### **3.1.Fundamentação Teórica**

##### **3.1.1. Considerações iniciais**

As regiões estuarinas constituem áreas de alta produtividade e diversidade biológica. Juntamente com as zonas de ressurgência e baías, as áreas costeiras estuarinas, embora correspondam a apenas 10% da superfície marinha, produzem mais de 95% do alimento que o homem captura no mar (CIRM, 1981). O Brasil com aproximadamente 8.500 km de costa oferece inúmeros exemplos de ecossistemas estuarinos bastante diferenciados entre si, não apenas quanto às suas características geobiológicas, como também quanto à ocupação humana a que foram submetidos (SCHAEFFER-NOVELLI, 2000).

Situados entre os ambientes terrestres e marinhos, geralmente associados às desembocaduras fluviais, os estuários têm sofrido sérias transformações em virtude da expansão urbana, atividade de pesca, construção de portos, indústria, barragens para geração de energia e abastecimento. O primeiro reflexo dessas transformações é a expansão populacional das cidades próximas aos estuários e com isso o aumento dos desmatamentos e efluentes, colocando em risco o desenvolvimento sustentável desses sistemas.

A definição mais usada para estuários é a de CAMERON e PRITCHARD (1963) e PRITCHARD (1967):

“[...] estuário é um corpo de água costeira semifechado, com livre conexão com o oceano aberto. No interior a água do mar é diluída gradativamente pela água doce oriunda da drenagem continental [...]”.

A maioria dos rios da região semi-árida do Nordeste, onde está inserida a área estudada, é intermitente, fluindo somente durante a estação chuvosa. A penetração da água do mar nos vales dos rios, durante as marés cheias, impede que esses rios fiquem sem a comunicação com o oceano durante a estiagem. Nesta

estação, a drenagem se reduz ao máximo e conseqüentemente não há uma graduação na diluição da água do mar pela água do rio, o que formaria um gradiente de densidade. Este fato foi verificado por ALCÂNTARA-FILHO (1978), SOARES-FILHO e ALCANTARA-FILHO(2002) e FREIRE (1989) nos estuários dos Rios Ceará, Jaguaribe e Pacoti, onde a evaporação excede a precipitação, não se constituindo, portanto, em um estuário segundo a conceituação de Cameron e Pritchard op.cit. Assim, a maioria das desembocaduras dos rios nordestinos da região semi-árida pode ser considerada como estuários temporários, com características de circulação e mistura tipicamente estuarinas somente durante o período chuvoso.

Como produto das condições climáticas mais severas, nas regiões tropicais semi-áridas a velocidade dos ventos é mais intensa, juntamente com o transporte e disponibilidade de sedimentos, fazendo com que o domínio das formações arenosas, sob a forma de dunas, contribua significativamente para a obstrução das reentrâncias costeiras. Em conseqüência, as drenagens de pequeno porte evoluem ora para sistemas fluvio-lagunares ou estuarino-lagunares ora para lagoas costeiras, apresentando, em alguns casos, condições de hipersalinização nos períodos de estiagem. Por esse motivo, os manguezais tornam-se cada vez mais escassos, tendo importância mais local do que regional.

Além das adversidades climáticas, que tornam o ambiente estuarino com baixa sustentabilidade ambiental, vale mencionar a interferência antrópica nos processos hidrodinâmicos e morfodinâmicos. Dentre eles, pode-se destacar a construção de um número muito grande de barragens, disposição de resíduos sólidos e efluentes domésticos e o desenvolvimento de uma agricultura rudimentar à montante, aumentando assim a produção de sedimentos em função da degradação das matas ciliares. A conseqüência desses processos é a diminuição da produtividade, perda da navegabilidade e da paisagem, levando, em muitos casos, a total degradação ambiental.

Tendo em vista a importância científica, ambiental e socioeconômica, segundo o Geophysics Study Committee(1997), os estudos nos ambientes estuarinos devem ser realizados de forma interdisciplinar abrangendo o estuário e

áreas adjacentes como um todo, destacando-se a integração dos seguintes componentes:

- Qualidade ambiental da bacia de drenagem incluindo potencial hídrico, conservação e usos e ocupação dos solos, cobertura vegetal e quadro socioeconômico;
- Circulação, transporte e mistura nas áreas estuarinas e costeiras adjacentes;
- Efeitos ambientais sobre a flora e fauna estuarina;
- Transporte, erosão e deposição de sedimentos como processos que afetam a distribuição e a variabilidade de propriedades físicas e a concentração de substâncias naturais e organismos biológicos,

**Formatado:** Recuo: À esquerda: 45,1 pt, Primeira linha: 0 pt, Com marcadores + Nivel: 1 + Alinhado em: 18 pt + Tabulação após: 36 pt + Recuar em: 36 pt

O incentivo ao turismo litorâneo ocorrido nas últimas décadas impulsionou a expansão urbana na zona costeira, principalmente na forma de casas e sítios de veraneio. A instalação desses equipamentos aumenta a demanda por água, que nessas áreas é restrita a contribuição dos aquíferos sedimentares. O Estado do Ceará é o maior construtor de barragens para abastecimento, no entanto, o número de barragens de médio porte que estão sendo construídas nos Tabuleiros Prélitorâneos vem aumentando cada vez mais. Tendo em vista que essas áreas são muito próximas aos estuários e que a contribuição fluvial no período chuvoso ficará praticamente nula, as conseqüências dos barramentos aumentam a vulnerabilidade ao processo de hipersalinização estuarina (salinidades superiores a 48 ups) e contribuem para o fechamento da foz em uma escala de tempo mais curta, causando prejuízos à biota e ao aproveitamento desses recursos.

### 3.1.2. Contexto hidrológico e hidrodinâmico

A existência de barragens implica na passagem de um regime fluvial para uma zona de maré dinâmica provocando modificações importantes nas condições hidrodinâmicas, passando de um escoamento permanente a um movimento alternativo com períodos de imobilidade (FIDELMAN, 1999). A posição ocupada pelo

estuário nessa seqüência depende essencialmente da intensidade relativa dos fluxos das águas continentais, marinhas e da sua geometria. Mudanças em quaisquer desses fatores pode provocar alterações nos padrões de circulação estuarina e na sedimentação.

As intervenções antrópicas como a retirada de areia e a construção de barragens, quando praticadas sem gerenciamento, causam o aprofundamento dos canais, facilitando a penetração das marés e deslocando o ponto nodal para montante. O aumento da profundidade é acompanhado pela subida da frente de salinidade, especialmente no verão e por ocasião das marés de sizígia. O mesmo processo foi observado por PINHEIRO(2000) no estuário do Rio Malcozinhado durante o período de estiagem antes da implantação do reservatório.

No entendimento da sazonalidade dos processos hidrodinâmicos e características hidrológicas nos estuários do semi-árido deve-se considerar a classificação de PRITCHARD(1967), onde está explícita a condição de que a água do mar deve ser mensuravelmente diluída pela água de drenagem continental.

No balanço de água, a soma dos volumes que chegam no estuário gerados pela precipitação (**P**) e descarga fluvial (**Q<sub>f</sub>**), deve ser maior do que o volume de água transferido para a atmosfera pelo processo de evaporação (**E**). Tendo em vista a ausência de monitoramento de vazão nas bacias hidrográficas de pequeno porte no Estado do Ceará, os dados obtidos nas estações meteorológicas e postos pluviométricos dispostos ao longo da bacia hidrográfica foram utilizados para estimar a descarga em m<sup>3</sup>/s de cada sub-bacia (**q<sub>fi</sub>**) que drena o rio principal. Esse fator foi calculado através de equações semi-empíricas.

O escoamento superficial ( $\Delta f / P$ ) é por definição a taxa de precipitação (**P**) que, escoando da bacia de drenagem para os rios, irá alimentar o sistema estuarino. A fração de  $\Delta f / P$  pode ser calculada empiricamente com a equação clássica de SCHREIBER (1904) *apud* MIRANDA *et al.*,(2002):

$$\frac{\Delta f}{P} \cong \exp\left(\frac{-E_o}{P}\right) \quad (1)$$

Onde, ( $E_o$ ) é o potencial de evapotranspiração (m/s) derivado de uma simples relação entre o potencial de evaporação e a temperatura do ar e  $P$  indica a precipitação em m/s. O primeiro membro da equação é denominado de razão de escoamento superficial, que depende da precipitação e evaporação. Esta última depende da intensidade de radiação solar e em conseqüência da temperatura do ar. Por tanto, a razão de escoamento representa a fração de água da chuva que vai ser escoada superficialmente.

A evapotranspiração potencial ( $E_o$ ) decresce acentuadamente juntamente com a temperatura absoluta do ar ( $T$ ) próximo à superfície (HOLLAND, 1978 *apud* MEDEIROS,1991):

$$E_o = 0.3805 \exp\left(\frac{-4.62 \times 10^3}{T}\right) \quad (2)$$

Nessa equação a temperatura ( $T$ ) é expressa em graus Kelvin ( $K$ ) e  $E_o$  é calculado em m/s, sendo os resultados satisfatórios obtidos do Equador até cerca de 70° de latitude N e S (MIRANDA *et. al.*,2002).

Considerando que a precipitação na bacia de drenagem não é uniforme, cada sub-bacia ( $qfi$ ) possui um tempo de concentração específico. O tempo de concentração ( $T_c$ ) é o tempo de deslocamento de uma partícula de água das nascentes de uma bacia ou sub-bacia até o ponto de saída desta. “[...] neste momento, toda bacia estará contribuindo simultaneamente para a formação da descarga máxima de escoamento superficial”(USDA,1978). A equação de Kirpich, utilizado pelo U.S. Bureau of Reclamation é uma das mais utilizadas no cálculo do tempo de concentração em uma bacia hidrográfica:

$$T_c = 0,0195.K^{0,77} \quad (3)$$

$$K = \sqrt{\frac{L^3}{h}} \quad (4)$$

Onde, ( $T_c$ ) é dado em minutos; ( $L$ ) é o comprimento máximo percorrido pela água (m) e ( $h$ ) a diferença de altitude entre o ponto mais distante e o ponto de saída da bacia (m). A contribuição de cada sub-bacia ( $q_{fi}$ ) é calculada através da seguinte equação:

$$q_{fi} = \left( a_{(i)} \cdot P \cdot \left( \frac{\Delta f}{P} \right) \right) \quad (5)$$

Onde, ( $q_{fi}$ ) é a vazão da sub-bacia em  $m^3/s$ ; ( $a_{(i)}$ ) é a área da sub-bacia ( $m^2$ ) e ( $\Delta f/P$ ) é o valor dimensional do escoamento superficial. É oportuno observar nessa equação que a descarga fluvial calculada pelo produto da taxa de precipitação pela área, muitas vezes utilizada como uma estimativa menos rigorosa da descarga, é corrigida pela razão de escoamento superficial (MIRANDA *et al.*, 2002). O cálculo de  $q_{fi}$  é dado em  $m^3/s$ . Na planície estuarina do rio Malcozinhado a contribuição de água pelo escoamento difuso pode ser obtido pela expressão:

$$Q_{P-E} = ae (P-E) \quad (6)$$

Onde, ( $ae$ ) é a área superficial do estuário em  $m^2$ ; ( $P$ ) a média da precipitação mensal (m/s) e ( $E$ ) a média mensal da evaporação (m/s). O valor total da contribuição para o sistema é dado através da seguinte equação  $Q_f$  ( $m^3/s$ ):

$$Q_f = Q_{p-e} \sum_{i=1}^{i=n} q_{fi} \quad (7)$$

Esse método foi aplicado com sucesso por MEDEIROS e KJERVE (1993) para estimar a vazão sazonal da descarga fluvial no sistema estuarino tropical de Itamaracá e por Kjerve *et al.*,(1996) na lagoa costeira de Aruarama no litoral Fluminense.

De acordo com a classificação clássica definida acima, no estuário valem as seguintes desigualdades para esses volumes:  $P+Q_f > E$ . Autores como MIRANDA *et al.*(2002) referem-se a esse caso como estuário positivo. Ao se trabalhar em



regiões tropicais e principalmente em bacias cujas nascentes estão localizadas no semi-árido, deve-se considerar a seguinte condição  $P + Q_f < E$ , representando um estuário negativo. A condição de transição entre o estuário e um sistema negativo é aquela na qual  $P + Q_f = E$ , denominado ambiente neutro. Então, o balanço de água no sistema estuarino pode ser dado pela seguinte equação utilizada por KJERVE *et al.*, (1996) na Lagoa Costeira de Aruarama no Rio de Janeiro:

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = (Q_f + Q_p + Q_e + Q_{as} + Q_r \pm Q_c) \quad (8)$$

Onde,  $(Q_f)$  representa a contribuição de água da bacia de drenagem pelo escoamento superficial ( $m^3/s$ );  $(Q_p)$  e  $(Q_e)$  representam a contribuição da precipitação e o valor perdido pela evaporação, respectivamente.  $(Q_{as})$  é o fluxo de água subterrânea ao estuário. Entretanto, na área em estudo não existem dados disponíveis para esse cálculo, assumido-se valor igual a zero.  $(Q_r)$  é a vazão regularizada do reservatório e  $(Q_c)$  volume de água que entra e sai no sistema pela variação das marés de enchente e vazante através do canal de Águas Belas.

Tendo como enfoque precípuo à mistura de águas costeiras no estuarino KJERVE (1994) e MIRANDA *et al.*, (2002) definiram três zonas estuarinas: (1) zona de maré do rio (ZR), parte fluvial com salinidade praticamente igual a zero, mas ainda sujeita à influência da maré; (2) uma zona de mistura ou o estuários propriamente dito (ZM) caracterizado pela mistura de água doce com a água do mar, e pela grande variabilidade temporal e espacial de suas propriedades; (3) Uma zona próxima à costa (ZC), incluindo a área do oceano adjacente que recebe influência direta do estuário e é delimitada por uma fronteira bem definida, do lado ao oceano (CLS).

Além da variabilidade dinâmica das interfaces dos vários segmentos que compõem o sistema estuarino (ZR, ZM, ZC), essas zonas podem não ocorrer simultaneamente sob condições climáticas extremas. Segundo MIRANDA *et al.*, (2002) nos sistemas estuarinos localizados em regiões áridas e com pequena amplitude de maré, a ZR pode não existir em certas épocas do ano.

Quanto ao grau de estratificação da coluna d'água, os estuários podem ser classificados em (1) verticalmente homogêneo ou bem misturados, que são estuários que apresentam salinidade homogênea desde a camada superficial até o fundo, e geralmente rasos, com circulação dominada pela maré, podendo apresentar-se lateralmente homogêneo ou heterogêneo; (2) parcialmente misturados ou moderadamente estratificados, que são estuários rasos que apresentam um aumento de salinidade em direção à desembocadura, apresentando uma haloclina moderada ao longo do eixo longitudinal do estuário e (3) altamente estratificados ou de cunha salina, os quais apresentam duas camadas distintas, fluindo em direções opostas, com uma haloclina bastante forte (PRITCHARD,1967 e MIRANDA *et al.*, 2002). O parâmetro de estratificação foi definido por HANSEN e RATTRAY (1966) pela seguinte razão adimensional:

$$\frac{\Delta S}{\bar{S}} \quad (9)$$

Onde, ( $\Delta S=S_f-S_s$ ) é a diferença entre os valores estacionários da salinidade de fundo e de superfície, e ( $\bar{S}$ ) é o valor estacionário da salinidade média da coluna d'água.

O termo circulação refere-se ao tempo médio de movimento das águas, como resultado dos processos advectivos e difusivos. Advecção pode ser considerada como um movimento permanente das águas, não sendo, contudo, constante no tempo espaço ou direção onde ocorre uma transferência de massa do fluido (MIRANDA *et al.*,2002). A difusão, por sua vez, constitui uma propriedade dos fluidos. A circulação estuarina tem sido bem estudada e descrita em todo mundo (ver:PRITCHARD(1954);BOWDEN(1962);DYER(1977);HANSEN e RATTRAY(1966); OFFICER e LYNCH(1981); LEWIS e LEWIS(1983); KJERVE(1989); MIRANDA *et al.*,(2002), inclusive no Brasil ,ver: MEDEIROS(1991); MEDEIROS e KJERVE(1993); ARAÚJO(1999);ARAÚJO *et al.*,(1998); KJERVE *et al.*,( 1996), no Estado do Ceará se destacam os estudos de FREIRE (1989); FREIRE e MAIA(1991) e FREIRE *et al.*,(1992)).

HANSEN e RATTRAY(1966) propuseram um método de classificação dos estuários que utiliza um diagrama cartesiano ortogonal denominado de Diagrama Estratificação-Circulação. Os eixos coordenados são dois números adimensionais: o parâmetro de estratificação (Eq. 9), que é conhecido, e o parâmetro de circulação determinado pela razão de:

$$\left( \frac{us}{uf} \right) \quad (10)$$

Onde, **(us)** é o valor da corrente superficial e **(uf)** a descarga fluvial. Segundo o autor, quando a descarga fluvial não é adequadamente conhecida, em vez de **(uf)**, utiliza-se o valor médio da velocidade na coluna d'água  $\langle \bar{u} \rangle$ . **uf** é dado como  $Q_f/A_{sec}$ .

Os processos de circulação e mistura das águas em ambientes estuarinos constituem fatores físicos de extrema importância, uma vez que controlam ou modificam muitos processos ecológicos, determinados, por exemplo, pela distribuição de nutrientes, sal, material em suspensão, plâncton, assim como poluentes. Todavia, a compreensão de processos hidrodinâmicos nesses ambientes, constitui uma tarefa difícil, visto que, esses, são ambientes de transição que apresentam uma grande variabilidade espacial e temporal de suas propriedades (MEDEIROS e KJERVE,1993). Tendo em vista que o sal é um elemento conservativo e que um dos principais impactos imediatos gerados pela construção de barragens em estuários é a hipersalinização, torna-se possível estimar o volume de sal que entra e sai no sistema em períodos de marés de enchente e vazante.

De acordo com a metodologia proposta por KJERVE (1998) o balanço de sal pode ser escrito como:

$$\Delta S = (\pm S_c + S_d) \quad (11)$$

Onde,  $S_c$  representa a variação do fluxo de sal proveniente do oceano sendo calculado como:

$$S_c = \left( Q_c \cdot \rho \cdot \left( \frac{S_0}{1000} \right) \right) \quad (12)$$

Em que ( $\rho$ ) é a massa específica da água do mar ( $\text{kg/m}^3$ ) e ( $S_0$ ) a salinidade média da zona costeira adjacente.  $Q_c$  é o fluxo de água na maré enchente e/ou vazante ( $S_d$ ) representa o transporte difusivo de sal no canal de águas belas que pode ser expresso como:

$$S_d = \left( \left( \frac{-\rho \cdot (A_{\text{seç}} \cdot K_x)}{\Delta_x} \right) \cdot \left( \frac{S_{\text{seç}} - S_0}{1000} \right) \right) \quad (13)$$

( $S_0$ ) é a salinidade média na zona costeira; ( $S_{\text{seç}}$ ) a salinidade média na seção; ( $K_x$ ) é um coeficiente de dispersão longitudinal ( $\text{m}^2/\text{s}$ ); ( $A_{\text{seç}}$ ) é a área da seção transversal ( $\text{m}^2$ ) e  $\Delta_x$  é a distância entre a seção de monitoramento e a boca do estuário (m). ( $K_x$ ) pode ser estimado pelos métodos de Bowden (1962) ou calculado para estuários bem-misturados pela seguinte equação:

$$K_x = \frac{Q_f}{\left( \frac{A_{\text{seç}} \cdot \Delta s - s_o}{\Delta_x} \right)} \quad (14)$$

KJERVE(1989) define três tipos principais de circulação estuarina: (a) circulação gravitacional; (b) Circulação induzida pela maré e (c) circulação induzida pelo vento. Dois outros fatores também são importantes na circulação: a geometria estuarina e a batimetria, sendo que esses fatores diferem dos três primeiros por serem passivos, podendo alterar o padrão de circulação somente quando existem correntes.

Tendo em vista que os estuários do Ceará, pelas condições climáticas e oceanográficas, são verticalmente homogêneos, pode se calcular, de forma bem aproximada, a fração de sal e de água doce retidas na zona de mistura em cada ciclo maré através da seguinte equação (MIRANDA *et al.*, 2002):

$$S_{(x)} = S_0 \cdot \exp\left(\frac{u_f}{K_x} \cdot \Delta_x\right) \quad (15)$$

Essa equação foi calculada para as seguintes condições: A salinidade da desembocadura ( $S_0$ ) é igual à salinidade da região costeira adjacente, constituindo a única fonte de sal. O estuário deverá ser suficientemente longo para que na ZR, a salinidade decresça exponencialmente, do valor  $S_0$  até um valor muito próximo de zero na cabeceira. A variação longitudinal da fração de água doce ( $f=f(x)$ ) pode ser dada pela seguinte equação:

$$f_x = 1 - \exp\left(\frac{u_f}{K_x} \cdot \Delta_x\right) \quad (16)$$

A força da maré é a causa de mistura nos estuários. A interação entre as correntes de maré e os limites estuarinos geram turbulência e promovem mistura em larga escala. Essa mistura ocorre principalmente, por dois motivos: fricção entre o fluxo de maré e o fundo do estuário e a interação de ondas de maré com a batimetria estuarina. O volume de água do mar que entra em um ciclo de maré completo pode ser dado pela equação:

$$Q_m = \left(\pm \frac{A_{Est} \cdot \Delta h}{T}\right) \quad (17)$$

Nesta equação ( $\Delta h$ ) é a variação média da maré (m); ( $A_{Est}$ ) é a área superficial do estuário ( $m^2$ ). A constante ( $T$ ) é a duração de um ciclo completo da maré semidiurna para a área em estudo (s).

O vento, por sua vez, é um fator dominante de energia em grandes lagos, no oceano aberto e em algumas áreas costeiras. Porém, em estuários, podem ter ou não uma grande influência. Em sistemas estreitos e longos, o fluxo pode ser predominantemente ditado pela maré e o vento exercer pouca influência na determinação das correntes. Por outro lado, se o estuário for largo, ou consistir numa série de baías, a ação dos ventos pode gerar correntes de considerável

importância e promover mistura. A quantidade de vento capaz de induzir a circulação e a mistura varia de acordo com a sua direção e intensidade, posição dos estuários em relação a direção predominante do mesmo e profundidade local. Normalmente, a mistura induzida pelo vento é menos importante que aquela ditada pela maré, contudo, o vento é responsável pela geração de ondas de superfície.

### **3.1.3. Morfodinâmica e sedimentologia**

Segundo PRITCHARD (1952) e KJERVE (1989), quanto a sua geomorfologia, os estuários podem ser divididos em: (1) Fjords, que são normalmente profundos com entalhes costeiros escavados pelos fluxos glaciais e restritos às altas latitudes; (2) Formados por barras, que são estuários originados pela inundação de vales primitivos de rios durante a transgressão marinha, mas onde a sedimentação recente ocasionou a formação de barras na foz e intermitência na comunicação com o mar. (3) Planícies Costeiras, que são formados ao longo de regiões costeiras de litorais planos, relativamente baixos, extensos e rasos, geralmente pela subida ou descida do nível do mar. Os estuários de planície costeira estão situados, em geral, nas regiões tropicais e subtropicais; (4) os demais estuários são formados por falhas tectônicas, erupções vulcânicas, tremores e deslizamento de terras (nessa categoria estão inseridos os Deltas e Rias).

Nas regiões tropicais é comum a evolução de estuários formados por barras ou de planície costeira para sistemas denominados como estuarino-lagunar como o da região de Cananéia-Iguape no Estado de São Paulo (MIRANDA *et al.*,2002). Morais *et al.*,(2001), em estudos sedimentológicos realizados no estuário do Rio Malcozinhado utilizou a classificação de KJERVE(1994) classificando-o como um sistema em evolução para lagoa sufocada. Nesses ambientes as oscilações das marés são reduzidas em 5% ou mais quando comparada com as variações das marés da costa adjacente. Nas regiões áridas e semi-áridas do mundo, as lagoas afogadas ou lagunas podem ser permanentemente ou temporariamente hipersalinas (KJERVE,1994).

No sumário e recomendações do Geophysics Study Committee(1997) apud MIRANDA *et al.*,(2002) a zona estuarina não indica apenas os estuários definidos até agora, mas o termo torna-se abrangente para outros ambientes de transição, tais como baías, lagunas costeiras, canais, deltas, áreas inundadas pelas marés e áreas costeiras entre marés afetadas por diversos regimes energéticos de descarga de água doce.

Em regiões com predominância de clima árido, semi-árido e sub-tropical, regime severo de ondas, abundância de sedimentos marinhos, acentuada deriva litorânea e dominada pelo vento formando dunas litorâneas, pode ser observada a formação de um sistema lagunar, extremamente raso, conhecido na literatura como baixio de maré. Esses ambientes apresentam um balanço negativo de água doce que evolui para condições hipersalinas com fechamento da boca, que pode ocorrer sobre condições de sedimentação na foz e/ou no seu interior e geralmente se intensificam com os desmatamentos.

De acordo com CARVALHO(1994) cerca de 70% a 90% dos sedimentos e outros materiais em suspensão são transportados pelos cursos d'água, em períodos de fortes precipitações. No caso do Ceará, 100% do material transportado em suspensão ocorrem praticamente em três meses durante um ano (março, abril, maio), devido, essencialmente, às limitações climáticas no restante do ano quando os rios não têm poder de escoamento próprio. Nesse período, a influência marinha é predominante, visualizada principalmente na disposição dos bancos arenosos que avançam estuário adentro a cada subida de maré.

Nessas condições, a precipitação passa a ser um fator determinante desse processo, uma vez que é responsável pela capacidade de produzir escoamento, fator que implica na oxigenação estuarina e na produção de sedimentos. De outro modo, além das influências dos aspectos físico-naturais, interferências de ordem antrópica também podem influenciar na intensidade dos processos e na produção de sedimentos, causando, muitas vezes, grandes prejuízos decorrentes da remoção descontrolada de sedimentos em bacias hidrográficas ou nas margens dos estuários (CAVALCANTE,2001).

O transporte de sedimentos em um curso d'água é dado sob duas formas: em suspensão, e no leito. Segundo Carvalho op cit. a maior carga dos sedimentos transportados é sempre em suspensão, representando cerca de 90% do total anual. Em função disto, a determinação da descarga sólida em suspensão, depende apenas de duas grandezas fundamentais para o seu cálculo: concentração média de sedimentos e vazão líquida.

$$Q_l = U \cdot A_{seç} \quad (18)$$

$$Q_{ss} = Q_l \cdot C_s \quad (19)$$

Onde, ( $Q_{ss}$ ) é a descarga sólida em suspensão (mg/s); ( $Q_l$ ) vazão líquida em m<sup>3</sup>/s; ( $C_s$ ) quantidade de sedimentos pelo volume da amostra (mg/L); ( $U$ ) velocidade da corrente em m/s e ( $A_{seç}$ ) área da seção (m<sup>2</sup>). A vazão líquida é obtida através de medições da velocidade de corrente em pontos distribuídos nas seções associadas ao cálculo das mesmas. O volume do material em suspensão e a vazão líquida no estuário está diretamente relacionado aos estágios da maré e estação climática (MEDEIROS e KJERVE,1993). Os sedimentos de fundo exercem papel importante na velocidade do fluxo estuarino, bem como na estabilidade de suas margens em função da hidrodinâmica atuante.

O processo costeiro adjacente à foz do rio é refletido nos perfis morfodinâmicos da praia, principalmente pela interferência da desembocadura na ação das ondas, correntes costeiras longitudinais e correntes de marés no ambiente praial. Essas análises são justificadas pela evolução da foz do rio que pode migrar sobre antigas linhas de praia e causar erosão. Em estudos realizados por PINHEIRO *et al.*,(2001) foi observado que a erosão costeira no extremo oeste da praia da Caponga é resultado da abertura sazonal da desembocadura do riacho Caponga Roseira que esculpiu o canal fluvial na faixa de praia. Nas preamares das marés de sizígia os efeitos erosivos são intensificados o que, no período de dois anos, causou um avanço de 70 m da linha de preamar.

Na foz do Rio Choró, divisa do Município de Cascavel e Beberibe, a migração lateral da foz do rio foi responsável pela abertura de uma laguna, com



profundidade média de 5 m, nas imediações das casas de veraneio, intensificando as correntes de marés nas preamares de sizígia causando erosão. Além disso, constitui risco de afogamento aos usuários da praia (Figura 2).



Figura 2. A ação conjunta da deriva litorânea e diminuição da vazão do rio promoveu a migração da foz do Rio Choro e a erosão da praia de Barra Nova, Cascavel-CE.

Como foi observada, a análise conjunta da vazão, velocidade e direção dos ventos e urbanização nas praias adjacentes às desembocaduras fluviais deve ser avaliada, de modo que se possa estimar o volume de areia transportada e a velocidade de migração na foz do rio, associados a uma análise detalhada de imagens orbitais que serão úteis no estabelecimento de medidas corretivas.

#### 3.1.4. Zoneamento geoambiental

O zoneamento estabelece os critérios e parâmetros a partir dos quais deverá ser precedida a delimitação dos espaços territoriais com objetivos de utilização especificamente definida. O zoneamento ao definir as atividades possíveis ordena o território e molda-o para um determinado padrão de desenvolvimento e ocupação. Se uma determinada área geográfica, situada em sistemas deposicionais costeiros, tais como ambientes estuarinos, é escolhida para ser analisada sob o

ponto de vista geoambiental, faz-se necessária a utilização de métodos e técnicas que analisem o potencial ecológico e a exploração de forma ordenada.

A abordagem sistêmica é a maneira mais adequada para estudar os problemas do meio ambiente, que associados à questão da escala tornam o estudo mais organizado (CHRISTOFOLETTI, 1999). À luz dessas discussões, a aplicação dos estudos de hidrodinâmica estuarina e análise de impactos gerados por barragens dentro de uma perspectiva geoambiental podem ser instrumentos úteis na determinação das potencialidades e vulnerabilidade ambientais em bacias hidrográficas litorâneas e áreas costeiras adjacentes. Para isto, mesmo que os estudos se concentrem em uma determinada unidade geoambiental, deve-se considerar outros sistemas ambientais com os quais mantenha uma certa relação.

A área do estuário do Rio Malcozinhado perfaz 5 km<sup>2</sup>. Para analisar a interdependência com áreas de influências direta ou indireta foi escolhida uma área de 70 km<sup>2</sup>, englobando os Tabuleiros Pré-litorâneos, Tlanícies Fluviais, Planície Litorânea e área marinha. Por mais que uma dessas unidades atualmente não influencie diretamente na dinâmica estuarina, quaisquer alterações que houver em médio e curto prazos certamente influenciarão o estuário, tendo em vista a sua localização como área à jusante na bacia de drenagem.

As unidades geoambientais são formas de organização dos sistemas ambientais físicos, também denominadas de geossistemas. Com o mesmo conceito integralizado dos ecossistemas, os geossistemas representam a organização espacial resultante da interação dos elementos físicos e biológicos da natureza (clima, geologia, geomorfologia, recursos hídricos, vegetação, solos e ação antrópica). Estes sistemas possuem uma expressão espacial na superfície terrestre, funcionando através da interação dos fluxos de matéria e energia entre seus componentes. Dessa maneira, a natureza organiza-se e alcança um equilíbrio, que se expressa na composição fisionômica da superfície terrestre (SOUZA, 1998).

SOTCHAVA (1962) introduziu o termo geossistema na literatura soviética com a preocupação de estabelecer uma tipologia aplicável aos fenômenos geográficos, enfocando os aspectos integrados dos elementos naturais numa

entidade espacial em substituição aos aspectos biológicos dos ecossistemas. Para o autor, identificar apenas os sistemas ambientais de uma determinada área não se constitui em ferramenta precisa para a gestão ambiental. O que é relevante é o produto da conexão entre os sistemas. “[...] os estudos de gestão devem preconizar a síntese das relações entre os sistemas ambientais, considerando-os como um todo e não apenas os seus elementos em separados, que nesta condição nada representam[...].”SOUZA(1998).

No geossistema três realidades são básicas: os elementos, os estados e as relações entre os elementos e os estados. A partir da realidade formada, a estrutura será analisada segundo o tamanho, correlações, causalidade, padrão, ação de variáveis externas e *output*. Dentre as classificações de geossistemas mais utilizadas no Brasil, destacam-se as de SOTCHAVA (1977), BERTRAND (1968) e SOUZA(1998) que as adaptou à realidade do NE brasileiro. Para Sotchava os geossistemas são sistemas dinâmicos, flexíveis, abertos e hierarquicamente organizados, com estágios de evolução temporal e com uma influência cada vez maior do homem, ocorrendo em três níveis: planetário, regional e local.

A classificação de BERTRAND(1972) define geossistema como um complexo dinâmico mesmo numa perspectiva espaço-temporal muito breve. Hierarquicamente, possuem seis níveis subdivididos em unidades superiores e inferiores. As unidades superiores compreendem a zona, o domínio e a região natural da maior para a menor. As inferiores correspondem aos geossistemas, geofáceis e geótopo. CHRISTOFOLETTI(1999) considera que o geossistema constitui um "sistema singular, complexo, onde interagem os elementos humanos, físicos, químicos e biológicos, e onde os elementos sócio-econômicos não constituem um sistema antagônico e oponente, mas sim estão incluídos no funcionamento do sistema".

TRICART (1977) acentua o referencial sistêmico quando mostra que, ao lado das pesquisas analíticas, deve-se desenvolver estudos integrados que ocorrem com a ecologia no estudo do meio ambiente e, portanto, evidenciem a análise ecodinâmica do ambiente. Para esse autor, os geossistemas caracterizam-se por uma funcionalidade nos processos de troca de matéria e energia através do

equilíbrio dinâmico, constituindo o que se concebe como ambientes estáveis, porém não estáticos. À medida que estas unidades são impactadas pelas atividades antrópicas tendem à perda do estado de equilíbrio passando à categoria de instáveis.

A análise ecodinâmica possibilita a classificação do grau de sustentabilidade e vulnerabilidade do meio ambiente através do balanço entre morfogênese e pedogênese, sendo este último, critério de estabilidade. Essas instabilidades são mais evidentes e sensíveis nas zonas costeiras, onde a desconfiguração da paisagem e da dinâmica são refletidas nos impactos da erosão costeira, assoreamento de estuários, desmonte de dunas fixas, hipersalinização de lagoas costeiras, barramento de cursos fluviais e desmatamento dos mangues.

Os geossistemas foram denominados como Unidades Territoriais Básicas (UTB) no Macro-diagnóstico da Zona Costeira na Escala da União. Aplicados à realidade do nordeste semi-árido e regiões litorâneas, somam-se os resultados de algumas pesquisas aplicando a teoria geossistêmica, tais como: Zoneamento Econômico-Ecológico do Delta do Parnaíba (2001), Implantação da APA do Delta do Parnaíba (1998), Macro-Zoneamento Geoambiental da Zona Costeira do Estado do Ceará (1999).

A mesma base teórica consubstanciou o Programa de Manejo de Recursos Costeiros realizados no período de 1992 e 1998 no estuário do Rio Chone no Equador. Esse programa foi proposto pelo Centro de Recursos Litorâneos da Universidade de Rhode Island (EUA) para promover a autogestão de quatro Zonas Especiais ao longo do litoral equatoriano (Baía de Caracquez, estuário do Rio Chone, praias e pântano de La Segua) fortemente impactados pela indústria do camarão (ARRIAGA *et al.*, 1999). No estuário do Rio Chone cerca de 95% das áreas de manguezais foram desmatadas para o cultivo do *Penaeus vanamei*. No estado do Ceará, a mesma espécie de camarão é atualmente uma das principais pautas de exportação.

A caracterização e delimitação das unidades geoambientais da área em estudo, que correspondem às unidades geossistêmicas, foram precedidas da análise de cada componente organizado de forma sintética na figura 3.

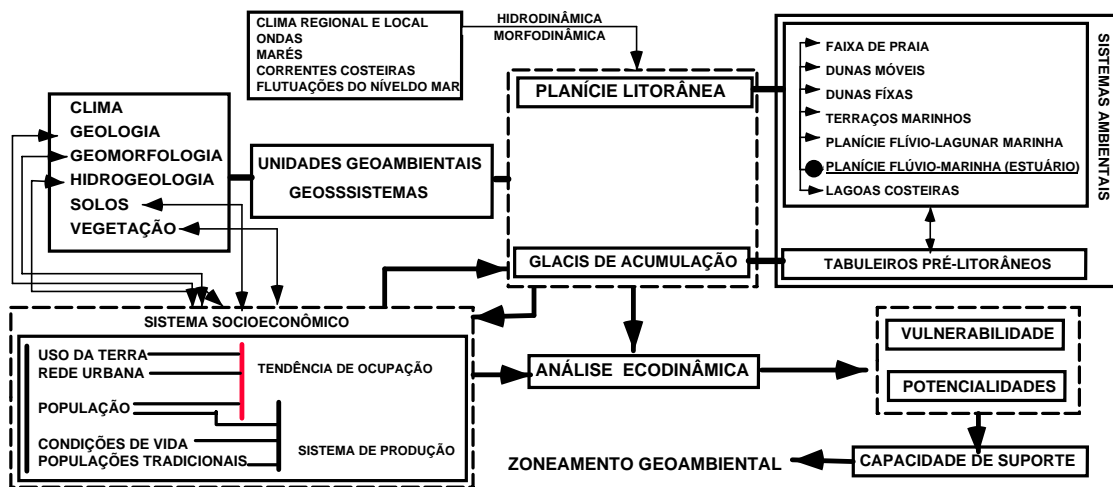


Figura 3. Esboço do zoneamento geoambiental na área de influência direta do Rio Malcozinhado-CE.

### 3. 2. Procedimentos Técnico-operacionais

O roteiro metodológico a seguir apresentado sintetiza os procedimentos adotados para a concretização dos estudos. Para a obtenção dos resultados a metodologia encontra-se subcompartimentada em dois tópicos, o primeiro descreve os procedimentos técnicos para a obtenção de dados empíricos através de coletas de materiais, ensaios de campo e análise laboratoriais, e o segundo consiste na integração dessas análises (Figura 4).

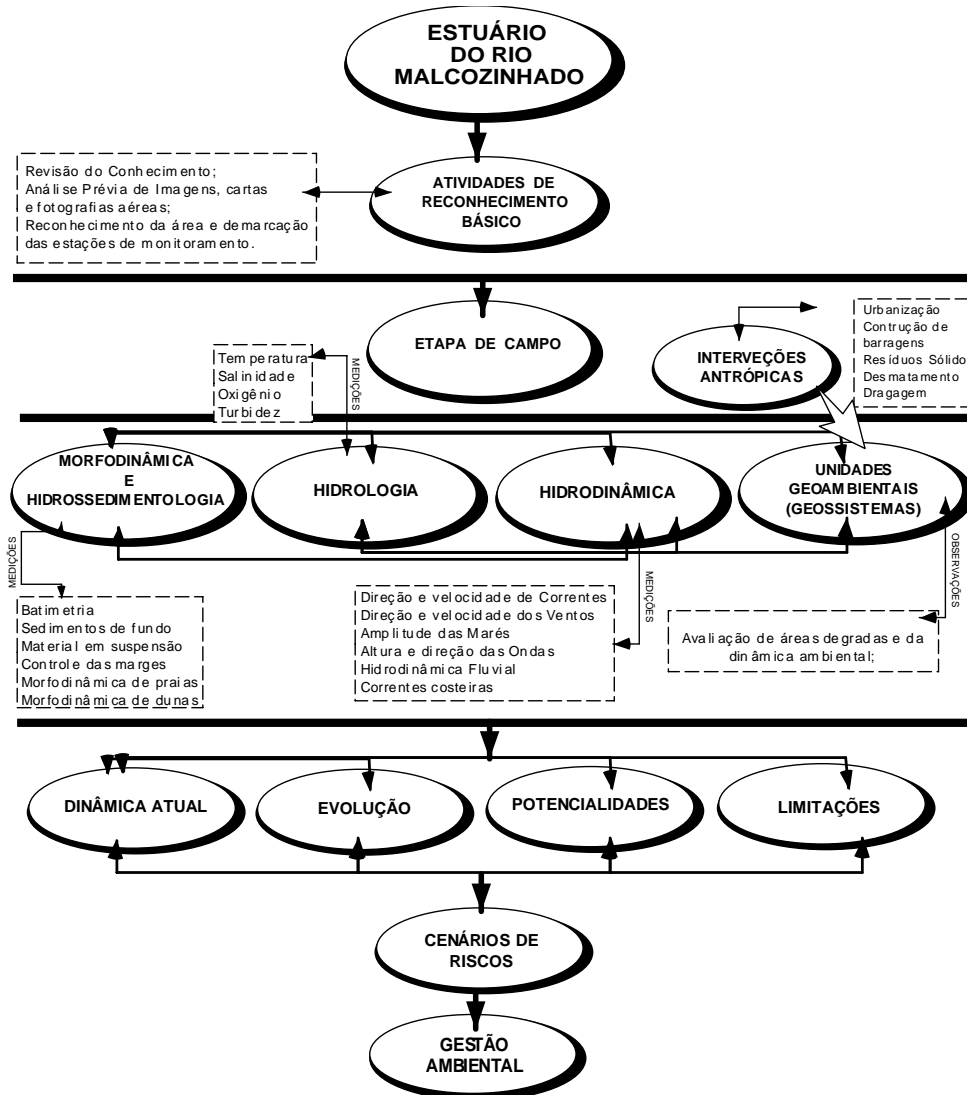


Figura 4. Fluxograma metodológico.

### **3.2.1. Atividades de reconhecimento básico**

#### **3.2.1.1. Levantamento bibliográfico**

Para a realização desta pesquisa foram efetuados levantamentos bibliográficos das séries históricas locais e regionais das variáveis climáticas, evolução geológica, variação da linha de costa, variação do nível relativo do mar, distribuição fitogeográfica e processos associados, sendo, para isso, consultadas a biblioteca de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal do Ceará (UFC) e as bibliotecas setoriais das instituições tais como: Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR), Instituto de Planejamento do Ceará (IPLANCE), Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental/UFC, Departamento de Produção Mineral (DNPM), CPRM, Secretaria de Recursos Hídricos (SRH), Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME), Universidade Estadual do Ceará (UECE), Superintendência Estadual do Meio Ambiente (SEMACE) e Prefeitura Municipal de Cascavel.

#### **3.2.1.2. Sensoriamento remoto e confecção de material cartográfico**

Nesta etapa foram utilizadas fotografias aéreas multitemporais na escala de 1:25.000 datadas de 1959, 1976, 1988, 1993 e 1996 disponibilizadas pelo INCRA, SEMACE, SEINFRA, DNOCS e IPLANCE. Das imagens orbitais processadas pelo INPE foi utilizada uma composição colorida do TMLANDSAT 5 órbita 216.063-A (Bandas TM 2; TM 4 e TM 5) datadas de 2001 gentilmente cedidas pela FUNCEME. Para o georeferenciamento das imagens e delimitação das unidades geoambientais foram utilizadas os mapas do Estado do Ceará/IPLANCE/1994, Carta Planialtimétrica na escala de 1:100.000 folha: Beberibe, código SB24-X-A-II (3ª impressão), 1983 DSG/SUDENE; Mapa das Unidades Fitoecológicas na escala de 1:100,000-FUNCEME/SEPLAN.

A aplicação das técnicas de sensoriamento remoto possibilitou o conhecimento do arranjo espacial das principais feições morfológicas, delineamento da hidrografia, estrutura dos bosques de manguezal (distribuição espacial), interação



dos processos costeiros e estuarinos, identificação da forma de uso e ocupação do solo. O *overlay* foi elaborado em programas de CAD e importado para o programa SPRING/INPE onde foram adicionados os produtos da interpretação das imagens de satélite e fotografias aéreas. Após o reconhecimento da realidade terrestre foi delimitada a bacia hidráulica e hidrográfica com as principais contribuições dos afluentes para localizar pontos de derivação das águas e mistura salina. Posteriormente, foram demarcados as 11 seções de monitoramento e as estações de coletas de sedimentos e água (Figura 5).

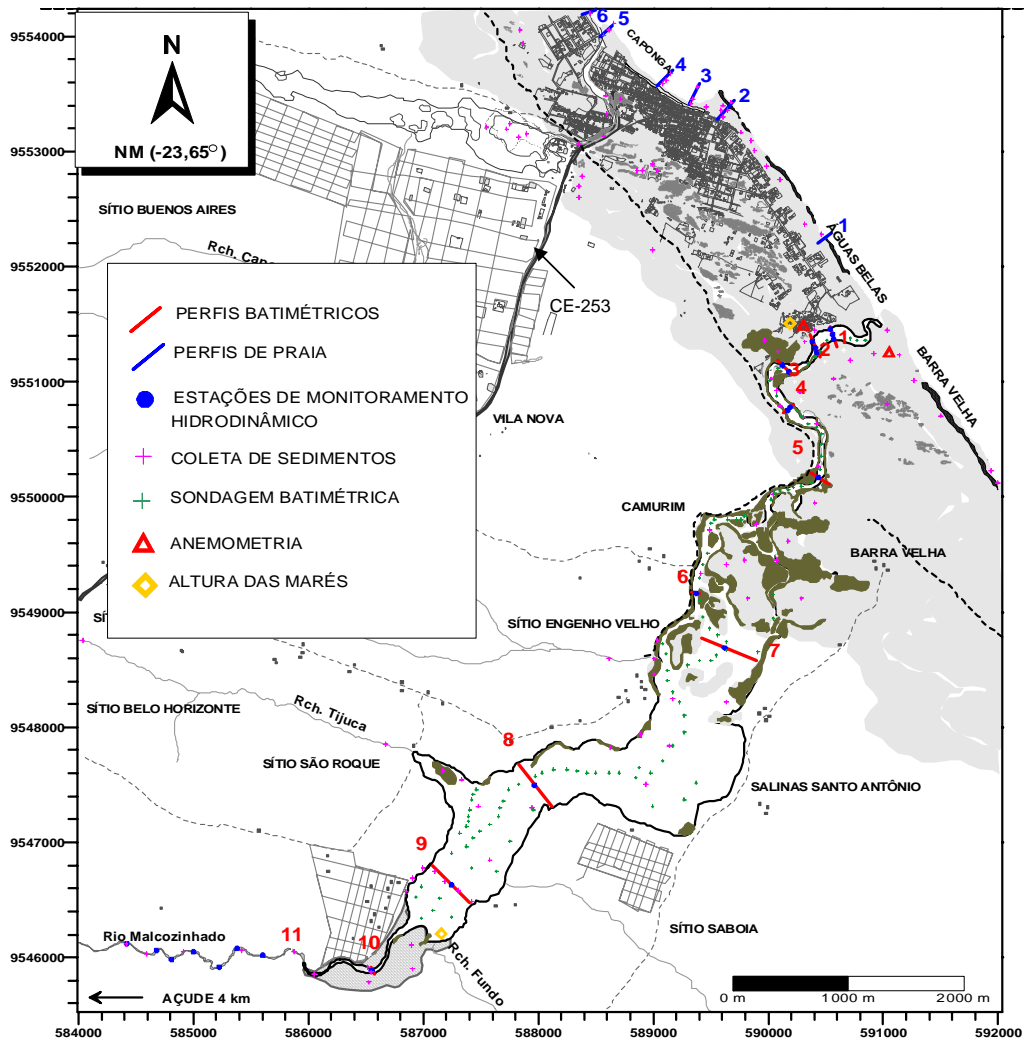


Figura 5. Estações de monitoramento e coleta.

### **3.2.2. Atividades de campo**

#### **3.2.2.1. Processos hidrodinâmicos e características hidrológicas**

Considerando que o comportamento climático é praticamente homogêneo e com variação temporal bem marcada no Estado do Ceará, optou-se por trabalhar com as condições extremas do ponto de vista da salinidade, amplitude de marés, ondas, temperatura, ventos e contribuição fluvial permitindo avaliar com mais precisão o grau de permanência sazonal do sistema estuarino. Portanto, foram realizadas amostragens em um ciclo completo de maré nos meses de setembro de 2001 e abril de 2002, ambos em marés de sizígia, tendo em vista que nas marés de quadratura a profundidade média do estuário é de 0,60 m, impossibilitando a navegação e monitoramento sistemático da hidrodinâmica.

As medições foram efetuadas nas 17 estações distribuídas nas 11 seções de modo a torná-las representativas. Nas medições de velocidade e direção das correntes foi utilizado um correntômetro portátil MOD.SD-30 Sensor Data, e conseqüentemente foi determinada a vazão de cada seção a partir do produto entre velocidade e área nas fases da maré. Na estação 17, onde não existe influência da maré foram realizadas medições da descarga fluvial. As amostragens foram realizadas em dois níveis de profundidade (próximo à superfície e ao fundo) sempre que viável em função da pouca profundidade local (abordagem lagrangiana).

Para caracterizar as marés na área foi implantada uma régua estabilizada no muro do Hotel Paradise em Águas Belas, com leituras realizadas a cada cinco minutos. Através de um teodolito foi transferida a cota do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) a fim de se nivelar com o zero da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) e assim, obter a amplitude real das marés na área. No interior do estuário foram feitas medições do nível d'água utilizando uma régua de alumínio. Foram efetuadas análises das séries históricas das amplitudes de marés nos Portos do Mucuripe e Pecém para fins de classificação regional. A análise das informações obtidas na área no período de monitoramento foi comparada com as médias mensais de amplitude das marés no Porto do Pecém e as obtidas no trabalho de LEAL (2003) realizado na costa de Aracati, litoral leste do Ceará.

Com o objetivo de determinar o período (s), altura (m), ângulo de incidência e direção das correntes, foram selecionadas três células de monitoramento com base na diversificação morfológica da costa, anteriormente estudada pelo Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias. Para obtenção da altura das ondas (diferença vertical entre a crista e a cava da ondulação) foi utilizada uma mira posicionada verticalmente na zona de espraiamento. Procurando-se alinhar a crista das ondas com a linha do horizonte determinou-se a sua altura com auxílio de teodolito. Através da medição de dez ondas consecutivas obteve-se a altura média. O período das ondas, que corresponde a passagem de duas cristas de ondas sucessivas por um mesmo ponto fixo, foi obtido através da leitura do tempo de 11 ondas consecutivas, medindo-se 10 períodos com o auxílio de um cronômetro.

Na análise das informações referentes as correntes longitudinais que atuam defronte a foz na isóbata de 10 m, foram obtidas através de flutuadores e comparadas as com as medições realizadas nos programas GEOCOSTA I e II. Para o balizamento dos dados obtidos em campo foram utilizadas as informações espectrais das ondas receptadas pelo medidor do tipo Waverider direcional, instalado a 18 m de profundidade na praia do Pecém no mesmo horário do monitoramento. Para isto, foi observada uma média de 365 ondas no dia e hora das medições em campo. Essas informações foram cedidas pela base do Instituto Nacional de Pesquisa Hidrográfica localizadas no distrito de Pecém.

A direção e a velocidade dos ventos foram medidas durante todo o período de coleta pela estação climatológica modelo WIZARD III. Os sensores foram colocados em uma torre do Hotel Paradise a 10 m de altura da linha de preamar de sizígia. As leituras foram realizadas a cada 5 minutos com observação da temperatura do ar. Os dados foram calibrados pela série obtida no Aeroporto Internacional Pinto Martins e no Parque Eólico de Aquiraz e Beberibe.

Os dados de salinidade, temperatura, densidade, condutividade, oxigênio, retroespalhamento óptico foram obtidos por um perfilador CTD (SBE 19 *SeaBird*) munido de sonda OBS da D&A Instrument. As coletas foram realizadas desde a superfície até o fundo com intervalo de 5 cm de profundidade. As unidades de salinidade foram originalmente estabelecidas em ‰ a partir de titulação em laboratório segundo a escala de Knudsen. Segundo as normas da UNESCO(1981),

por conveniência e simplicidade, a salinidade seria expressa com o fator de  $S \times 10^{-3}$  (que indica que a salinidade é dada em g/g ou kg/kg) ou simplesmente sem a unidade. O equipamento utilizado nas medições deste trabalho converte automaticamente a condutividade elétrica em salinidade com o algoritmo da EPS-1978, ou seja neste caso a salinidade pode ser usada sem unidade. No entanto, optou-se por utilizar a Unidade de Salinidade Padrão (USP) para facilitar as discussões e entendimento da distribuição vertical e longitudinal desta propriedade.

### **3.2.2.2. Contexto morfodinâmico e hidrossedimentológico**

Utilizando fotografias aéreas e imagens de satélite TMLANDSAT, Banda 4 foi traçado o esboço evolutivo da desembocadura estuarina no período entre os anos de 1959 e 2002. Foi utilizado como referência a Igreja Católica de Nossa Senhora do distrito de Águas Belas localizada na cota de 5 m. As classificações utilizadas na imagem foram originadas da refletância da umidade do terreno na escala do cinza, permitindo inferir a evolução das zonas de supra-marés, meso-marés e infra-marés de cada período. Vale ressaltar, que não foi possível traçar um modelo digital da evolução do canal estuarino, tendo em vista a ausência de estudos batimétricos pretéritos.

Nas áreas navegáveis, o levantamento batimétrico da área foi realizado com auxílio de barco e ecobatímetro do modelo FURUNO acoplado ao sistema DGPS, pertencentes ao LGCO. Nos locais onde não foi possível navegar devido a pouca profundidade, os levantamentos foram realizados em perfis transversais com o auxílio de nível e mira topográfica da marca KERN. Todas as seções e pontos de coletas foram georeferenciados através de GPS. O resultado deste estudo foi a elaboração inédita da carta topo-hidrobatimétrica do referido estuário. A correção das profundidades foi realizada com as informações das réguas de marés.

Adotando os métodos sugeridos por EMERY (1961) e MUEHE (1996) foram realizados perfis morfodinâmicos da faixa de praia a fim de definir, através das principais feições morfológicas, áreas de recuo e progradação da linha de costa e transporte eólico nas imediações da foz e em áreas de influência direta do Rio Malcozinhado. Esses dados foram correlacionados com os obtidos por PINHEIRO

(2000) e PINHEIRO *et al.*, (2001) na área em questão. Os perfis de praia foram realizados perpendicularmente a linha de costa para a identificação dos estágios morfodinâmicos (SHORT, 1987 e 1999).

Foram coletadas amostras de sedimentos na faixa de praia, dunas, bancos submersos no estuário e principais tributários. Os sedimentos dos bancos submersos foram coletados com draga do tipo busca-fundo (Van-Veen). Em cada estação de monitoramento foi coletado um litro de água para análise do material em suspensão. As garrafas foram armazenadas em geladeiras a uma temperatura de 20°C para conservar o material. Nas margens do estuário foram realizados dois testemunhos com 3 m de comprimento obtidos por Vibra-core e que vinham sendo trabalhados desde o ano de 1999.

O apoio logístico para os trabalhos de campo foi do Laboratório de Oceanografia Física, Estuarina e Costeira da UFPE e Laboratório de Geologia e Geomorfologia Costeira e Oceânica (LGCO) da Universidade Estadual do Ceará.

### **3.2.3. Atividades de laboratório**

Através das análises laboratoriais foi possível quantificar a taxa de material em suspensão através do volume de sedimentos obtidos por litro nas amostras de águas coletadas, e assim caracterizar a área sedimentologicamente. Os procedimentos laboratoriais foram divididos em três fases distintas: a primeira foi a quantificação de sedimentos suspensos no estuário (SST); a segunda, a caracterização granulométrica dos sedimentos de fundo, testemunhos, de praias e dunas adjacentes. A terceira foi a análise do material argiloso por difratometria de raio x. As análises foram realizadas no Institut für Meereskund/Alemanha.

As amostras de material em suspensão foram coletadas nos mesmos pontos de medição de velocidade. Verificou-se que o método da filtração seria o mais adequado, devido às baixas concentrações encontradas. Para a determinação da concentração do Material em Suspensão (M.E.S.) foram utilizados os seguintes materiais e equipamentos:

Filtros em microfibra de vidro 45 mm de diâmetro (Millipore ou GFC)

Balança analítica de precisão

Sistema de filtragem (bomba de vácuo; kitassato 1 litro; suporte para filtros)

Proveta; pinceta e pinça

Estufa e Dessecador

Para o cálculo da concentração dos Sólidos Suspensos Totais foi utilizada a seguinte equação:

$$S_{ST} = \frac{P_{F+S(100^{\circ}C)} - P_F}{Vol (l)}$$

$S_{ST}$  = Sólidos suspensos totais (mg/L)  
 $P_{F+S}$  = Peso do filtro + sólido  
 $P_F$  = Peso do filtro  
 Vol = volume da amostra (1 ou 0.5 L)

A análise granulométrica fornece informações sobre a textura dos sedimentos, relacionando-os ao modo de transporte e deposição. Além disso, as informações sobre os tipos de materiais disponíveis, possibilita o aproveitamento e aplicação nas indústrias ceramistas e de mineração local.

Os sedimentos coletados no campo foram inicialmente colocados para secar em estufa a uma temperatura de 60°C, para que não houvesse modificações nos argilominerais sensíveis a altas temperaturas. Após a secagem, as amostras foram quarteadas, uma parte tendo sido analisada e outra acondicionada para o banco de amostras do laboratório. Posteriormente, foram separadas 100 g de cada amostra homogeneizada que logo foram submetidas ao peneiramento úmido. Esse processo consistiu na lavagem da amostra em uma peneira de malha de 0,062 mm de diâmetro, possibilitando a separação dos sedimentos grosseiros dos sedimentos finos. Depois de separadas, as frações foram condicionadas em recipientes apropriados e colocadas novamente na estufa. A fração retida na peneira corresponde às frações de areia fina a cascalho, e as frações recolhidas sob a peneira correspondem às frações silte e argila.

Após secagem, a fração maior do que 0,062 mm foi colocada em uma bateria de 12 (doze) peneiras com aberturas variando de -2,00 a 4,00  $\phi$ , segundo a escala de WENTWORTH (1922) *apud* SUGUIO (1973), e postas para vibrar por 10 (dez) minutos no agitador mecânico “Ro-tap Sieve Shaker”. As frações retidas em cada peneira foram pesadas e acondicionadas em sacos plásticos identificados com a malha da peneira. A fração fina inferior a 0,062 mm foi analisada pelo método de pipetagem seguindo a lei de Stokes, que se baseia na velocidade de queda das partículas em meio aquoso.

Em uma proveta de 1000 ml foi feita uma solução composta de sedimentos, água destilada e pirofosfato de sódio ( $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ). Através de agitação manual homogeneizou-se a amostra deixando-a em seguida em repouso. Após esse procedimento, com uma pipeta de 10 ml foram realizadas várias pipetagens em vários intervalos de tempo e profundidade, correspondendo dessa forma, a velocidade de decantação das frações de silte grosso, silte médio, silte fino e argila. O material amostrado foi levado a estufa para secar e posteriormente foi pesado.

Os pesos das frações grossas e finas foram anotados em fichas de análise granulométrica e lançados no programa GRANULS para a classificação textural das amostras. Os parâmetros estatísticos foram calculados utilizando os dados gráficos obtidos das curvas acumulativas de distribuição e frequência calculados com os dados na escala ( $\phi$ ), servindo para caracterizar a curva em relação a sua tendência central, grau de dispersão, grau de assimetria e grau de agudez dos picos.

#### **3.2.4. Análise dos dados**

Os dados climáticos das estações na bacia hidrográfica e Fortaleza foram analisados através do Teste-T pareado tendo em vista que o comportamento climático é praticamente homogêneo em todo o litoral do Estado do Ceará. Esse mesmo teste foi aplicado para os dados de direção, velocidade e período de ondas coletados nas células de monitoramento costeiro, com os registrados na estação do INPH no Porto do Pecém no mesmo dia e hora da amostragem. O mesmo teste foi aplicado para os dados das coletas comprovando a sazonalidade bem evidente na

região. Os dados de corrente e dos ventos foram representados na forma de vetores, onde o ângulo indica a direção e o comprimento do vetor a intensidade da corrente em m/s, respectivamente.

Uma malha uniforme da distribuição horizontal dos valores de salinidade, temperatura, batimetria, condutividade e capacidade de retroespalhamento óptico foi obtida pelo método de interpolação *kriging*, levando em consideração a variação espacial dos dados. O mesmo procedimento foi adotado para os perfis verticais de salinidade e material em suspensão. Essa malha foi empregada na obtenção das isolinhas de cada propriedade. Todas as direções contidas neste trabalho são relativas ao Norte Verdadeiro (geográfico), com uma declinação magnética local de 1981-2002 de 23,65° W. Medidas do nível da água foram feitas relativas ao zero da DHN. A normatização textual e bibliográfica foi feita seguindo as recomendações da ABNT NBR 147724/2002.

Nos procedimentos da análise geoambiental, as unidades geoambientais foram zoneadas pelas técnicas de sensoriamento remoto. Os impactos foram identificados a partir de observações em campo. Os impactos e prejuízos foram agrupados de acordo com o tensor que lhe originou, possibilitando a confecção de uma matriz de correlação baseada no modelo sistêmico de Christofolletti (1999). Na avaliação do impacto ambiental foram considerados dois critérios: o qualitativo e quantitativo. Na análise qualitativa foram analisados os efeitos ambientais, enquanto que na quantitativa foram definidos parâmetros numéricos.

A vantagem dessa metodologia é a possibilidade de sintetizar os resultados obtidos nas análises específicas e de tensores antrópicos, colocando-os numa linguagem de fácil entendimento para a comunidade local, para os gestores do meio ambientes e pesquisadores de áreas afins.



## **4. COMPARTIMENTAÇÃO DAS UNIDADES GEOAMBIENTAIS COSTEIRAS**

### **4.1. Sistemas ambientais**

Os componentes ambientais destacados neste capítulo estão representados pela geologia e geomorfologia locais que se resumem a elementos morfoestruturais restritos aos períodos Plio-pleistocênicos e Holocênicos. A este arcabouço morfoestrutural associam-se os solos e vegetação, que constituem os indicadores de estabilidade ambiental principalmente no que se refere às áreas fortemente dinâmicas como é o caso dos campos de deflação eólica e áreas estuarinas.

Os recursos hídricos representam os elementos atuantes na dinâmica da paisagem, na formação e evolução de importantes feições fisiográficas costeiras e no desenvolvimento de atividades econômicas locais. Os aspectos socioeconômicos traduzem as diversas formas de uso e ocupação da terra e suas implicações ambientais. A compartimentação das unidades geoambientais da área encontra-se representada pelos Tabuleiros Pré-Litorâneos, Planície Litorânea e Planície Fluvial. Embora esse estudo seja concentrado nas áreas mais subordinadas à dinâmica das marés, foram agrupadas feições localizadas na faixa perpendicular de 20 Km contados a partir da linha de costa (cota de + 4 metros para a praia da Caponga e Águas Belas de acordo com as definições da DHN) em direção ao interior.

Essa faixa é considerada como zona litoral limite institucionalizada pela Resolução 01/90 do Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro aprovada pela Comissão Interministerial para os Recursos do Mar. Portanto, a área estudada encontra-se nessa faixa e engloba as feições encontradas nos terrenos do Quaternário e Terciário com uma área total de 70,07 Km<sup>2</sup>.

#### 4.1.1. Tabuleiros Pré-Litorâneos

A Formação Barreiras reflete um domínio geomorfológico de leques aluviais. São depósitos sedimentares, com início de deposição no Mioceno (ARAI *et al.*,1988), encontram-se distribuídos ao longo de toda a costa cearense, com penetração bastante variável e cotas altimétricas em torno de 30 a 80 m. O caimento dessas superfícies de acumulação em direção ao mar ocorre de forma imperceptível não ultrapassando 5° (LIMA *et al.*,2001). Em alguns pontos afloram como falésias mortas com alturas variando de 4 a 6 metros, constituindo o limite desta unidade ambiental. Na área em estudo, os sedimentos dessa formação encontram-se constituídos por arenitos síltico-argiloso, de coloração esbranquiçada a amarelada, friáveis, constituído predominantemente por grãos de quartzo, ocorrendo localmente níveis conglomeráticos dentro dessa seqüência sedimentar.

As exposições típicas são observadas na porção mais interna da área, como na superfície de tabuleiros, onde são encontrados pequenos afloramentos, localmente ondulados com depressões suaves, na linha de falésias mortas localizadas a cerca de 1,5 Km da linha de costa, e ao longo da margem esquerda do estuário do Rio Malcozinhado. Estas falésias estão na maior parte capeada por dunas antigas, evidenciando um plano de base regional diferente do atual. Além disso, nas imediações de Águas Belas as escarpas estão colonizadas pela mata típica de tabuleiros, com o manguezal restrito ao uma pequena faixa de terra, com largura não superior a 3 m (Figura 6).

Os tabuleiros aparecem recortados por um grande número de drenagens secundárias, de regime intermitente, que constitui as micro-bacias hidrográficas dos rios Caponga Roseira e Malcozinhado. Os vales apresentam modestas cotas altimétricas devido ao fraco poder de entalhamento das drenagens. Nas proximidades das desembocaduras desses cursos fluviais surge um sistema de falésias que movimentam o relevo, evidenciando a evolução paleogeográfica a partir das flutuações do nível relativo do mar.

]



Figura 6. Escarpa da falésia da Formação Barreiras colonizadas por espécies arbóreas dos Tabuleiros Pré-litorâneos e da Caatinga na margem esquerda do estuário. Observar que o primeiro estrato está representado pela *Rizophora mangle*.

Os solos predominantes são os ARGISSOLOS, profundos e moderadamente profundos, com textura variando de média (arenosa) a argilosa. Geralmente são bem drenados e porosos e com práticas corretivas possuem de médio a alto potencial agrícola. No contato com as dunas fixas observa-se espessas coberturas de NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS. Na unidade dos tabuleiros é que se observa uma maior diversificação vegetal e florística. Três tipos são encontrados: a vegetação de tabuleiro, o cerrado e a caatinga.

Dentre as espécies encontradas destaca-se o Pau-sangue (*Pterocarpus violaceus*) pelo porte arbóreo e arbustivo denso que exerce uma considerável proteção ao solo, no entanto, foi bastante descaracterizada e apresentam-se como pequenas manchas na área. Nas imediações das aluviões e estuário do Rio Malcozinhado existem vários sítios e chácaras onde é comum a formação de pequenos pomares com as culturas de caju, limão, graviola, banana e manga. Nas imediações das falésias o desmatamento acentua o processo de voçorocamento e,

por conseguinte o assoreamento do estuário. Essa região antigamente era recoberta em sua totalidade pela mata de tabuleiro estando restrito. Em virtude dos desmatamentos ocorridos para o plantio da cana-de-açúcar e algumas espécies forrageiras, e posteriormente com a expansão urbana, poucos indivíduos representantes deste tipo vegetacional são observados.

#### **4.1.2. Planície Litorânea**

Compreende a faixa de terra emersa formada pelos campos de dunas móveis e fixas, terraços marinhos holocênicos, planícies lacustres, planície lagunar, planícies flúvio-marinhas (estuários) e pelas praias (SOUZA,1998). A Planície Litorânea estudada apresenta largura variando de 2 a 4 km, sendo sua maior largura situada nas imediações do estuário do rio Malcozinhado. Apresenta dois alinhamentos principais, o primeiro que vai dos campos de dunas móveis até a Ponta da Caponga, e o segundo que vai da inflexão dos afloramentos rochosos em direção a Fortaleza.

Estudos realizados por TESSLER e MAHIQUES (2000) indicam que a origem das planícies litorâneas está relacionada ao suprimento de areia, corrente de deriva litorânea, variação do nível do mar durante o Quaternário Recente e obstáculos para a retenção de sedimentos. Segundo FREIRE e CAVALCANTI (1999), a Planície Litorânea do Ceará teria se originado pelo suprimento de areias provenientes da erosão de falésias da Formação Barreiras, bem como pelas variações do nível relativo do mar durante o Quaternário. Estes ambientes ao longo do processo evolutivo foram e são modelados pela ação dos ventos, correntes, marés e ondas resultando nas principais feições fisiográficas apresentadas a seguir:

As praias são definidas por perfis intermediários com variação de morfologias evidenciadas a cada subida de maré e mudanças do ângulo de ataque das ondas. Existe uma série de definições do que seja o ambiente praial, costa, litoral e linha de costa, porém a terminologia de praia adotada neste estudo corresponde à faixa de terras emersas e submersas que vai do nível máximo de influência das marés altas (Pós-praia) até a zona onde ocorre a movimentação de sedimentos pelas ondas (ante-praia). O conceito de linha de costa utilizada neste

estudo é equivalente à linha de preamar de sizígia. A zona de pós-praia e terraços marinhos encontram-se ocupadas por equipamentos urbanos, o que desencadeou uma série de impactos que geraram erosão, colocando em risco as estruturas instaladas. Na praia de Barra Velha, o nível de urbanização nessa zona é praticamente nulo. A presença de afloramentos rochosos (*beach-rocks*) na zona de praia pode ser observada desde Águas Belas até Caponga, a disposição dos mesmos em relação ao ângulo da costa interfere no ataque das ondas à jusante das correntes litorâneas e por consequência na disposição dos bancos de areias localizados na antepraia nas imediações da ponta da Caponga (Figura 7).



Figura 7. Linha contínua de rochas de praia (*beach-rocks*) desde a foz do Rio Malcozinhado até a praia da Caponga, minimizando a ação erosiva das ondas.

Os terraços marinhos holocênicos apresentam superfície plana com altitude variando de 0,50 m a aproximadamente 4,0 metros nas proximidades das falésias mortas da Formação Barreiras (MEIRELES e PATRICIO,1999). São compostos por areias marinhas retrabalhadas pela última transgressão e depositadas no processo regressivo subsequente, constituindo antigas superfícies de praia. Nas áreas interiores a remobilização das areias destes depósitos através da construção de casas, loteamentos e estradas são responsáveis pela perda da estabilidade, facilitando, sobretudo a erosão eólica que quando associados aos cordões arenosos

localizados na face de praia, migram e avançam sobre muros e estruturas existentes.

Os depósitos eólicos são formados em locais com disponibilidade de sedimentos de granulometria fina e ventos constantes que facilitam o transporte eólico. Na área em estudo estão representados pelas dunas móveis, fixas e semifixas. As dunas móveis mais destacadas estão presentes a 2,5 km da linha de preamar, capeando os terraços marinhos holocênicos, gerações de dunas mais antigas e as falésias mortas da Formação Barreiras. Apresentam-se como extensos pacotes distribuídos em diversos pontos da planície, que migram de NE influenciando diretamente na dinâmica sedimentar e possibilitando o fornecimento de areias para a formação de bancos existentes no estuário e na foz do Rio Malcozinhado.

Em virtude da migração em direção ao continente, as dunas móveis não são mais alimentadas pelos sedimentos praias, utilizando os terraços marinhos, dunas inativas e cordões arenosos como sua fonte de alimentação (RODRIGUES, 1999). Nas proximidades da vila da Caponga estes depósitos foram ocupados e explorados, atualmente, encontrando-se arrasados ao nível dos tabuleiros. No extremo oeste da área estes depósitos assumem formas de cordões alongados localizados após a linha de preamar que migram na direção de residências instaladas nos corredores de vento.

As dunas fixas encontram-se à retaguarda das dunas móveis, sem forma definida, arrasada ao nível dos Tabuleiros Pré-litorâneos e colonizadas por vegetação do tipo arbórea - arbustiva. Ocorrem de forma conservada desde a praia de Barra Velha até a praia da Caponga. As dunas semifixas apresentam-se como pontos isolados, na margem direita do estuário do Rio Malcozinhado e à retaguarda do distrito de Caponga. A vegetação colonizadora é do tipo arbustiva. Estes ambientes são extremamente frágeis e vulneráveis à ocupação antrópica e de grande importância no equilíbrio sedimentar e ambiental das planícies litorâneas e lagoas costeiras, por serem excelentes aquíferos.

As lagoas existentes na Planície Litorânea estão associadas com as dunas móveis, oscilações sazonais das condições climáticas e flutuações do lençol freático formando as lagoas interdunares. No contato dos terraços marinhos com a Formação Barreiras ocorrem à formação de lagoas, exutórios das dunas edafizadas, onde parte do núcleo urbano de Caponga e Águas Belas desenvolveu-se sobre estas feições (Figura 8). No período chuvoso, a ampliação o lençol freático causa a instabilidade na estrutura das casas de veraneio, além de ser foco de doenças de veiculação hídrica e depósitos de resíduos sólidos.



Figura 8. Lagoas freáticas em Águas Belas nos Terraços Marinhos Holocênicos. No período chuvoso as águas invadem as estradas e casas de veraneio criando situações de riscos.

No extremo oeste da área estas lagoas quando em contato com às águas do mar, possibilitam a colonização de espécies de mangues formando ambientes de influência mista localmente conhecido como “gamboas” (MORAIS *et al.*,2000). A planície lagunar encontra-se representada por um expressivo lagamar esculpido nas imediações da APA do Balbino até a vila da praia da Caponga, com toponímia de Lagoa da Velha Ana. Com direção NW-SE forma um ângulo de  $280^{\circ}$  com o Norte Verdadeiro, nas imediações da praia da Caponga toma a direção N, e na foz NE, desaguando dentro do núcleo urbano. Apesar de manter comunicação com o mar,

pelas características de circulação e mistura esse lagamar não apresenta características estuarinas, com exposição total do substrato na baixa-mar de sizígia e quadratura.

O estuário do Rio Malcozinhado (Planície Flúvio-marinha) acentua a evolução paleogeográfica da área. O rio principal tem direção W-E e forma uma laguna com direção predominantemente de NE e variações de alinhamentos associados aos depósitos da Formação Barreiras. As drenagens secundárias apresentam-se de forma paralela e com a mesma direção do canal principal. No processo de regressão marinha, estes rios tiveram os seus vales entalhados, esculpindo falésias fluviais com cotas de 7 m nas margens, sendo contemporâneos à fase de entalhamento do Rio Choró. A presença de sedimentos eólicos nas margens mostra que a migração de um campo de dunas participou de forma ativa na construção da planície, principalmente no aporte de material para a formação das ilhas e pela configuração da drenagem de forma anastomosada.

O assoreamento do canal principal nas imediações da desembocadura resultou em um intenso processo erosivo das estruturas urbanas em Águas Belas. Os manguezais se limitam a zona submetida à imersão periódica das águas com salinidade elevada. A presença desse tipo de vegetação mais conservada pode ser verificada apenas no Rio Malcozinhado. A população ribeirinha utiliza-se da pesca como segunda atividade de subsistência, merecendo destaque a agricultura (Figura 9).

Os solos predominantes da Planície Litorânea são os NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS no contato com os Tabuleiros Pré-litorâneos. O mesmo tipo de solos são encontrados nas dunas móveis ou as edafizadas. OS ORGANOSSOLOS, que são solos orgânicos e ácidos, e os GLEISSOLOS SÁLICOS ocorrem de forma expressiva no estuário do Rio Malcozinhado e Lagoa da Velha Ana.





Figura 9. A pesca artesanal no estuário está associada às culturas de subsistência de feijão e milho dos Tabuleiros Pré-litorâneos. Observar ao fundo a escarpa da falésia que margeia 8 km da planície estuarina.

A cobertura vegetal presente na planície litorânea é constituída por associações de herbáceas, que se distribui de uma forma bastante irregular. Nos campos de dunas a vegetação se coloca como elemento bloqueador à ação eólica. Apresentam-se dispersas, compostas por gramíneas e arbustos, ou por espécies arbórea-arbustivas no caso das dunas mais antigas.

A vegetação pioneira é encontrada nas áreas mais próximas do mar, onde os primeiros sinais começam a surgir depois da zona de berma estendendo-se muitas vezes até as dunas funcionando na bioestabilização. O uso dos gabiões na reabilitação da faixa de praia da Caponga possibilitou a fixação de espécies pioneiras das áreas de pós-praia, estabilizando os setores próximos a avenida litorânea, evitando a remobilização eólica. Caracteristicamente as plantas apresentam porte herbáceo, sistema radicular profundo, altamente tolerantes e pouco exigentes em relação aos ventos fortes, a irradiação solar e a salinidade existente no ambiente praial. Dentre as espécies mais comuns destacam-se: a

“salsa-de-praia” (*Ipomoea pes-caprae*), “bredinho - da - praia” (*Iresine portulacoides*), “capim barba-de- bode”( *Sporobolus virginicius*) e o “cipó-de-praia” (*Remirea marítima*).

A retaguarda dos campos de dunas móveis encontram-se as dunas edafizadas ou em processo de edafização, ocasionado pelo desenvolvimento incipiente de uma camada de solo permitindo a fixação de uma cobertura vegetal. Recobrem uma área de forma descontínua até o limite dos Tabuleiros. Apresentam um porte predominantemente arbóreo-arbustivo onde se destacam as seguintes espécies: “muricis” (*Byrsonima crassifolia*), “carrasco” (*Coccoloba sp*), “erva de rato”( *Eugenia sp*), “casca-grossa” (*Maytenus rígida*), “cajueiro” (*Anacardium occidentale*), “pau d'arco roxo” (*Tabebuia impetiginosa*) e o “juazeiro” (*Ziziphus joazeiro*). Nas proximidades do estuário são encontrados mandacarus (*Cereus jamacaru*) que são espécies típicas do semi-árido que se mesclam ao manguezal na área. Os indivíduos com maior porte apresentam-se conservadas nas imediações da Barra Velha.

Os manguezais ou Floresta Perenifólia Latifoliada Paludosa Marinha são ecossistemas formados nas áreas estuarinas, lagunares e de planície flúvio-marinha, caracterizadas pela mistura de água doce com salgada. Os manguezais são constituídos por poucas espécies, mas de grande número de indivíduos. Na área em estudo sua composição florística é representada pelas seguintes espécies: “mangue vermelho” (*Rhizophora mangle*), “mangue siriúba” (*Avicenia racemosa*), e “mangue branco” (*Laguncularia racemosa*) e “mangue de botão” (*Conorcapus erecta*).

Conforme a Lei N<sup>o</sup> 4771 Artigo 2<sup>o</sup> do Código Florestal Brasileiro - 1965, são considerados Áreas de Preservação Permanente (APP) devido a sua grande fragilidade e importância biótica. Na praia da Caponga este ecossistema apresenta-se bastante degradado devido à ocupação antrópica, loteamentos e assoreamentos resultantes da própria dinâmica sedimentar que existem nessas áreas. No estuário do Rio Malcozinhado os manguezais são mais conservados, apesar do pequeno porte e expressão espacial (Figura 10).



Figura 10. *Rizophora mangle* próxima à desembocadura do Rio Malcozinhado. Dentre as outras espécies é a que tem maior ocorrência ao longo dos 11 km de extensão.

#### 4.1.3. Planícies Fluviais

As planícies fluviais são depósitos formados pelos rios e riachos, cuja topografia baixa e plana ocasionam freqüentes inundações. Os solos são litologicamente representados por areias, cascalhos, siltes e argilas, com ou sem matéria orgânica, compreendendo os sedimentos aluviais. A mais expressiva na área é a do rio Malcozinhado com predominância de NEOSSOLOS FLÚVICOS. Em termos de aproveitamento agrícola estes solos servem ao plantio em função da sua média e alta fertilidade natural.

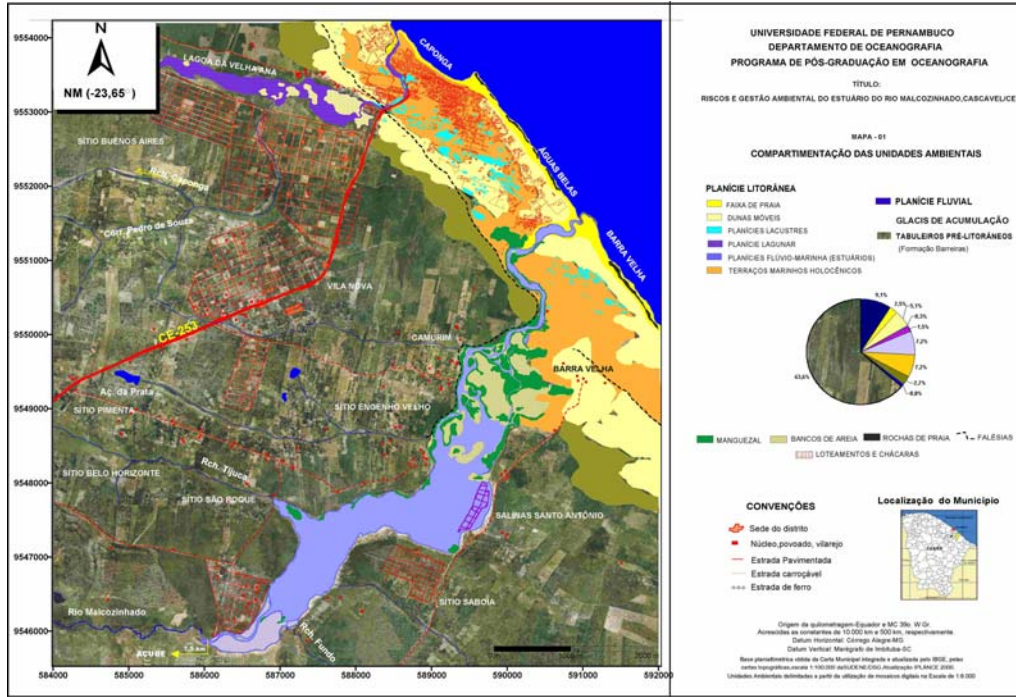
Nas planícies fluviais do Rio Malcozinhado são encontrados os PLANOSSOLOS. São solos moderadamente profundos a rasos, bastante susceptíveis à erosão e argilosos. A distribuição e os processos de contínua deposição levaram para a região pequenas lavras que escavam tais argilas para a

produção de tijolos. A vegetação típica dessa unidade na área é a Carnaúba (*Copernicia prunifera*) com associações de Caatinga e Cerrado (Figura 11).



Figura 11. Plantação de cana-de-açúcar e capim nas margens do rio. Ao fundo, indivíduos esparsos de Carnaúba, vegetação típica dessa unidade geoambiental.

A representação espacial dos sistemas ambientais físicos podem ser observadas no mapa1 com suas respectivas áreas calculadas a partir da compartimentação realizada nesta tese.



#### 1.4. Morfogênese Plio-Quaternária

Nos períodos que precederam a deposição dos sedimentos da Formação Barreiras e durante o Quaternário, às variações do nível do mar exerceram importante papel na formação das Planícies Litorâneas. Essas variações influenciaram diretamente na migração da linha de costa, e conseqüentemente, condicionaram os processos costeiros regionais e locais.

Diversos trabalhos foram realizados na costa do Ceará, onde foram evidenciados testemunhos das flutuações do nível do mar durante o Quaternário desde Icapuí (MEIRELES, 1991) até a Região de Itarema. No entanto, ainda não há uma curva de flutuação do nível do mar para o Estado do Ceará e/ou para o trecho costeiro setentrional entre os estados de Piauí e Rio Grande do Norte. Ao se observar à evolução nos últimos 7000 anos, a proposta para o litoral leste do Brasil apresentada por MARTIN et al.,(1993) parece compatível com as evidências fisiográficas encontradas no litoral do Estado do Ceará.

A última transgressão alcançou seu máximo, de + 5 m há 5.100 A.P. A rede de drenagem que havia se instalado sobre a plataforma submergiu, assim como parte inferior dos vales fluviais. Os depósitos que formavam a Planície Litorânea, incluindo sedimentos de praia e sistemas de dunas foram erodidos. Nesta fase as falésias mortas foram retrabalhadas juntamente com as falésias nas margens dos rios Malcozinhado, Caponga Roseira e Choró. Este último localizado no limite dos municípios de Cascavel e Beberibe. Subseqüentemente, o nível do mar baixou e formou extensas Planícies Flúvio-marinhas (Estuários) colonizadas pelos mangues por volta 4.900 A.P. A deposição ocorre na forma de pequenos deltas com ramificações recobrando até as áreas que hoje encontram-se submersas. As áreas mais internas dos lagamares dos rios Malcozinhado e Caponga Roseira, de predominância lacustre, passaram a ter influência mista com colonização de mata ciliar e de mangue nas margens.

Por volta dos 3.900 anos A.P. ocorreu uma rápida descida do nível relativo do mar o que possibilitou o início da formação dos terraços marinhos



holocênicos. Nesta fase, a desembocadura do Rio Caponga Roseira localizava-se nas imediações da Ponta da Caponga, aproximadamente 6 km da desembocadura atual e a do Malcozinhado na praia de Barra Velha. Os processos de hidrodinâmica marinha aliada ao da deflação eólica foram responsáveis pelo início da migração dos mesmos.

Entre 3.900 e 3.600 A.P. o nível do mar elevou-se muito rapidamente e há cerca de 3.600 A.P. este passou por um segundo pico positivo situado  $3,5 \pm 0,5$  acima do atual. Nesta elevação os depósitos de mangue localizados na parte mais externa das desembocaduras foram assoreados, cujas evidências foram encontradas com testemunhos realizados na faixa de praia do Balbino. Além disso, essas flutuações da linha de costa são verificadas pela existência de extensos pacotes de arenitos de praia (*beach-rocks*) que atapetam a zona praial de toda a área.

Entre 3.600 e 2.500 anos A.P. ocorreram seqüências de pequenas oscilações que desenharam os patamares dos terraços marinhos holocênicos e permitiram a deposição de material para a formação dos campos de dunas atuais e da faixa de praia propriamente dita. Após 2.500 anos A.P., o nível do mar baixou até a posição atual, a partir daí a interação dos processos climáticos de pequena escala, os processos hidrodinâmicos costeiros e fluviais foram responsáveis pela migração das desembocaduras fluviais e configuração da planície costeira de Caponga e Águas Belas.

Esses processos dos últimos 2.500 anos A.P. ocorrem com a mesma magnitude, sendo, portanto a zona costeira uma ambiente fortemente dinâmico, e essa dinâmica é acentuada pelas intervenções antrópicas na forma de ocupação do espaço costeiro.

#### 4.2. Características sócio-econômicas e sócio-ambientais

O Município de Cascavel foi criado em 1833 pela Lei Nº 2.039, e tem como distritos: Cascavel, Cristais, Caponga, Águas Belas, Guanacés, Jacarecoara e Pitombeiras distribuídos nos seus 822 km<sup>2</sup>. O topônimo Cascavel, segundo os moradores antigos da região, teria surgido a partir de viajantes, em suas travessias de Aracati para Aquiraz e Fortaleza, que se arranchavam sob a copa dos cajueiros. Esses rancheiros teriam encontrado algumas cobras cascavel, daí ser ponto de referência com a expressão “Passagem de Cascavel” (SILVA,2002). Além dos rancheiros, a toponímia local dos rios e riachos é herança das tribos Kanindé, Jenipapo, Anacé e Guanacé que colonizavam a área. Daí surgiram: Caponga, Pindoretama, Jacarecoara, Guanacés dentre outros.

Em 1710, os novos colonizadores ergueram nas imediações do Riacho Fundo, afluente do Rio Malcozinhado, uma capela destinada a Nossa Senhora do Ó. Assim, no entorno da capela foram sendo construídas casas, ranchos, sítios para plantio de culturas de subsistência e currais para a criação de gado. A pequena localidade que começou a se desenvolver, muito se beneficiou por sua estratégica posição geográfica, transformando-se numa vital encruzilhada da rota de comércio entre as cidades litorâneas, como também no fluxo do litoral para o sertão (SILVA, 2002).

A população fixa do Município segundo o censo do IBGE(2000) é de 57.129 habitantes, sendo que 47.453 vivem na área urbana e 9.676 na zona rural (Tabela 1). A maior concentração populacional encontra-se na zona litorânea, nas praias de Caponga e Águas Belas (IBGE,2000). Nos finais de semana, férias e feriados ocorre um aumento considerável de turistas e visitantes nas praias do município.



Tabela 1. População do Município de Cascavel por situação de domicílio e sexo na sede e distritos no ano de 2000.

Sede e Distritos	Total de Habitantes	População Residente			
		Total		Urbana	Rural
		Homens	Mulheres		
Sede	10.330	5.263	5.076	10.339	-
Caponga*	31.060	15.185	15.880	29.891	1.174
Cristais	588	311	277	517	71
Guanacés	7.897	4.026	3.871	1.950	5.947
Jacarecoara	4.080	2.029	2.051	4.080	-
Pitombeiras	3.160	1.663	1.497	676	2.484
<b>Total</b>	<b>57.129</b>	<b>28.477</b>	<b>28.652</b>	<b>47.453</b>	<b>9.676</b>

Fonte: IBGE (2000). \* População de Caponga e Águas Belas

O nível de renda da população é baixo, cerca de 72% dos chefes de família ganham até dois salários mínimos, o que sugere um nível de consumo baixo no município. A média da taxa de analfabetismo em Cascavel, 24,95% é menor que a estadual, 26,48% (IPLANCE, 2000). A taxa de escolarização é de 68,41% estando o município em 119º no *ranking* dos 184 municípios do Estado do Ceará.

O abastecimento de água é ainda deficitário. O município conta com 2.275 ligações, que abastecem 8.092 pessoas, correspondendo apenas 16,49% do total. O Açude Público Malcozinhado foi construído para abastecimento de água em Caponga e Pindoretama. Apenas 22,98% dos domicílios possuem instalações sanitárias e 46,71% são atendidas pela coleta domiciliar de lixo (IBGE, 2000).

Como pode ser observado na tabela 2, o número de domicílios na área de influência direta da bacia de drenagem do Rio Malcozinhado, que utilizam fossas rudimentares e fossas sépticas são de 36.876 e 2.060, respectivamente. Cerca de 78 domicílios utilizam a rede de esgoto e/ou pluvial para o esgotamento e 200

utilizam valas e jogam diretamente nos rios e mar. O número de domicílios sem sanitários e /ou banheiro é de 9.443. As implicações ambientais são inúmeras dentre elas destacam-se: a contaminação das águas subterrâneas e superficiais utilizadas para abastecimento, eutrofização de pequenos lagos e aumento do número de doenças de veiculação hídrica. Além dos domicílios essas áreas apresentam currais para a criação de caprinos e bovinos e se encontra em franco desenvolvimento a avicultura para corte.

Tabela 2. Domicílios particulares permanentes e tipo de esgotamento sanitário da área de influência direta na bacia de drenagem do Rio Malcozinhado em 2000.

	Total Geral	TIPO DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO							Sem banheiro
		Total com Esgotamento	Rede geral de esgoto ou pluvial	Fossa séptica	Fossa rudimentar	Vala	Rio, lago ou mar	Outro escoadouro	
Caponga*	2.364	1.796	5	33	1.732	15	2	9	568
Caponga da Bernarda	549	369	-	118	250	1	-	-	180
Sede Cascavel	7.662	6.304	17	168	6.096	8	-	15	1.358
Dourados	777	487	-	4	477	-	-	6	290
Guanacés	1.793	1.137	-	5	1.116	6	1	9	656
Sede Horizonte	8.049	6.800	11	282	6.473	12	1	21	1.249
Jacarecoara	1.004	639	-	5	609	1	-	24	365
Sede Pacajús	9.415	8.350	21	1.208	6.991	112	-	18	1.065
Pindoretama	3.503	3.179	2	13	3.149	7	-	8	324

Fonte: IBGE (2000); \* Caponga e Águas Belas

O lixo coletado não recebe nenhum tipo de tratamento e 15,79% são jogados em terrenos baldios, 38,07% são queimados e/ou enterrados no próprio local e 0,28% jogados em rios, lagos e mar (IBGE, 2000). Nos Municípios da bacia hidrográfica do rio Malcozinhado o destino do lixo apresentou o mesmo comportamento verificado no município de Cascavel. A figura 12 mostra os resultados do senso do IBGE no ano 2000.

No interior do estuário não foram observados depósitos de lixos nas suas margens e nem resíduos sólidos flutuantes. No entanto, nas imediações de Águas Belas, por se ter um fluxo maior de pessoas é comum a presença de sacos e

garrafas *pet* deixadas pelos veranistas nos manguezais, bem como isopor e restos de rede utilizadas nas jangadas. Tendo em vista a existência de dois hotéis e pousadas às margens do estuário a atenção aos resíduos é bastante intensificada e os mesmos são logo recolhidos.

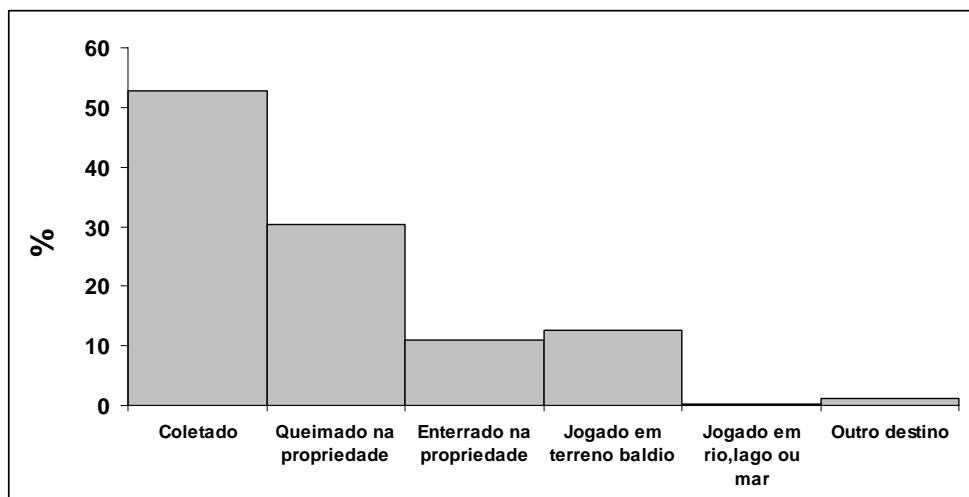


Figura 12. Destino do lixo na bacia hidrográfica do Rio Malcozinhado. Fonte: IBGE (2000).

Segundo dados do IPLANCE, em 1995, a população economicamente ativa – PEA, somava um total de 20.333 habitantes. O setor secundário concentrava maior número de pessoas com 7.850 habitantes, sendo seguido pelo primário, 6.610 e terciário, 5.673. As principais atividades econômicas são o turismo, pesca e na agricultura, destacando-se as culturas de subsistência de feijão, milho, mandioca e as monoculturas de algodão, banana, abacate, manga, cana-de-açúcar, castanha de caju, hortaliças e frutas diversas. A agricultura desenvolve-se extensivamente nas áreas dos Tabuleiros Pré-litorâneos e intensivamente nas margens dos rios e riachos que drenam o território municipal.

A pecuária é pouco expressiva e a criação bovina representa o efetivo de maior destaque municipal. Nas fazendas e sítios de Cascavel, a agricultura e a pecuária desenvolvem-se ao mesmo tempo. Na pecuária extensiva, citam-se

criações de aves, bovinos, ovinos, caprinos, suínos. O extrativismo vegetal sobressai na fabricação de carvão vegetal, extração de madeiras diversas para lenha e construção de cercas.

A pesca representa importante fonte de renda para boa parte da população do município. Segundo o IBAMA a produção total de pescado em 1997 foi de 409 toneladas (SILVA,2002). As principais espécies são: Ariacó, Arraia, Bagre, Beijupirá, Camurupim, Cavala, Cioba, Dentão e Carás. No entanto, essa atividade encontra-se em declínio devido à falta de investimentos e diminuição do pescado em áreas próximas à costa. Os barcos utilizados são jangadas a vela o que impossibilita os pescadores de competir com barcos a motor proveniente de Aracati, Camocim e de outros estados.

O artesanato de redes, labirintos, bordados e artefatos de barro é bastante difundido no município. Na área de mineração, encontra-se em expansão a extração de areia, diatomita e outros tipos de argila utilizadas na fabricação de telhas e tijolos.

## 5. VARIÁVEIS CONTROLADORAS DOS PROCESSOS COSTEIROS

### 5.1. Características climáticas regional

A área em estudo possui o seu período chuvoso subordinado ao posicionamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). O posicionamento da ZCIT migra em ciclos anuais, coincidindo sobre o território cearense durante os meses de março a maio - o que provoca a sua principal estação chuvosa. Nos meses seguintes a ZCIT retorna às latitudes equatoriais, resultando em predomínio do período seco, e a existência de grandes regiões com clima semi-árido no Ceará e região Nordeste do Brasil (Figura 13).

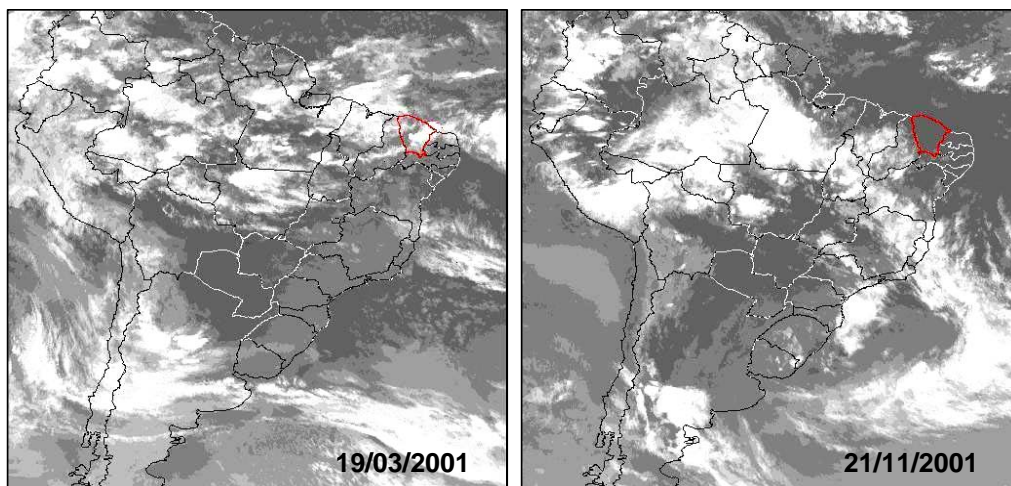


Figura 13. Posicionamento da Zona de Convergência Intertropical ao longo do ano de 2001. (Imagem do satélite GOES, Canal Infra-vermelho, Copyright © INPE/CPTEC 2001).

A qualidade da estação chuvosa (chuvas acima ou abaixo da média) sobre a região depende quase que exclusivamente das condições atmosféricas e oceânicas de grande escala que modulam a intensidade, fase de movimentação da ZCIT. Como por exemplo, pode-se mencionar os ventos alísios e as altas pressões do Hemisfério Norte e sul e as anomalias de temperatura da superfície do mar sobre

o Oceano Atlântico e Pacífico Tropicais. Dentre estas anomalias destaca-se a atuação do El Niño e La Niña.

Outro fator importante que deve ser considerado é a variação sazonal dos ventos na costa que é relacionada à posição da alta pressão subtropical do Atlântico Sul. Segundo HASTENRATH *et al.*, (1977) *apud* PINHEIRO (2000) a alta subtropical começa a se intensificar nas estações frias alcançando o máximo em julho. O estudo dos ventos da Região Metropolitana de Fortaleza feito por MAIA (1998) mostrou que os ventos são de leste/nordeste no começo do ano e de sudeste durante o período de abril a julho, o que coincide com a época chuvosa no leste da região.

Portanto, durante a estação chuvosa de outono/inverno sobre o leste do NE, os ventos sopram perpendiculares à costa, de sudeste. Estes ventos parecem favorecer a ocorrência da zona de convergência noturna associada à brisa terrestre.

#### **5.1.1. O contexto hidroclimático local**

Devido à homogeneidade morfológica, a proximidade entre os municípios de Fortaleza e Cascavel, e a inexistência de obstáculos que alterem significativamente os padrões climáticos foram utilizados os dados da estação meteorológica de Fortaleza, tendo em vista que as estações de Cascavel, Horizonte, Pindoretama e Guanacés fornecem apenas dados pluviométricos. A abordagem da climatologia aqui desenvolvida visa dar subsídios as etapas subseqüentes dos estudos realizados na bacia do Malcozinhado, principalmente àquelas relacionadas às interferências no sistema estuarino.

##### **5.1.1.1. Temperatura e umidade relativa do ar**

O regime térmico da região é caracterizado, basicamente, por temperaturas elevadas e amplitudes reduzidas (Quadro 1). A distribuição temporal das temperaturas diárias mostra pequenas variações para os três pontos discretos

de monitoramento (12:00; 18:00 e 24:00 TMG - Tempo Médio de Greenwich), sendo tais flutuações processadas, sob uma visão contínua no tempo com pequenos gradientes.

Quadro 1. Distribuição dos valores médios anuais de temperatura (°C) em Fortaleza acumulados durante o período de 1976-2002.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<b>Máxima</b>	30,5	30,1	29,7	29,7	29,1	29,6	29,5	29,1	29,2	30,5	30,7	30,7
<b>Média*</b>	27,3	26,7	26,3	26,5	26,3	25,9	25,7	26,1	26,6	27,0	27,2	27,3
<b>Mínima</b>	24,7	23,2	23,8	23,4	23,4	22,1	21,8	22,8	23,4	24,5	24,4	24,6

\* Média compensada (Fonte: CEARÁ-FUNCEME,2002)

A temperatura média apresentou variações mensais de 24,0<sup>o</sup>C (fevereiro) até 28,0 °C (dezembro). Os valores de temperaturas máximas variaram de 29,4<sup>o</sup>C (março) a 31,0<sup>o</sup>C (novembro) e as mínimas de 21,2 °C (julho) a 23,7 °C (janeiro/fevereiro e março). Por sua proximidade à linha do equador, as médias climatológicas das temperaturas mensais no Ceará, especialmente na faixa litorânea, têm uma amplitude de variação anual relativamente pequena. No entanto, as flutuações diurnas de temperatura entre continente e oceano (5°C) como pode ser visto na figura 14 contribuem, sobretudo, na ampliação da sazonalidade dos ventos.

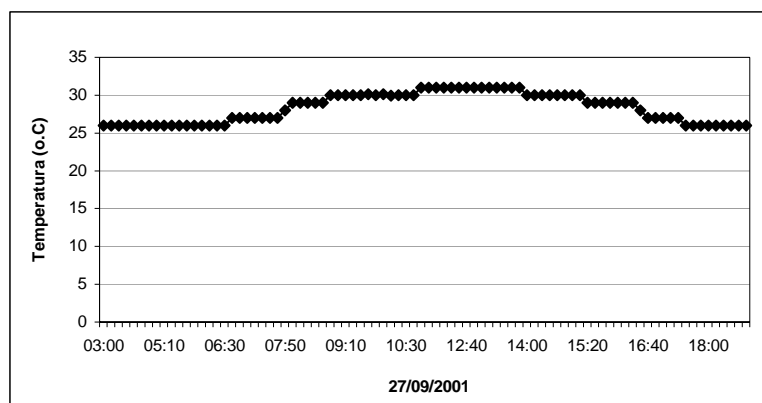


Figura 14. Flutuação diurna da temperatura na foz do Rio Malcozinhado registrada no dia 27/09 de 2001 a uma altura de 10 m da linha de preamar de sizígia.

A umidade relativa no ar apresenta um padrão de variação semelhante ao da precipitação com variação máxima de 12% referente aos meses de abril (85%) e outubro (73%). A umidade do ar representa um papel importante no controle do transporte de sedimentos para a formação de dunas, devido a diminuição da velocidade média dos ventos.

#### 5.1.1.2. Insolação e evaporação

A insolação é bastante intensa na área litorânea, atingindo uma média anual de 3000 horas, sendo mais forte no mês de outubro decrescendo no mês de março (180 h e 4 décimos) o que corresponde nos períodos secos uma incidência solar média diária em torno de 8 horas/dia. Nos períodos chuvosos este valor situa-se por volta de 6 horas/dia. Em virtude do elevado teor de insolação, as médias mensais de evaporação são também bastante elevadas, perfazendo entre o ano de 2001 e 2002 o total de 1.472 mm, com valores máximos entre os meses de agosto a novembro, e mínimos entre fevereiro e maio.

O trimestre que apresenta os maiores valores de evaporação corresponde a setembro/outubro/novembro, ocorrendo o máximo em outubro (173,5 mm) e mínimo em abril (68,0 mm). Para adotar estes valores como representativos na evaporação em açudes e/ou espelhos d'água, principalmente pequenos e médios, deve-se multiplicar estes valores por um coeficiente entre a evaporação do açude e a evaporação no Tanque Classe A, denominado coeficiente Ka. Molle (1989) aconselha os valores mostrados no Quadro 2 para Ka, em função da superfície do lago.

Quadro 2. Determinação do coeficiente Ka em função da superfície do espelho d'água (MOLLE, 1989 apud CEARÁ-SRH, 1997)

Superfície (ha)	0 a 5	5 a 10	10 a 20	20 a 30	média
<b>Ka</b>	0,9	0,8	0,8	0,7	0,8

Aplicando-se o coeficiente "Ka" à superfície do espelho d'água do Estuário do Malcozinhado no período de estiagem, que é de 4 km<sup>2</sup>, obteve-se



evaporação anual de 998,2 mm, máxima de 117,64 mm (outubro) e mínima de 46 mm em abril (Figura 15).

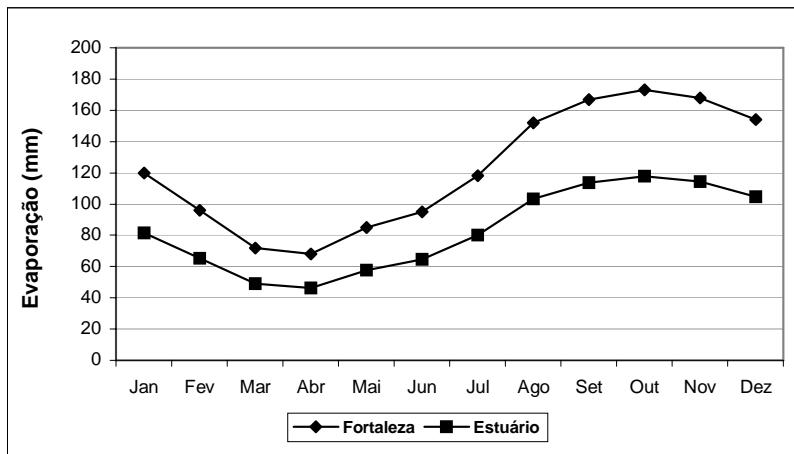


Figura 15. Evaporação média mensal registrada na estação hidroclimática de Fortaleza e a estimada para o espelho d'água do estuário do Rio Malcozinhado aplicando-se o coeficiente de evaporação "Ka".

### 5.1.1.3. Evapotranspiração

A evapotranspiração consiste na perda d'água por evaporação a partir do solo e transpiração das plantas. Os fatores que a influenciam são: temperatura do ar, umidade e vento. Como estimativa da evapotranspiração média, foi utilizada a equação de Hargreaves adotada pelo PERH (1990). Esta fornece a ETP em função da Temperatura média compensada, umidade relativa do ar e de um coeficiente de correção que depende da latitude do local considerado (Quadro 3).

$$ETP = F \cdot (100,0 - U)^{1/2} \cdot 0,158 \cdot (32 + 1,8T)$$

F - Fator dependente da latitude (adimensional)

T - Temperatura média compensada em °C

U - Umidade relativa do ar (%)

Quadro 3. Evapotranspiração Potencial calculada segundo Hargreaves para o Município de Fortaleza (1976-2002).

	Média (mm)		Média (mm)
Janeiro	149,4	Julho	111,2
Fevereiro	126,4	Agosto	135,2
Março	119,1	Setembro	145,1
Abril	105,7	Outubro	159,5
Maió	110,0	Novembro	151,7
Junho	105,9	Dezembro	149,4

Fonte: CEARÁ-FUNCEME (2002)

A evapotranspiração potencial (EP) ocorre com valores anuais aproximados de 1.629 mm e a evapotranspiração real (ER) com valores médios anuais de 961 mm. O trimestre que apresenta os maiores valores de evapotranspiração corresponde a outubro/novembro/dezembro, ocorrendo o máximo em outubro (159 mm). O trimestre abril/maio/junho possui o menor índice de evaporação, ocorrendo o mínimo em junho com 106 mm.

#### 5.1.1.4. Regime pluviométrico

Os total anual precipitado na bacia hidrográfica do Rio Malcozinhado, segundo o Plano Estadual de Recursos Hídricos, encontra-se entre 1000 e 1200 mm com um coeficiente de variação em torno de 0,40. Os postos pluviométricos localizados na bacia são os de Cascavel, Guanacés, Pindoretama e Horizonte, que entre os anos de 2001 e 2002, registraram totais anuais de 1.317, 1.400, 1.800 e 938 mm, respectivamente.

Tendo em vista que o posto de Cascavel é o único que apresenta um número de observações superior a 30 anos e o desvio padrão das médias pluviométricas na bacia é baixo foram testadas várias distribuições para diversos tempos de retorno para a implantação do reservatório. Os resultados desta

simulação estão organizados no Quadro 4. As diferenças para os tempos de retorno alto são devidas fundamentalmente à extensão das séries com dados disponíveis no posto.

Quadro 4. Análise de Freqüência dos Totais Anuais de Chuva do posto de Cascavel realizadas em um período de 71 anos.

No. Anos	Período de Retorno (Anos)					
	5	10	50	100	500	1000
<b>Precipitação (mm)</b>	1.853	2.170	2.766	2.984	3.183	2.975

Fonte: Estudo de Aproveitamento Hídrico do Açude Malcozinhado, (CEARÁ-SRH,1997)

Nos anos de 2001 e 2002, período de monitoramento, o total anual foi de 1.101 e 1.677 mm, respectivamente. Os valores máximos foram registrados no mês de abril. A distribuição temporal mostra a concentração do total precipitado no primeiro semestre do ano, correspondendo a cerca de 91% do total anual. Na análise trimestral constatou-se que cerca de 62 % do total anual precipita-se em apenas três meses do ano, no trimestre fevereiro/março/abril ou março/abril/maio. Nestes trimestres o mês de abril corresponde ao mais chuvoso, com cerca de 24% do total anual figura 16.

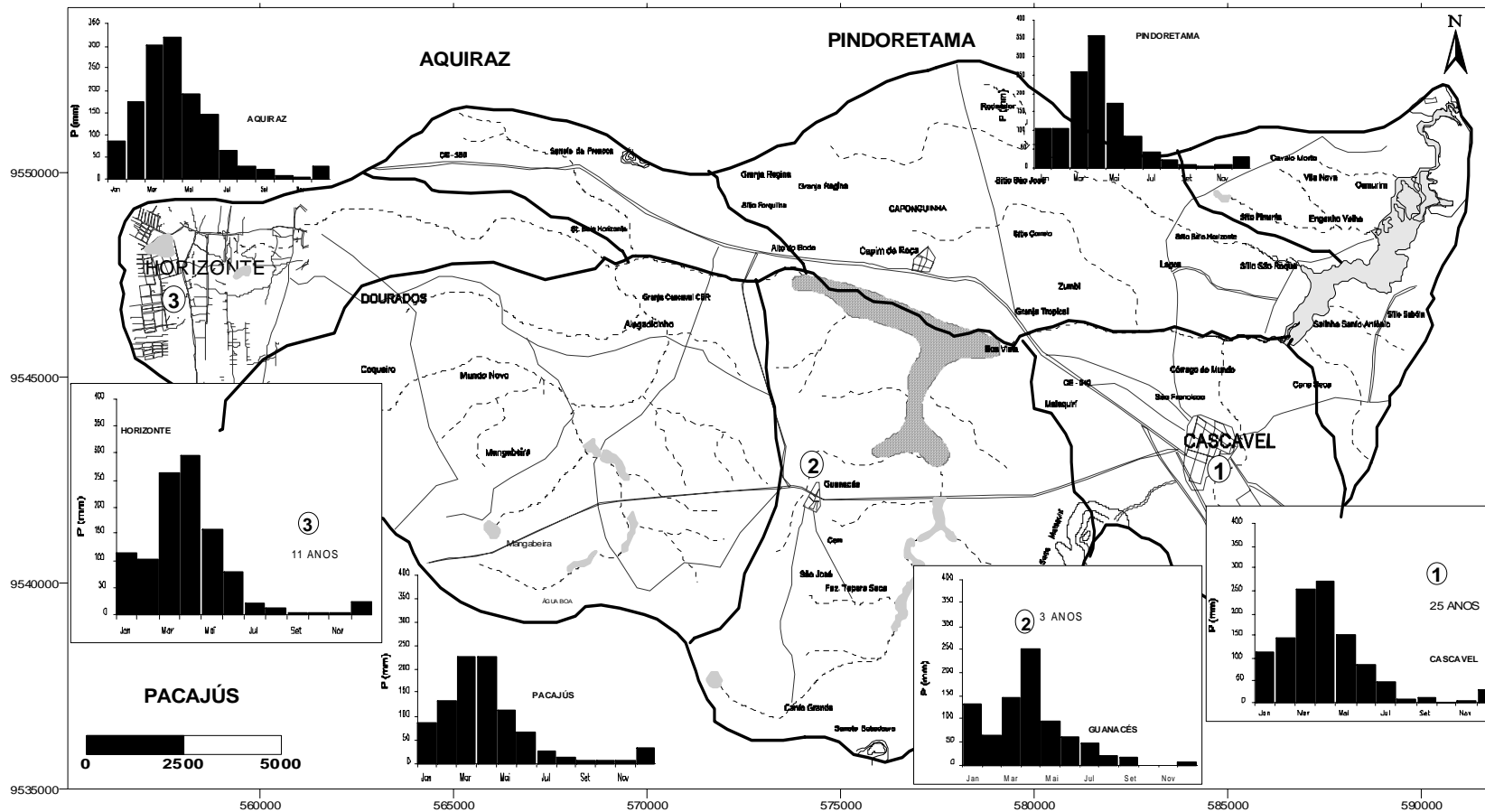


Figura 16. Precipitação média na bacia hidrográfica do Rio Malcozinhado mostrando a concentração no trimestre março-abril-maio. (Fonte dos dados de chuva: FUNCEME,2002).

O Quadro 5 apresenta um resumo da análise de frequência utilizando a série de totais mensais para o mês mais chuvoso nos postos considerados. Os períodos de retorno utilizados variam de 5 a 1000 anos, com totais pluviométricos obtidos por ajustamento da distribuição de frequências.

Quadro 5. Análise de frequência dos totais mensais do posto de Cascavel no semestre mais chuvoso durante um período de 71 anos.

No. Anos	Período de Retorno (Anos)					
	5	10	50	100	500	1000
<b>Precipitação (mm)</b>	462,0	558,8	743,7	811,3	873,3	999,7

Fonte: Estudo de Aproveitamento Hídrico do Açude Malcozinhado, (CEARÁ-SRH,1997).

Os principais tipos de precipitações da região são em decorrência da elevação brusca das massas de ar por efeito térmico. Como pode ser observada na figura 17, a probabilidade de ocorrência de dias chuvosos no período úmido é considerável. A distribuição do total precipitado no mês em relação ao número de dias é irregular, caracterizando as chuvas como do tipo torrenciais, má distribuída no tempo e espaço.

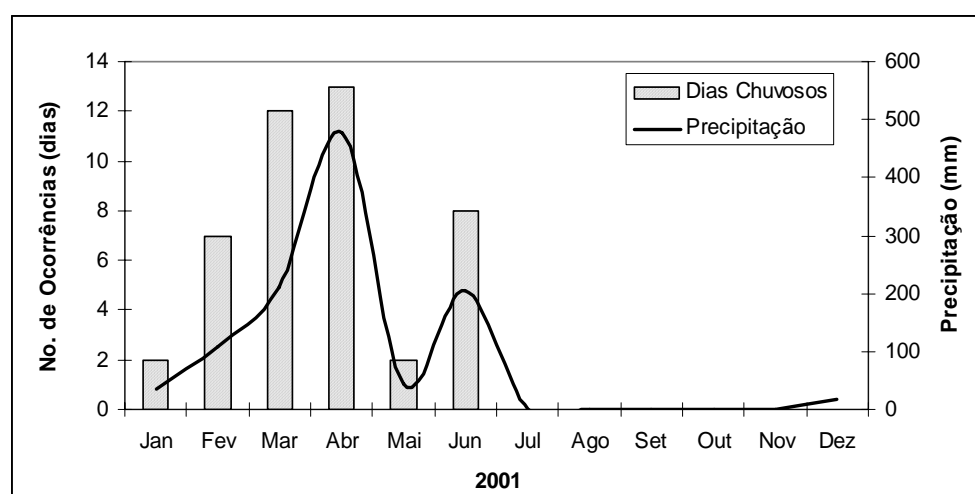


Figura 17. Relação do número de ocorrências de chuva e o valor médio da precipitação mensal calculado para o ano de 2001 utilizando os dados da FUNCEME do ano de 2002.

Nos anos de 2001 e 2002 foram observados valores máximos de 55,3 mm no dia 26 de fevereiro de 2001 e 133,0 mm no dia 26 de maio de 2002, correspondendo a 22,3% e 42,1% do total precipitado nos respectivos meses. Ou seja, em uma média de 8 dias se registrou toda a precipitação mensal. Na análise hidrológica de prováveis obras hidráulicas e/ou implantação de estruturas viárias e urbanas os eventos de alta frequência assumem uma importância maior com relação aos de baixa frequência. Este fato torna imprescindível o estudo das séries de máximos diários no semestre mais chuvoso. O Quadro 6 apresenta as diversas distribuições para valores extremos de precipitações diárias do posto de Cascavel com as estimativas para vários períodos de retorno.

Quadro 6. Análise de frequência em nível diário das precipitações para o posto de Cascavel durante um período de 71 anos.

No. Anos	Período de Retorno (Anos)					
	5	10	50	100	500	1000
<b>Precipitação(mm)</b>	117,3	130,3	149,1	154,3	158,5	165,1

Fonte: Estudo de Aproveitamento Hídrico do Açude Malcozinhado, (CEARÁ-SRH,1997).

#### 5.1.1.5. Balanço hídrico

O princípio da conservação da massa aplicada a um determinado local ou área (em um dado volume de controle) fornece a diferença entre o ganho (precipitação) e o consumo (escoamento superficial e profundo, evaporação ou evapotranspiração). Este princípio é a base do balanço hídrico, concebido por THORNTHWAITE e MATHER (1955) tem sido utilizado amplamente quando não se dispõe de muitos dados para um estudo mais apurado.

Para um melhor entendimento sobre as condições climáticas da região em estudo, foram escolhidos os parâmetros referentes ao município de Cascavel. Aplicando-se a metodologia do balanço hídrico para a bacia em questão, supondo-se uma capacidade de armazenamento de 100 mm (PERH, 1990), obtém-se o Quadro 7.

Quadro 7. Balanço Hídrico do Município de Cascavel entre os anos de 1976 e 1996, calculado pelo método de Thornthwaite e Mather (1955).

Mês	T	P (mm)	Eto (mm)	P-Eto (mm)	ARM (mm)	Alt (mm)	ER (mm)	EXC (mm)	DEF (mm)
Jan	27,1	99,3	147,0	-47,7	0,0	0,0	99,0	0,0	48,0
Fev	27,0	194,3	132,0	62,3	62,0	62,0	132,0	0,0	0,0
Mar	26,7	316,5	144,0	172,5	100,0	38,0	144,0	<b>135,0</b>	0,0
Abr	26,5	307,6	135,0	172,6	100,0	0,0	135,0	<b>173,0</b>	0,0
Mai	26,5	198,2	135,0	63,2	100,0	0,0	135,0	<b>63,0</b>	0,0
Jun	26,1	87,0	124,0	-37,0	69,0	-31,0	118,0	0,0	6,0
Jul	25,9	34,8	124,0	-89,2	28,0	-41,0	76,0	0,0	48,0
Ago	26,0	10,6	127,0	-116,4	9,0	-19,0	30,0	0,0	97,0
Set	26,3	11,8	130,0	-118,2	3,0	-6,0	18,0	0,0	112,0
Out	26,6	12,3	142,0	-129,7	1,0	-2,0	14,0	0,0	128,0
Nov	26,8	18,9	142,0	-123,1	0,0	-1,0	20,0	0,0	122,0
Dez	27,0	40,4	147,0	-106,6	0,0	0,0	40,0	0,0	107,0
ANO	26,5	1331,7	1629,0	-297,3	0,0	0,0	961,0	371,0	668,0

(T) Temperatura; (P) Precipitação; (Eto) Evapotranspiração; (ARM) Armazenamento; (ER) Evaporação Efetiva; (EXC) Excedente; (DEF) Deficiência Hídrica).

Fonte: (CEARÁ-FUNCEME,2002)

Ao analisar as variáveis do balanço hídrico do Município de Cascavel, e por se encontrar inserido no litoral, nota-se o registro dos maiores índices pluviométricos, com total anual de 1.331 mm. Esses índices se concentram principalmente nos meses de fevereiro a maio, considerados os meses mais chuvosos do ano. A deficiência hídrica começa no mês de junho prolongando-se até janeiro, com índice situado em 668 mm, enquanto o excedente hídrico acontece no período de março a maio, apresentando 371,0 mm de água no solo. Essa disponibilidade de água no solo é de fundamental importância para o crescimento e manutenção das plantas e diluição de sais e oxigenação dos estuários.

## 5.2 O controle das características hidroclimáticas nos parâmetros oceanográficos

### 5.2.1. Ventos

O Estado do Ceará está submetido à contínua circulação atmosférica sub-equatorial dos ventos alísios, intensificados pelas brisas marinhas ao longo dos seus 573 km de litoral. A alternância de períodos chuvoso e seco, causada pela migração da ZCIT, coincide com a sazonalidade nas velocidades de vento na região, esta última atingindo variações máximas de aproximadamente  $\pm 30\%$  em torno do valor médio anual ([BITTENCOURT *et al*, 1996). Os ventos exercem um grande papel na zona costeira, principalmente no que se refere à manutenção do equilíbrio das praias e regiões adjacentes. A atuação eólica se faz sentir de uma maneira mais eficaz, no movimento dos cordões arenosos ao longo da região de pós-praia e na geração de ondas que banham e modelam a linha de costa.

Nos meses de março e abril, ápices do período chuvosos, predominam ventos de SE ( $120^\circ$ - $150^\circ$ ) ao longo do dia, passando a SSE-S ( $150^\circ$ - $180^\circ$ +) durante a noite. Este comportamento está associado à posição da ZCIT e à contribuição das brisas terrestres. As temperaturas médias continentais, nesse período, são inferiores às do oceano (INPE, 2002). Pela orientação da faixa litorânea, as direções S-SE representam ventos oriundos do continente.

A direção dos ventos registrada na área, no período de monitoramento, apresentou o mesmo comportamento das séries observadas nos parques eólicos de Aquiraz e Beberibe, com a predominância dos ventos do quadrante SE (68%) durante o dia e de SSE e S durante a noite. Observou-se uma tendência de aumento dos ventos de S-SW, que possivelmente estão associados à atuação das brisas terrestres.

Considerando os dados do Aeroporto Pinto Martins, a velocidade média mensal dos ventos para o período de 1993-2002 variou de 3 a 8,5 m/s. Os maiores valores são registrados entre agosto e novembro e os menores em fevereiro e março. O período com as menores velocidades apresenta um maior desvio padrão (média de 2 m/s) e que se reflete em parte nas velocidades máximas registradas durante o período de 5 minutos. Na área estudada, a velocidade variou de 0 a 5 m/s, com rajadas de até 6



m/s. A velocidade média para os dias sem precipitações foi de 4 m/s, sendo que nos dias com precipitações com tempo de duração superior a 8 horas, a velocidade média foi de 1,3 m/s e máximas de até 5,0 m/s (Figura 18). Isso demonstra a relação direta entre a temperatura e a velocidade dos ventos.

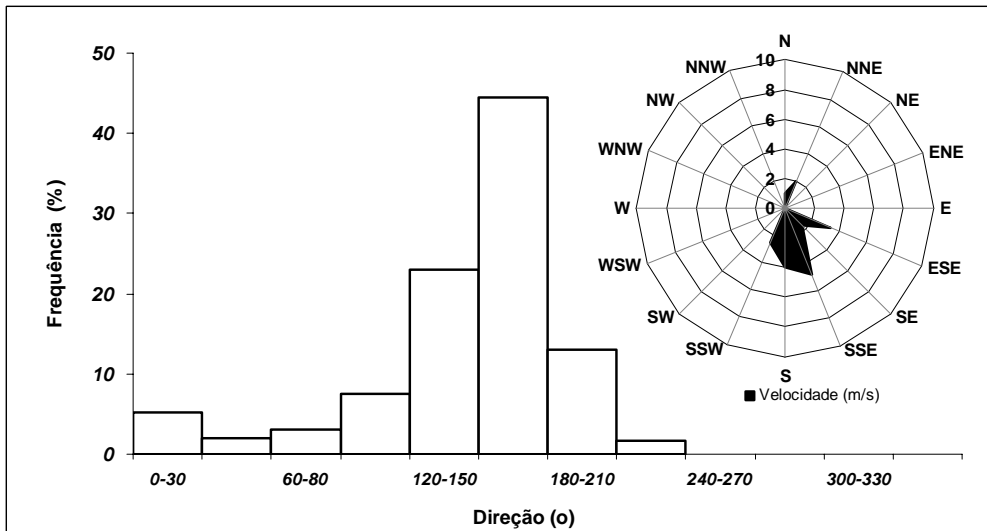


Figura 18. Direção e velocidade dos ventos na foz do Rio Malcozinhado no mês de abril de 2002. Observar a predominância dos ventos do quadrante SE - S.

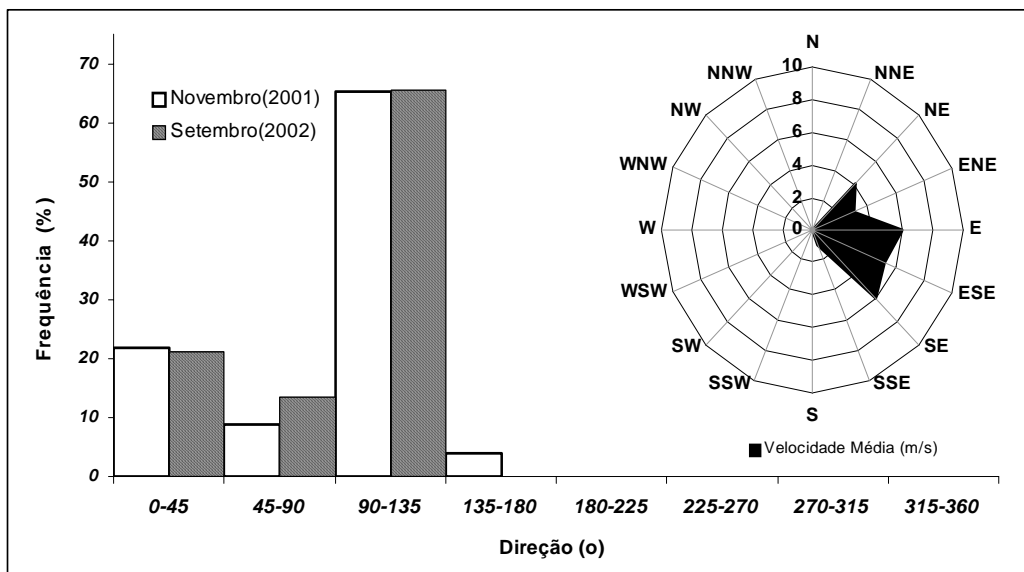
O período entre maio e agosto é de transição, onde o ciclo térmico diurno terra-oceano passa a alternar brisas marinhas e terrestres, resultando em ventos de ENE-E (60°-90°) durante o dia, e E-SE (90°-150°) à noite. Sem a presença da ZCIT, a estabilidade térmica da atmosfera se torna mais neutra ou estável, e o gradiente vertical de velocidade de vento atinge seus valores mais elevados especialmente à noite, pelo efeito de rugosidade continental associado à direção SE (brisas terrestres) (AMARANTE *et al.*, 2000). Gradativamente nos meses seguintes, o vento se torna mais intenso, especialmente ao longo do dia.

No período entre setembro-dezembro tanto os ventos alísios quanto às brisas marinhas se intensificam, e ao longo dos dias e noites sopram ventos quase constantes, predominando velocidades superiores a 10m/s, a uma altura de 40 m (ATLAS DE POTENCIAL EÓLICO DO CEARA, 2000). Devido ao continente mais aquecido do que o

oceano, os ventos de quadrante E-NE atingem a costa oriundos da baixa rugosidade marítima (BITTENCOURT *et al.*, 1996). A direção predominante neste período varia de E a SE, com predomínio dos ventos alísios de E. Os ventos mais intensos são atingidos entre setembro e novembro (interanualmente variável).

A direção principal é de E-S (65%), seguidos de NE (21%) e NNE e ENE, sendo este dois últimos relacionados às brisas marinhas. As maiores velocidades foram registradas no mês de novembro, onde a umidade tem seu valor mínimo de 74%. A velocidade média é de 7 m/s, com mínimos de 2 m/s e máximas de 9 m/s. As rajadas são constantes nesse período com velocidades máximas de até 10 m/s (Figura 19).

Figura 19. Direção e velocidade dos ventos registrados na foz do Rio Malcozinhado no mês de



novembro/2001 e setembro/2002. Observar a predominância de ventos do quadrante NE-SE.

Os ventos sobre o Ceará são mais intensos durante o dia, fato que reflete a origem solar pelo aquecimento desigual da superfície da terra. Durante as noites são observados as menores velocidades associadas às direções de componente S e os dias as maiores velocidades e variam entre os quadrantes SE e NE. No mês de abril de 2001, na foz do Rio Malcozinhado, os valores iguais e próximos de zero foram registrados durante as precipitações no final da madrugada, enquanto o valor mínimo registrado para

o período seco foi de 2 m/s. As maiores velocidades são registradas entre 10 e 14 horas (horários de maior insolação) e as menores das 4 a 6 horas (Figura 20).

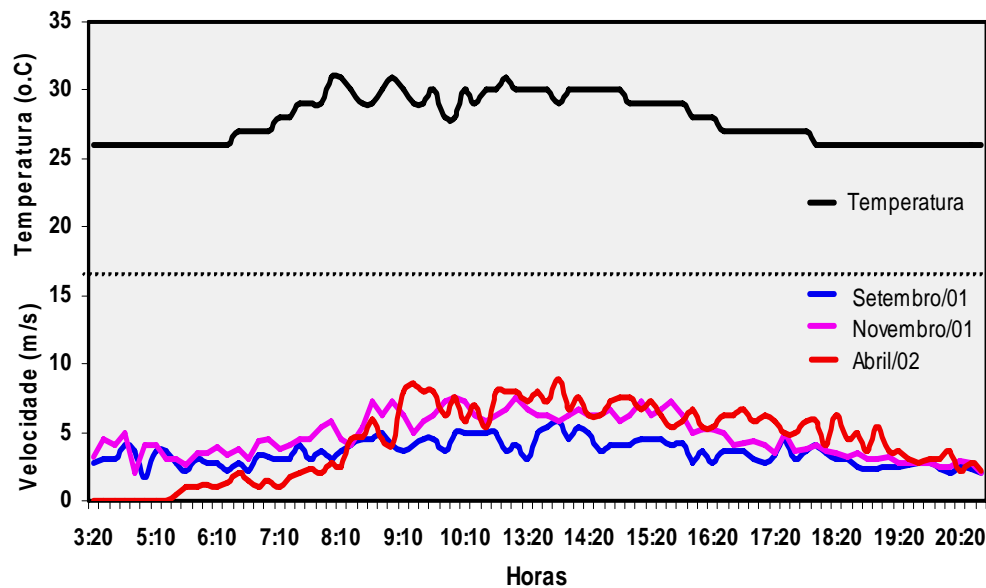


Figura 20. Variação diurna da temperatura do ar e da velocidade dos ventos na foz do Rio Malcozinhado no ápice dos períodos de estiagem e chuva (2001/ 2002).

Além dos ventos sazonais (alísios), deve-se considerar a importância dos sistemas de brisas que atuam diretamente e condicionam o clima local. Quando os ventos sopram de E-NE, as areias são lançadas para o continente, e ao soprarem de E-SE, as areias são transportadas para a faixa de praia, contribuindo para o transporte em deriva litorânea. Além das variações sazonais na velocidade dos ventos, deve-se considerar as variações interanuais, principalmente as relacionadas ao tempo de atuação do fenômeno El Niño e a expansão da urbanização nas áreas litorâneas.

Na série de 23 anos das velocidades registradas na estação da FUNCEME em Fortaleza, foi observada uma diminuição da amplitude de variação da velocidade dos ventos, sendo menor nos últimos anos, principalmente a partir de 1990 (Figura 21-a). MAIA(1998) atribui essa diminuição progressiva aos dois possíveis fatores; Uma diminuição real das velocidades causada por fenômenos climáticos e/ou uma diminuição

induzida pelos fenômenos locais, devido a antropização das áreas adjacentes. Uma consequência imediata desse segundo fator seria a mudança na sensação térmica gerando a expansão das ilhas de calor nas áreas urbanas costeiras.

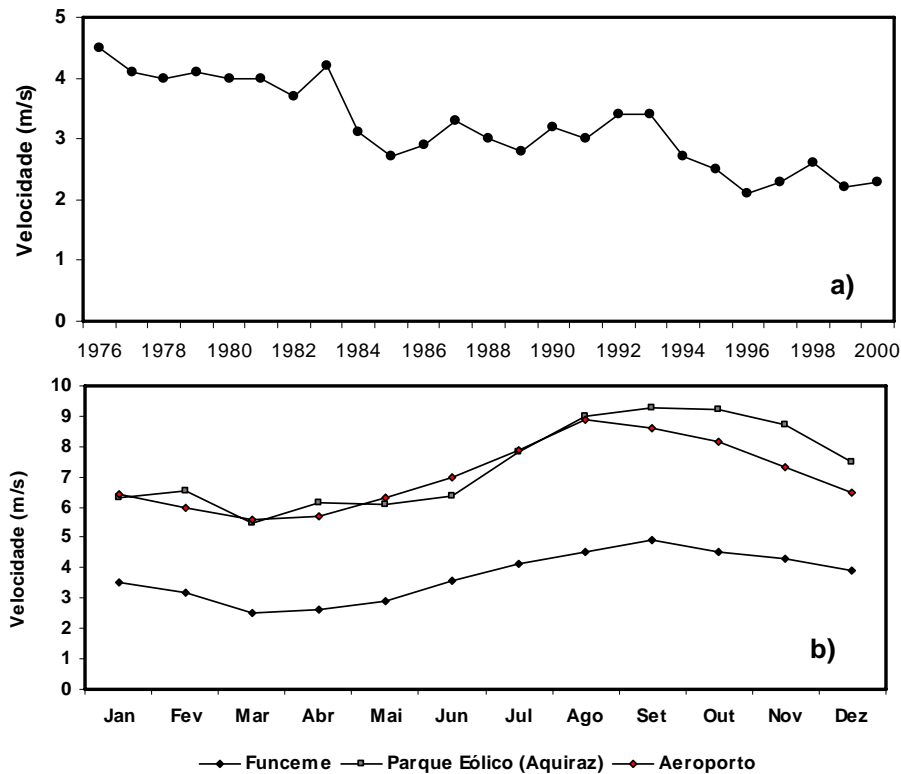


Figura 21.(a) Distribuição dos valores médios anuais da velocidade e direção dos ventos (m/s) acumulados durante o período de 1976-2000 em Fortaleza. Fonte:CEARÁ-FUNCEME(2002) (b) Distribuição dos valores médios mensais nas estações da FUNCEME, Aeroporto Internacional Pinto Martins e Parque Eólico de Aquiraz.

### 5.2.2 Ondas

Na análise anual das ondas em relação a sua altura máxima (Hmax), observou-se que o intervalo das ondas máximas para o porto do Mucuripe em 1995 está

entre os limites de  $1,9 \text{ m} \leq H_{\text{max}} \leq 2,0 \text{ m}$ , com uma freqüência em torno de 10,1% concentrando no mês de setembro.

Em estudos realizados por Maia (1998) na região do Porto do Pecém, ao longo de um intervalo de um ano, a altura máxima da onda foi de 3,98 m, verificada em julho de 97 e a maior ocorrência de ondas máximas de 2,4 a 2,5 m foi verificada entre agosto e setembro de 97, representando 16,6% de freqüência. Cerca de 85,8% das ondas máximas de 1,8 a 2,9 m foram distribuídas ao longo do mês de julho de 1998, além de ondas máximas de 3 a 4 m que correspondem à ocorrência representativa de 2% do período de um ano de observações.

Devido a ausência de um ondógrafo foram obtidos as alturas médias (Hm) no período de 1999 e 2001 trabalhadas por Pinheiro (2000) e Pinheiro *et al.*,(2001). variação anual das alturas é caracterizada pela presença de dois períodos de alturas bem diferenciadas com mínimas entre os meses de janeiro e maio e máximas entre julho e novembro. A altura média das mínimas ficou em torno de 0,70 m e das máximas de 1,54 m. Os valores acima mencionados não são resultados de análise espectral e sim de coleta *in situ* na hora da arrebentação (Figura 22).

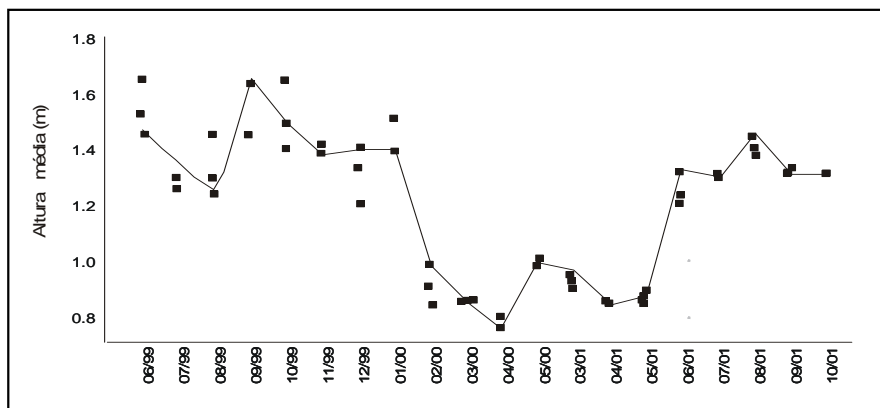


Figura 22. Altura média das ondas obtidas nas células de monitoramento na praia da Caponga (Fonte: PINHEIRO (2000) e PINHEIRO *et al.*, (2001)).

A discordância de valores observados na figura 22 e no histograma da figura 23 é resultado da interferência da batimetria na geometria da onda, que se torna mais

alta e mais curta na hora da arrebentação. Para a análise estatística anual de 1995, a maior frequência na ordem de 86%, ocorreu num intervalo de  $0,8 \leq H_s \leq 1,5$  m no Porto do Mucuripe. Para os anos de 1997 e 1999 na região de Pecém, a maior frequência de valor de 85%, ocorreu no intervalo de  $1,0 \leq H_s \leq 1,7$  m. As maiores alturas significativas foram verificadas de julho/99 a novembro/99, com ondas significativas superiores a 1,6 m e inferiores a 2,4 metros.

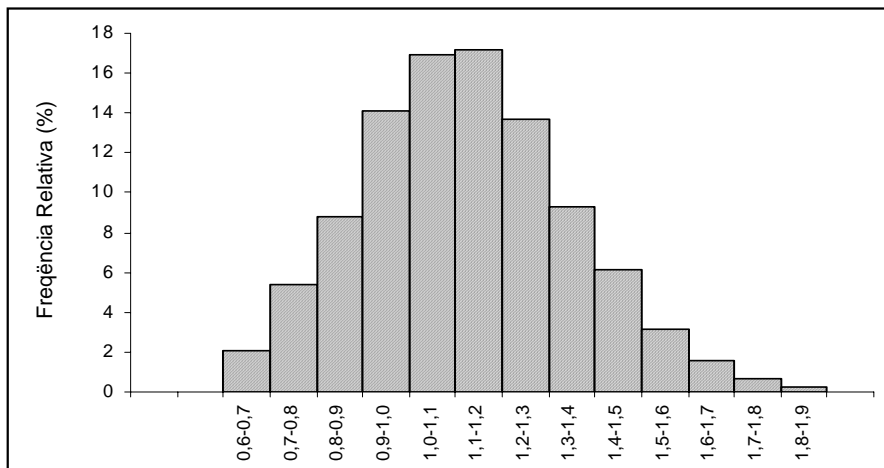


Figura 23. Histograma da altura significativa das ondas ( $H_s$ ) registrada no Porto do Mucuripe no ano 1995. (Fonte: INPH/2000).

No litoral de Aracati a distribuição sazonal das alturas significativas foi semelhante às verificadas nos Portos do Pecém e Mucuripe. Analisando os dados obtidos por LEAL(2003) em 2001, e considerando as alturas significativas ( $H_s$ ) da direção predominante de cada período, no período de chuva a maior frequência registrada de altura de ondas foi de  $1,38 \leq H_s \leq 1,73$  m, com menores alturas observadas no mês de abril. As maiores alturas significativas foram registradas entre os meses de julho e novembro com intervalos de  $1,6 \leq H_s \leq 2,3$  m.

As ondas que banham o litoral leste e Fortaleza apresentam uma forte componente de E com direções variando entre os quadrantes E, E-NE e E-SE mantendo uma estreita relação com as direções predominantes dos ventos. Morais (1980) na região de Fortaleza verificou um predomínio de ondas do quadrante E-SE e uma

ocorrência secundária de ondas de NE. Em estudos mais recentes realizados por Maia (1998) utilizando os dados da bóia do porto do Mucuripe no período de 1991 a 1994, verificou uma concentração de 95% para as direções entre 75° e 105°, com extremos registrando valores mínimos de 17° (31/11/91) e máximos de 119° (31/10/91). As direções predominantes das ondas, a partir de medições visuais no alto do farol do Mucuripe em 1997 foram de 90° a 105° com 73%, e de 75° a 90° totalizando 20% (Quadro 8).

Quadro 8. Distribuição das ondas observadas no Farol do Mucuripe no ano de 1995.

CLASSES	FREQ.RELATIVA (%)	CLASSES	FREQ.RELATIVA (%)
<b>15-30</b>	<b>0,03</b>	<b>75-90</b>	<b>20,16</b>
<b>30-45</b>	<b>0,38</b>	<b>90-105</b>	<b>73,20</b>
<b>45-60</b>	<b>2,86</b>	<b>105-120</b>	<b>1,28</b>
<b>60-75</b>	<b>2,07</b>		

Fonte: Relatório de Impacto ao Meio Ambiente do projeto de recuperação da praia da Caponga, (1997).

Na estação do INPH no Porto do Pecém, a direção predominante para os anos de 1997 e 1998 foi de 90°, seguindo-se de 60° e 105°. Foi verificada a direção de 120° nos meses de maio, julho, setembro, outubro, fevereiro e março. Na área em estudo, as direções predominantes são de 100° a 110° ao largo e de 75° a 95° na arrebentação em relação ao norte magnético. Em frente ao núcleo urbano de Caponga, foi verificada uma certa frequência da direção de 50° na arrebentação. Este ângulo é resultante da difração de ondas que ocorre na ponta rochosa da Caponga, resultando em um percentual maior de ataque frontal nesse trecho durante o período de monitoramento.

Na análise integrada das direções das ondas, o instituto de Pesquisa Hidroviária dividiu em dois grupos de tendências a direção das ondas no litoral em questão, com o propósito de compreender a movimentação dos sedimentos na área. O primeiro grupo de direções de 0° a 45° apresenta frequência de 39,45%, e o segundo de 46° a 12° com 60% de frequência. Como pode ser observado nos registros de ondas no

litoral de Aracati, nos dois semestres do ano as direções predominantes estão entre os quadrantes NE-E e E-SE, respectivamente (Figura 24). O primeiro semestre a freqüência de ondas swell é bem maior, devido a diminuição da influência dos alísios de SE e o aumento a turbulência no Atlântico Norte no início do semestre associado à estabilização da ZCIT.

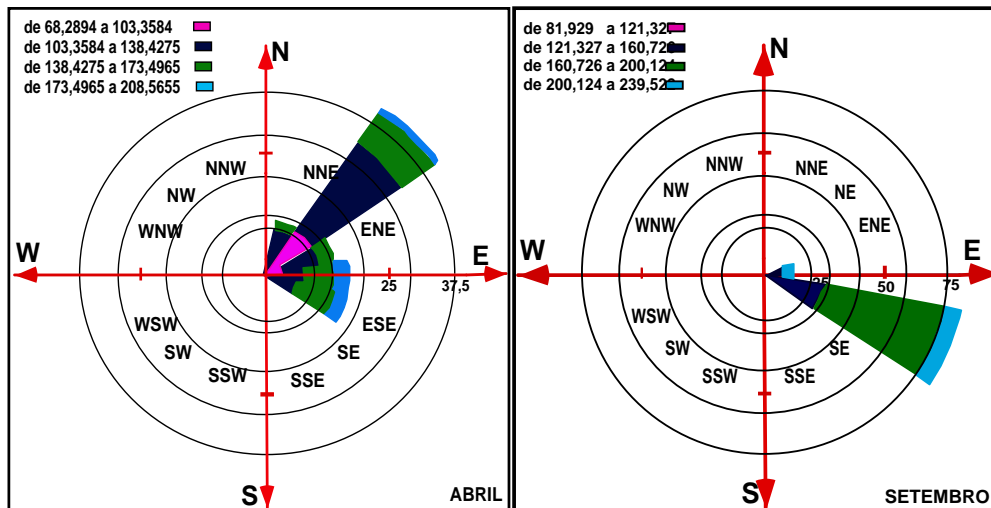


Figura 24. Variação sazonal da freqüência simples das alturas de ondas e direção predominante observada nos meses de abril e setembro de 2001 no litoral de Aracati (Fonte: LEAL, 2003).

Os valores obtidos em campo e nos registros do Porto do Mucuripe e Pecém apresentam uma boa correlação, sendo, portanto, viável a extrapolação e a aplicação dessas informações para a faixa Costeira entre Pecém e Cascavel. Na análise integrada das direções, observou-se um aumento na freqüência de ondas provenientes do quadrante norte entre os períodos de 1991 e 2002.

Com relação aos períodos das ondas que banham a região metropolitana de Fortaleza, MAIA(1998) trabalhou com um universo de 141 ondas no período de um ano (1991-1992), onde 99% dos casos corresponderam às ondas do tipo *Sea*, 0,51% do tipo *Swell* e 0,15% que não puderam ser identificadas. Isto demonstra que a maioria das ondas registradas na bóia do Mucuripe são geradas e influenciadas pelos ventos locais.



Na área estudada o período das ondas variou de 4,5 a 13 s. Os meses com os maiores períodos foram verificados entre dezembro/99 e fevereiro/00 e excepcionalmente no mês de abril/00, sendo os valores máximos atingidos nos meses de outubro/99, janeiro/00 e março/01). Esses valores são referentes às entradas de ondas do tipo *swell*, com direção predominante do quadrante norte. Essas ondas são responsáveis pela erosão do perfil de praia. Entre os meses de junho/99 e setembro/99 os períodos variaram de 4,5 a 7,9 de forma homogênea, caracterizando as ondas do tipo *sea*.

Com relação aos períodos de pico, os quais são utilizados para classificar os tipos de ondas (*sea* e *swell*), comentados anteriormente, distingue-se ondas acima de 10 s como *swell* e entre 4 e 9 s como *sea*. Na estação do INPH no Pecém, para os anos de 1997 e 1998, observou-se que 27,5% dos períodos de pico estão compreendidos entre 10 a 16 s, indicando ondas do tipo *swell*. Ocorre um período de 0,4% entre 17 e 19 s, porém, a maioria dos períodos de pico (72%), ocorreu entre 4 e 9 s, relacionados com ondas do tipo *sea* (INPH,2000). Dentre os 72 % mencionados acima, cerca de 58% dos períodos variaram entre 4 e 7 segundos (Figura 25).

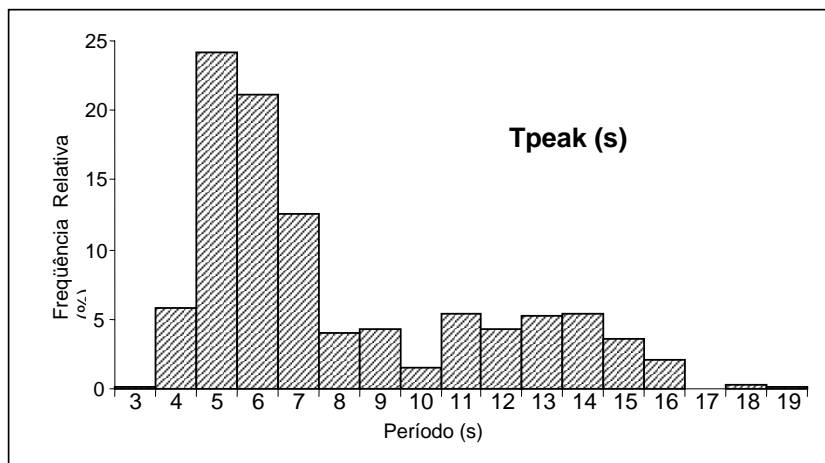


Figura 25. Histograma do Período das ondas ( $T_p$ ) entre março/97 a março/98. Fonte: INPH (2002).

Considerando os dados do Porto do Mucuripe e Pecém, observa-se que de 1991 a 2001 a frequência das ondas do tipo *swell* aumentou de 0,51 % a 27,5 %. Essas mudanças possivelmente são resultantes de oscilações de pressão e/ou instabilidade

das correntes do Atlântico Norte, onde esses tipos de ondas são geradas. As alternâncias cíclicas do clima de ondas tem um papel fundamental no volume de sedimentos transportados.

### 5.2.3. Correntes longitudinais

As correntes longitudinais são responsáveis pelo transporte de sedimentos paralelo à linha de praia e ocorre como resultado da incidência oblíqua das ondas. Esse tipo de corrente é desencadeado pelo processo de refração que as ondas sofrem ao se deslocarem em águas rasas, ou seja, é o resultado do redirecionamento, pela batimetria dos raios das ondas criando um vetor de energia paralelo a costa (MORAIS, 1996). Esse vetor gera um movimento residual também paralelo a praia e chamado de deriva litorânea ou transporte litorâneo. O transporte litorâneo é formado de dois componentes: o movimento pelo deslocamento de correntes litorâneas, e o movimento em “zig-zag” pela subida e descida das águas na praia.

As águas que sobem praia acima mantém o ângulo oblíquo igual ao de quebra das ondas, mas quando as águas retornam, elas voltam pela ação da gravidade e mantém uma direção paralela ao declive da praia. A deriva litorânea depende, entre outras coisas, do declive da praia, ângulo de quebra da onda, ou seja, o ângulo entre a crista de onda e a linha de praia, altura e período da onda, sendo que o ângulo de quebra e altura da onda são os parâmetros predominantes (READING e COLLINSON, 1996).

Correlações estatísticas mostram que a velocidade da corrente longitudinal ( $V$ ), medida a meia distância entre a arebentação e a praia, é função da altura e obliquidade de incidência das ondas na zona de arebentação, sendo expressa, segundo LONGUET-HIGGINS (1970) *apud* MUEHE (1996), pela relação:

$$V = 1,19 (gH_b)^{0,5} \text{sen} \alpha_b \text{cos} \alpha_b \quad (20)$$

Onde,  $V$  é dado em cm/s,  $g$  é a aceleração da gravidade ( $9,81\text{m/s}^2$ )  $H_b$  a altura da onda na arebentação (m);  $\alpha_b$  = ângulo de incidência das ondas. Lançando mão dessa fórmula, Pinheiro(2000) e Pinheiro *et al.*,(2001) calcularam na área em estudo a

velocidade empírica da corrente. Os valores utilizados são resultados de 12 meses de observações de altura, período e direção das ondas na zona de arrebentação entre os anos de 1999 e 2001, seguindo a metodologia proposta pelo INPH.

As campanhas de medições das correntes superficiais mostram que o valor de velocidade variou entre o período de estiagem entre 0,35 e 0,18 cm/s, com um valor médio de 0,30 cm/s, ao contrário dos períodos de chuvas que a velocidade média é ligeiramente inferior (0,20 cm/s) e apresenta um grau de variação que vai de 0,05 e 0,20 cm/s. MORAIS(1981) e MAIA(1998) verificaram através de flutuadores que a velocidade das correntes próximas a linha de costa de Fortaleza apresentaram velocidades variando de 0,24 e 0,31 m/s. No Porto do Pecém esses valores ficaram em torno de 0,15 a 0,30 m/s nos trabalhos realizados por MAGALHÃES(2000).

Como na área em estudo as medições foram realizados em profundidades inferiores a 5 m, os valores apresentam-se mais elevados do que os levantamentos registrados nos Portos de Mucuripe e Pecém. Segundo MAIA(1998), isso é devido à influência das ondas, registradas também na costa de Fortaleza através da utilização de flutuadores.

As direções predominantes observadas no Porto do Mucuripe é de N-(NW), com variações entre W-SW e NNW (MORAIS,1980 e MAIA,1998). Na foz do Rio Malcozinhado, a direção predominante verificada foi de NW, paralela a linha de costa, sendo portanto resultante da incidência predominante de S-SE do trem ondas, conjugadas ao regime de ventos locais. Observou-se que a trajetória da corrente superficial é paralela a costa, mas apresenta uma certa divergência e convergência dependendo da direção do vento e do estágio da maré.

Durante o desenvolvimento das campanhas, observações visuais, indicaram que a faixa mais efetiva no transporte dos sedimentos em suspensão, encontra-se aproximadamente entre a curva batimétrica de 4 m e um pouco além da curva dos 8 m, apresentando uma correlação direta com a direção e intensidade dos ventos.

Foi observado na praia da Caponga por PINHEIRO(2000), a geração de uma corrente proveniente da difração do trem de onda na ponta rochosa, que resulta em uma corrente circular e responsável pela sedimentação dos bancos arenosos na porção

interna da linha de beach-rocks. Esse processo gera um perfil de praia característico de ambientes de turbulências, com as marcas de ondas (*ripple marks*) apresentando direções convergentes de transporte.

O volume de sedimentos transportados longitudinalmente para as instalações dos gabiões na praia da Caponga foi estimado por PITOMBEIRA e AQUINO(1999) utilizando uma modelagem numérica desenvolvida no CERC - Coastal Engineering Research Center-Department of the Army-USA, onde o volume de sedimento transportado ao longo da zona de arrebatção, no espaço de um ano é dado em função do regime ondulatório, da declividade da praia e alinhamento do segmento costeiro. Foram utilizados dados de onda de grande frequência de ocorrência e nas menores condições de dimensões de parâmetros de período, altura e ângulo de direção. Utilizando a altura significativa na arrebatção ( $H_b$ ) de 0,94 m, ângulo de incidência de  $70^\circ$  e período de 6 segundos, foi obtido um valor de  $854.307,00 \text{ m}^3/\text{ano}$ .

Para a estimativa do volume de transporte de areia desde a foz do Rio Malcozinhado até a área de influência direta dos gabiões na praia da Caponga foi utilizada por PINHEIRO (2000) e Pinheiro *et al.*,(2001), a equação proposta por KOMAR (1983) *apud* MUEHE (1996), através da seguinte relação empírica entre o volume transportado ( $Q_s$ ), em  $\text{m}^3$  e o fluxo de energia da onda (Tabela 4).

$$Q_s = 3,4(EC_n)b \text{ sen}\alpha_b \text{ cos}\alpha_b \quad (21)$$

Onde,  $E$  é a energia da onda ( $\text{j/m}^2$ );  $\alpha_b$  é o ângulo de incidência da onda;  $C_n$  é a velocidade de grupo das ondas. Diferentemente da equação proposta pelo CERC, essa equação não se aplica para o cálculo de volume de sedimentos transportados para efeito de projetos de engenharia, tendo em vista a necessidade de dados espectrais, mas apresentam uma boa aplicação para comparações relativas entre o transporte de um ponto ao outro da linha de costa.

Para o cálculo da energia da onda ( $\text{joules/m}^2$ ) foram considerados valores das alturas significativas durante o período de junho/99 e maio/00 obtidos nas mesmas condições de marés, sendo utilizada a seguinte relação:

$$E = \frac{1}{8} \cdot (\rho g H_b^2) \quad (22)$$

Onde:  $\rho$  é densidade da água do mar ( $1.035 \text{ g/cm}^3$ );  $g$  é aceleração da gravidade ( $9,81 \text{ m/s}^2$ );  $H_b$  é altura da onda na arrebentação (m). Os valores de energia apresentam o mesmo comportamento cíclico das ondas ao longo de um ano, com os maiores valores no segundo semestre do ano em torno de  $2.800 \text{ j/m}^2$  e os menores no primeiro semestre,  $711 \text{ j/m}^2$  (Tabela 3).

Tabela 3. Valores da energia da onda (estimativas) obtidos da faixa de praia entre a foz do Rio Malcozinhado e Praia da Caponga (1999-2000).

	Altura na Arrebentação ( $H_b$ )			$E=1/8 (\rho g H_b^2) \text{-j/m}^2$		
	Celula <sub>1</sub>	Celula <sub>2</sub>	Celula <sub>3</sub>	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>
13/06/99	1,6	1,5	1,4	3.445	2.962	2.480
11/07/99	1,3	1,2	1,4	2.138	1.977	2.682
13/08/99	1,3	1,4	1,2	2.138	2.660	1.933
29/09/99	1,3	1,4	1,6	2.2048	2.660	2.682
24/10/99	1,4	1,6	1,5	2.660	3.445	2.847
24/11/99	1,3	1,4	1,3	2.385	2.515	2.409
22/12/99	1,2	1,3	1,4	1.868	2.272	2.480
22/01/00	1,3	1,5	1,4	2.409	2.885	2.847
21/02/00	0,8	0,9	0,9	892	1.052	1.215
23/03/00	0,8	0,8	0,8	878	935	914
05/04/00	0,7	0,7	0,7	721	787,7	711
06/05/00	1,1	1,0	1,2	1.792	1.316	1.852

Fonte: PINHEIRO (2000).

Essa variação é responsável pelo estabelecimento, bem definido, dos perfis de inverno e verão, aonde a praia vai conformando a sua morfologia em resposta a energia de ataque das ondas locais.

Por se tratar de uma área de pequena extensão, as variações acentuadas verificadas entre uma célula e outra, são respostas das interferências da batimetria na velocidade de propagação da onda e conseqüentemente na esbeltez. Para o cálculo da velocidade do grupo de ondas ( $C_n$ ) foi considerada a velocidade da onda individual,

tendo em vista que  $n$  é igual a  $\frac{1}{2}$  para ondas não afetadas pelo fundo, e  $n$  é igual a 1 para águas rasas (MUEHE, 1996) .

$$C_n = \sqrt{g(2Hb)} \quad (23)$$

Onde:  $H_b$  é a altura da onda na arrebentação (m);  $G$  é aceleração da gravidade ( $9,81 \text{ m/s}^2$ ). A figura 26 mostra a relação entre a altura da onda na arrebentação e a velocidade da onda em m/s nos pontos de observações.

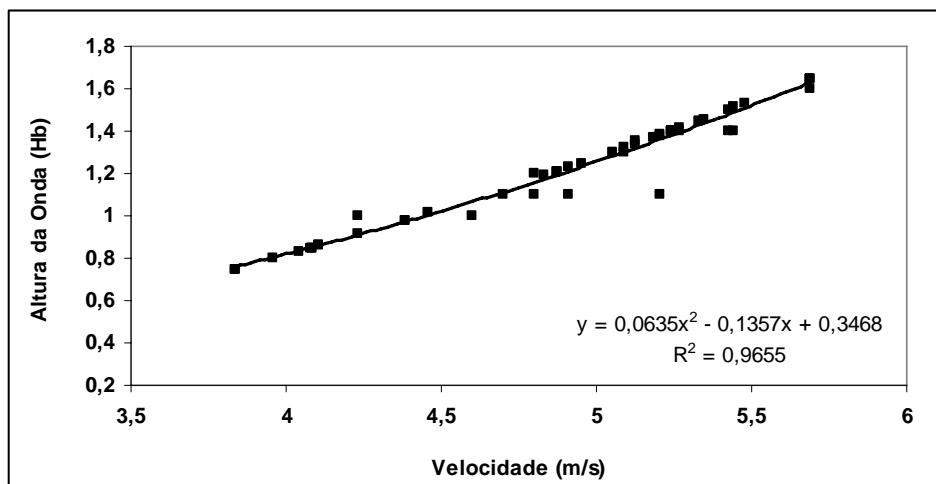


Figura 26. Relação entre a altura ( $H_b$ ) e a velocidade individual das ondas na arrebentação entre a foz do Rio Malcozinhado e a Praia da Caponga (1999-2000).

Observou-se que os maiores volumes de sedimentos foram transportados entre os meses de agosto/99 e dezembro/99, devido a maior capacidade de transporte da corrente longitudinal e maior contribuição dos depósitos eólicos para a alimentação da mesma. Os menores valores registrados ocorrem nas imediações da Ponta da Caponga com um total anual de  $282.017,00 \text{ m}^3$ . Isto é devido a existência de obstáculos que mudam o ângulo de incidência das ondas, e de bancos à barlamar da corrente que aprisionam o material transportado e criam convergências na corrente.

Nas imediações da foz do Rio Malcozinhado foi verificado o volume anual transportado foi de  $1.428.210,00 \text{ m}^3$  (Tabela 4). Assim como na ponta da Caponga, os

maiores volumes foram verificados entre os meses de agosto e dezembro, com totais para os períodos de estiagem e chuva de 846.129,00 m<sup>3</sup> e 622.136,00 m<sup>3</sup>, respectivamente. O valor máximo registrado na hora da realização do perfil foi de 234,7 m<sup>3</sup>/h no mês de outubro/99 e mínimas de 46 m<sup>3</sup>/h em abril/00. Como pode ser observada na Tabela 04, no mês de abril toda a célula apresentaram baixos volumes em transporte, isso quando comparado aos valores de direção de ondas, pode ser explicado pela grande ocorrência de ondas do quadrante norte, incidindo frontalmente na praia.

Tabela 4. Volume de sedimento transportado longitudinalmente por mês (estimativas) entre a foz do Rio Malcozinhado e Praia da Caponga (1999-2000).

	Volume de sedimentos ( $Q_s = m^3/mês$ )		
	Célula <sub>1</sub>	Célula <sub>2</sub>	Célula <sub>3</sub>
13/06/99	237.500,00	34.080,00	66.300,00
11/07/99	136.200,00	121.240,00	73.350,00
13/08/99	130.800,00	39.800,00	47.950,00
29/09/99	140.500,00	130.790,00	79.630,00
24/10/99	174.600,00	142.530,00	80.590,00
24/11/99	149.870,00	127.830,00	63.310,00
22/12/99	113.970,00	125.280,00	67..820,00
22/01/00	157.020,00	134.080,00	77.850,00
21/02/00	41.160,00	8.720,00	25.110,00
23/03/00	44.450,00	8.340,00	19.480,00
05/04/00	33.530,00	6.540,00	13.780,00
06/05/00	108.420,00	12.730,00	47.090,00
<b>TOTAL</b>	<b>1.468.021,00</b>	<b>891.960,00</b>	<b>662.260,00</b>

Fonte: PINHEIRO (2000).

Na área de influência direta dos gabiões na praia da Caponga, o volume total anual foi de 662.947,00 m<sup>3</sup>, com volume médio para os períodos de chuva e estiagem de 20.856,00 e 34.389,00 m<sup>3</sup>, respectivamente.

#### 5.2.4. Marés

A ação das marés representa um papel relevante na morfodinâmica e hidrodinâmica costeira, principalmente no sentido de ampliar a área de ataque das ondas, gerando correntes em estuários, canais lagunares e em águas rasas próximas à costa, além de apresentar importância para o transporte de sedimentos. Na costa cearense, o trabalho pioneiro sobre o comportamento das marés e ondas foi de Moraes

(1980), quando observou para Fortaleza, baseado em dados medidos na bacia do Porto de Mucuripe, que as marés na região são representadas por ondas semidiurnas com período médio de 12,4 h e defasagem média de 50 minutos. Determinou a amplitude máxima de 2,7 m para o equinócio de março no ano de 1976 e amplitude de 3,3 m para máximas de sizígia no ano de 1980.

Em estudo mais recente MAIA(1998) utilizando 14 registros analógicos mensais do marégrafo instalado no Porto do Mucuripe verificou que durante o período de maio/95 a junho/96, a amplitude máxima da maré foi de 3,23 m, na maré de sizígia do mês de dezembro de 1995, enquanto a amplitude mínima, de 0,75 m, ocorreu na quadratura do mês de março de 1996. O mesmo autor observou que durante os meses de junho a dezembro a amplitude das marés aumenta tanto de quadratura quanto de sizígia, ocorrendo o inverso nos meses de setembro e março, em virtude das diferenças temporais de amplitude de marés de sizígia de 0,30-0,40 m e de 0,40-0,50 m nas quadraturas.

No porto do Pecém, onde o marégrafo está fundeado em mar aberto, a cota máxima atingida no ano de 1996 foi de 3,41 na maré de sizígia de janeiro de 1996 e a mínima de -0,15 m nos meses de maio, julho e outubro de 1995. Considerou ainda, que a amplitude máxima possível de ser alcançada pelo nível do mar em ação conjunta da maré e das ondas meteorológicas, durante o período analisado corresponde a 3,6 m. Baseado nos autores acima, o regime de marés na região costeira do Estado do Ceará pode ser caracterizado como de meso-maré com periodicidade semidiurna. A figura 27 mostra uma série de registros de marés no Porto do Mucuripe do período entre maio e junho de 1995.



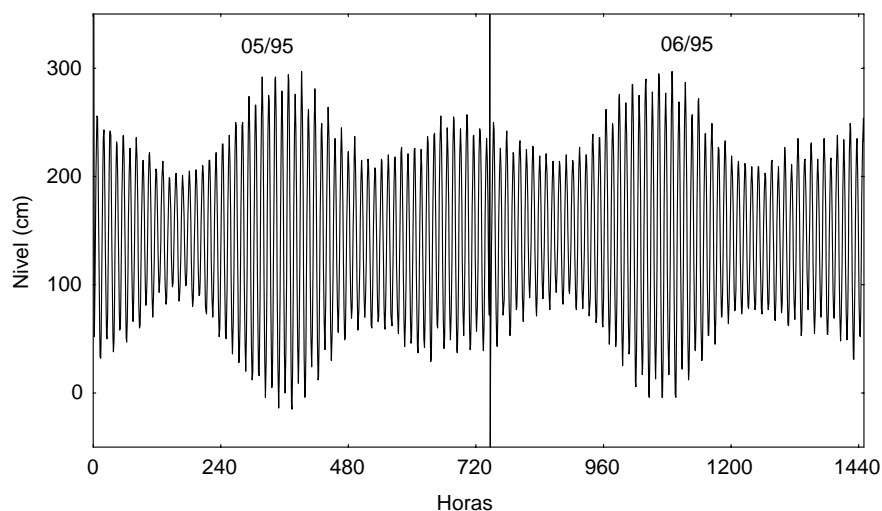


Figura 27. Variação do nível das marés registrada no porto de Mucuripe referente ao período entre maio a junho de 1995. (Fonte:MAIA,1998).

Os registros de marés coletados por LEAL(2003) entre os meses de dezembro de 2000 e março de 2001 em frente a Canoa Quebrada em Aracati e no Estuário do Rio Jaguaribe detectou alturas máximas da maré de sizígia de 2,35 e 1,80 m, respectivamente. As mínimas foram de 0,78 e 1,35 m correspondendo às médias históricas registradas nos portos do Mucuripe e Pecém.

As marés no estuário do rio Malcozinhado são semidiurnas e apresentam uma variação de nível entre baixa-mar e preamar bem mais reduzida que as marés do Porto do Mucuripe. Durante as marés de sizígia no período de estiagem no porto do Mucuripe foi verificada uma amplitude de 3,3 m, no perfil 02 (Foz) o valor registrado foi de 1,50 m (Figura 28). Nas salinas localizadas a 10 km (Estação 14) da foz a amplitude máxima registrada foi de 0,55 m, com altura máxima de 0,58 m (Figura 28). Na baixa-mar, a altura da lâmina d'água nesses terrenos é de apenas 0,05 m. Essa variação foi também observada nas estações 12, 13 e 15. Nas marés de quadratura, nesse mesmo ponto, a amplitude verificada foi de 0,10 m, ficando o solo totalmente exposto na baixa-mar.

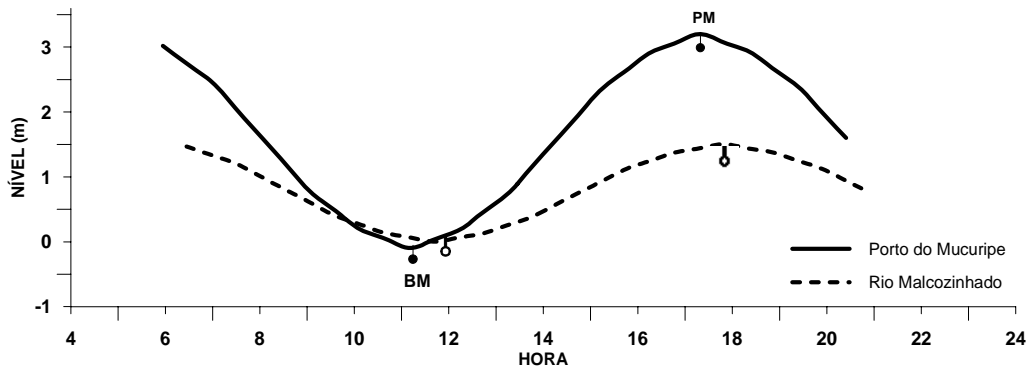


Figura 28. Variação da maré de sizígia no estuário do Rio Malcozinhado e Porto de Mucuripe no dia 27/09/2001 (período de estiagem).

No inverno, apesar da precipitação ter sido intensa, a amplitude das marés registradas na foz foi menor do que a registrada em setembro de 2001. A altura média máxima foi de 1,28 e mínima de 0,01 m, com uma amplitude de 1,26 m (Figura 29). Este fato é explicado pela migração do banco de areia, diminuindo a energia da onda de maré pelo estreitamento do canal de comunicação com o mar.

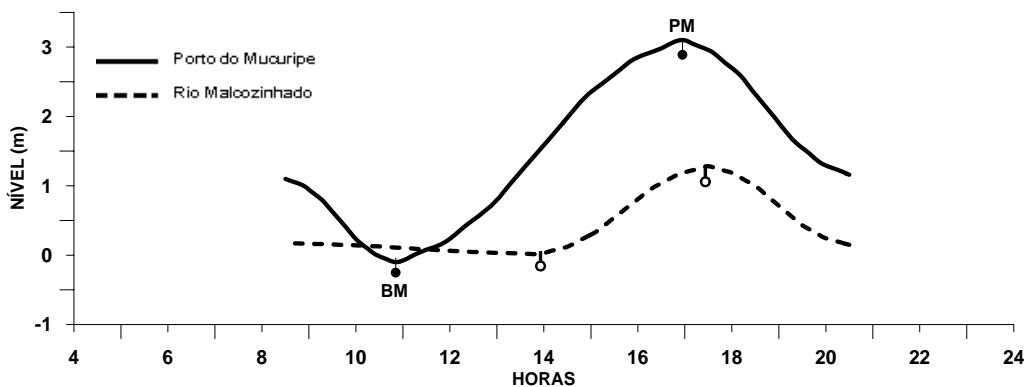


Figura 29. Variação da maré de sizígia no estuário do Rio Malcozinhado e Porto de Mucuripe no dia 19/04/2002 (período chuvoso).

Na foz, o atraso da baixa-mar no verão foi de 20 minutos no período de estiagem, ao passo que no período chuvoso foi de 2 horas e 35 minutos após a registrada no porto de Mucuripe. Na estação nas salinas o atraso da baixa-mar em

setembro de 2001 foi de 4 horas e 35 minutos após a registrada na estação na foz e 5 horas após a verificada do porto do Mucuripe (Figura 30).

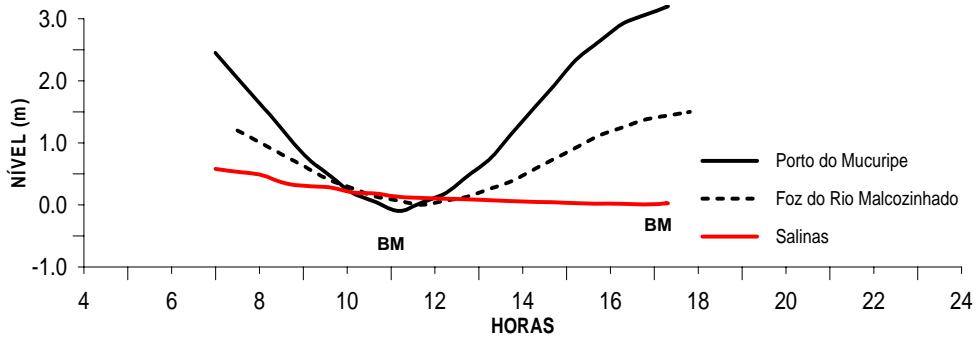


Figura 30. Variação do nível da maré nas estações 5 e 14 no estuário do Rio Malcozinhado no dia 19 de setembro de 2001 (início do equinócio de primavera).

## **6. RECURSOS HÍDRICOS, USO E OCUPAÇÃO DO SOLO: SUAS IMPLICAÇÕES NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL.**

### **6.1. Caracterização dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos**

A bacia de drenagem é a origem do sistema de rios que suprirá o estuário de água fluvial, sedimentos, substâncias orgânicas e inorgânicas eventualmente poluentes (MIRANDA et al. 2002). O volume de água da bacia depende diretamente das condições climáticas, das características da natureza do terreno, dos solos, da cobertura vegetal e das diversas formas de uso e ocupação dos solos.

Com o desenvolvimento das ocupações das áreas adjacentes aos estuários a geometria e as condições das bacias de drenagem dos rios foram gradativa e drasticamente alteradas. Essas alterações resultantes ora da construção de represas, barragens, canais, desmatamento, pavimentação e construção de estradas alteram a geodinâmica desses ambientes (MIOSSEC, 1998).

Os recursos hídricos da área refletem diretamente as condições climáticas da região. O escoamento superficial encontra-se representado pelos rios e riachos intermitentes que formam as bacias e micro-bacias litorâneas. A área da bacia do Rio Malcozinhado tem uma configuração longilínea, drenando uma área total de aproximadamente 380 km<sup>2</sup> nos terrenos da Formação Barreiras. Tem característica de drenagem intermitente sazonal e exorréica dividida em cinco sub-bacias (Tabela 5).

O Rio Malcozinhado nasce próximo a vila de Dourados, Município de Horizonte e a direção principal da bacia é no sentido SW-NE até desaguar no Oceano Atlântico na localidade de Águas Belas no Município de Cascavel, drenando parte dos municípios de Cascavel, Pindoretama e Horizonte. Limita-se ao sul-sudeste (SSE) com a bacia do Rio Choró, a oeste-noroeste (WNW) com as bacias dos riachos Caponga Funda e Catú, percorrendo desde sua nascente até o estuário 32,75 km.

Tabela 5. Compartimentação da bacia de drenagem do Rio Malcozinhado.

Sub-Bacias	Área (km <sup>2</sup> )	Reservatórios e Lagos (km <sup>2</sup> )	Área de Contribuição Total (km <sup>2</sup> )
Bacia I -Horizonte	37,62	0,30	37,32
Bacia II –Alagadiço	98,95	0,74	98,21
<b>Bacia III-Neves</b>	83,03	0,72	82,31
Bacia IV-Cascavel	39,78	0,00	39,78
Bacia V - Litoral	24,15	0,00	24,15
Bacia VI -Tijuca	33,23	0,00	33,23
Bacia VII-Granja	33,23	0,00	33,23
Bacia VIII-Precoaca	25,41	0,00	25,41
Estuário	5,00	0,00	5,00
<b>TOTAL</b>	<b>380,40</b>	<b>1,76</b>	<b>378,64</b>

Fonte: Interpretação de imagens de satélite e carta planialtimétrica.

Os afluentes são quase na totalidade, córregos e riachos, destacando-se pela margem direita, o Riacho Fundo e os Córregos das Bananeiras e das Quintas. Como afluentes da margem esquerda somente há destaque para o Riacho Caponga do Rodeador. Os demais afluentes nessa margem são os Riachos Tijuca e da Prata. Entre as lagoas e barragens, destaca-se a lagoa das Neves, formada pelo represamento do córrego na construção da rodovia de ligação entre Pacajús e Cascavel.

Considerando uma precipitação uniforme em intensidade e duração para toda bacia, o tempo de concentração estimado é de 15,69 horas. Utilizando os dados do projeto de viabilização técnica do Açude Malcozinhado, a velocidade média do escoamento superficial difuso (overland flow) foi estimada em  $v = 0.10\text{m/s}$  e a velocidade média total, com base no tempo de concentração e no percurso da água desde as vertentes até o estuário, estimou-se uma velocidade média de  $0,46\text{ m/s}$ .

Segundo o Plano Estadual de Recursos Hídricos a bacia do Rio Malcozinhado está inserida na bacia da Região metropolitana de Fortaleza, uma das que apresentam os maiores índices pluviométricos. Dentro da Bacia encontram-se a

sede municipal de Cascavel, com uma população de 27.380 habitantes, e as vilas de Guanacés com 6.797 habitantes, pertencentes a Cascavel e Dourados com 3.089 habitantes pertencente a Horizonte. Segundo informações da CAGECE, 90% da população é atendida com água subterrânea oriunda de 78 poços tubulares com adução de 200 m<sup>3</sup>/h.

O potencial subterrâneo está representado pelos sedimentos da Formação Barreiras com uma expressiva variação faciológica, com intercalações de níveis mais ou menos permeáveis, o que lhe confere parâmetros hidrogeológicos variáveis de acordo com o contexto local. Os depósitos aluvionares são representados por sedimentos areno-argilosos recentes, que ocorrem margeando as calhas dos principais rios e riachos que drenam a região. Ainda no contexto hidrogeológico sedimentar, as dunas nessa área destacam-se como unidade geológica de alta potencialidade aquífera, produzindo vazões da ordem de 5 a 10 m<sup>3</sup>/h (CPRM, 1999).

Comparando os domínios fissural (rochas pré-cambrianas) e sedimentar do Município de Cascavel observa-se o excelente potencial de águas subterrâneas nos terrenos onde a bacia hidrográfica se desenvolve (Figura 31). Isso indica, também, o baixo potencial de escoamento superficial resultante da porosidade dos terrenos. A esses elementos somam-se os estados da cobertura vegetal que se encontram bastante degradados, exercendo uma baixa proteção aos processos de erosão dos solos. A qualidade das águas subterrâneas na praia da Caponga é bastante precária tendo em vista a contaminação pelas fossas residenciais e existência de lixões nas áreas de recarga de aquíferos. Outro fato que preocupa a população é a salinização de poços pelo avanço da maré salina que no período de estiagem chega avançar 1,5 km nos aluviões.

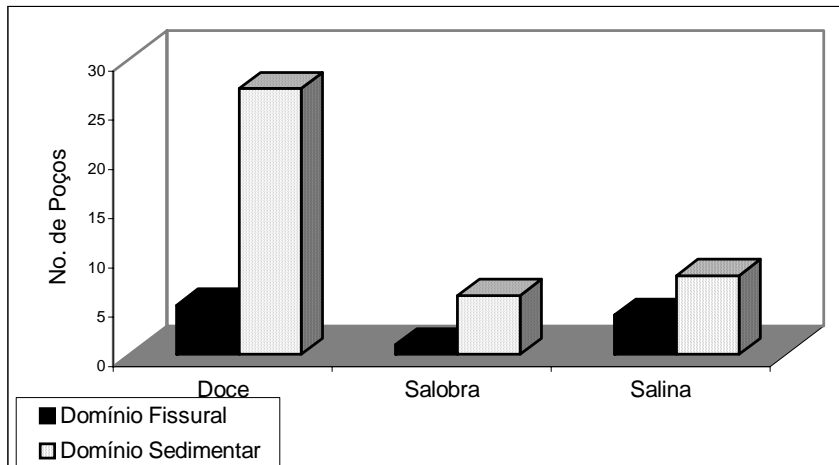


Figura 31. Qualidade das águas subterrâneas do município de Cascavel. (Fonte: CPRM, 1999).

Em trabalhos de sensoriamento remoto realizados por Freire (2001) na Bacia do Rio Malcozinhado no período entre os anos de 1984 e 1999 as áreas ocupadas pela vegetação de tabuleiro que eram bem mais extensas em torno de 31,90% foram bastante alteradas, sendo substituídas e ocupadas por áreas com culturas anuais e culturas de subsistência. Atualmente os trechos ocupados pelas culturas de subsistência representam aproximadamente 7,58% da área e as culturas anuais 65,91% totalizando as duas juntas 73,49%. Na área existem vários sítios e chácaras onde é comum a formação de pequenos pomares com as culturas de limão, graviola, banana e manga. Outra parte da área é ocupada com a cultura do caju e cultivo da mandioca.

O incentivo no setor de turismo está contribuindo sensivelmente para o desenvolvimento da região, principalmente no investimento de sítios de veraneio às margens do estuário e da Lagoa da Velha Ana. O resultado de classificação da paisagem realizado por FREIRE (2001) comprovou que nos últimos quinze anos esta área teve uma ocupação muito intensa, caracterizada, principalmente por desmatamentos acelerados, como também em função da implantação do turismo na região. Isto é um fato preocupante o que implica numa diminuição acentuada da

área da mata, apresentando também um ritmo mais acelerado considerando que a bacia é de médio a pequeno porte.

Os efeitos dos desmatamentos nas margens do rio e riachos já são sentidos em várias partes, com a destruição quase total da mata ciliar. Porém se as áreas de pastagem e agricultura não observarem técnicas adequadas de manejo e continuarem a ocorrer com a mesma grande frequência, os processos erosivos poderão se tornar graves, principalmente nas áreas a jusante do reservatório. Nas áreas a montante, o impacto imediato será no reservatório, aumentando as taxas de assoreamento. No estudo de viabilidade técnica do referido reservatório foi calculado pela KL Engenharia uma taxa relativamente pequena de 2 t/ha/ano de perda de solo devido à conformação plana da bacia hidrográfica e também das baixas velocidades do escoamento.

A estimativa do volume assoreado e, conseqüentemente, do volume efetivo ou útil do reservatório ao longo do tempo foi feita através da simulação simplificada durante 100 anos. Considerando a composição média dos sedimentos (argila: 11%, Silte: 10%, Areia: 79%), uma descarga sólida média de 48000,0 t/ano, descarga sólida média específica (t/km<sup>2</sup>/ano): 200 t/km<sup>2</sup>/ano e razão de transporte ("delivery ratio") de 0,126 foi estimado que para 50 anos de operação uma redução no volume de aproximadamente 5% e ao fim de 100 anos seu volume estará 9% menor que a capacidade original. Ressalvando-se as incertezas relativas à estimativa da perda de solos na bacia, estes dados revelam uma taxa de assoreamento não muito preocupante face à capacidade total do açude Malcozinhado.

Uma parcela muito reduzida dos proprietários de sítios conserva a mata ciliar nativa, no entanto é imprescindível para se evitar conseqüências irreversíveis, tentar preservar ou incentivar o plantio da mata galeria na região e respeitar os limites das margens estabelecidos pela lei ambiental, para que o rio e seus afluentes sejam preservados (Figura 32: a e b). Avicultura de corte e postura se encontra em franco desenvolvimento, com o funcionamento de granjas de porte e com níveis tecnológicos avançados. Atualmente a área ocupada com este setor chega a 8% da área total da bacia.



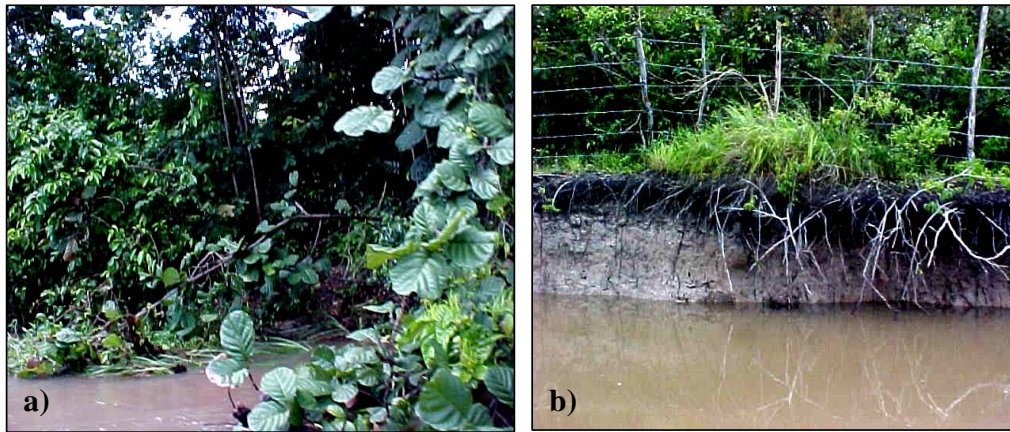


Figura 32: (a) Mata ciliar do Rio Malcozinhado preservada nas imediações da CE-253 a 1,5 km do estuário. (b) Loteamento de terrenos para a formação de pastos aumentando a vulnerabilidade aos processos erosivos e assoreamento do rio.

Agrupando as informações discutidas sobre os sistemas ambientais da área e contexto hidroclimático pode-se aplicar o método curva número desenvolvido pelo Serviço de Conservação do Solo (USDA) para a determinação do escoamento superficial. O escoamento superficial é uma função da altura total da chuva e um parâmetro de abstração denominado Curva-Número (**CN**) por SHWAB *et al.*, (1966). Este coeficiente varia de 1 a 100, sendo uma função das seguintes propriedades geradoras de escoamento na bacia: (1) tipo de solo e natureza do terreno; (2) uso do solo; (3) condição da superfície subterrânea, e (4) condição de umidade antecedente. O **CN** varia de 0 a 100 e foi tabelado para diferentes tipos de solos e cobertura, sendo adotados estes valores na condição normal (AMC II).

Como já mencionado, o **CN** foi tabelado para diferentes tipos de solos, os quais foram classificados pelo SCS em quatro grupos de solos hidrológicos (A, B, C e D) de acordo com sua taxa de infiltração. Estes quatro grupos são descritos a seguir:

- A - solos que produzem baixo escoamento superficial e alta infiltração; solos arenosos profundos com pouco silte e argila.

**Formatado:** Recuo: À esquerda: 45,1 pt, Primeira linha: 0 pt, Numerada + Nível: 1 + Estilo da numeração: Marcador + Iniciar em: 1 + Alinhamento: Esquerda + Alinhado em: 35,45 pt + Tabulação após: 0 pt + Recuar em: 49,6 pt

- B - solos menos permeáveis que o anterior, solos arenosos menos profundos que o do tipo a e com permeabilidade superior à média.
- C - solos que geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média, contendo percentagem considerável de argila e pouco profundo.
- D - solos contendo argilas expansivas e pouco profundas com muito baixa capacidade de infiltração, gerando a maior proporção de escoamento superficial.

Shwab et al., (1966) elaboraram uma tabela utilizada mundialmente com as Curva-número (**CN**) representando escoamento superficial para as condições de solo, cobertura vegetal e umidade (ANEXO A). Interpolando as informações do mapa de zonas de permeabilidade do Plano Estadual de Recursos Hídricos, das informações obtidas por Freire (2001) e da análise das imagens de satélites do ano de 2001 verificou-se que a bacia tem um solo predominante do tipo B nas nascentes e médio cursos, e do tipo A entre os distritos de Guanacés e a foz, com baixo potencial de escoamento. Os solos apresentam cobertura vegetal formada de caatinga arbustiva, pastos e algumas espécies arbóreas dos pomares e resquícios da vegetação de Tabuleiros. Corroborando com os estudos de viabilidade técnica do açude que foi realizado em 1997, para a bacia do Rio Malcozinhado ainda se aplica um **CN = 65** (AMC II).

A figura 33 apresenta uma síntese da relação entre a cobertura vegetal, tipos de uso, solos predominantes, classes de declividade e o potencial de escoamento superficial estimado para o ano de 2001.

## 6.2. Caracterização do escoamento superficial

O objetivo básico deste item consiste na definição das vazões afluentes ao Rio Malcozinhado, produto das chuvas que ocorrem em sua bacia até a zona limite de influência das marés. A área em estudo não possui estações fluviométricas, devido ao elevado custo de manutenção, sendo prioritariamente implantadas em áreas com baixas médias pluviométricas.

Na implantação do açude público Malcozinhado foi feito o uso de modelos de transformação chuva-vazão, os quais permitem, a partir de séries pluviométricas e de valores dos parâmetros determinados em uma região de características semelhantes, gerar dados de deflúvio para a bacia hidrográfica de interesse. Estas informações foram utilizadas pelo modelo MODHAC<sup>1</sup>, que utiliza dados de precipitação média diária, séries fluviométricas mensais/diárias e evapotranspiração potencial. Assim, a partir dos valores destes parâmetros obtidos pela calibração do MODHAC para o posto situado no Riacho Baú, afluente do Rio Pacoti, foi possível gerar séries de vazões a partir de séries de precipitações da área de interesse, e com extensão igual destas últimas.

Considerando uma mesma média pluviométrica para toda a bacia de drenagem, o coeficiente de deflúvio, calculado pela razão entre a lâmina escoada e a precipitada, situa-se em torno de 17%, que é um valor bastante alto. A lâmina anual média escoada é de 208 mm com valores máximos de 76,4 mm no mês de abril. O coeficiente de variação dos deflúvios anuais (1976-1990) foi igual a 1,00. O volume anual escoado de toda a bacia de drenagem é de  $7,91 \times 10^7 \text{ m}^3$ . O volume médio dos trimestres mais chuvosos e secos é de  $2,13 \times 10^7 \text{ m}^3$  e  $5,45 \times 10^5 \text{ m}^3$ , respectivamente.

Considerando a área afluente do reservatório ( $240 \text{ km}^2$ ), o volume médio anual escoado é de  $4,16 \times 10^6 \text{ m}^3$ . A contribuição da área à jusante é de  $2,43 \times 10^6 \text{ m}^3$ . O deflúvio médio registrado no mês de abril corresponde a 36,73% da média anual. Utilizando a médias de deflúvio simuladas pelo MODACH para a área de

---

<sup>1</sup> MODHAC - Modelo Hidrológico Auto Calibrável - A.E.L. Lanna & M. Schwarzbach - 1989. Publicação de Recursos Hídricos 21 - Instituto de Pesquisas Hidráulicas I.P.H. - U.F.R.G.S.

contribuição do reservatório (240 km<sup>2</sup>) foi calculado o volume de água escoado em toda a bacia do Rio Malcozinhado (380 km<sup>2</sup>) e que contribui diretamente no estuário (Figura 34). O volume projetado do reservatório é de  $3,74 \times 10^7$  m<sup>3</sup> o que implica na redução de um volume de escoamento de  $4,18 \times 10^7$  m<sup>3</sup>.

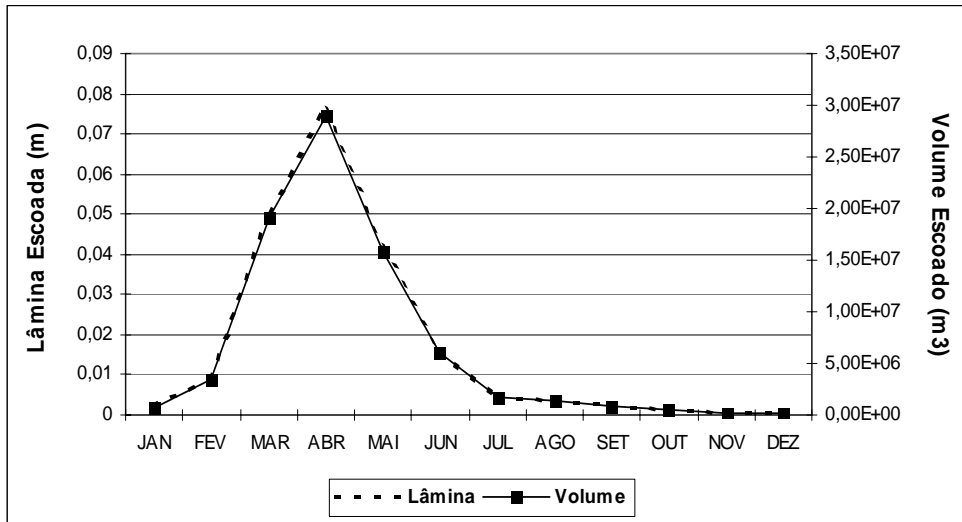


Figura 34. Hidrograma médio mensal das vazões geradas pelo MODHAC e o volume escoado na Bacia do Rio Malcozinhado (área: 380,00 km<sup>2</sup>).

No cálculo da contribuição fluvial no sistema foi considerada a área total da bacia de drenagem (380 km<sup>2</sup>). Tendo em vista que mesmo após a aprovação da construção do açude não foram implantadas estações limnimétricas, o escoamento superficial no período de monitoramento foi calculado através da equação 1. O coeficiente de escoamento ou razão de escoamento ( $\Delta f / P$ ) para os seis meses mais chuvosos foi de 11% (Tabela 6). No trimestre mais chuvoso (março/abril/maio) do período monitorado o coeficiente médio para a bacia de drenagem foi de 16% com um bom grau de correlação com os dados obtidos através do MODHAC com vazões medidas em campo. Isso indica que as equações semi-empíricas podem ser aplicadas com certo grau de segurança em bacias hidrográficas com características semelhantes ao do Rio Malcozinhado .

Tabela 6. Razão de escoamento superficial ( $\Delta f/P$ ) na bacia de drenagem do Rio Malcozinhado entre os meses de setembro de 2001 e abril de 2002.

Meses	Fortaleza (1950-2002)				Cascavel (2001-2002)		Horizonte (2001-2002)		Pindoretama (2001-2002)	
	Temp. (°C)	Precipitação (mm)	Evaporação (mm)	Déficit (mm)	Precipitação (mm)	$\Delta f/P$	Precipitação (mm)	$\Delta f/P$	Precipitação (mm)	$\Delta f/P$
Setembro	26,8	4,17	171,5	-167,33	0,00	0,00	2,00	0,01	0,00	0,00
Outubro	27,1	2,43	175,8	-173,37	0,00	0,00	9,10	0,00	0,00	0,00
Novembro	27,5	1,10	165,3	-164,20	0,00	0,00	3,20	0,00	0,00	0,00
Dezembro	27,1	19,20	148,5	-129,30	18,50	0,01	19,80	0,01	8,00	0,01
Janeiro	27,4	92,42	133,3	-40,88	257,00	0,11	217,90	0,09	298,00	0,15
Fevereiro	27,30	250,00	98,1	151,90	40,00	0,02	30,80	0,01	63,00	0,03
Março	27,30	320,0	85,00	235,00	283,80	0,14	291,80	0,12	329,00	0,17
Abril	27,40	450,0	80,00	370,00	599,40	0,25	383,60	0,16	554,00	0,28
Mai	26,30	196,91	92,90	104,01	315,80	0,14	258,40	0,11	164,00	0,08
Junho	26,20	116,12	108,80	7,32	60,80	0,02	112,20	0,05	146,00	0,08
Julho	26,0	69,07	135,30	-66,23	102,50	0,00	31,60	0,01	122,00	0,06
Agosto	26,40	4,85	78,00	-73,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	-	1526,27	1472,50	53,77	1677,80	-	1360,40	-	1684,00	-
Média Anual	26,90	127,19	122,71	4,48	139,82	0,06	113,37	0,05	140,33	0,07

Fonte: Dados obtidos com a aplicação da equação 1

A precipitação da estação de Cascavel, com total anual de 1.677 mm é representativa para as sub-bacias de Cascavel, do Riacho das Neves e Litorânea. A estação de Pindoretama, as sub-bacias do Riacho Tijuca, e Riacho da Granja. A estação de Horizonte abrange as Bacias de Horizonte, Alagadiço e da Precoaca.

A tabela 7 apresenta a vazão afluente da bacia de drenagem do estuário do Rio Malcozinhado aplicando a equação 7 no período entre setembro de 2001 e abril de 2002.

Tabela 7. Contribuição total de água doce no sistema estuarino do Rio Malcozinhado entre os meses de setembro de 2001 e agosto de 2002.

Sub-bacias	Área (km <sup>2</sup> )	Vazão afluyente (m <sup>3</sup> /s)	
		Estação Chuvosa	Estação Seca
Bacia I -Horizonte	37,62	2,07	0,02
<b>Bacia II –Alagadiço</b>	98,95	5,45	0,05
<b>Bacia III-Neves</b>	83,03	8,26	0,01
<b>Bacia IV-Cascavel</b>	39,78	3,99	0,00
<b>Bacia VIII-Precoaca</b>	25,41	1,36	0,01
<b>Bacia VII-Granja</b>	33,23	3,60	0,10
<b>Sub-Total 1 (Rio Malcozinhado)</b>	<b>318,02</b>	<b>24,73</b>	<b>0,00</b>
<b>Bacia VI-Tijuco</b>	33,23	3,60	0,10
<b>Bacia V-Litoral</b>	24,15	2,42	0,00
<b>Sub-Total 2</b>	<b>57,38</b>	<b>6,02</b>	<b>0,00</b>
<b>Estuário</b>	5,00	1,51	0,00
<b>TOTAL</b>	<b>380,4</b>	<b>32,26</b>	<b>0,29</b>

Fonte: Vazão afluyente estimada com o uso da equação 7.

A vazão afluyente no estuário do Rio Malcozinhado no período estudado foi de 32,55 m<sup>3</sup>/s com 99,10% do escoamento restrito ao primeiro semestre do ano, perfazendo uma média de 5,37 m<sup>3</sup>/s. Os valores máximos registrados foram de 8,26 m<sup>3</sup>/s e mínimos de 1,36 m<sup>3</sup>/s, respectivamente.

A contribuição total do Rio Malcozinhado e seus afluentes são de 24,73 m<sup>3</sup>/s, responsável por 75,97% de toda a água doce que entra no estuário. A segunda maior contribuição vem do Riacho Tijuca (3,6 m<sup>3</sup>/s) e Sub-bacia do litoral (2,42 m<sup>3</sup>/s), sendo esta última, predominantemente, pelo escoamento difuso (*overland flow*), tendo em vista as características da topografia e cobertura vegetal.

No segundo semestre do ano, o valor do escoamento foi de 0,29 m<sup>3</sup>/s, com uma média de 0,04 m<sup>3</sup>/s em virtude dos altos valores de evapotranspiração responsável por um déficit anual de 668 mm, que implica na perda de um volume de 2,54 x10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>/s.

Outra parcela de água doce que entra no sistema estuarino é oriunda de exutórios de aquíferos arenosos, ora formados pelos sedimentos da Formação Barreiras, ora pelas dunas fixas e móveis, sendo estas últimas responsáveis por uma vazão na ordem de 5 a 10 m<sup>3</sup>/h (CPRM, 1999). Nas margens do estuário a comunidade utiliza os exutórios do contato das dunas fixas com a formação barreiras para a plantação de culturas de subsistência, onde se destacam o feijão, mandioca e milho (Figura 35).



Figura 35. Plantações de subsistência no contato das dunas fixas com a Formação Barreiras aproveitando os exutórios do lençol freático nas margens do estuário do Rio Malcozinhado.

No mês de abril de 2002, o vertedouro do reservatório não estava concluído, não havendo, portanto, o represamento total das águas. A vazão medida, no Rio Malcozinhado, no pico do período mais chuvoso, foi de 6,53 m<sup>3</sup>/s. O projeto estima uma vazão regularizada na cota 24 m (90% de garantia) de 0,426 m<sup>3</sup>/s. O que implica na redução de 75,45% da contribuição desse curso d'água no sistema estuarino, passando a contribuição anual da bacia de 32,55 m<sup>3</sup>/s para aproximadamente 7,95 m<sup>3</sup>/s.

## 7. O AMBIENTE ESTUARINO E SUA MORFODINÂMICA

### 7.1. Dinâmica evolutiva em médio e curto prazos

A costa cearense é marcada por um grande número de drenagens barradas pelos campos de dunas e/ou cordões arenosos que isolam de forma parcial ou total a comunicação dos estuários com o mar, formando amplas planícies de inundação que em muitos casos evoluem para sistemas lacustres e/ou lagunares. Em outros casos, as lagoas são áreas de descarga de lençóis freáticos de dunas móveis ou edafizadas, com existência condicionada pela sazonalidade climática. As evidências e a escala temporal deste processo são bastante variadas, podendo ter ocorrido nos últimos 18.000 anos ou em escalas mais rápidas como acontece na foz do Rio Malcozinhado.

Sendo as regiões costeiras hidrograficamente zonas de baixo curso, as mesmas apresentam significativa dependência das águas que fluem do continente ao mar. Atualmente observa-se muito a ocorrência de erosão costeira ao longo de praias arenosas, onde as principais causas apontadas são: (i) variação do nível do mar, da energia das ondas, das marés e correntes; (ii) diminuição do suprimento de sedimentos e (iii) alterações na efetividade do efeito do molhe hidráulico de desembocaduras fluviais em função da ação antrópica nas bacias hidrográficas (BITTERNCOURT et al., 2001).

Observações feitas nas planícies costeiras dos rios Paraíba do Sul e São Francisco, mostram que a evolução e dinâmica destas embocaduras fluviais são controladas, principalmente pela interação entre o fluxo fluvial e a deriva litorânea de sedimentos gerada pelas ondas. No Estado do Ceará, nas desembocaduras dos Rios Jaguaribe, Pirangi, Choró e Malcozinhado foram verificados tais processos, onde se destaca o efeito do molhe hidráulico e a migração sazonal da foz pela mobilização das dunas e cordões arenosos da pós-praia.

A descarga fluvial dá origem a um efeito de molhe hidráulico, retendo à barlamar os sedimentos transportados pela deriva litorânea, produzida pela



aproximação oblíqua das frentes de ondas, provocando a progradação da linha de costa à barlar. Se a vazão do rio diminui, seja em função do regime pluviométrico ou pela construção de barramentos e/ou outros tipos de intervenção, o efeito do molhe hidráulico será reduzido, desencadeando um processo de erosão em meia cúspide à barlar (MARTIN e DOMINGUEZ, 1994).

Os sedimentos erodidos formarão um pontal arenoso que bloqueia parcialmente a desembocadura, fazendo-se migrar no sentido de sotamar. Se a redução da vazão líquida é decorrente do regime pluviométrico da bacia hidrográfica do referido rio, no período de cheia pode-se ter o rompimento parcial ou integral do pontal formado. Entretanto, se o período de estiagem se prolonga e/ou são construídos muitos barramentos, o pontal arenoso formado poderá se consolidar, não podendo ser mais detruído na próxima cheia.

O termo geomorfológico de lagoas costeiras utilizado nos trabalhos de (KJERVE, 1994 e BIRD, 1994) na costa brasileira tem sido usado para as desembocaduras de vales fluviais afogadas durante as transgressões marinhas do Quaternário ou pelo fechamento através de barras arenosas (*spits*) depositados pela ação das ondas. Os lagos Tyers e Corongo no sudeste da Austrália, Lagoa do Portinho no litoral do Piauí e as Lagoas de Uruaú, Catú e Encantada nas adjacências do Rio Malcozinhado foram formadas por este processo. Isso indica a importância hidroclimática no surgimento dessas feições costeiras, cujo vento é o elemento controlador desses processos.

O sistema estuarino do Rio Malcozinhado está subordinado, sobretudo, ao regime sazonal das precipitações onde se somam os processos sedimentação e remobilização pela deriva litorânea e oscilações das marés modelando a costa. Estes processos apresentam comportamento cíclico decorrente da sazonalidade bem marcada da região. Esse sistema, a exemplo de outros ao longo da costa cearense está evoluindo de estuário a lagoa costeira pelo assoreamento da sua foz. A presença dos cordões litorâneos e barras arenosas submersas constata tal evolução, onde o acúmulo de sedimentos verificados na margem direita do rio proporcionou uma migração do canal no período de 10 anos de aproximadamente 111 m, sendo estas feições retrabalhadas a cada subida de maré (Figura 36).

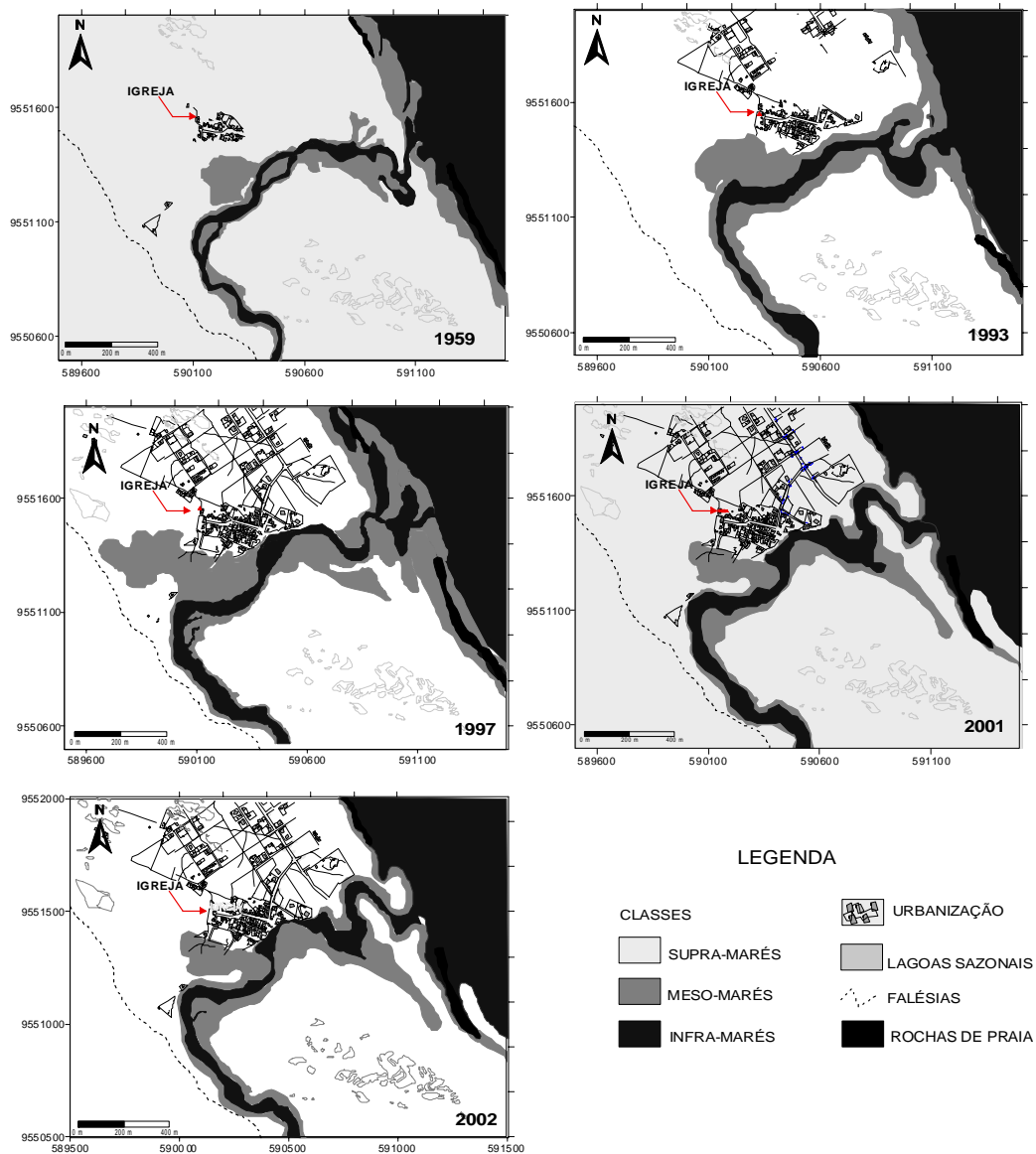


Figura 36. Variação temporal da foz do Rio Malcozinhado e linha de costa adjacente entre os anos de 1959 e 2002. Fonte: Interpretação das fotografias aéreas e imagens de satélite cedidas pelo DNOCS, SEMACE, INCRA e FUNCEME.

A linha de costa em 1959 apresentava diferenciações nos alinhamentos das margens, onde o setor mais erodido, diferentemente de hoje, encontrava-se na margem direita do rio. Esta configuração foi resultante de um período de estiagem

bastante prolongado, onde o fluxo fluvial não consistia em obstáculo para a livre atuação da deriva litorânea. As ondas provenientes de leste retrabalhavam o material arenoso, lançando-o na corrente de deriva litorânea. Grande parte do material em suspensão ao passar defronte a foz, foi barrado pelo cordão de *beachrocks* e outra foi sendo depositada na margem esquerda incrementando a sedimentação do cordão arenoso. Tendo em vista que este setor estava bastante sedimentado, a foz do rio migrou gradativamente para a direita, formando no encontro com os terraços marinhos uma extensa planície de maré.

Em 1993, houve a sedimentação da antiga foz com migração de 600 m das barras arenosas. O valor médio de 463 mm, 42% abaixo da média da região, registrada nesse período, contribuiu no transporte eólico. Com a continuidade dos processos no decorrer dos anos, as partes anteriormente protegidas foram sendo assoreadas, formando barras arenosas com tendência de migração para o interior do estuário. À medida que as barras localizadas na margem direita progrediam os processos erosivos tornaram-se mais atuantes na margem esquerda, precisamente em frente à localidade de Águas Belas, onde foi registrado um recuo de 68 m entre os anos de 1959 e 1993. A expansão urbana nesse período se deu na direção do estuário com um ganho de área de 0,61 km<sup>2</sup>, ou seja, a área urbana que em 1959 era de 0,23 km<sup>2</sup> em 1993 passou a 0,85 km<sup>2</sup>, com construções de casas de veraneio e os primeiros hotéis do distrito.

Entre 1997 e 2002, observou-se que o retrabalhamento constante das ondas nas barras arenosas submersas promoveu a cada subida de maré o avanço desses depósitos na direção do leito fluvial, sendo que em alguns pontos esses bancos foram colmatados e colonizados por espécies de mangues. Isso implica que a velocidade de sedimentação pelo transporte eólico e deriva litorânea se sobrepõe à força do rio de remobilizar os bancos arenosos e manter a configuração do canal estuarino, criando áreas de riscos em Águas Belas (Figura 37).



Figura 37. Disposição dos cordões arenosos que promoveram o avanço do canal estuarino e conseqüente erosão das estruturas urbanas em Águas Belas. Foto tirada em maio de 2002, na maré vazante de sizígia.

Mesmo com a tendência de avanço registrada em 1993 a urbanização continuou a se expandir na direção do estuário e da faixa de praia com um ganho de área em relação ao ano citado de  $0,29 \text{ km}^2$ . Ou seja, em quase dez anos (1993-2002) se teve um crescimento urbano igual ao verificado no intervalo de 34 anos (1959-1993).

## 7.2. Taxas de erosão e progradação do canal estuarino na foz

O avanço do canal estuarino na direção de Águas Belas foi de 180 m no período de 43 anos com uma taxa aproximada de 4,18 m/ano. No entanto, o avanço não ocorre de forma linear, e o universo amostral não permite a adoção dessa taxa, tendo em vista a ausência de estações fluviométricas e escassez de fotografias aéreas e imagens de satélite disponíveis com escalas temporais menores. Além disso, a média pluviométrica deve ser analisada de forma integrada em função da interdependência desses fatores.

Considerando uma escala de tempo de 9 anos, cujo universo amostral é maior, foi verificado entre os anos de 1993 e 2002 um avanço de 111 m correspondendo uma taxa de 12,44 m/ano. Entre 1959 e 1993 foi de 68,03 m com uma taxa de 2,0 m/ano. Entre 1993 e 1997 foi verificado um avanço de 60,97 m perfazendo uma taxa de 15,24 m/ano. Em 4 anos a taxa de erosão correspondeu a 89,66% da verificada no intervalo de 34 anos. Vale ressaltar que entre 1990 e 1997, os quatro primeiros anos deste período às precipitações corresponderam a 45% da média da região. O que resultou na intensificação do transporte eólico acelerando a migração do canal estuarino.

Embora as médias entre os anos de 1995 e 1997 tenham sido próximas do esperado, o fluxo do rio não foi capaz de romper ou remover os bancos de areias já sedimentados. Entre 1997 e 2001 o avanço foi de 45 m com uma taxa de 11,25 m/ano. Considerando os quadriênios de 1993-1997 e 1997-2001 e observando a figura 38, a taxa de erosão reduziu devido ao aumento da média pluviométrica da região, aumento das amplitudes das marés de sizígia e a urbanização que agora funciona como obstáculo à migração do canal. Os elevados valores das taxas são explicados também pela fácil mobilização de leitos arenosos, como é o caso da área. A sedimentação fluvial, predominantemente de siltes e argilas, dificilmente chegam a foz. Entre setembro de 2001 e abril de 2002, o recuo foi de 6 m, intensificado pelo período de estiagem prolongado.

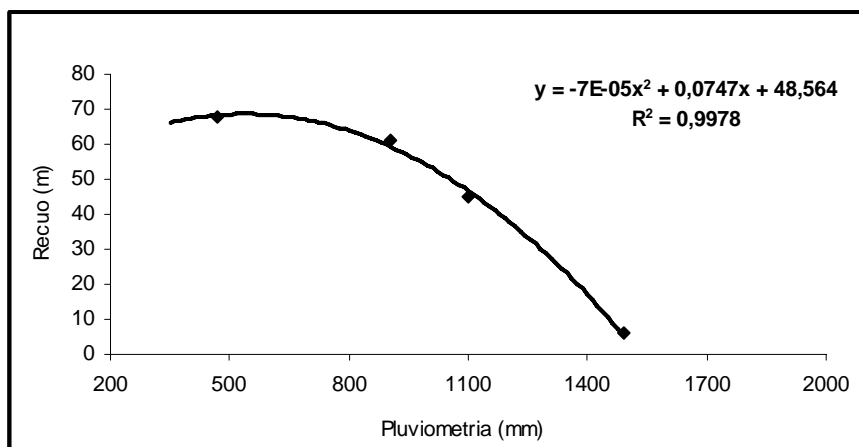


Figura 38. Relação entre as médias pluviométricas e a migração do canal estuarino na direção de Águas Belas entre os anos de 1959 e 2001.

A relação aproximada da variação das taxas de erosão em função das médias pluviométricas para o período estudado foi bastante significativa com uma curva polinomial com um  $R^2 = 0,99$ . Ou seja, mesmo o rio não tendo competência suficiente para abrir o canal e jogar o material arenoso para a deriva litorânea, o fluxo existente retarda o processo de migração na direção de Águas Belas. Além dos problemas ligados a intermitência natural do rio Malcozinhado, do assoreamento eólico, e formas de uso e ocupação da terra ao longo de suas margens contribuíram de forma significativa no comportamento hidrodinâmico, dentre eles pode-se destacar o desmatamento das margens em Camurim.

As maiores contribuições na produção de sedimentos arenosos são das áreas agricultáveis localizadas no topo das falésias da Formação Barreiras que margeiam 7 km da planície estuarina (Figura 39). Isto provocou o assoreamento do estuário resultando na redução da velocidade de escoamento, aumento do espelho d'água e maiores índices de evaporação, e conseqüentemente maior salinidade.



Figura 39. Áreas geradoras de sedimentos ( $\Rightarrow$ ) incrementando o assoreamento do estuário. (Imagem na escala de 1:4.000 do ano de 1998 cedida pelo IPLANCE).

No distrito de Anízio na Itália o desmatamento e o adensamento urbano foi responsável pelo desaparecimento de um lago homônimo que abastecia a

população local (BIRD, 1994). No caso do estuário do Malcozinhado, cujas águas são salinas, o desmatamento intenso nas margens contribuiu na sedimentação de material predominantemente arenoso, além do avanço da maré salina que contamina as aluviões utilizadas nas culturas de subsistência, abastecimento de pequenas comunidades e instalação de olarias.

Apesar da área estudada ser uma costa dominada por ondas, a vazão do rio contribui para a manutenção do eixo principal da foz. A redução de uma vazão de  $6,53 \text{ m}^3/\text{s}$  nos períodos de chuva para uma regularizada de  $0,42 \text{ m}^3/\text{s}$  provocará a intensificação temporal do processo de assoreamento da foz. Ou seja, um processo que teria uma ocorrência de 6 meses passaria a 9 meses. O caso se agrava tendo em vista a proximidade do reservatório e a característica de uma drenagem a jusante, que é efêmera e que se encontra em terrenos arenosos.

A implantação de um reservatório e uma adutora são utilizadas como contrapartida para a implantação de novos projetos agroindustriais e/ou novos adensamentos urbanos, o que pode acarretar a intensificação da degradação dos solos, aumento significativo da salinidade e/ou manutenção mais prolongada das condições de hipersalinidade, prejudicando sobre tudo a biota. Exemplos desses impactos foram observados nos sistemas estuarinos de Gippsland Lakes na Austrália e no Rio Citanduy no sudeste de Java cuja Lagoa de Segara Anakan encontra-se bastante degradada (BIRD, 1994).

No estuário do rio Ipojuca em Pernambuco a construção do Porto de Suape intensificou o assoreamento reduzindo a profundidade média do mesmo a 1 m. Em levantamentos batimétricos realizados por **Lins (2002)** foi identificado na área central um extenso banco arenoso que fica exposto durante as baixa-mares, alterando o padrão de circulação do mesmo.

### 7.3. Aspectos morfológicos

O estuário é bastante raso, com uma profundidade média de 1,5 m. A maior profundidade é de 3,5 m nas proximidades da Casa Jacaúna (fóz) onde as correntes são mais intensas e verifica-se um intenso processo erosivo. As menores profundidades são observadas na porção central e sul do estuário com um valor médio de 0,60 m. A partir da seção 8 em direção ao extremo sul do estuário, nas baixa-mares de sizígia extensas áreas ficam expostas, impossibilitando a navegação no período de estiagem. No canal fluvial a profundidade média registrada no mês de abril de 2003 foi de 1,0 m, vale ressaltar que no período de estiagem não existe escoamento no Rio Malcozinhado.

A largura do canal estuarino é bastante variada com valores mínimos de 56 m e máximos de 630 m. A partir do perfil 8 o gradiente do canal é fortemente modificado com redução brusca da profundidade média e aumento da largura. As maiores profundidades são verificadas na margem esquerda, evidenciando a migração lateral do canal principal. O perfil transversal 09 apresenta uma sequência de terraços intercalados por canais o que evidencia tal processo (Figura 40). Neste setor são observadas ondulações com crista de 0,15 m geradas pelos ventos locais.

A exposição de *ripples marks* na margem direita demonstram a importância desses agentes no transporte de sedimentos arenosos de uma margem a outra, sendo imprescindível o controle do desmatamento. As características geomorfológicas, sedimentológicas e fitogeográficas dos perfis 9 e 10 demonstram que em um curto espaço de tempo a maré salina invadiu uma área de 0,98 km<sup>2</sup> de antigas planícies fluviais. Isto indica que este processo teria ocorrido em um período inferior a 15 anos. A vegetação de mangue nesse setor é esparsa e representadas por indivíduos com 0,60 m de altura que se mesclam com cactáceas e espécies da mata ciliar. Nas planícies inundadas a vegetação de fundo é representada por gramíneas halófitas fixadas em sedimentos arenosos e cascalhosos de fundo.



Figura 40. Resultado dos perfis batimétricos e disposição espacial.

Na foz, a velocidade dos processos de assoreamento é intensificada pela ação das marés de sizígia e deflação eólica dos cordões de pós-praia no período de estiagem. Entre os meses de setembro de 2001 e outubro de 2002 o avanço das bancas de areias na direção de Águas Belas foi de 6 m. Como pode ser observado na figura 41, a área do perfil 01 foi reduzida em 24% em um intervalo de 13 meses. O mesmo foi verificado no perfil 02, onde o material proveniente das dunas foi responsável pela redução da área do perfil em 11%.

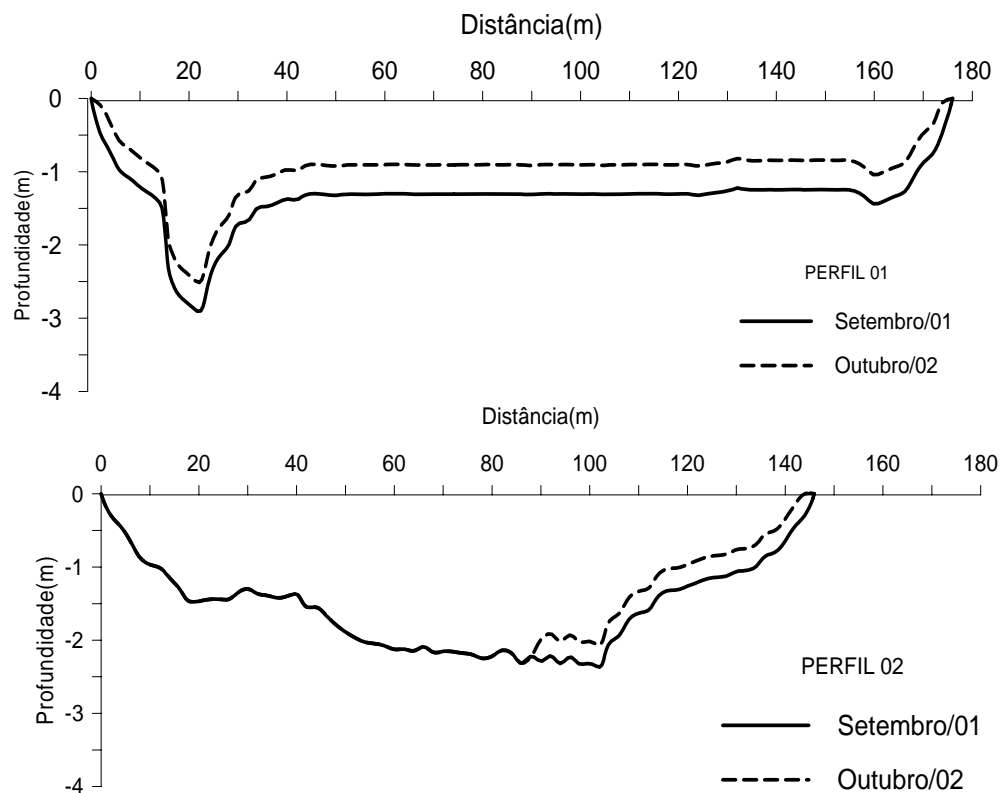


Figura 41. Os perfis 01 e 02 mostram o assoreamento defronte ao distrito de Águas Belas entre os meses de setembro de 2001 e outubro de 2002.

#### 7.4. Características sedimentológicas e transporte em suspensão

As características dos sedimentos que constituem a zona costeira representam o funcionamento de um sistema que engloba as áreas-fonte, os locais de perda e os mecanismos de transporte longitudinal e transversal. Na área estudada foi avaliada a contribuição sedimentar do transporte longitudinal e transversal induzido pelas ondas na faixa de praia, distribuição longitudinal dos sedimentos de fundo e suspensão no estuário e a contribuição da bacia de drenagem (Figura 42).

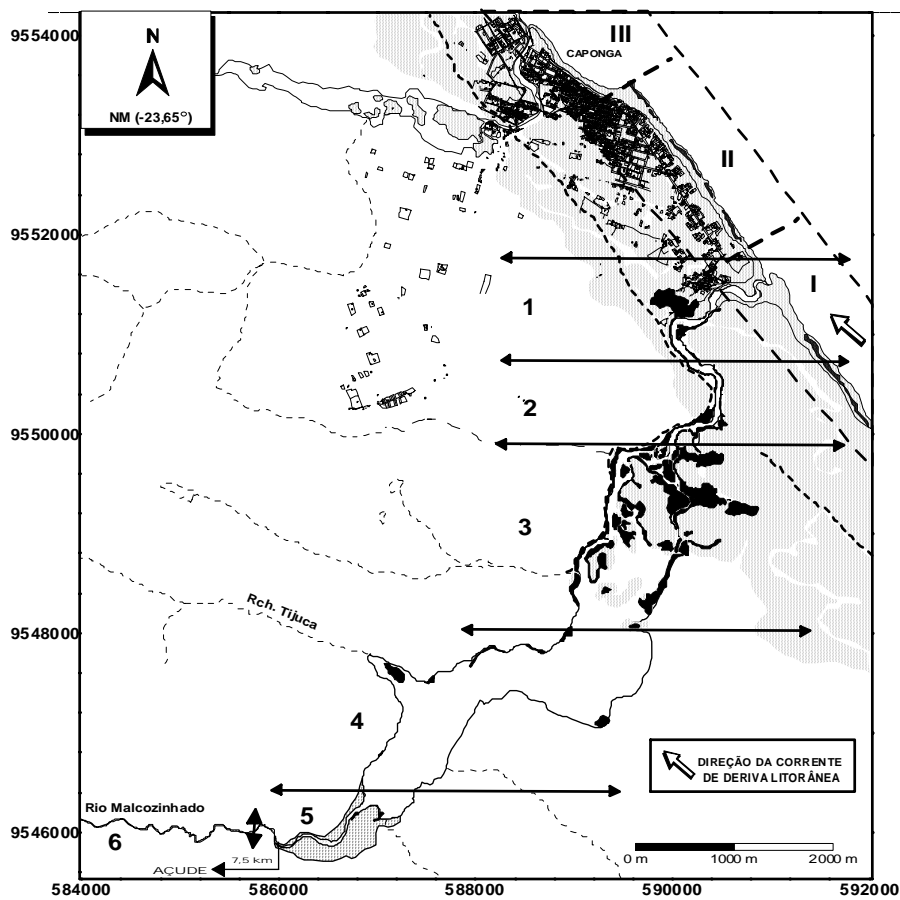


Figura 42. Setorização espacial do campo de amostragem e análise da distribuição longitudinal e transversal dos sedimentos estuarinos e praias.

### 7.4.1. Distribuição longitudinal e transversal dos sedimentos ao longo da costa

Na avaliação da distribuição longitudinal dos sedimentos, a área foi dividida em três setores discriminados a seguir: O setor I corresponde aos sedimentos coletados entre a desembocadura do Rio Malcozinhado e a faixa de praia e campos de dunas de Barra Velha. Nos sedimentos da foz e bancos submersos, a fração areia é predominante sobre as frações cascalhos e de silte/argilas, comprovando que os rios locais não têm aporte de sedimentos finos, nem apresentam espigão hidráulico que transporte material para a plataforma continental.

Os sedimentos localizados na margem direita do Rio Malcozinhado apresentam granulometria fina, na linha de arrebentação, e granulometria média nas bermas, fugindo à característica geral dessas zonas, justamente por serem locais fornecedores de material para migração de desembocaduras e sofrerem retrabalhamento constante. As principais fontes de sedimentos para este setor são as dunas frontais e os terraços marinhos holocênicos, onde predominam as areias finas e médias, bem selecionadas com assimetria positiva (Figura 43).

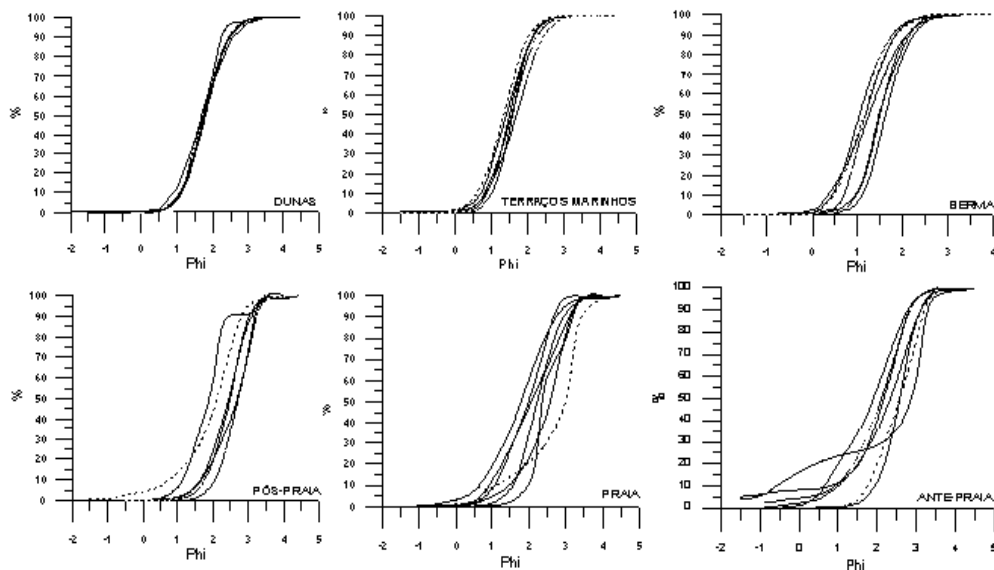


Figura 43. Evolução das curvas acumuladas dos sedimentos costeiros no Setor I entre os anos de 1999 e 2002.

As amostras em grande número são unimodais, com as maiores modificações registradas na faixa de praia e ante-praia pela influência alternada do transporte em deriva e deflação eólica. Esses sedimentos depositados no canal estuarino, ao serem retrabalhados pelas marés, migram para o interior na forma de *megaripples* com comprimento de 0,50 m (Figura 44).



Figura 44. Migração da barra arenosa na foz do rio Malcozinhado formando seqüências de *megaripples* no mês de dezembro de 2002.

Entre a praia de Águas Belas e a ponta da Caponga (Setor II) as areias médias e finas são predominantes, mas nas proximidades da foz são verificados cascalhos esparsos decorrentes da erosão das rochas de praia. A distribuição na curva demonstrou alternâncias de energia apresentando curvas bimodais e leptocúrticas, resultante da contribuição do transporte litorâneo e do transporte eólico associados aos fragmentos das rochas de praia (*beach-rocks*) que interferem na formação de cascalhos, e/ou na interrupção do transporte e caminhamento normal de areia modificando os níveis de energia.

Os sedimentos coletados entre a Ponta da Caponga e a praia do Balbino (setor III), principalmente os acumulados nas imediações dos espigões, apresentaram variações nítidas da energia de transporte representados por curvas bimodais na faixa de praia. Neste local, há transporte eólico em larga escala assim como retrabalhamento pelas ondas. O movimento litorâneo prevalece, no entanto com o arraste de areia média.

HAILS (1967) *apud* MORAIS (1980) afirma que areias de dunas são assimétricas positivas, e as praias e sedimentos holocênicos são assimétricos negativos. No setor III houve uma homogeneidade na distribuição textural com predominância de areias médias nas zonas de pós-praia e praia e grau de selecionamento variando entre bem selecionado e moderadamente selecionado (Figura 45). Na zona de ante-praia ocorreu a predominância de areia fina, com grãos sub-arredondados a arredondados.

A característica bimodal dos sedimentos da praia, com curvas leptocurticas, encontra-se relacionada com a alimentação proveniente dos cordões arenosos existentes no local. Os grãos apresentaram-se sub-arredondados, com esfericidade alta e composição de quartzos, moderadamente selecionados. Os valores médios de curtose variaram de leptocúrtica a mesocúrtica no primeiro semestre do ano e de platicúrtica a muito platicúrtica no segundo semestre, demonstrando a interação do transporte eólico e as variações da energia das ondas, que nesta época do ano são mais intensas.

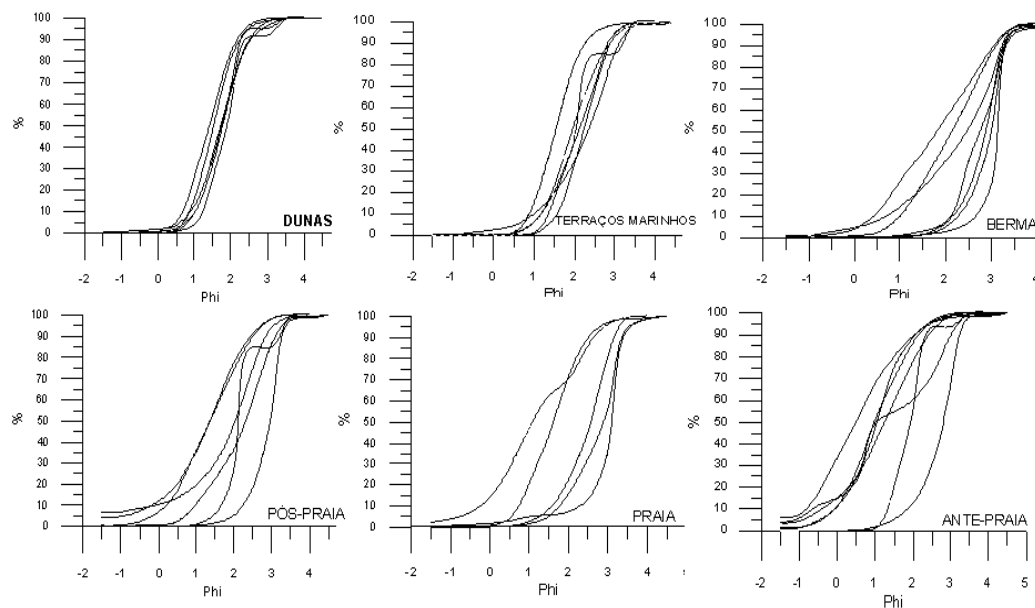


Figura 45. Evolução das curvas acumuladas da granulometria média no setor III entre os anos de 1999 e 2002.

Os componentes organogênicos apresentaram 3% do material, sendo compostos por fragmentos de conchas e algas. O elevado índice de areia fina na ante-praia verificado por PINHEIRO (2000) e PINHEIRO *et al.*,(2001) é resultado do deslocamento pelas ondas do material utilizado na realimentação de praia, sendo esta classe modal atípica para uma área de arrebenção das ondas, que é de alta energia.

Além das variações longitudinais, os sedimentos de praia apresentam variações transversais devido às alternâncias de energia nas diferentes zonas do perfil de praia e o intercâmbio de material entre os elementos morfológicos, que no caso, o  $D_{50}$  final será resultado das interações entre o transporte longitudinal e transversal (SHORT,1999). A granulometria dos sedimentos variou de areia média a muito fina, com predomínio das areias médias (Tabela 8). O perfil 6, no extremo oeste da área, apresenta as maiores variações, desde areias finas até areias grossas com cascalhos esparsos. O maior valor de  $D_{50}$  (0,783 mm) foi observado entre os meses de março e maio de 2000 e 2001.

Esses meses correspondem aos períodos das maiores precipitações, o que significaria o aporte de sedimentos fluviais, no entanto este fato não acontece, pois o perfil não se encontra próximo dos cursos fluviais da área, além disso, os mesmos não têm competência para transportar essa fração granulométrica. O que ocorreu nesse ponto foi à erosão localizada da praia e berma e remobilização da fração mais fina para a zona de ante-praia com a entrada de ondas com períodos maiores do que a média registrada para a área (Períodos = 8,9 e 7,0 s).

Tabela 8. Intervalo de variação do  $D_{50}$  (mm) das amostras coletadas nos perfis transversais entre os anos de 1999 e 2002.

PONTO	SETOR I		SETOR II		SETOR III	
	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Berma	0,330-0,449	0,244-0,409	0,238-0,330	0,131-0,436	0,234-0,359	0,183-0,459
Praia	0,183-0,472	0,163-0,315	0,175-0,318	0,231-0,348	0,154-0,453	0,165-0,783
Ante-praia	0,176-0,560	0,184-0,299	0,134-0,294	0,151-0,322	0,138-0,534	0,173-0,435

Fonte: PINHEIRO(2000).

No terceiro setor, na área de influência direta dos gabiões, ocorre a variação entre areias médias e areias finas, com predominância das areias médias.

Na linha de arrebentação nos anos de 1999 e 2001 foi observado um significativo percentual de areias finas, o que é um caso atípico tendo em vista o nível de energia dessas zonas. Na verdade a granulometria predominante era o resultado do transpasse das areias de dunas utilizadas na recuperação da cota base da praia e no recobrimento das mantas geotêxtil que protege e reconstituiu a praia. Atualmente, a textura média desta zona é de areia média com presença de cascalhos esparsos.

As diferenciações na textura dos sedimentos no perfil transversais da praia apresentam uma boa relação com as características de erosão e recuperação, pois se observa que o diâmetro médio ( $D_{50}$ ) e a assimetria aumentam nos meses de setembro e outubro e diminuem em março, apresentando um ciclo anual. A figura 46 apresenta a variação da textura dos sedimentos em função do aumento da energia das ondas no perfil 6 nos meses de junho/99, setembro/99 e maio/00. Observa-se que a curva de distribuição granulométrica evolui no primeiro mês de uma curva unimodal com predomínio das partículas finas a uma bimodal com o pico concentrado nos sedimentos mais grossos e no último mês unimodal com predomínio nos sedimentos mais finos.

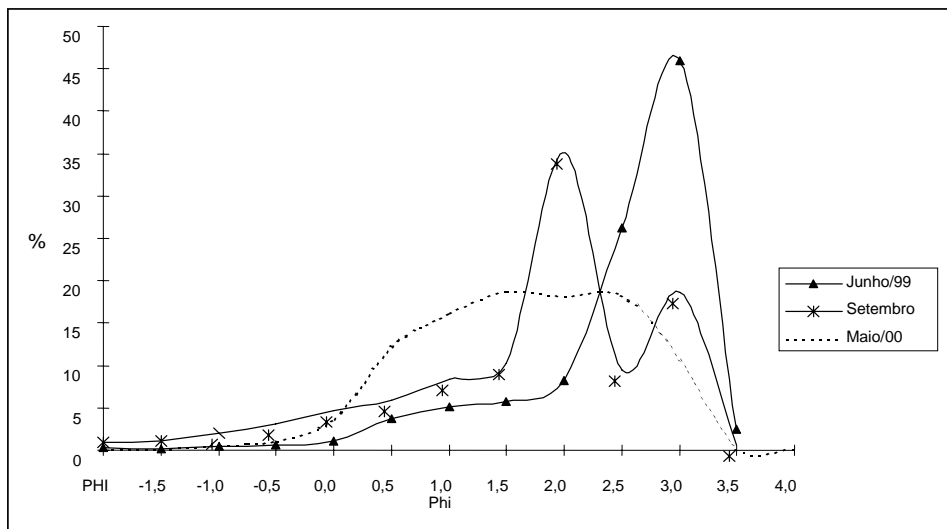


Figura 46. Evolução das etapas texturais com aumento da energia da onda para o perfil 6 nos meses de junho/99, setembro/99 e maio/00. Fonte: PINHEIRO(2000).



Pelas características texturais dos sedimentos na faixa de praia, o principal agente de modificação do perfil subaéreo e submarino está associada às condições de ondas. No entanto, vale destacar o papel do transporte eólico na redistribuição longitudinal dos sedimentos, verificados mais efetivamente na zona intertidal nos setores I e II.

#### **7.4.1. Distribuição longitudinal dos sedimentos estuarinos de fundo e em suspensão**

O estuário do Rio Malcozinhado foi compartimentado em seis setores segundo as diferenciações geomorfológicas e distribuição longitudinal dos sedimentos de fundo. Através da análise espectral da imagem de satélite LANDSAT na banda 4 (escala de cinza) foi possível zonestar os principais depósitos de areias quartzosas e fundos argilosos tendo em vista a pouca profundidade do sistema, facilitando a resposta do sensor TM. Aliado a isto foram realizadas coletas de sedimentos transversais às seções de monitoramento e de forma aleatória (euleriana) procurando cobrir a maior área possível.

O substrato estuarino é formado predominantemente por areias quartzosas, lamas argilosas com predominância dos minerais de argilas, lamas arenosas e vasas argilo-siltosas. No setor 1 ocorre a predominância de areias quartzosas de tamanho médio oriundas do transporte longitudinal em deriva e da migração das dunas de Barra Velha na direção do estuário. Esse material é constantemente retrabalhado pelas ondas e oscilações das marés avançando na forma de bancos arenosos que muitas vezes ficam expostos na maré-baixa.

A vegetação de mangue está espacialmente restrita aos depósitos de lama-arenosa e lama-argilosa que margeiam o canal estuarino, associadas as espécies de cactáceas que se instalam nos terraços marinhos arenosos. O transporte eólico é um processo constante e se intensifica nos últimos meses do ano assoreando consideráveis áreas de manguezais (Figura 47-a).

A atuação das marés na remobilização dos bancos de areias para o interior e a contribuição eólica, confere ao setor 2 um sistema de canais com padrão

anostomosado (Figura 47-b). Neste setor, os depósitos de lama arenosa são predominantes decorrentes da contribuição dos sedimentos argilosos da Formação Barreiras. No setor 3 ocorre a ampliação da planície estuarina também com um padrão anostomosado, com ilhas emersas e circundadas por depósitos de lama argilosa. O canal principal é formado por lama arenosa resultante do aumento da produção de sedimentos pela contribuição eólica e pelo desmatamento da cobertura vegetal em Camurim. Neste setor o maguezal apresenta médio porte, mas com expressão espacial bem restrita não ultrapassando uma largura de 10 m nas margens.

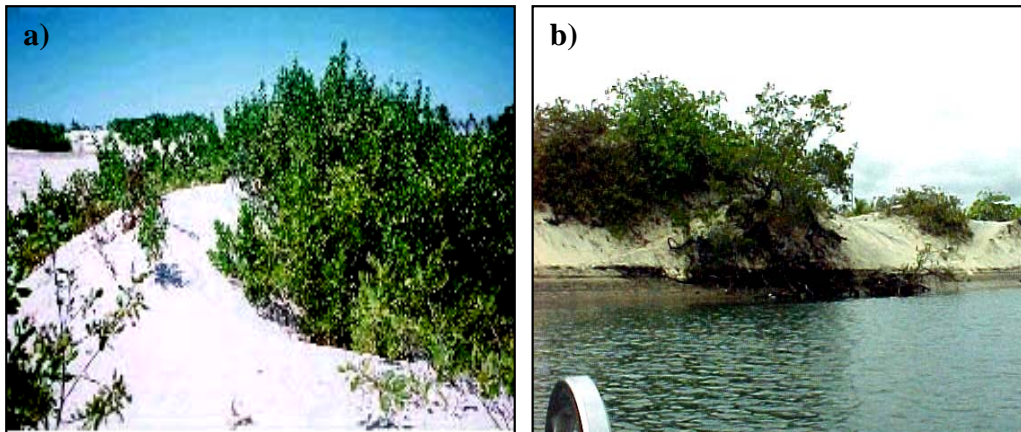


Figura 47. Assoreamento das áreas de manguezais pelo avanço das dunas móveis nos setores 1(a) e 2(b), respectivamente.

A influência do estado da cobertura vegetal e do tipo de sedimentos de fundo na estabilidade geomorfológica do canal estuarino é visível nos limites dos setores 2 e 3, onde são verificadas profundidades médias de 1,7 m. A medida que os bancos de areias são depositados, a ressuspensão do material argiloso pela influência das marés favorece a colmatção dos mesmos que são logo colonizados pela vegetação de mangue. O testemunho realizado no estuário comprova a predominância dos processos de origem marinha em relação à deposição fluvial, com espessura de camadas de um metro constituída, predominantemente, por material arenoso com presença de fragmentos de conchas e moluscos (Figura 48).

No setor 4, a morfologia do talvegue é simplificada e ampla com pouca profundidade e formada predominantemente por depósitos de lamas argilosas concentradas nas margens, assumindo um aspecto de antiga planície de inundação do Rio Malcozinhado. O perfil batimétrico 9 mostra uma sequência de antigos talvegues que podem comprovar tal afirmativa. O canal principal   formado por lamas arenosas com intercala es de bancos submersos formados por cascalhos arenosos e colonizados por espécies de gramíneas halófitas.

Os principais elementos dinâmicos nesse setor são resultantes das oscila es das marés e da corrente fluvial restrita a quadra chuvosa. A a o dos ventos merece destaque e são responsáveis pela remobiliza o dos sedimentos da margem direita para interior através da gera o de ondas. O desmatamento nesta área para a constru o de sítios e chácaras de veraneio   bastante instenoso. O setor 5   caracterizado por um estreitamento do canal estuarino com largura média de 60 m e a forma o nítida de uma planície de inunda o das marés com predominância de vasas argilo-siltosas decorrente da lavagem dos solos ricos em silte.

O canal principal   constituído por lama arenosa com presença de bancos constituídos por cascalhos esparsos decorrente da erosão das margens. A vegeta o   constituída por espécies da caatinga e mata ciliar e alguns indivíduos de mangue. Na planície de inunda o existem antigas áreas de explora o de argilas e olarias para a fabrica o de tijolos, o que indica que o avanço da maré salina, que impossibilitou o pleno desenvolvimento desta atividade foi recente, não ultrapassando 5 anos. A saliniza o de aluviões   evidente sendo nos períodos de estiagem registrados salinidades superiores a 39 nas áreas de planta o de cana-de-açucar e de culturas de subsistência.

O setor 6   o limite de influência da maré salina cujo substrato   constituído predominantemente por areias médias com a presença de cascalho. O canal   estreito e apresenta um aspecto me ndrico devido ao bom estado da cobertura vegetal até a CE-053. Ao longo do rio ocorre afloramentos esparsos de rochas do embasamento cristalino. A correla o espacial dos sedimentos de fundo e os principais agentes morfodinâmicos estão organizados na figura 48.

Grande parcela do material sedimentar transportado no estuário corresponde a frações de minerais inorgânicos, materiais orgânicos e bioquímicos. Os minerais consistem em vários tipos de argilas (em maior porcentagem) e outros como o quartzo e carbonato. Os materiais orgânicos incluem detritos animais, vegetais e bactérias (McANALLY e MEHTA, 2001). Os sedimentos finos ( $\phi < 0,062$  mm) têm um papel decisivo nas áreas de mangue, como estabilizador dos solos, além de serem transportadores de poluentes, mesmo em baixas concentrações (MÜLLER *et al.*, 2001).

Os sedimentos finos são formados principalmente por associações de diferentes minerais de argilas. A chave para a descrição das formas de circulação desses sedimentos é a análise mineralógica dos mesmos. Na costa do Ceará os minerais de argilas predominantes são a esmectita, ilita e a caolinita em concentrações variadas (IRION *et al.*, 1989). A clorita, mineral transicional não ocorre. As proporções diferentes dos três minerais podem agir como impressão digital do ambiente, permitindo determinar as áreas-fonte. A difratometria dos minerais de argilas do Rio Malcozinhado encontra-se no diagrama da figura 49, onde cada pico representa um dos minerais mais abundantes. Mais importante do que o tamanho absoluto dos picos é a relação entre as superfícies dos mesmos.

Os três diagramas superiores representam os três principais afluentes, seguidos de duas amostras da zona estuarina dos setores 3 e 4. Os diagramas da parte inferior da figura representam amostras coletadas entre o setor 2 e o limite com o oceano. Os minerais predominantes no estuário do Rio Malcozinhado, assim como os observados na costa do Ceará são a esmectita, ilita e caolinita. Há uma diferença significativa da concentração de ilita e esmectita entre o mar e os tributário, revelando que os sedimentos de águas doces e marinhas estão bem misturados no estuário com algum domínio dos sedimentos marinhos .

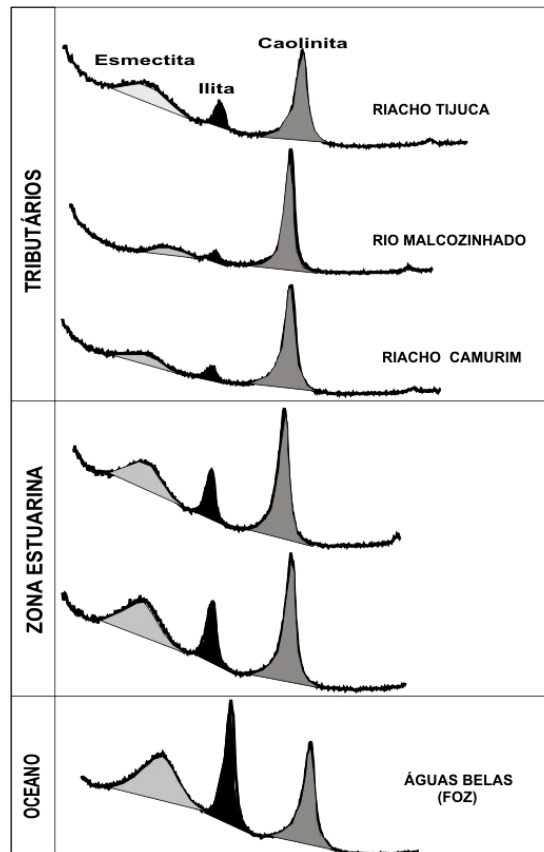


Figura 49. Diagramas da difratometria de raio-X mostrando a distribuição dos minerais de argilas ( caolinita,esmectica e ilita) nos sedimentos do Rio Malcozinhado.

Em condições de escoamento normal, os sedimentos de água doce dificilmente atingem o mar, circulando e depositando-se nos setores 4 e 5. No período das maiores médias pluviométricas, os sedimentos de água doce podem chegar ao mar, mas grande parte é sedimentada na zona de turbidez máxima. A distribuição dos minerais nos tributários confirmam o avanço da maré salina nos meses de pico de estiagem, cujos valores de salinidade registrada foi de 40 ups no rio Malcozinhado. Vale salientar que esses valores são acentuados pela pouca profundidade e a alta taxa de evaporação.

A distribuição dos sedimentos em suspensão mostrou o mesmo padrão dos sedimentos do fundo. Os principais minerais encontrados nas membranas

foram o quartzo associado a illita, esmectica e caolinita. No inverno as concentrações de minerais de argilas e diatomita aumentaram juntamente com o percentual de matéria orgânica. Simulando o comportamento dos minerais de argilas levados à metade da distância entre a linha de costa e a área de fluxo unidirecional, observou-se pouca variação na distribuição desses minerais, revelando um caráter constante na sedimentação. Os fluxos das marés controla a distribuição sazonal dos sedimentos em suspensão ao longo do estuário, formando células de circulação específicas, condicionadas pela morfologia do canal e arranjo espacial dos bancos de areias.

#### **7.4.2. Concentração de sólidos suspensos totais (SST) e taxas de transporte em suspensão.**

A hidrodinâmica forçada pela maré é o mais importante mecanismo no transporte de sedimentos em estuários, originando por sua vez a componente advectiva do transporte de sedimentos em suspensão, gerando a força de atrito necessária para erodir os sedimentos do fundo e através da turbulência assume papel importante na floculação dos sedimentos finos. A circulação dos sedimentos em um sistema estuarino é um processo cíclico com erosão do leito na fase de enchente e deposição na preamar, voltando à erosão na vazante e deposição na maré baixa, repetindo-se o processo com a nova enchente.

A concentração de sedimentos na coluna d'água é um importante controlador do processo de deposição, além do papel que desempenha no nível de floculação, apresenta um efeito inibidor da sedimentação para suspensões muito concentradas (FERNANDES,2001). Neste caso, os flocos encontram-se tão próximos que o fluido que se encontra entre eles é forçado a escoar para cima, diminuindo assim a velocidade de queda. Por isto, os sedimentos erodidos durante a maré enchente e/ou vazante permanecem em suspensão por muito mais tempo, principalmente em áreas com pouca profundidade.

A concentração média de SST (Sólidos Suspensos Totais) durante o período de estiagem na maré de sizígia foi de 53,2 mg/l, 10,4% menor do que a

registrada na estação chuvosa (59,4 mg/l). Os maiores valores médios foram observados durante a baixa-mar de verão e inverno (61,6 mg/l e 64 mg/l). O perfil 02 apresentou as maiores concentrações médias de SST durante todas as fases das marés com valores máximos de 70,5 mg/l e mínimos de 43,8 mg/l na baixa-mar e preamar de verão. No inverno, os valores máximos registrados foram de 76,4 mg/l e mínimo de 36,45 mg/l na baixa-mar e preamar, respectivamente (Tabela 9).

Tabela 9. Concentração dos Sólidos Suspensos Totais (SST) no estuário do Rio Malcozinhado (2001-2002).

Seções	Distância da foz (m)	Período de Estiagem				Período Chuvoso			
		Preamar	Vazante	Baixa-mar	Enchente	Preamar	Vazante	Baixa-mar	Enchente
1	607,00	33,40	36,90	43,10	87,40	51,80	105,00	55,00	24,40
2	859,01	43,80	66,90	70,50	70,50	54,10	36,45	47,10	76,40
3	1168,03	30,90	28,00	80,70	40,00	38,00	54,80	56,00	39,40
4	1721,62	32,10	43,30	66,00	64,20	22,20	29,50	54,00	38,40
5	2498,25	22,90	34,60	34,50	25,70	29,20	30,00	32,00	31,70
6	4315,25	10,80	21,60	26,20	77,70	14,50	22,00	24,90	28,00
	4819,09	121,5							
7		0	22,00	76,10	42,90	21,20	20,40	30,60	32,00
8	7108,09	-	-	-	87,60	105,20	89,00	105,00	105,20
9	8267,09	-	-	-	-	179,00	90,00	179,00	-
	11071,57	130,0							
10		0	-	95,50	-	-	143,00	-	-
	Média	53,18	36,19	61,58	62,00	57,24	62,02	64,84	46,94
		130,0							
	Max	0	66,90	95,50	87,60	179,00	143,00	179,00	105,20
	Min	10,80	21,60	26,20	25,70	14,50	20,40	24,90	24,40
	DP	42,87	14,53	22,78	21,77	50,19	40,05	46,07	26,73

(-) Dados não coletados por dificuldades navegação

O significativo aumento nas concentrações no perfil 2 é devido a diminuição da área do canal entre setembro de 2001 e abril de 2002 que gera áreas de acumulação. Além disso, nesse ponto no período de estiagem a contribuição dos sedimentos eólicos é intensa. Entre os perfis 03 e 06, a concentração de SST tende a diminuir com valores médios de 24,1 mg/l na preamar e 52,6 mg/l na maré enchente de sizígia no verão. O mesmo comportamento é verificado no período chuvoso, com valores médios de 28,9 mg/l e 41,7 mg/l na preamar e baixa-mar de sizígia, respectivamente. No período de estiagem a concentração média de sedimentos neste setor foi 14% maior do que a observada no período de estiagem.

A partir do perfil 07, na localidade de Camurim, as concentrações tendem a aumentar com valores médios oscilando de 65,6 a 112,7 mg/l no verão e de 93,5 mg/l a 143,0 mg/l no inverno, coincidindo com a maior expressão espacial dos depósitos de fundo constituídos por lamas argilosas. Além disso, as maiores concentrações verificadas no inverno são decorrentes das condições favoráveis para a floculação pelo encontro da descarga fluvial com a maré salina, aumentando o fluxo de deposição. CANCINO e NEVES (1999) a partir de trabalho de campo observou uma clara evidência de que a floculação ocorre a partir de salinidade de 1‰ e é completa para valores acima de 2,5‰. Por outro lado, a corrente salina junto ao fundo no período de estiagem pode ressuspender os sedimentos, possivelmente desagregados, injetando-os de novo na coluna d'água como foi visto na baixa-mar.

Na área livre da influência das marés, no período de inverno, a concentração média de sedimentos foi de 125 mg/l com um total transportado de 0,81 g/s, o que corresponderia nas condições de um fluxo constante de 6,53 m<sup>3</sup>/s, um transporte de 2 toneladas de sedimentos lançados no estuário no mês de abril de 2002. No período de estiagem não ocorre escoamento superficial nesta seção, ou seja a contribuição de sedimentos do rio Malcozinhado nesse período é nula.

As concentrações médias de sedimentos calculadas no Rio Jaguaribe por CAVALCANTE (2001) foi de 144 mg/l no mês de abril. Considerando que a bacia do Rio Malcozinhado corresponde a 1,68% da área de contribuição do ponto monitorado pelo autor que é de 22.606 km<sup>2</sup>, e que a vazão líquida corresponde apenas 9,45%,



a concentração de sedimentos é 56,94% da observada no rio Jaguaribe. Ou seja, apenas das condições de fluxo e área de contribuição do Rio Jaguaribe serem bem maiores do que as do Rio Malcozinhado, o volume de sedimentos transportado do segundo rio é mais da metade do transportado pelo Rio Jaguaribe. Isso reflete os efeitos do desmatamento da bacia hidrográfica do Rio Malcozinhado no aumento da produção de sedimentos.

Considerando as fases da maré enchente e vazante onde o fluxo das águas são mais intensos, e conseqüentemente o transporte de material, foi calculada a vazão líquida e o transporte em suspensão no período de estiagem e chuvoso. As maiores vazões líquidas foram observadas nos perfis próximos a foz na maré vazante no inverno ( $31,9 \text{ m}^3/\text{s}$ ) e verão ( $31,0 \text{ m}^3/\text{s}$ ). A taxa média de sedimentos transportados do mar para o estuário no período de estiagem foi de  $1,3 \text{ g/s}$  registrados no perfil 01. No perfil 05, início da morfologia do tipo lagunar, a taxa de transporte foi de  $0,2 \text{ g/s}$ , indicando que nos últimos  $1,89 \text{ km}$  houve redução no transporte e intensa deposição. Na maré vazante a taxa de transporte foi de  $1,14 \text{ g/s}$ ,  $12,3\%$  menor do que o volume de sedimentos que entrou no estuário.

No inverno, a taxa de transporte de sedimentos estuário acima foi de  $0,30 \text{ g/s}$ ,  $77\%$  inferior ao verificado no período de estiagem, indicando a barreira que o rio exerce no transporte de sal e de sedimentos marinhos para o sistema. No perfil 05, a taxa foi de  $0,17 \text{ g/s}$ . Na maré vazante do período chuvoso, observa-se o incremento da contribuição do rio Malcozinhado com uma taxa de transporte de  $3,34 \text{ g/s}$ . A taxa de exportação provenientes do sistema lagunar foi de  $0,24 \text{ g/s}$ , indicando um aumento substancial na produção de sedimentos entre os dois perfis. Isto pode ser observado na tabela 10, onde os perfis 01 e 02 apresentaram as maiores concentrações de SST neste setor, associadas a contribuição direta das dunas e da resuspensão do material que formam as barras submersas. A contribuição do Rio Malcozinhado na sedimentação do sistema lagunar foi de  $0,81 \text{ g/s}$ .

A zona com a maior concentração média de sedimentos durante um ciclo de maré está localizada entre os perfis 7 e 10 com limite inferior localizado a  $6,4 \text{ km}$  de Águas Belas. Durante as marés enchente e vazante o atrito com o fundo gera uma segunda área de turbidez máxima (transicional) tanto no período de estiagem e

inverno localizada entre os perfis 1 e 2. A deposição nessa área é intensificada pelo grande aporte de sedimentos eólicos, estrangulamento do canal em frente ao núcleo urbano e a contribuição de sedimentos argilosos oriundos de uma estreita área de manguezais nos perfis 2 e 3.

Considerando que o comportamento de poluentes na fase particulada é indissociável do transporte de sedimentos finos (coesivos), o estuário do rio Malcozinhado é uma área extremamente vulnerável e inadequada ao despejo de efluentes em vista o tempo de permanência elevado dessas partículas no seu interior. Essa vulnerabilidade se intensifica no período de estiagem e pela posição da zona de acumulação que é em frente ao núcleo urbano de Águas Belas, cujas atividades sócio-econômicas são voltadas ao veraneio, pesca e turismo.

#### **7.4.3. Capacidade de retroespalhamento óptico**

A capacidade de retroespalhamento óptico foi obtido através de um sensor de OBS (Optical Back Scatterance) que mede a luz que é refletida de volta ao sensor por ter colidido em alguma partícula em suspensão na água. Valores de OBS altos podem indicar muitas partículas ou partículas grandes em suspensão. Além disso, a matéria orgânica, plancton e alguns tipos de argilas mudam a cor da água ao longo do ano alterando as propriedades ópticas.

No período de estiagem a capacidade de retroespalhamento óptico variou de 8 a 149 na maré de sizígia de setembro de 2001. O valor médio durante todo o ciclo da maré foi de 35, com valor máximo de 149 na maré enchente. O menor valor médio foi registrado na preamar (13,7) quando ocorre a penetração de águas marinhas no estuário. Na análise da distribuição longitudinal, os maiores valores médios foram observadas no perfil 02 do setor 1 e nos perfis 08,09 e 10 dos setores 4 e 5.

Na maré de sizígia do período chuvoso, os valores médios variaram de 47 a 62. Os maiores valores foram verificados na baixa-mar e enchente com valores médios de 164 e 138, no perfil 9. Os menores valores foram verificados na preamar

e vazante (7,81 e 15,48) no perfil 02. Nos perfis 08,09 e 10 os valores médios são praticamente constantes durante as fases da maré. A distribuição longitudinal da capacidade de retroespalhamento óptico apresentou, praticamente, a mesma característica da observada no período de estiagem com valores máximos nos perfis 02, 8, 9 e 10.

Como pode ser observado na figura 50 a área de deposição de argilas no inverno fica restrita ao setores 4 e 5. Os valores altos nesse setor é resultante da formação de agregados de sedimentos cuja dimensão pode chegar a ser várias ordens de grandeza (milímetros) superior em relação às partículas individuais (FERNANDES, 2001).

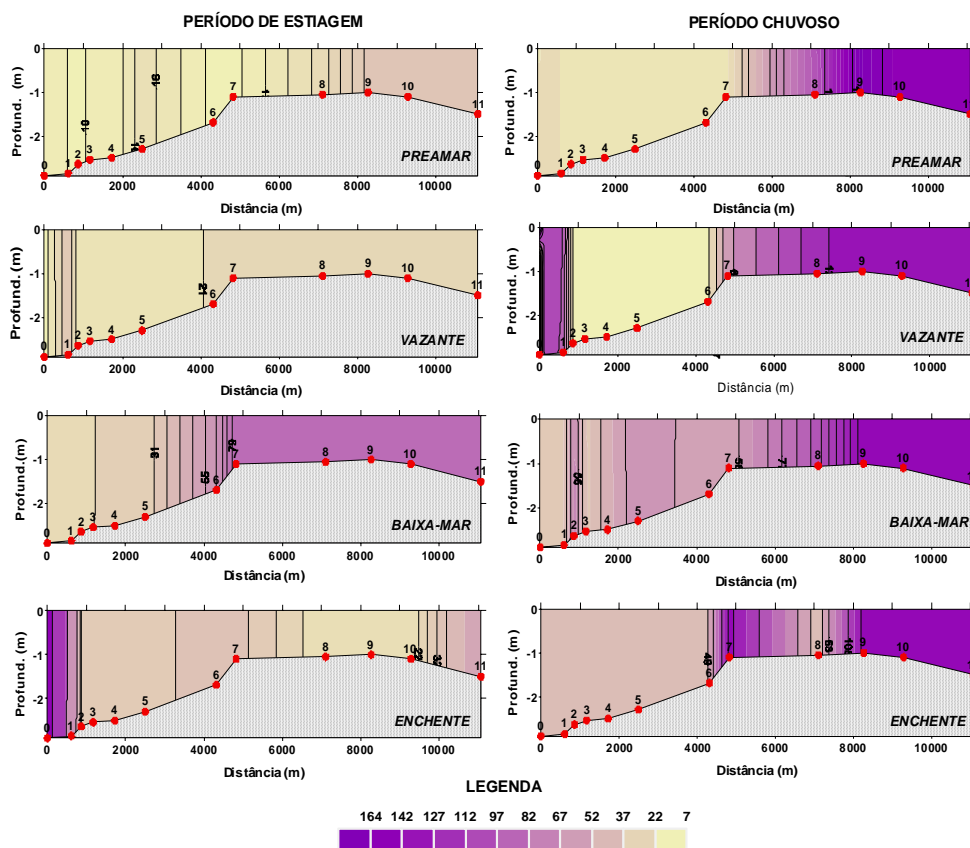


figura 50. Distribuição longitudinal da Capacidade de Retroespalhamento Óptico do estuário do Rio Malcozinhado ao longo de um ciclo completo de maré de sizígia nos períodos de estiagem e chuvoso (2001/2002).

Os resultados sazonais obtidos pela sonda de OBS apresentou uma boa relação com as concentrações dos Sólidos Suspensos Totais (SST) com uma correlação linear  $r^2$  de 0,78 e 0,80 para os períodos de estiagem e de chuva, respectivamente (Figura 51).

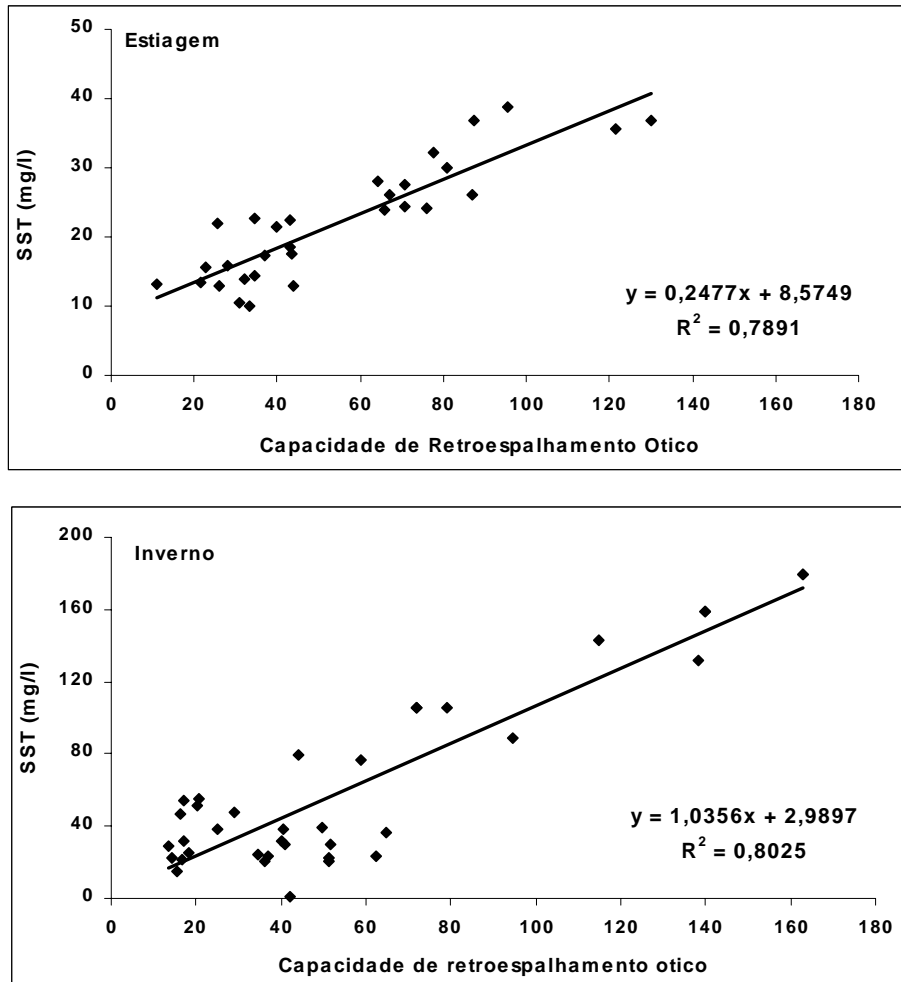


Figura 51. Correlação entre as concentrações de Sólidos Suspensos Totais e a Capacidade de Retroespalhamento Óptico no estuário do Rio Malcozinhado em uma maré de sizígia nos meses de setembro/2001 e abril/2002.

## **8.0 AMBIENTE ESTUARINO E SUAS CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS E HIDRODINÂMICAS**

### **8.1. Hidrologia**

#### **8.1.1. Salinidade Vertical e Longitudinal**

A hidrologia estuarina é caracterizada por flutuações na salinidade, devido ao fluxo de entrada de água doce e água salgada; pelo aumento ou diminuição da temperatura e por processos de mistura (RIDD e STIEGLITZ,2002). A distribuição das variáveis hidrológicas é determinante na distribuição das espécies.

A salinidade superficial na plataforma continental interna do Estado do Ceará, no período de estiagem, medida na Operação Geomar XVII variou de 37<sup>0</sup>/<sub>00</sub> a 38<sup>0</sup>/<sub>00</sub> (FREIRE,1989). No estuário do Rio Malcozinhado a distribuição horizontal da salinidade no período de estiagem apresentou ampla variação com regimes oscilando entre o limnético e eualino. Durante a maré de sizígia do mês de setembro de 2001 a salinidade média no estuário variou de 34,2 a 38,3 ups. Os maiores valores foram observados durante a preamar e baixa-mar (50,4 e 40,8 ups).

Os maiores valores foram observados nas estações 14 e 15, onde a lâmina d'água não ultrapassa os 0,60 m de profundidade. Entre os perfis 7 e 10, com distância de 4,5 km, a salinidade aumenta cerca de 3,47ups/km mostrando a influência direta da evaporação. Na estação 1 é verificada a influência dos exutórios das lagoas interdunares que atuam na diluição dos sais. Na maré vazante, o valor médio foi de 34,9 ups, com salinidades mínimas e máximas de 1,5 e 38,7 ups registradas nas estações 7 e 15. A estação 7 localiza-se próxima aos campos de dunas edafizadas, cujo contato com os sedimentos da Formação Barreiras permite a formação de exutórios, o que explicaria essa diminuição da salinidade.

Na baixa-mar, a salinidade média observada foi de 34,2 ups com valores máximos e mínimos de 40,8 e 0,9 ups, observados nas estações 13 e 15. No estofo da preamar e baixa-mar entre as estações 12 e 14, a salinidade média aumentou significativamente, apresentando características de hipersalinização. Na baixa-mar

extensas áreas ficam emersas e a profundidade média da lâmina d'água nestes setores é de apenas 0,20 m. A evaporação observada nesse período foi de 5,71 mm/dia, o que explica a alta salinidade. O valor registrado na estação 15 durante a baixa-mar foi de 39 ups nas áreas de aluviões.

Na maré enchente a salinidade média foi de 36,9 ups com valores máximos e mínimos de 39,7 e 24,1 ups, no perfil 1 e perfil 10. Na distribuição longitudinal da salinidade, o maior valor médio está concentrado no perfil 01 e entre os perfis 7 e 10. Entre os perfis 2 e 6, os valores médios decrescem demonstrando a influência da batimetria e a contribuição dos aquíferos costeiros nesse setor.

A distribuição vertical da salinidade confere ao estuário do Rio Malcozinhado a classificação de verticalmente bem misturado tendo em vista a ausência de estratificação salina em praticamente em todas as fases da maré. No entanto, na preamar nos perfis 01 e 02 foi verificada pequena estratificação na coluna d'água com valores médios na superfície de 15,0 ups e de 37,4 ups no fundo. Os estuários verticalmente homogêneos formam-se em geral em canais rasos e estreitos forçados por descarga fluvial pequena ou ausente (MIRANDA et al., 2002).

Segundo o autor op.cit, o sistema estuarino quando estiver localizado numa região com altura de maré moderada ou grande, o cisalhamento das correntes do fundo produzirá turbulência, cujo fluxo para o interior será suficiente para a completa erosão da haloclina. Neste caso o transporte de sal vertical é desprezível e o processo de mistura ocorre na direção longitudinal.

Esse fato foi observado no estuário do Rio Malcozinhado, onde existe uma estratificação longitudinal da salinidade em função da razão largura/profundidade entre os perfis 4 e 9, durante a preamar e baixa-mar. A salinidade média na desembocadura, parte central e no limite de influência da maré durante todo o ciclo observado foi de 36,4, 37,8 e 39,2 ups, respectivamente (Figura 52). O desenvolvimento de uma zona de salinidade máxima nas zonas semi-áridas, áridas e sub-úmidas é comum. Em alguns casos, os estuários podem apresentar salinidades no interior do sistema bem maiores das verificadas na foz (inversão) durante todo o ano, como foi observado nos estuários e (*saltflats*) no Norte da Austrália (RIDD e STIEGLITZ, 2002).

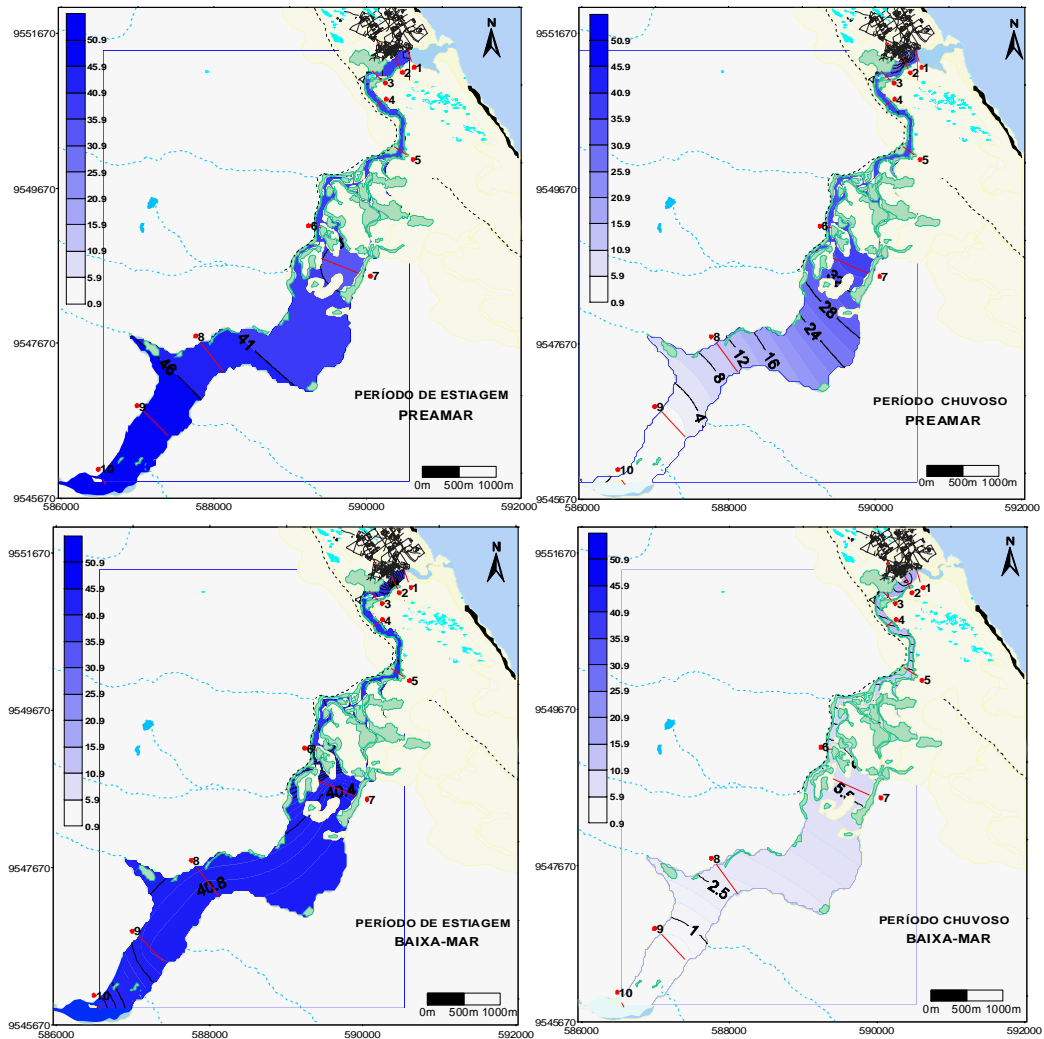


Figura 52. Distribuição horizontal da salinidade média (ups) da coluna d'água ao longo de um ciclo completo de maré de sizígia nos períodos de estiagem e chuvoso (2001/2002).

No período chuvoso a salinidade média no sistema estuarino variou de 9,19 a 23,95 conferindo ao mesmo um regime polialino. As maiores salinidades foram observadas na preamar com valores médio de 23,9 ups e máximos e mínimos de 35,1 e 0,1 ups, nos perfis 2 e 15, respectivamente. Na maré vazante, a salinidade média foi de 21,3 ups com valores máximos de 34,5 ups no perfil 8, pela influência da evaporação. Os menores valores foram observados nos perfis 10 e 09, este último com contribuição direta do Riacho Tijuca. Nesta fase, observa-se nitidamente

o papel da vazão do rio no recuo da maré salina em 1,5 km da verificada no período de estiagem (Figura 53).

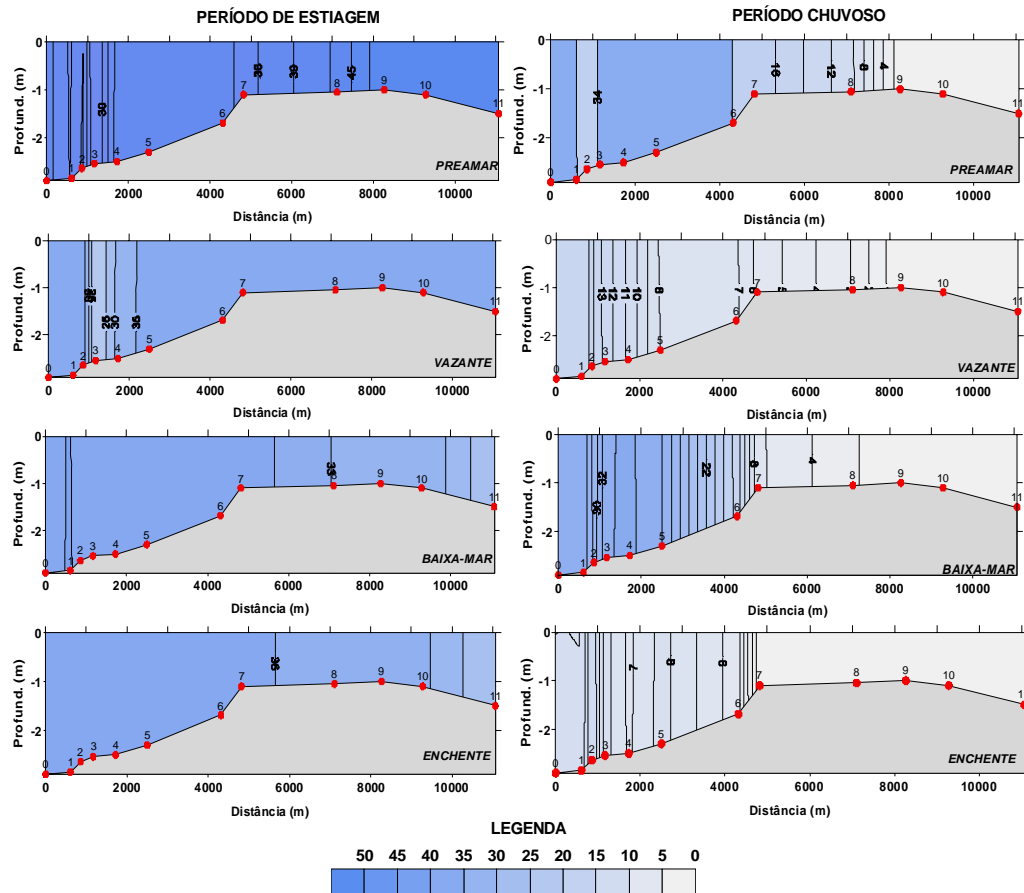


Figura 53. Distribuição longitudinal da salinidade média (ups) da coluna d'água ao longo de um ciclo completo de maré de sizígia no período de estiagem (setembro/2001) e chuvoso (abril/2002).

Na baixa-mar a salinidade média foi de 9,1 ups com valores máximos e mínimos de 14,8 e 0,1 ups nas estações 4 e 15, respectivamente. O perfil 02 apresentou uma salinidade média 25% maior do que a observada no perfil 01 (13,5 ups). Isto foi devido à existência do banco de areia que aprisionou as águas mais salinas da preamar. O mesmo acontece com a água doce na baixa-mar. Na maré enchente, o valor médio da salinidade foi de 6,7 ups, cerca de 72% menor do que a verificada na preamar. A maior salinidade foi verificada na estação 4 do perfil 2 com



valor de 22,4 ups e mínima na estação 15 (0,15 ups). A contribuição total de água doce no dia da coleta foi de 6,88 m<sup>3</sup>/s.

Como pode ser observado na figura 54, na baixa-mar a estação 4 do perfil 02 apresentou a maior salinidade verificada ao longo do estuário (22,4 ups). A variação vertical apresentou uma suave estratificação mais perceptível durante a maré enchente e baixa-mar. No perfil 2 foi verificada a maior variação vertical de salinidade durante todo ciclo da maré, cuja salinidade de superfície foi de 7,5 ups e a de fundo 16,7 ups. A estratificação longitudinal foi mais significativa do que a verificada no período de estiagem com valores médios de salinidade na foz, parte central e na área de influência da maré salina de 22,8; 15,2 e 0,16 ups, respectivamente. A partir do perfil 7, as variações na salinidade durante o ciclo da maré confere ao mesmo características de ambientes mesoalinos.

A densidade média da água no período de estiagem variou de 1.021 a 1.025 g/cm<sup>3</sup> com valores máximos na preamar e mínimos na baixa-mar de sizígia. O valor máximo de 1.034 g/cm<sup>3</sup> foi verificado nos perfis 09 e 10 durante a preamar e mínimos de 995 g/cm<sup>3</sup> na estação 15 durante a baixa-mar. A distribuição longitudinal apresentou a mesma estratificação de salinidade. No período chuvoso, a densidade média variou de 984,92 g/cm<sup>3</sup> a 1.014 g/cm<sup>3</sup>. Os menores valores foram observados nas estações 4 e 15 durante a maré enchente.

### 8.1.2. Temperatura

Valores de temperatura da água estão intimamente ligados às variações da temperatura do ar. Durante o período de estiagem as temperaturas são maiores em todo o estuário do Rio Malcozinhado e respondem à combinação entre a diminuição da lâmina d'água e o aumento da radiação solar (Figura 54). A temperatura média para esse período foi de 29°C. A temperatura da água variou de 27°C a 31°C, com os maiores valores observados entre os perfis 06 e 10. As temperaturas mais altas foram observadas durante o estágio de maré enchente com média de 31°.

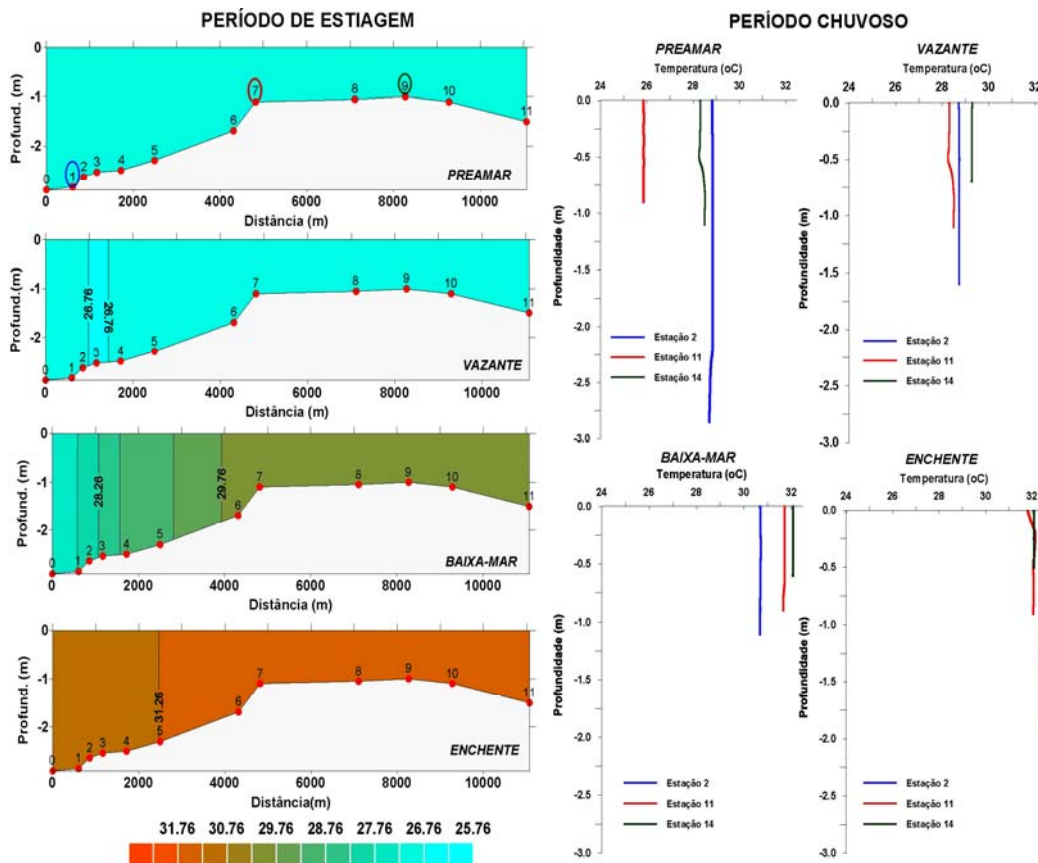


Figura 54. Distribuição longitudinal da temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) da coluna d'água ao longo de um ciclo completo de maré de sizígia nos períodos de estiagem (setembro/2001) e chuvoso (abril/2002).

No período chuvoso as menores temperaturas foram verificadas na maré vazante com valor médio de  $28^{\circ}\text{C}$ . As maiores foram observadas durante a maré enchente com média de  $30^{\circ}\text{C}$ . A temperatura da água no período chuvoso variou de  $26$  a  $32^{\circ}\text{C}$ , sendo esta última verificada na maré enchente. Entre a foz e o ponto 1 a seqüência de duas barras arenosas uma em frente a Casa Jacuína e a barra existente em frente a Águas Belas proporcionou um aprisionamento maior das águas entre a baixa-mar e maré enchente, com conseqüente elevação da sua temperatura em  $1^{\circ}\text{C}$  da verificada no período de estiagem. Nos dias 17 e 18 de setembro a temperatura média do ar registrada na estação climática instalada no Hotel Paradise durante 24 horas foi de  $28,35$  e  $29^{\circ}\text{C}$ . Nos dias 26, 27 e 28 de abril de 2002, a

temperatura média do ar registrada na mesma estação foi de 25°C; 28°C e 31 °C, respectivamente.

No período de estiagem não foi verificada a estratificação vertical da temperatura, apenas estratificação lateral pela diminuição da profundidade média ao longo do estuário. Pequenas variações locais da temperatura de superfície e de fundo foram observadas no período chuvoso de 2002. Na estação 8, na maré vazante foi verificada uma diferença de 2 °C entre a temperatura de superfície (26°C) e de fundo (28,5°C) as dez horas.

### 8.1.3. Condutividade

A condutividade é a quantidade de íons elétricos contidos na água e apresentam estreita relação com a salinidade. Na preamar do período de estiagem, o valor médio da condutividade foi de 60 mS/cm, com máximo de 75 mS/cm nos perfis 09 e 10 e mínimos de 46 mS/cm na estação 1, localizada no perfil 01. Na maré vazante a condutividade média foi de 54,6 mS/cm ao longo de todo o estuário com valores máximos de 60 mS/cm nos perfis 09 e 10, e mínimo de 2 mS/cm na estação 7 do perfil 03.

A condutividade média na baixa-mar foi de 55,3 mS/cm com valores máximos de 67 mS/cm nos perfis 07e 08, em virtude da elevada taxa de evaporação. No perfil 10, a condutividade média foi de 2 mS/cm indicando a penetração de água doce do lençol freático (Figura 55). Na maré enchente o valor médio da condutividade foi de 60 mS/cm com máximos e mínimos de 66,5 e 39 mS/cm observados na estação 2 do perfil 01, e 17,9 mS/cm no perfil 07, respectivamente.

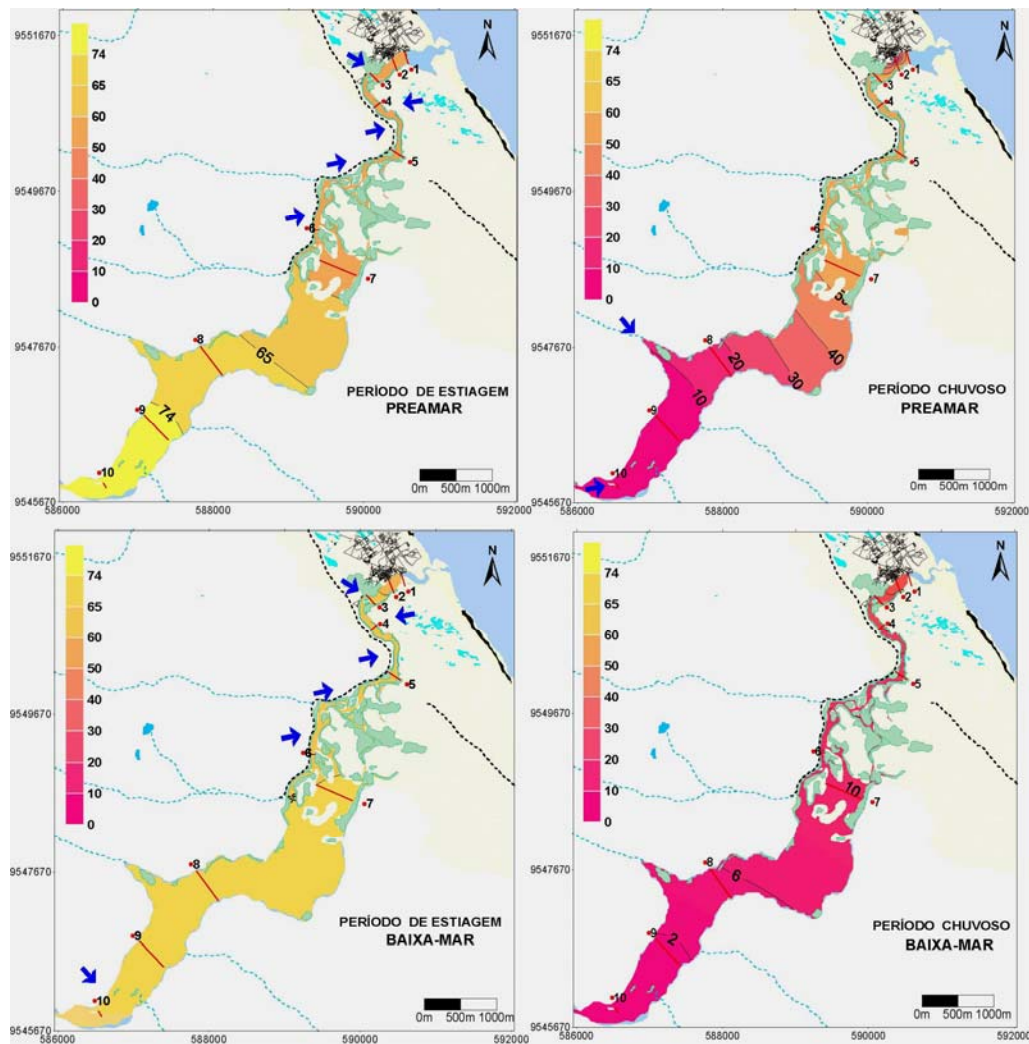


Figura 55. Distribuição horizontal da condutividade (mS/cm) ao longo de um ciclo completo de maré de sizígia no período de estiagem (setembro/2001) e chuvoso (abril/2002). Observar a localização dos pontos de derivação de água doce (☒) que contribuem na diminuição da condutividade durante o período de estiagem.

No período chuvoso a condutividade média variou de 10 mS/cm a 38 mS/cm, com maiores valores observados na preamar pela intrusão da salinidade no estuário. Na preamar a condutividade variou de 1,23 no perfil 10 a 55,40 mS/cm no perfil 02. Na maré vazante, o valor médio foi de 31 mS/cm com máximos e mínimos de 54,4 na estação 8 do perfil 4, e de 1,3 mS/c no perfil 10. A partir do perfil 07, a

condutividade média sofreu significativa redução indicando o limite da zona de mistura. Entre os perfis 11 e 12, distantes 500 m, a redução foi de 52,56% com uma variação de 0,024 mS/cm/m.

Na baixa-mar o valor médio foi de 15,1 mS/cm, com máximos de 24 mS/cm no perfil 2, e mínimos de 1,27 mS/cm nos perfis 09 e 10. A distribuição longitudinal da condutividade apresentou a mesma estratificação observada na salinidade com as maiores variações no período chuvoso. Os menores valores foram observados no estágio de maré enchente, com valor médio de 10,7 mS/cm. Os valores máximos e mínimos foram de 16,5 mS/cm e 1,27 mS/cm, observados na estação 4 do perfil 2 e no perfil 10. A redução dos valores máximos entre os estágios de preamar e enchente foi de 70,21%.

#### 8.1.4. Oxigênio Saturado

Considerando as características de temperatura e salinidade das coletas foi trabalhada a saturação de oxigênio na coluna d'água (ml/l) em função das duas primeiras propriedades. No período de estiagem a saturação média de oxigênio na coluna d'água no ciclo de maré de sizígia variou de 4,3 ml/l a 4,6 ml/l. O valor médio na preamar foi de 4,5 ml/l com máximo de 4,7 ml/l e mínimo de 4,2 ml/l nas estações 1 do perfil 01 e na estação 14, respectivamente.

Na maré vazante a saturação média foi de 4,6 ml/l, com valores máximos e mínimos de 5,6 e 4,5, observados nas estações 7 do perfil 3 e nos perfis 8,9 e 10. Na baixa-mar, o valor médio foi de 4,4ml/l, com valores máximos de 4,7 ml/l na estação 14 e mínimo de 4,2 ml/l nos perfis 8 e 9. Os menores valores foram observados na maré enchente com uma média de 4,2 ml/l entre os perfis 07 e 15, correspondendo aos setores com as maiores temperaturas médias da coluna d'água (Figura 56).

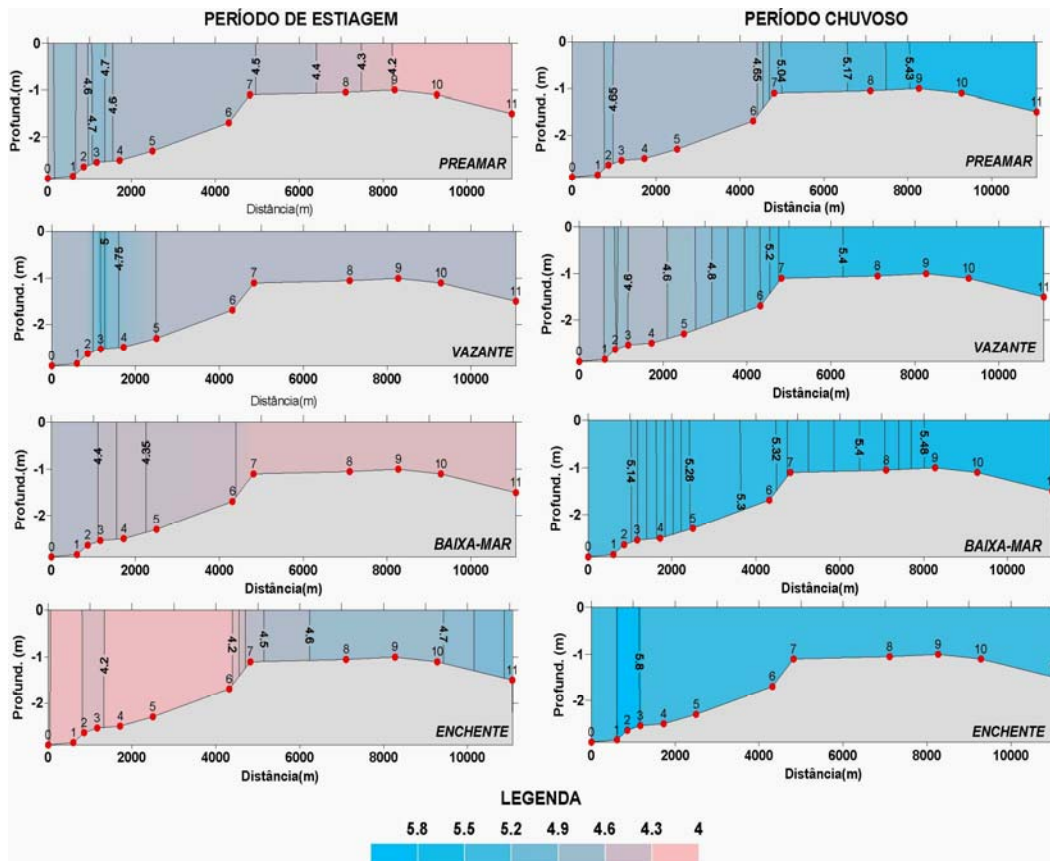


Figura 56. Distribuição longitudinal do oxigênio saturado (ml/s) na coluna d'água ao longo de um ciclo completo de maré de sizígia no período de estiagem (setembro/2001) e chuvoso (abril/2002).

Na preamar de sizígia no mês de abril de 2002, a saturação média de oxigênio na coluna d'água variou de 4,5 ml/l a 5,5 ml/l. Os maiores valores foram observados na estação 5 do perfil 02 (5,5) e nos perfis 9 e 10 (5,5 ml/l) indicando a atuação do fluxo fluvial na oxigenação das águas estuarinas. Os menores valores ficaram concentrados entre os perfis 1 e perfil 7, com uma média de 4,56 ml/l. Na maré vazante a saturação média ao longo de todo o estuário foi de 4,92 ml/l com valores máximos e mínimos de 5,50 e 4,57 ml/l nos perfis 10 e 4. As maiores saturações foram verificadas na maré enchente de sizígia com valores médios de 5,40 ml/l e máximo de 5,50 ml/l observado no perfil 10. Os menores valores foram observados entre os perfis 01 e 05 (5,26 e 5,27 ml/l). Na baixa-mar o valor médio de

saturação foi de 5,25 ml/l com máximo e mínimo de 5,50 e 5,10 ml/l nos perfis 10 e 01.

## 8.2. Transporte líquido e condições de entranhamento e mistura

As correntes no estuário do Rio Malcozinhado apresentaram grande variabilidade em intensidade, com valores extremos mínimos de 0 e máximos de 0,782 m/s. No período de estiagem as maiores velocidades média de corrente foram observadas durante o estágio de preamar (0,30 m/s) e vazante (0,31 m/s). Na preamar as maiores velocidades foram observadas nos perfis 1, 2 e 3 coincidindo com a área de maior profundidade no estuário. Na estação 0 e 3 dos perfis 1 e 2 os valores máximos foram de 0,418 m/s e 0,343 m/s. Na estação 12 do perfil 9 a velocidade foi de 0,303 m/s. Entre as estações 12 e 15 a intensidade da corrente teve uma redução de 30%. O desvio padrão da distribuição longitudinal da velocidade da corrente na preamar ao longo de todo o estuário foi de apenas 0,08 m/s.

As velocidades na superfície e fundo apresentaram pouca variação com um desvio padrão médio para todas as estações de 0,019 m/s. As maiores variações foram apresentadas nas estações 5 e 7 com a velocidade de fundo maiores em 0,068 e 0,081 m/s do que as verificadas na superfície, respectivamente. O eixo principal da corrente em relação ao Norte Magnético foi de ENE-WSW e de E-W acompanhado a geometria do canal estuarino. Nas áreas com as menores profundidades media e mais abertas a direção NE-SW foi constante seguindo a direção principal dos ventos locais para este período (NE-SW e E-W).

Tendo em vista a magnitude dos processos erosivos em Águas Belas, a figura 57 apresenta os vetores de intensidade e direção das correntes associadas ao referido processo. Como pode ser observado, na estação 02 do perfil 01 (margem de Águas Belas) há um incremento da velocidade em todos os estágios da maré pela diminuição da área da seção. Na maré vazante a velocidade média da coluna d'água ao longo de 0,31 m/s. As maiores velocidades foram observadas nas estações 2, 3 e 7 com valores médios de 0,758 m/s, 0,534 m/s e 0,472 m/s, respectivamente. Os menores valores foram observados entre os perfis 5 e 7, com velocidade media de 0,14 m/s resultante do aumento da área de atrito. A coluna d'água não apresentou

variações verticais na velocidade das correntes com um desvio padrão médio de apenas 0,007 m/s.

A redução do nível da água durante esse estágio e a configuração dos bancos de areia na forma meândrica contribuiu na aceleração da corrente criando seqüências de áreas com deposição e erosão de forma semelhante ao que é observado nos cursos fluviais com estas características. A direção predominante em relação ao Norte Magnético variou de 32° a 73° entre os perfis 1 e 3, e de 140° a 338° nos perfis 4 e 6 acompanhando os contornos do canal. Entre os perfis 7 e 9 a direção predominante foi de 315° demonstrando a influência dos ventos de quadrante NE e E na deflexão da corrente de vazante.

Na baixa-mar, a velocidade variou de 0 a 0,777 m/s com uma média de 0,277 m/s com uma redução de 13% da verificada na vazante. A maior velocidade foi verificada na estação 2 do perfil 01 (0,77 m/s). A partir do perfil 2, a velocidade sofre uma redução de 26%. Nas estações 1 e 6, e no setor entre as estações 13 e 15 a velocidade foi nula criando áreas estagnadas e propicia às elevadas taxas de evaporação, e conseqüente aumento da salinidade média da coluna d'água. No perfil 05, em todos os estágios da maré foi verificado um aumento da intensidade da corrente em decorrência do gradiente topográfico do canal, com velocidade média de 0,37 m/s, alto para este estágio da maré.



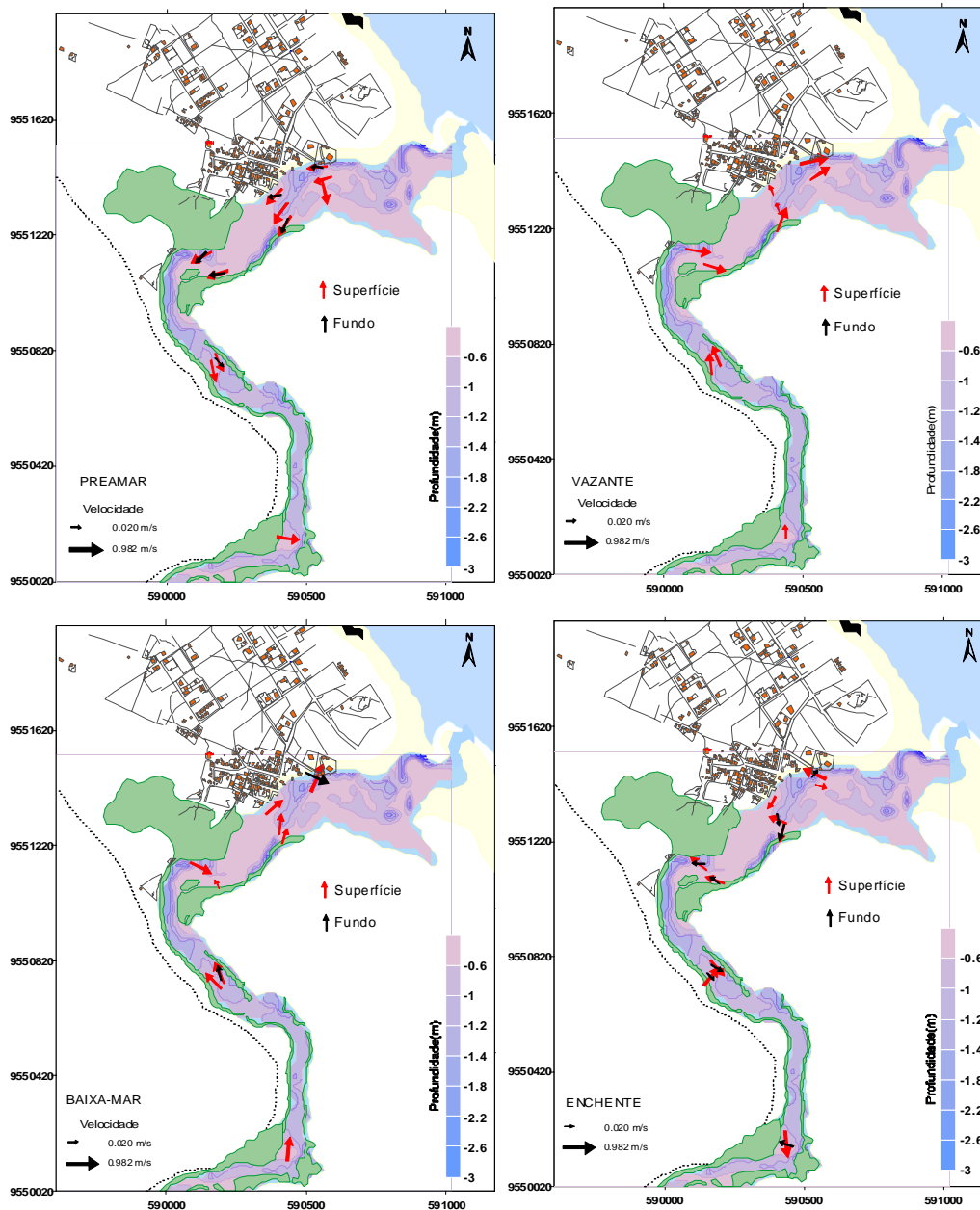


Figura 57. Direção e intensidade das correntes para os estágios de preamar, vazante, baixa-mar e enchente durante a maré de sizígia no período de estiagem de 2001.

A variação vertical da coluna d'água foi praticamente nula com um desvio padrão médio de 0,007 m/s. A direção predominante é de estuário abaixo acompanhando os contornos do canal. Na estação 2, a corrente de fundo sofreu

uma reflexão no contato com o Hotel Sereia com uma desvio padrão de  $44,95^\circ$  em relação a corrente de superfície e fundo. Durante a maré enchente, a velocidade média das correntes foi de 0,20 m/s. As maiores intensidades foram observadas entre os perfis 10 e 11 com velocidade média de 0,37 m/s e as menores no perfil 01 e 02 pela desaceleração da onda de maré pelos bancos arenoso presentes na foz e defronte a Águas Belas. Nesse estágio de maré foram observados sutis variações verticais na velocidade da corrente com um desvio padrão de 0,065 m/s.

Na estação 3 do perfil 2 a corrente de fundo foi 0,04 m/s mais intensa do que a corrente de superfície. Nos outros pontos de coleta as correntes superficiais foram mais intensas. A velocidade média entre os perfis 07 e 15, que compreende o trecho localmente conhecido como “lagamar” foi de 0,198 m/s. O eixo principal das correntes superficiais foi de E-W sob a influência dos ventos locais e as correntes de fundo foi de ENE-WSW acompanhado os contornos do canal.

Na preamar do período chuvoso, a velocidade média na coluna d'água variou de 0,16 a 0,47 m/s com um valor médio de 0,29 m/s. As maiores velocidades foram observadas nas estações 5, 6 e 10, com valores médios de 0,39, 0,47 e 0,39 m/s, respectivamente. Os menores valores foram observados a partir da estação 11 do perfil 6 demonstrando o papel da vazão do rio no avanço da onda de maré. A variação vertical da velocidade ao longo do estuário apresentou um coeficiente de variação de 0,020. As maiores variações verticais foram observadas nas estações 1, 2 e 8 com desvios padrões de 0,05, 0,048 e 0,03 m/s. Na estação 3, a velocidade verificada no fundo foi 0,02 m/s mais elevada do que a verificada na superfície. O mesmo aconteceu com as estações 8 e 9 com velocidades na superfície de 0,13 e 0,27 m/s, e no fundo de 0,20 e 0,30 m/s, respectivamente.

O eixo principal da corrente em relação ao norte magnético foi de E-W e NE-SW acompanhado a geometria do canal estuarino. Nas estações 0 e 7 foram verificadas correntes inversas com direção predominante de  $103^\circ$  e  $62,6^\circ$ , respectivamente. A estação 6, localizada no mesmo perfil da estação 7 a direção da corrente segue o eixo principal do canal, no entanto, o aumento brusco da profundidade neste ponto pode ter causado a reflexão da corrente. Os perfis 4 e 5, localizados a montante as correntes apresentam a mesma tendência.

Na maré vazante a velocidade variou de 0,08 a 0,85 m/s com valor médio de 0,42 m/s. As maiores velocidades foram observadas nas estações 2, 3 e 4 com valores de 0,85 m/s, 0,59 e 0,60 m/s. Os menores valores foram observados nas

estações 6 (0,08 m/s) e 10 (0,31 m/s). A velocidade média foi 31% maior do que a verificada no período de estiagem devido a contribuição do escoamento superficial, cujo mês da coleta representa 50% de toda a contribuição da drenagem durante o período chuvoso. A variação vertical na coluna d'água apresentou um desvio padrão médio de 0,08 m/s. As maiores variações foram observadas nas estações 4, 8 e 9 com velocidade de fundo superior a de superfície. O desvio padrão para as respectivas estações foi de **0,62, 0,046 e 0,097 m/s**.

A direção predominante em relação ao Norte Magnético é para E-NE. Tendo em vista a redução do nível da água e a exposição dos bancos de areia a corrente na estação 03 sofre uma inversão na direção, o mesmo acontece na estação 07. Na estação 9, a corrente superficial segue a orientação predominante da vazão do rio enquanto a corrente de fundo tendem a escoar estuário acima acompanhando a batimetria de fundo. Entre os perfis 5 e 10 não foi observada a formação de contra-correntes com direção predominante de 300° tendo em vista a ação dos ventos forçando o fluxo para a margem esquerda do estuário.

Na baixa-mar a velocidade variou de 0 a 0,57 m/s com uma média de 0,39 m/s. As maiores velocidades foram observadas nos perfis 01 e 02, com valores máximos na estação 07 (0,63 m/s). Tendo em vista que o fluxo principal é de estuário abaixo (111° NM), com a diminuição do nível da água foi criada uma célula de circulação entre os perfis 03 e 02. A corrente de vazante, com velocidade de 0,63 m/s, ao encontrar o banco de areia exposto sofreu reflexão originando uma contra-corrente com velocidade média de 0,44 m/s. Uma parte desse transporte líquido é forçado pela drenagem a retomar a direção principal de fluxo, e outra é deslocada para o estuário acima. O efeito dessa contra-corrente é observado no perfis 4 e 5 com a deflexão dos vetores de velocidade, forçando o movimento estuário acima. Além do gradiente topográfico do estuário e da densidade que existe nesse período do ano, o vento exerce um papel importante principalmente entre os perfis 03 e 01(Figura 58).

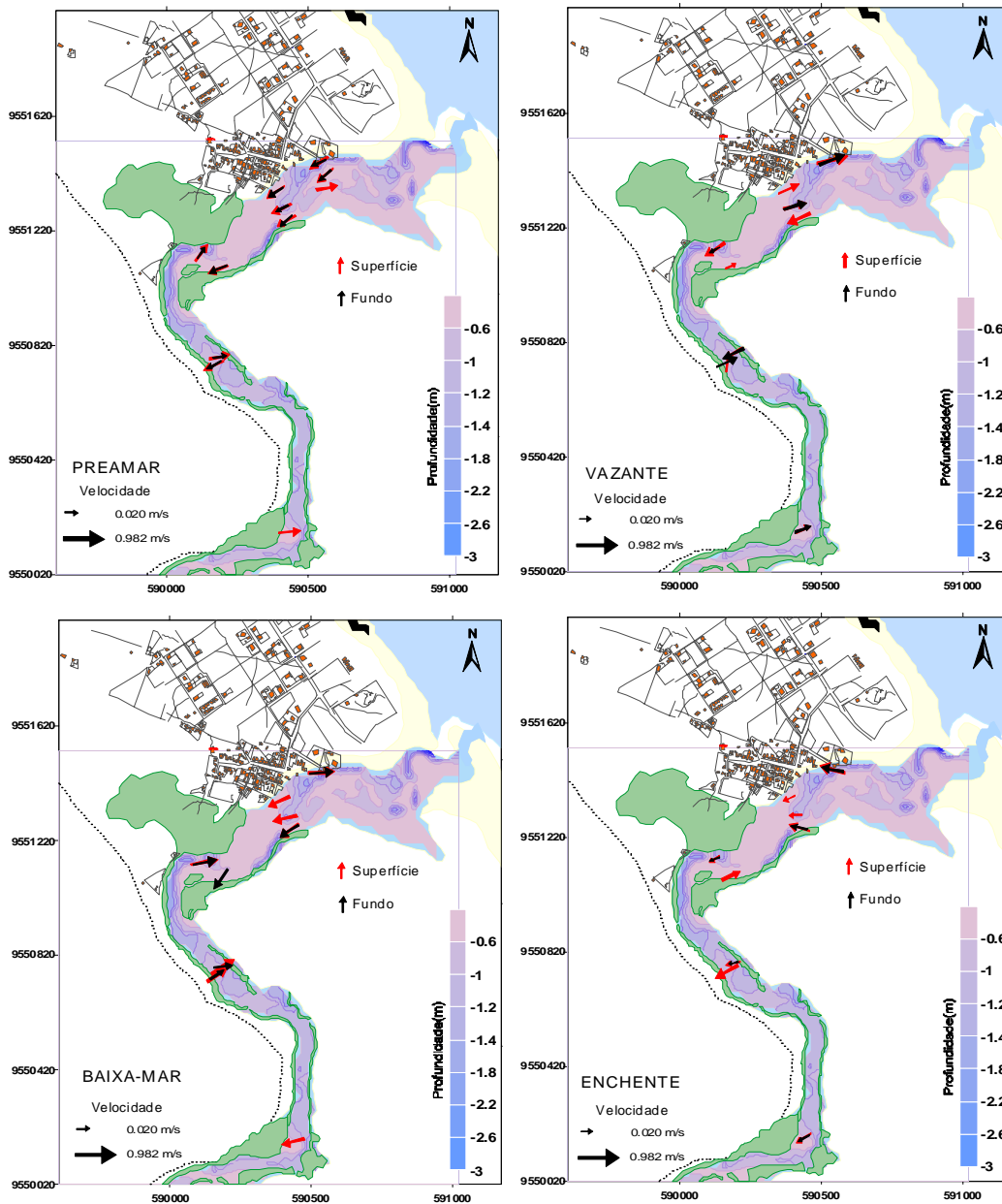


Figura 58. Direção e intensidade das correntes para os estágios de preamar, vazante, baixa-mar e enchente durante a maré de sizígia no mês de abril de 2002 (período chuvoso).

À medida que o canal do estuário se alarga e inicia a laguna, os efeitos dessas contra-correntes não são observados com a mesma intensidade do que nos canais estreitos tendo em vista que a batimetria nessa área é praticamente uniforme. No entanto, no estófo da maré a direção do transporte líquido é semelhante ao comportamento dos ventos na região que neste período sopram do quadrante E-SE e SSE. Outro fato que deve ser considerado é o transporte de massa que ocorre das áreas mais salinas para as menos salinas pelo processo difusivo. Nesse estágio da maré as maiores salinidades foram verificadas no perfil 2 (13,50) enquanto que no perfil a aproximadamente a 2 km do perfil 01 a salinidade média foi de 5,72.

Na maré enchente, a velocidade média da coluna d'água variou de 0,02 a 0,57 m/s com velocidade média de 0,21 m/s. As maiores velocidades foram observadas nas estações 2 e 3 (0,57 m/s e 0,30 m/s). A velocidade apresentou pouca variação na coluna d'água, com um coeficiente de variação de 0,001 m/s. Nas estações 4 e 5 foram verificadas os menores valores de velocidade com média de 0,02 m/s. O eixo principal da direção das correntes em relação ao norte magnético foi de W a WS seguindo o padrão da geometria estuarina. Na estação 6, a corrente superficial foi de E a E-NE se opondo à direção predominante de fluxo. Nesse estágio de maré, entre os perfis 3 e 4 na margem direita, foi observado um fluxo de água doce na direção do mar, contrário ao fluxo de maré enchente onde está localizado o canal estuarino com as maiores profundidades.

A direção predominante das correntes nos estágios de maré enchente e vazante ataca frontalmente as estruturas urbanas instalada em Águas Belas causando erosão pelo solapamento. As pousadas e hotéis colocam entulhos, estacas e sacos com areia na tentativa de conter a erosão (Figura 59). Além disso, nos finais de semanas e feriados o fluxo de banhista é intenso nesse setor e muitos tentam na maré vazante fazer a travessia do canal a nado. No entanto, a velocidade das correntes entre a preamar e a maré vazante tem um acréscimo de 30 % nas marés de sizígia, consistindo em áreas de riscos a acidentes por afogamento principalmente para as pessoas que não conhecem a área, idosos, crianças e pessoas alcoolizadas.

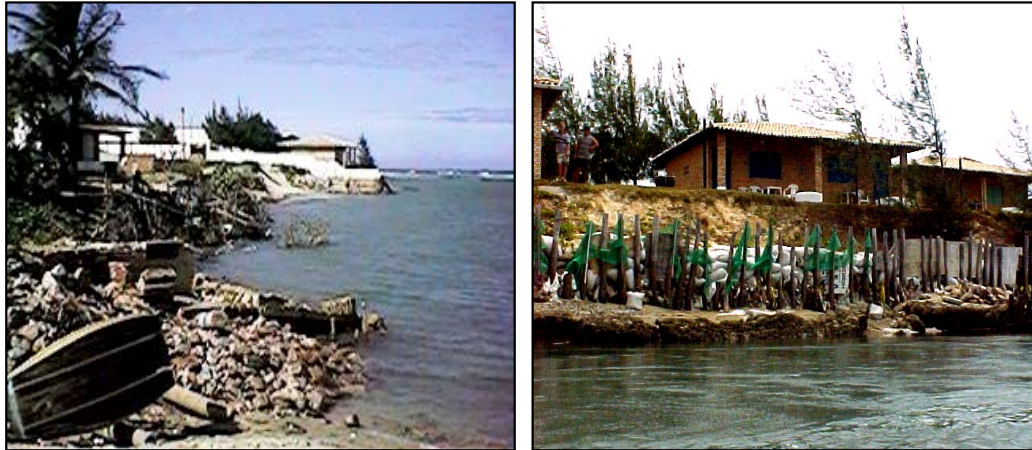


Figura 59. Os proprietários de hotéis e pousadas nas margens do estuário tentam controlar a erosão colocando estacas, telas e sacos com areia.

O estuário do Rio Malcozinhado é um sistema lagunar construído por barras, bem misturado sendo classificado como estuário tipo 1a, segundo a classificação de HANSEN e RATTRAY (1966). Durante a maré de sizígia no período de estiagem o parâmetro de circulação apresentou um valor médio de 1,06 indicando a ausência de circulação gravitacional. No entanto, somente a estação 3 apresentou valor de 0,97 indicando tendências para o transporte gravitacional. O parâmetro de estratificação médio foi de 0,056 classificando o sistema como predominantemente do sub-tipo 1 a -(Figura 60).

No entanto as estações 9, 7 e 4 apresentaram parâmetro de estratificação de 0,157,0,290 e 0,178, respectivamente mostrando uma tendência para o sub-tipo 1 b. Durante o inverno, período de maior descarga do Rio Malcozinhado e Tijuca, o parâmetro de circulação apresentou um valor médio de 1, apresentando tendências à circulação gravitacional nas mesmas estações observadas no período de estiagem. O parâmetro de estratificação para este período, teve valor médio de 0,1 sendo classificado com sub-tipo 1a, mas com tendência a sub-tipo 1b, maior do que a verificada no período de estiagem. O valor de 0,1 foi adotado pelos autores *op.cit* para estabelecer a transição entre os tipos altamente estratificados (tipo b) e fracamente estratificados (tipo a).

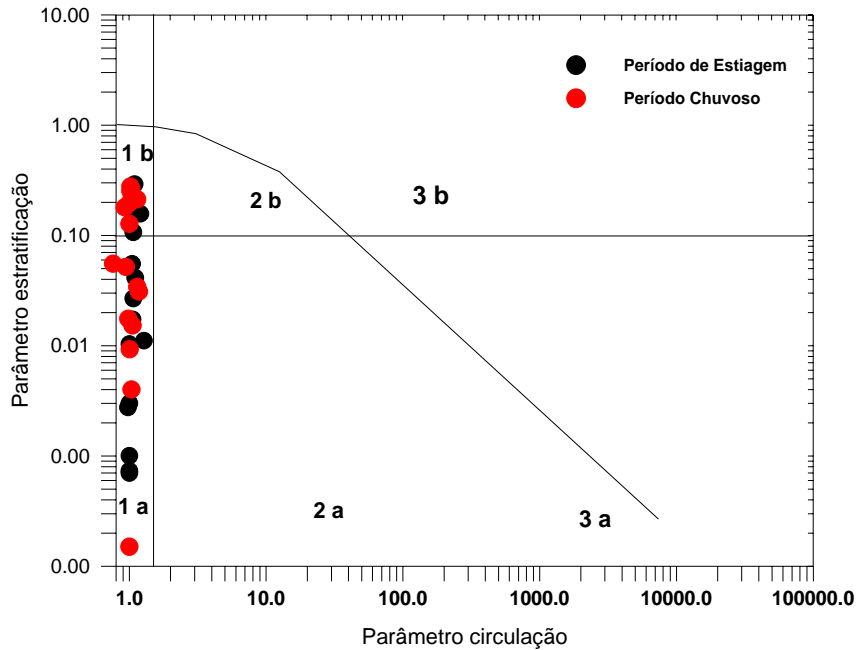


Figura 60. Classificação dos parâmetros de estratificação e circulação de todas as estações ao longo do estuário do Rio Malcozinhado nos períodos de estiagem e chuvoso de acordo com o diagrama de Hansen e Hatray (1966).

A principal fonte para misturar e transportar sal no estuário do Rio Malcozinhado é o processo de difusão turbulenta gerada pelas marés. Nesses casos, as forças que induzem mistura tais como forçante de maré no fundo, vento na superfície e evaporação são superiores àquelas que produzem estratificação (aquecimento superficial, precipitação e advecção diferencial resultante de uma estrutura vertical da velocidade). LIMA (2002) em estudos realizados no sistema estuarino-lagunar do rio Ipojuca em Pernambuco encontraram as mesmas diferenciações sazonais classificando-no como sub-tipo 1 a.

#### 8.2.1. Balanço de água e sal

Para se estimar o balanço de água doce e sal no estuário do rio Malcozinhado foi realizado o cálculo da contribuição pluvial e fluvial para os dias da coleta tendo em vista a ausência de precipitações nos 6 dias que antecederam a mesma no período chuvoso. Além disso, o total precipitado durante a coleta foi de 78 mm, o que representou 14,4% da precipitação total do mês de abril (544 mm). Como foi discutido no capítulo 6, as precipitações na região são torrenciais e má

distribuídas no tempo e espaço e podem em uma escala de tempo reduzido alterar as características de estuários rasos e com estrangulamento da foz, como é o caso do estuário do Rio Malcozinhado.

Na coleta do período de estiagem (setembro de 2001) o total precipitado foi igual a zero e a taxa evaporação ( $Q_e$ ) foi de 5,71 mm/dia o que correspondeu uma perda de água no estuário de  $-2,98 \text{ m}^3/\text{s}$ . Como não foi possível medir a contribuição dos aquíferos, foi assumido valor igual a zero. A inclusão desses valores modificaria o balanço de água significativamente. Nos dias da coleta no período chuvoso a contribuição de água doce no sistema ( $Q_r+Q_p - Q_e+Q_r$ ) foi em média de  $19,26 \text{ m}^3/\text{s}$ . A taxa de evaporação ( $Q_e$ ) para o dia foi de  $-1,38 \text{ m}^3/\text{s}$  e o fluxo resultante ao longo de um ciclo completo da maré foi de  $19,27 \text{ m}^3/\text{s}$ .

A figura 61 apresenta o decréscimo e o aumento exponencial dos valores médios de salinidade durante um ciclo completo de maré nos períodos de estiagem e de inverno. No período de estiagem, o estuário apresentou-se negativo ( $P < E$ ) com inversão da salinidade. No período chuvoso, o estuário foi positivo ( $P > E$ ), com diluição gradual e um recuo da influência da maré salina de 1,97 km (limite considerado: salinidade = 0,12). A área localizada entre os perfis 7 e 11 é forçada por maré com amplitude bastante atenuada fazendo com que a descarga do rio seja predominante e em consequência o estranhamento tende a ser o processo mais ativo com pequenas estratificações verticais. Do ponto 7 em direção a foz o aumento da amplitude de maré faz com que o processo de mistura predominante seja por difusão turbulenta.

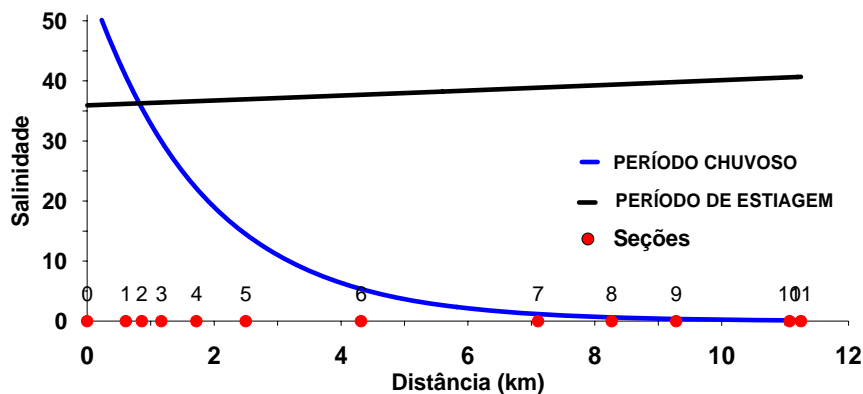


Figura 61. Aumento e decréscimo exponencial dos valores médios da salinidade longitudinal do estuário do Rio Malcozinhado em um ciclo completo de maré de sizígia nos períodos de estiagem e chuvoso (2001/2002).



Para se compreender melhor a inversão da salinidade ao longo do estuário do Rio Malcozinhado foram calculados os volumes exportados e importados de sal durante um ciclo de maré completo no período de estiagem e de chuvas. Na maré de sizígia no mês de setembro de 2001 foi transportado para o estuário cerca de 0,53 toneladas de sais durante a maré enchente. O volume exportado no mesmo ciclo de maré foi de 1,12 toneladas comprovando o efeito da evaporação e estagnação das correntes na laguna.

Durante o período chuvoso o volume de sal importado para o estuário foi de 0,40 toneladas e exportado de 0,426 toneladas de sais, com um desvio padrão de apenas 0,01 toneladas. A variação do volume importado entre o inverno e verão foi de apenas 0,06 tonelada enquanto no volume exportado foi de 0,34 toneladas demonstrando a ação da descarga fluvial na redução da vulnerabilidade ao processo de hipersalinização e oxigenação das águas, elemento imprescindível para o desenvolvimento da biota.

## 9. INFLUÊNCIAS DOS PROCESSOS ESTUARINOS NA MORFODINÂMICA PRAIAL

### 9.1. Considerações iniciais

Os principais impactos ambientais decorrentes da construção de barragens são a diminuição do aporte de sedimentos para a deriva litorânea e a migração de desembocaduras fluviais na direção da corrente longitudinal, gerando áreas de erosão. Para se quantificar os reais impactos em médio prazo da construção do Açude Malcozinhado no ambiente praiial é mister o reconhecimento da realidade atual para se fazer comparações seguras e se estabelecer um plano de monitoramento.

A área sob influência direta do Rio Malcozinhado compreende a faixa de praia de Águas Belas, Barra Nova e Caponga com 14 km de extensão. A faixa de praia situada em Caponga, mereceu atenção especial voltada para os resultados produzidos pelo projeto de recuperação da praia e a implementação de espigões do tipo gabião no ano de 1998 e estudados por PINHEIRO(2000) e PINHEIRO *et al.*,(2001). Em decorrência destes fatos, se fez necessária à avaliação dos dados anteriormente obtidos, comparando-os com extensivos levantamentos de campo ao longo do ano de 2001 e 2002. A identificação e zonação da praia em resposta a ação das marés, caracterização morfodinâmica e evolução das taxas de erosão e deposição em curto prazo foram utilizadas como critérios para atribuição do grau de vulnerabilidade e sugestões de uso e ocupação do solo de forma adequada.

A área foi delimitada em três células de monitoramento que coincidem com as discutidas no item 7.4, do qual foi levada em consideração a variação morfológica da linha de costa, diferentes níveis de ocupação, existência de estruturas de proteção e estruturas de reabilitação como é o caso do núcleo urbano da Praia da Caponga.

## 9.2. Evolução do sistema praial e o surgimento das áreas de riscos

As estruturas urbanas dos distritos litorâneos de Cascavel são totalmente interligadas, totalizando um percentual de ocupação de 83,06% de toda a costa do município. Cerca de 60% correspondem às áreas localizadas entre a foz do Rio Malcozinhado e a praia do Balbino. O distrito de Águas Belas ocuparia 15%, o que permite assinalar que apenas 5% representam as áreas com características naturais preservadas. A praia da Caponga e Águas Belas compreendem o setor de maior adensamento urbano do litoral de Cascavel.

Na década de 80, as grandes propagandas e financiamentos dos loteamentos dos terrenos à beira mar provocaram a terraplanagem das áreas de dunas e de mangues, principalmente nos setores localizados nas imediações do Riacho Caponga Roseira e na faixa de praia propriamente dita. Aliado a isto, ocorreu a utilização desses ambientes como fornecedores de materiais para construção, notadamente o uso de areias costeiras de dunas e dos arenitos de praia na zona litorânea.

A praia de Águas Belas é uma área de bypass de sedimentos para alimentar as áreas a sotamar a ponta da Caponga, no entanto a expansão urbana na direção da foz do Rio Malcozinhado bloqueou este processo. Essas intervenções interferiram negativamente na dinâmica costeira e no balanço sedimentar na praia da Caponga, resultando no avanço destrutivo do mar sobre as ruas, estabelecimentos e residências (PINHEIRO et al., 2001).

Como primeira tentativa de amenizar a erosão costeira foi construído um muro de proteção (sea wall) em frente ao núcleo urbano de Caponga margeando a avenida litorânea, no sentido NW. O muro construído praticamente com um ângulo de 90° com a face de praia não suportou a energia de ataque das ondas, resultando em uma erosão localizada no “pé da obra”, ocasionando a instabilidade da mesma tornando-a ineficaz na proteção da praia. Na década de 90, a urbanização das áreas fornecedoras de sedimentos para a praia resultou em um processo de erosão de grande magnitude, provocando um recuo da linha média de preamar de até 170 m na área de maior adensamento de vias e estruturas urbanas. A ocupação

desordenada de dunas e das zonas de domínio das marés, juntamente com a retirada das rochas do pontal, que protegem a praia, provocaram um acentuado processo erosivo através de mudanças no gradiente da praia, que por sua vez alteraram a forma e a posição da zona de arrebentação e espraçamento.

No final de 1998 foram implantados 6 espigões do tipo gabião cujo principal objetivo era o de não comprometer a alimentação das áreas a sotamar da obra, procurando aprisionar o material ali transportado pelas ondas e pelo vento conformando a praia. Além das estruturas foi realizado um projeto de reestruturação urbana com recuperação e construção de novas vias e investimentos para a revitalização das atividades econômicas vinculadas ao turismo conforme a Resolução N<sup>o</sup>.01/90 da CIRM (Figura 62).



Figura 62. Aspectos evolutivos da praia da Caponga entre os anos de 1993 e 2000. Observar a reconstituição da paisagem através dos gabiões e da alimentação artificial.

Para agilizar o processo de recuperação foram lançados 12.000 m<sup>3</sup> de areia com granulometria variando de média a fina extraída de jazidas dunares (Ceará,1997). A conclusão do projeto, seguida da alimentação artificial, foi no final

de 1998. A partir do primeiro semestre de 1999 vem sendo realizados estudos das variações sazonais da morfologia praial e equilíbrio sedimentar nas células de monitoramento.

### **9.3. Morfodinâmica praial**

O equilíbrio de uma praia depende em primeiro lugar, da possibilidade de se manter invariável o volume sedimentar nela retido. Para garantir essa estabilidade é necessário que as entradas de sedimentos na praia as compensem em volume útil, sem que a erosão se instale de forma irreversível (SHORT, 1999). Desta forma, o perfil transversal de uma praia varia com o ganho ou perda de areia, de acordo com a energia das ondas. Na área estudada o regime de ondas se diferencia significativamente entre verão e inverno, onde a praia desenvolve perfis sazonais típicos de acumulação e erosão, denominados de perfis de verão e inverno.

As ondas de verão, mais suaves movem a areia para as partes mais altas da praia, depositando-as. Na transição para inverno, representado pelas maiores marés e ondas, a areia é retirada das partes altas da praia e transportada para a ante-praia acumulando sob a forma de barras, cuja configuração tende a ser modificada pela atuação dos demais processos costeiros. Este processo funciona de forma semelhante ao que acontece com as oscilações do nível do mar, como visto através da regra de Bruun (SHORT, 1987). A manutenção do estado de erosão e/ou deposição, por um período maior, implica em alterações no balanço sedimentar. Os resultados desse balanço foram agrupados em três células, correlacionando-os com a morfologia e os processos existentes.

#### **9.3.1.Célula 1**

A célula 1 compreende a faixa litorânea entre a praia de Barra Velha e Águas Belas onde foi possível acompanhar a evolução do sistema praial em áreas fora da influência das estruturas de proteção, no entanto sob influência dos processos morfodinâmicos e hidrodinâmicos associados à foz do Rio Malcozinhado.

### 9.3.1.1. Perfil de controle 1: Praia de Águas Belas

A área em que está implantado o ponto de controle nº 1, a noroeste da desembocadura do Rio Malcozinhado, apresenta um perfil com as zonas praias bem definidas, com a estaca de demarcação cravada nos terraços marinhos holocênicos a uma altitude de 5,9 m acima do nível do mar. Este perfil está localizado em um trecho ocupado por casas de veraneio, que mantém uma distância de aproximadamente 50 m do início das construções até a linha de maré mais alta.

O perfil apresenta uma área de  $150\text{m}^2$  e um volume médio de  $444\text{ m}^3/\text{m}$ , com valores máximos registrados de  $584\text{ m}^3/\text{m}$  em fevereiro/00 e mínimo de  $249\text{ m}^3/\text{m}$  em maio/01 (Figura 63). O período entre dezembro/99 e abril/00 foi o de maior acréscimo, o período de maior erosão é entre agosto e outubro para os três anos monitorados. A variação no balanço sedimentar entre 1999 e 2001 foi de  $336\text{ m}^3/\text{m}$ , com oscilações máximas nas taxas de  $-207\text{ m}^3/\text{m}$  e  $158\text{ m}^3/\text{m}$ . Foi calculado o volume de  $584\text{ m}^3/\text{m}$  para o equilíbrio morfológico deste perfil. O aumento da erosão entre agosto de 2001 e outubro de 2001 foi bastante expressivo. O balanço volumétrico entre maio/01 e outubro/01 apresentaram uma certa estabilidade, no entanto, encontra-se 30% abaixo do volume necessário ao equilíbrio morfológico e 9,9% abaixo da média anual.

Esses valores refletem o avanço da cota zero, quebra da ciclicidade, exposição dos pacotes de arenitos de praia e o aumento da inclinação da praia em virtude da erosão e solapamento das escarpas dos terraços. O que se pode concluir é que não está ocorrendo a recuperação do perfil, ou seja, existe processo erosivo instalado, principalmente na faixa de praia. Apesar disso, o nível de riscos nas estruturas instaladas é moderado tendo em vista o espaçamento de aproximadamente 40 m em relação à linha de preamar máxima. Outro fato verificado é a importância do transporte eólico na zona de pós-praia e praia, principalmente pelo suprimento de sedimentos de cordões arenosos localizados à retaguarda, que contribuem no equilíbrio dinâmico do referido perfil.

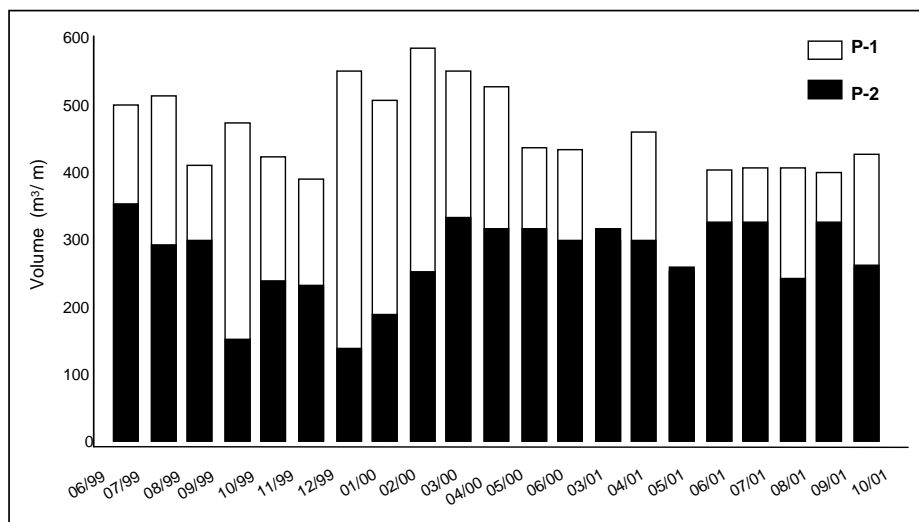


Figura 63. Variação volumétrica dos perfis de praia 1 e 2 nos períodos de junho/1999 - junho/2000 e março/2001 a outubro/2001.

### 9.3.1.2. Perfil de controle 2: Pontal da Caponga

Esse perfil tem a função principal de acompanhar as modificações da morfologia na inflexão da linha de costa e o comportamento hidrodinâmico nas imediações do pontal rochoso. Encontra-se localizado no início do núcleo urbano de Caponga, em uma área abrigada por paredões rochosos que formam a Ponta da Caponga a uma altitude de 4,8 m e com 150 m de extensão, que vai desde o início da urbanização até a linha de rochas de praias.

A zona de pós-praia encontra-se toda ocupada por casas de veraneio, apresentando uma pequena zona de berma, sazonal, com comprimento variando em torno de 6 a 7 m e altura entre 0,60 e 1 m. A dinâmica na movimentação transversal de sedimentos é bastante intensa nessa faixa da costa que tem volume médio de aproximadamente 267 m<sup>3</sup>/m. Os valores máximos registrados foram de 351 m<sup>3</sup>/m em junho/00 e mínimo de 135 m<sup>3</sup>/m em dezembro/99, com um desvio padrão de 58,74 m<sup>3</sup>/m.

Os valores registrados em dezembro/99 correspondem a uma instabilidade acentuada do perfil morfológico, com destruição da berma e ataque das ondas nas estruturas urbanas. No período entre agosto/99 e janeiro/00 houve um pico de erosão invertendo a situação para processo deposicional no período de março a abril de 2000. Em outubro de 2001 o volume do perfil encontrava-se 40% abaixo do valor esperado para o equilíbrio dinâmico e 20 % em relação à média.

Nesse período, além do deslocamento transversal de sedimentos, foi verificado um transporte lateral na faixa de praia que contribuiu para a formação dos bancos na extremidade da ponta da Caponga. Na ante-praia foi verificada a formação de bancos de areias barrados pelas rochas, resultante do fluxo e refluxo das ondas associados aos ciclos das marés. A partir de fevereiro/00 houve uma lenta recuperação da faixa de praia, devido ao deslocamento dos bancos de areia através do retrabalhamento progressivo das ondas nesse período do ano. A variação em volume deslocado entre as maiores taxas de erosão e deposição é de 233 m<sup>3</sup>/m em todo o período monitorado. A declividade do perfil é de 3°, sendo mais acentuada na praia e nas proximidades das estruturas rígidas, aqui consideradas como os muros e as calçadas das casas de veraneio.

Neste quadro de alta susceptibilidade aos impactos da erosão costeira, e a forte dinâmica verificada, o perfil apresenta uma certa estabilidade em relação ao balanço volumétrico. É verificada uma ciclicidade entre os períodos de deposição e erosão, apesar dos valores modais de erosão. A linha de arenitos de praia paralela à linha de costa amortece a energia das ondas incidentes preservando sazonalmente o perfil.

### **9.3.2.Célula 2**

A célula 2 compreende a faixa de praia localizada em frente ao núcleo urbano de Caponga, que vai deste o pontal rochoso até o mercado dos peixes (SE-NW). Nessa célula, a zona de pós-praia encontra-se totalmente ocupada por casas de veraneio e estradas de acesso aos outros setores da praia. A distância entre o início das construções e limite da pós-praia é apenas de 16 metros, separadas por uma avenida construída no processo de recuperação da praia. O monitoramento do



balanço sedimentar entre os anos de 1999 e 2001 encontra-se representado na figura 64.

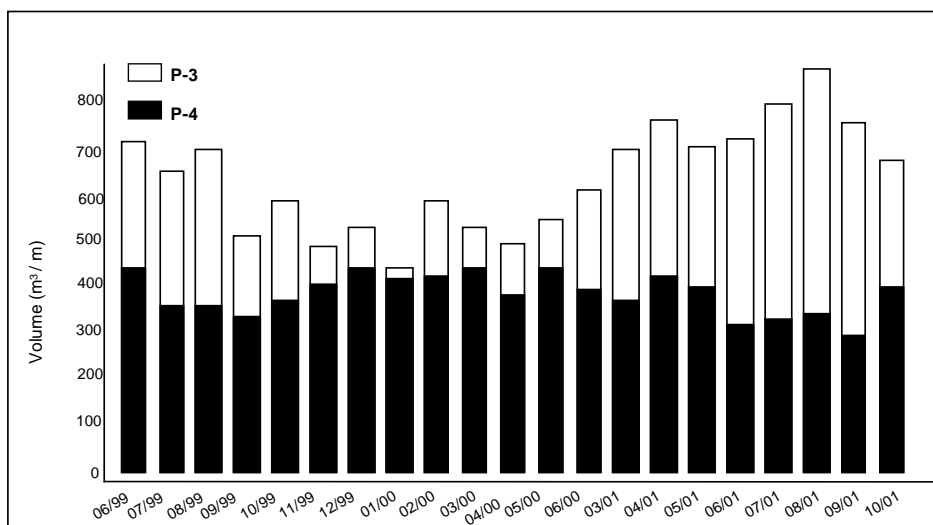


Figura 64. Variação volumétrica dos perfis de praia 3 e 4 nos períodos de junho/1999 - junho/2000 e março/2001 a outubro/2001.

### 9.3.2.1. Perfil de controle 3: Hotel Summer House

O perfil de controle 3 está fixado no antigo muro de proteção, em frente ao Hotel *Summer House*, a uma altitude de 4,8 m e uma extensão média de 220 m. O alinhamento do antigo muro de proteção serviu de orientação para a construção do muro de proteção dos gabiões, sendo nesse ponto construído o gabião de Nº 1, com 60 m de comprimento.

As perdas e ganhos de material apresentaram um caráter cíclico, caracterizando os perfis típicos de erosão e deposição. O volume médio do perfil é de 641 m<sup>3</sup>/m, com valores máximos de 819, m<sup>3</sup>/m em agosto/01 e mínimo de 444 m<sup>3</sup>/m em janeiro/00. A variação no balanço sedimentar foi de 338 m<sup>3</sup>/m com oscilações nas taxas de deslocamento desde -185 m<sup>3</sup>/m (erosão) a 153 m<sup>3</sup>/m (deposição). O período de maior erosão foi registrado entre os meses de setembro/99 e janeiro/00. A partir de maio/00, a deposição teve um aumento linear

até agosto/01, e posteriormente com decréscimos em setembro/01 e outubro/01. Esses decréscimos representam uma diferença de apenas 17% do volume considerado ideal (equilíbrio morfológico), tendo em vista que em outubro/2001 o volume encontra-se 6% acima do volume médio.

A declividade do perfil é de  $2,81^\circ$  conferindo ao mesmo uma característica de estabilidade. As maiores modificações ocorrem na ante-praia em direção às áreas mais profundas, que são marcadas pela existência de extensos bancos arenosos. Pode-se observar que grandes volumes de sedimentos são transportados mensalmente dentro dessa própria zona através do processo de refração e difração de ondas, que é bastante intenso neste trecho que se localiza na inflexão do pontal rochoso.

Além disso, deve ser considerado o transporte de sedimentos pela corrente paralela criada na zona de estirâncio entre os perfis 2 e 3. A análise dos resultados entre os anos de 1999 e 2001 permite concluir que os gabiões atuaram nessa área como elemento imprescindível na estabilização do estirâncio, principalmente nos períodos das maiores amplitudes de marés. A linha de preamar atualmente encontra-se a 60 m do Referencial de Nível local em uma cota de 3,5 m, o que demonstra tendência de progradação.

Para a manutenção e a recuperação mais rápida do perfil, é necessário o controle da ocupação e a retirada das barracas localizadas na pós-praia. Essas estruturas dificultam a mobilização de sedimentos pela deflação eólica na baixa-mar. Para isto há de se levar em conta que o volume calculado de sedimentos para manutenção do equilíbrio praiado foi  $719 \text{ m}^3/\text{m}$ .

#### **9.3.2.2. Perfil de controle 4: Mercado dos Peixes**

O perfil morfodinâmico 4 está localizado em uma área fortemente ocupada do distrito de Caponga a uma altitude de 4,9 m acima do nível médio do mar, e uma extensão de 150 m. O perfil encontra-se fixado em frente ao Mercado dos Peixes, em um poste da rede elétrica no início da Avenida Beira-Mar, onde pode ser verificada a ocupação total da zona de pós-praia.

A função desse perfil é controlar as variações da morfologia e volume no trecho localizado entre os espigões 04 e 05 que recebem a influência direta das ondas difratadas na ponta da Caponga, e onde os processos erosivos são mais acentuados. O volume médio do perfil é de  $388 \text{ m}^3/\text{m}$ , com variações máximas e mínimas de  $446 \text{ m}^3/\text{m}$  e  $296 \text{ m}^3/\text{m}$ , respectivamente, sendo que o volume máximo atingido em março/00 foi responsável pelo recobrimento total da manta e dos espigões. A variação média no balanço sedimentar foi de  $149 \text{ m}^3/\text{m}$  ao longo do período monitorado, com oscilações nas taxas de deslocamento de  $-81 \text{ m}^3/\text{m}$  (erosão) e  $106 \text{ m}^3/\text{m}$  (deposição).

O comportamento da morfologia e oscilações nas taxas foram proporcionais às variações sazonais dos regimes de pluviometria, ventos e de energia das ondas. Os períodos de maior deposição corresponderam aos meses de dezembro/99 a maio/00 e erosão de julho/99 a novembro/99. Em outubro/2001, o perfil encontra-se 10% abaixo do volume ideal e 3% acima do valor médio anual. O volume ideal calculado para o equilíbrio dinâmico neste perfil foi de  $446 \text{ m}^3/\text{m}$ . A declividade média do perfil é de  $4^\circ$ , com modificações mais significativas nas zonas de praia e antepraia (Figura 65).

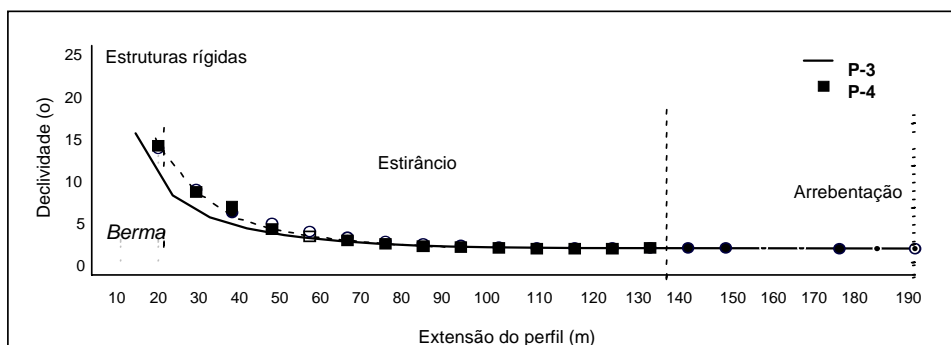


Figura 65. Declividade dos perfis de praia 3 e 4.

Este perfil apresenta uma forte susceptibilidade à retomada dos processos erosivos, principalmente por localizar-se em um trecho da linha de costa onde é verificada a entrada de ondas com ângulos de até  $50^\circ$  em relação à face de praia, resultantes da refração produzidas pelos bancos de areia. Além disso, essa

área recebe pouca contribuição eólica, devido às áreas fornecedoras estarem completamente estabilizadas.

Considerando todas essas observações, pode-se concluir que os gabiões estão sendo imprescindíveis na manutenção do equilíbrio praias e no potencial de balneabilidade da praia, tendo em vista a acumulação de sedimentos em um quadro onde os parâmetros de hidrodinâmica verificados ao longo do ano, imprimem tendências erosivas nos perfis de praia.

### **9.3.3. Célula 3**

A célula 3 compreende a faixa costeira localizada a sotamar das estruturas de proteção, abrangendo trechos intercalados com a zona de pós-praia totalmente ocupada e outros com circulação normal. Os pontos de monitoramento localizam-se no extremo noroeste da área estudada, apresentando um comprimento de 160 m. A função dos perfis 5 e 6 é controlar as variações da morfologia das praias localizadas à sotamar das estruturas, e verificar se houve alguma influência dos gabiões na erosão e/ou deposição dessas áreas.

#### **9.3.3.1. Perfil de Controle 5: Riacho Caponga Roseira**

O perfil 5 encontra-se plotado nas proximidades da foz do Riacho Caponga Roseira, em frente ao Resort Village Barra Mar, a uma altitude de 4,24 m acima do nível do mar. O volume médio é de 369 m<sup>3</sup>/m com variações máximas de 539 m<sup>3</sup>/m em maio/00 e mínimo de 268 m<sup>3</sup>/m em outubro/99 (Figura 66). A zona de pós-praia encontra-se toda ocupada por casas de veraneio, apresentando uma pequena zona de berma, sazonal, com comprimento variando em torno de 4 a 6 m. A movimentação transversal de sedimentos é bastante intensa nessa faixa da costa que tem volume médio de aproximadamente 369 m<sup>3</sup>/m. Os valores máximos registrados foram de 539 m<sup>3</sup>/m em maio/01 e mínimo de 268 m<sup>3</sup>/m em outubro/99, com um desvio padrão de 15 m<sup>3</sup>/m. Os valores registrados em outubro/99 correspondem a uma instabilidade acentuada do perfil morfológico, com destruição da berma e ataque das ondas nas estruturas urbanas.

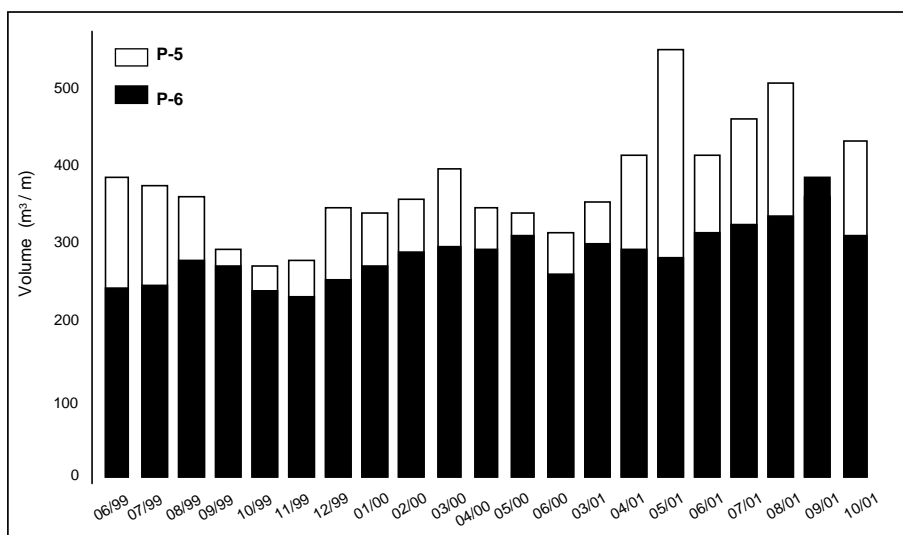


Figura 66. Variação volumétrica dos perfis de praia 5 e 6 nos períodos de junho/1999 - junho/2000 e março/2001 a outubro/2001.

O volume de sedimentos necessário para o equilíbrio dinâmico deste perfil foi de 569 m<sup>3</sup>/m. As médias volumétricas apresentam uma ciclicidade em resposta às variações climáticas sazonais, sendo que o período de agosto a novembro é típico de erosão e de fevereiro a maio, deposição. Em outubro/2000 o volume do perfil encontra-se 20% abaixo do valor esperado para o equilíbrio dinâmico e 15% acima da média.

Nesse período, além do deslocamento transversal dos sedimentos, é verificado um transporte lateral na praia que contribui na formação de cordões arenosos e aumento da cota da mesma. Desde abril/01, o volume do perfil submarino tem um crescimento linear bem maior do que o perfil subaéreo, o que indica a permanência prolongada dos bancos arenosos na ante-praia. A existência dessas feições faz parte da adaptação do perfil às variações sazonais da energia das ondas. Esse processo é cíclico, e o normal seria o retorno das areias para zona de praia em condições de energia baixa, verificada no primeiro semestre do ano, no entanto, o processo inverso resulta em erosões localizadas em virtude da refração das ondas incidentes.

Além disso, a ocupação intensa da zona de pós-praia ao longo do riacho Caponga Roseira, contribuem no surgimento de áreas de riscos e de alta vulnerabilidade à erosão. As descargas fluviais tendem a manter a desembocadura aberta, enquanto o regime de ondas incidente tende a manter a praia conformada com o fechamento da barra. O resultado deste embate de atividades, leva à migração da embocadura, no sentido da corrente longitudinal e do transporte litorâneo dominante.

Neste caso, de Caponga, a migração se dá para oeste, criando problemas de estabilidade para as edificações ali assentadas. A maior vulnerabilidade das construções instaladas neste segmento de praia, à sotamar da embocadura do Caponga Roseira se fazem sentir nas marés de sizígia, ocasião em que o regime de ondas passa a incidir diretamente sobre as mesmas. Esta situação se torna ainda mais complicada, quando o processo de marés de sizígia coincide com os meses entre novembro e fevereiro, época normal de atividade dos regimes de onda do tipo *swell*. Além disso, a contribuição eólica para a estabilização da barra é dificultada pela presença de um hotel construído na pós-praia que funciona como uma barreira de sedimentos. O resultado disto é a formação de dunas que invadem esse estabelecimento e as estradas circunvizinhas. A área de atuação dos processos erosivos é expandida conforme a movimentação do canal que corta a praia, não havendo, portanto, indícios da influência dos gabiões nesse processo.

A erosão se estende em toda a área de influência do canal, podendo estar relacionado com a destruição de muros e calçadas dessas áreas (Figura 67-a). Vale ressaltar como fato característico dessa célula, o início da urbanização na linha de preamar, que na época das maiores marés são atacadas pelas ondas (Figura 67-b). Nesse setor, os proprietários das casas de veraneio estão colocando barreiras de proteção com material britado.

Outro fato verificado é o trabalho das retroescavadeiras fechando e/ou modificando a barra do riacho Caponga Roseira. Esse procedimento é muito arriscado, tendo em vista que os operadores, sem nenhuma recomendação técnica, remobilizam o material da pós-praia de forma aleatória, criando áreas de erosão localizada que danificam as estruturas nos períodos das maiores marés.

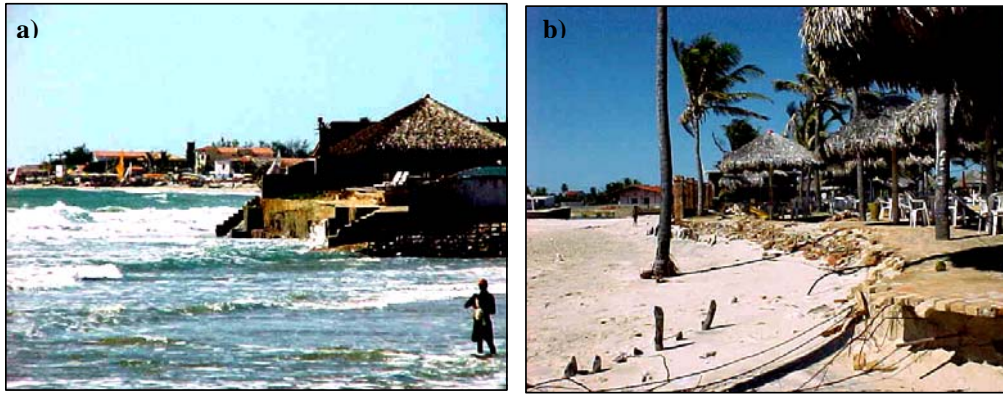


Figura 67. **(a)** Urbanizações instaladas na faixa de praia onde nas marés de sizígia são atacadas pelas ondas (agosto/01). **(b)** Erosões resultantes da migração lateral do riacho Caponga Roseira (agosto/01).

### 9.3.3.2. Perfil de controle 6: Limite entre Caponga e Praia do Balbino

O perfil 6 encontra-se fixado a uma cota de 4,6 m acima do nível do mar. Este ponto está zoneado em dunas frontais, bermas sazonais, pós-praia, praia e ante-praia, porém, na realização do perfil morfodinâmico foram consideradas as três últimas feições.

A variação morfológica desse perfil representa de forma bem clara as variações sazonais características desse ambiente, mas a partir de março/01 apresentou um crescimento linear da média volumétrica. O volume médio é de 282 m<sup>3</sup>/m, com máximas de 379 m<sup>3</sup>/m registradas em setembro/01 e mínimas de 228 m<sup>3</sup>/m em novembro/99. Em outubro de 2001, o perfil encontrava-se 18,23% do volume esperado e 8% acima da média anual.

O aumento do declive da zona de estirâncio faz com que os processos hidrodinâmicos sejam semelhantes aos do perfil 5. Os valores máximos de deslocamento de sedimentos por metro linear foram de 74 m<sup>3</sup>/m (erosão) e 124 m<sup>3</sup>/m para deposição. O declive médio anual do estirâncio é de 4°. A zona de ante-praia é marcada pela existência de bancos arenosos submersos.

Do ponto de vista hidrodinâmico, esse setor apresenta-se comprometido, principalmente a zona praial, com exumação de material argiloso e tronco de vegetação de mangue. O volume de sedimentos necessário ao equilíbrio dinâmico neste trecho de praia foi de 379 m<sup>3</sup>/m. Os impactos das erosões localizadas resultam da ocupação da zona de pós-praia e que hoje estão sob influência direta das marés, além do prolongamento da foz do Riacho Caponga Roseira (Figura 68). No entanto, é de necessidade imperiosa a proibição de construções sobre as áreas que ainda apresentam cordões arenosos, entre o Hotel Caponga Village Barra Mar até a praia do Balbino.



Figura 68. Ataque frontal das ondas na faixa de praia entre a foz do Riacho Caponga Roseira e a praia do Balbino (agosto/01).

#### **9.4. Estágios morfodinâmicos praias e sua relação com a vulnerabilidade à erosão costeira**

Os resultados obtidos levaram à discussão do comportamento dos perfis em três estágios: um período inicial de erosão de agosto a dezembro, seguido de um período de flutuações entre janeiro e abril; e um período de recuperação iniciando em maio. Considerando que a distribuição das alturas das ondas é cíclica, a



morfologia da praia respondeu a estas variações cíclicas através de dois perfis básicos caracterizados a seguir:

- Perfis de erosão que são verificados entre os meses de agosto a dezembro, cuja configuração apresenta erosão da parte interna, com destruição de bermas e recuo da linha de praia, de acordo com aproximações da cota zero (DHN). O material erodido é transportado para as áreas mais internas na forma de barras arenosas. Grande parte deste material retorna à praia e outra é carregada para as isóbatas superiores a 3 m.

- Perfis de assoreamento que são desenvolvidos durante a ação das ondas de baixa energia, constituindo um processo inverso ao anterior. Predomina o transporte na face de praia, onde o material erodido é depositado na forma de barras arenosas submersas que retornam ao perfil reconstituindo-o e provocando o avanço do mesmo. Neste período a contribuição eólica é bastante importante para a remobilização da areia no estirâncio e na formação dos cordões litorâneos na pós-praia como pode ser observado no perfil 1.

A integração dos dados de hidrodinâmica, sedimentologia e perfis de praia possibilitaram o enquadramento da área nos estágios de morfodinâmica praias propostos por WRIGHT e SHORT (1984) e SHORT (1999). Para a avaliação dos estágios morfodinâmicos no período de reabilitação foram utilizados os valores mais representativos para aplicação no modelo adimensional do parâmetro Dean (1973) expresso pela seguinte equação:

$$\Omega = (H_b/W_s)T$$

onde,  $\Omega$  = parâmetro de Dean;  $H_b$  = altura da onda na arrebentação (m);  $W_s$  = velocidade de sedimentação das partículas em suspensão (m/s);  $T$  = período da onda (s). Este parâmetro indica a tendência de deslocamento de um grão colocado em suspensão pela energia da onda. Os valores de velocidade de queda do grão ( $W_s$  m/s) foram obtidos na tabela proposta por RAUDKIVI (1990).

Considerando que o clima de ondas e as características sedimentológicas apresentaram poucas variações, observa-se o predomínio dos estágios intermediários, com a Omega mais elevada na maioria do ano, seguida pelo estágio dissipativo. Esses valores demonstram uma condição de estabilidade morfológica com entradas e retiradas de sedimentos controladas e correspondentes as variações cíclicas das ondas.

Na plotagem dos dados não foram observados valores de Omega ( $\Omega$ ) representando os estágios morfológicos refletivos. Apesar dos percentuais moderados dos estágios morfológicos intermediários com características refletivas, observou-se uma tendência de crescimento para todos os perfis, isto não significa que toda a faixa de praia esteja com processos erosivos instalados, mas que, apesar do gabiões estarem mantendo o equilíbrio morfodinâmico, a área de influência direta apresenta uma alta susceptibilidade à retomada da erosão (Tabela 10).

Tabela 10. Relação de equilíbrio entre os estados morfodinâmicos da praia e a porcentagem de cada estado para os dados da praia da Caponga.

Estado		Desvio-padrão	% casos	No. Dias
Refletivos (R)	<1,50	-	0	0
Terraço de baixa-mar (TBM)	2,40	0,19	2,27	8
Barra transversal (BT)	3,15	0,64	13,63	49
Barra e praia em cúspide (BPC)	3,50	0,76	31,81	117
Barra e calha longitudinal (BCL)	4,70	0,93	47,72	174
Dissipativa (D)	5,50	-	4,54	17

Essa susceptibilidade é criada pela limitação da circulação dos sedimentos que entram no sistema praiial, devido à estabilização das zonas de pós-praia pelas urbanizações, o que dificulta a adaptação do perfil, principalmente nos períodos das grandes amplitudes de marés. Como conclusão, observa-se que apesar de não contar com uma grande frequência de observações de campo, na ordem de dias, o intervalo de observações consideradas apresenta-se suficiente e compatível com as análises, haja vista a constância das condições climáticas. Pela associação dos dados de variação de volume dos perfis e clima de ondas foi possível observar uma boa estimativa dos estágios morfológicos, o que permite

concluir que o parâmetro Omega se enquadra bem nas condições observadas na área.

#### **9.4.1. Grau de vulnerabilidade à erosão costeira da área de influência do estuário do Rio Malcozinhado**

A vulnerabilidade à erosão indica a susceptibilidade de um segmento de praia passar a ser uma área de risco geológico. Os critérios usados para definir o grau de vulnerabilidade são: a) características sedimentológicas e morfológicas ; b) densidade populacional c) presença de estruturas de proteção e variação anual da extensão do perfil de praia.

O grau de vulnerabilidade para a área em estudo foi definido pelos seguintes critérios: (1<sup>o</sup>) alto: Ausência de pós-praia, faixa de praia reduzida e inclinada, perfis morfodinâmicos variando de intermediário a reflectivos, exutórios de drenagens costeiras na faixa de praia, percentual de ocupação variando de 60 a 100% e forte presença de estruturas de proteção; (2<sup>o</sup>) médio: A faixa de praia apresenta uma frágil estabilidade, pós-praia reduzida e com obras de fixação, perfis morfodinâmicos predominantemente intermediários e percentual de ocupação variando de 30 a 60% e (3<sup>o</sup>.) baixo: faixa de praia com pós-praia e estirâncio bem desenvolvido, proteção natural à erosão, ausência de obras de contenção, ausência de riachos desaguardo na praia e baixa densidade populacional. A área em estudo apresentou os três graus de vulnerabilidade distribuídos nas células de monitoramento da seguinte forma (Figura 69):

Célula 1 – (Setor I) – Caracteriza-se pela presença de rochas de praia, que representam verdadeiros anteparos naturais protegendo a linha de costa, em toda a sua extensão. Apresenta uma área de intensa deflação eólica, com a livre circulação de sedimentos entre a praia e sistema de dunas locais e cordões arenosos da pós-praia. A disponibilidade de sedimentos e os processos hidrodinâmicos favorecem a formação de *spits* arenosos e, por conseguinte a migração lateral do rio Malcozinhado. A ausência de urbanização confere a este setor o grau de vulnerabilidade 3.

Célula 1 – (Setor II) – Caracteriza-se pela presença contínua das rochas de praia na zona de praia, protegendo-a da ação erosiva das ondas. Neste ponto ocorre a estabilização das antigas zonas de deflação eólica e de terraços marinhos pela ocupação das casas de veraneio. A existência das rochas e de uma pequena zona de pós-praia confere a este setor o grau de vulnerabilidade 2.

Célula 2 – Este trecho corresponde à área de influência direta dos espigões, com um alto adensamento urbano. As ondas na maré alta arrebentavam na primeira linha de urbanizações e que hoje se encontram em fase de reabilitação. Esta célula apresenta uma alta vulnerabilidade ao processo de erosão costeira (vulnerabilidade 1).

Célula 3 – Ao longo de seus 1,5 km de extensão, apresenta trechos intercalados com forte e moderada ocupação da zona de pós-praia. A sua faixa de praia tem em média 150 m de extensão com considerável estoque de sedimentos na antepraia na forma de barras arenosas submersas. As maiores variações observadas são decorrentes da abertura da barra do riacho nos períodos das maiores precipitações e das mudanças nos padrões de arrebentação das ondas nas imediações do cais pesqueiro, gerando uma zona de sombra. Esta célula apresenta, pelo conjunto das suas variáveis ambientais, grau de vulnerabilidade 1.

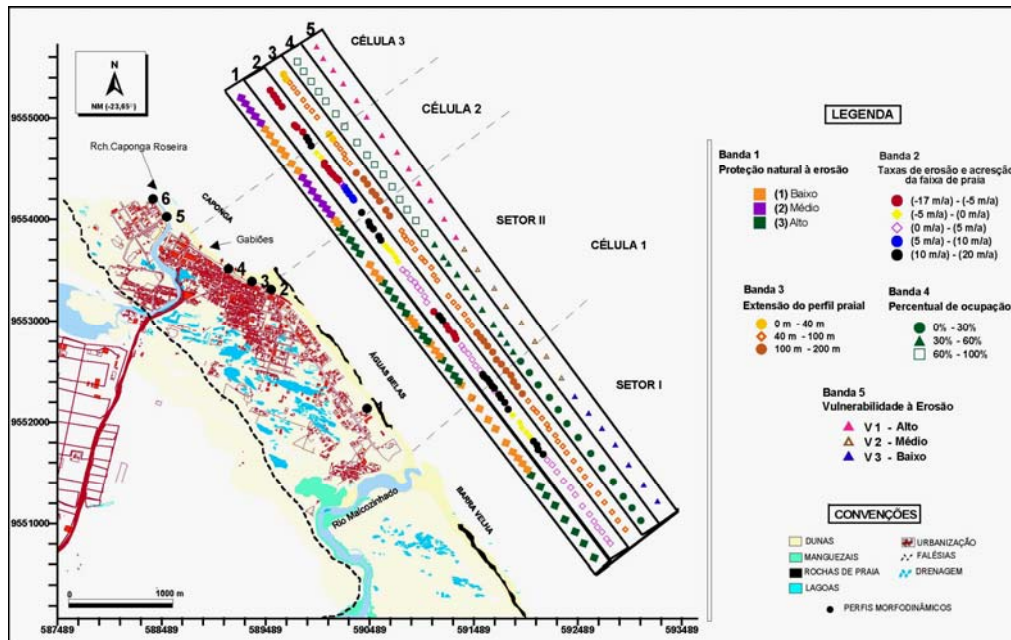


Figura 69. Diagnóstico do grau de vulnerabilidade à erosão costeira da faixa de praia entre Caponga e Barra Velha, Cascavel-CE.

As observações feitas ao longo do período deste estudo no que diz respeito à declividade de praia, a dissipação das ondas, movimento de fluxo e refluxo, variação das marés, valores de sedimentos na parte sub-área da praia e na região de ante-praia e adjacências submersas, levaram à conclusão de que os volumes de sedimentos a serem mantidos no prisma praial de cada perfil observado são os relacionados a seguir:

- a) Na célula 1, os perfis 1 e 2 apresentaram respectivamente os valores de 584 m<sup>3</sup>/m e 351 m<sup>3</sup>/m.
- b) Na célula 2, os perfis 3 e 4 apresentaram valores respectivos de 819 m<sup>3</sup>/m e 446 m<sup>3</sup>/m.
- c) Na célula 3, local da ação de expansão de foz do Riacho Caponga Roseira. Reserva em época de cheia, os volumes aquilatados para o perfil 5 foi de 569 m<sup>3</sup>/m e para o perfil 6 foi de 379 m<sup>3</sup>/m.

Recomenda-se, portanto, que antes da implantação de qualquer obra de engenharia civil, exploração de jazidas de agregados industriais e outros tipos de projetos de desenvolvimento, ou mesmo de implantação dos já existentes, sejam observados os valores acima mencionados.

O Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro, constituído pela Lei 7661 de 16/05/88, cujos detalhamentos e operacionalização foram objeto da Resolução Nº 01/90 da Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (CIRM) de 21/11/90, expressa o compromisso do Governo Brasileiro, em todas as suas instâncias, com o desenvolvimento sustentável em sua Zona Costeira, considerada como patrimônio nacional, tendo como princípios fundamentais:

*“[...] 2.10 - A preservação, conservação e controle de áreas que sejam representativas dos ecossistemas da Zona Costeira, com recuperação e reabilitação das áreas degradadas ou descaracterizadas[...]. As estruturas do tipo de gabião foi eficiente na minimização da degradação ambiental decorrente da erosão costeira, dando sustentabilidade ao projeto de reestruturação urbana da orla.*

*“[...] A população terá livre acesso a praia regenerada, bem como a cidade ganhará novos atrativos na paisagem litorânea, ressaltando que a área recuperada deverá ser utilizada apenas para exploração do lazer, devendo ser expressamente proibida a construção de barracas, tendas e quiosques na faixa a recuperada [...]”.* Mesmo com a recomendação do RIMA, as barracas de praia não foram retiradas prejudicando a movimentação de sedimentos pela deflação eólica. Na maré baixa, os usuários da praia destroem as estruturas para a retirada do material britado e fazem churrascos em cima das estruturas que tem um revestimento de polietileno, diminuindo assim, a proteção à oxidação. Desde a implantação dos gabiões, o trânsito de bugres, que é muito intenso na área, não foi impedido ou devidamente fiscalizado. Por isso, é necessária uma atuação mais eficaz da Secretaria de Meio Ambiente do Município de Cascavel.

*“[...]2.11. A aplicação do Princípio de Precaução tal como definido na Agenda 21, adotando-se medidas eficazes para impedir ou minimizar a degradação do meio ambiente, sempre que houver perigo de dano grave ou irreversível, mesmo na falta de dados científicos completos e atualizado[...]”.* Os licenciamentos de construções nas áreas de alto risco são existentes e a manutenção das estruturas de proteção é deficiente por parte das instituições responsáveis. O tempo de vistoria é muito longo colocando em risco a estabilidade da praia (Figura 70).



Figura 70. A ação erosiva das ondas e a falta de manutenção foram responsáveis pela perda da funcionalidade do espigão Nº 4 aumentando a erosão na célula 2.

Como pode ser observada a alta vulnerabilidade a retomada dos processos erosivos na praia da Caponga a curto e médio prazos independe da diminuição ou não do aporte de sedimentos do Rio Malcozinhado e outros processos associados. No entanto, o mesmo pode incrementar sendo imprescindíveis a execução dos seguintes estudos sistemáticos:

-Monitoramento sistemático da variação sazonal dos perfis morfodinâmicos e sedimentológicos da praia para que se acompanhe as variações no transporte transversal de sedimentos. Além dos 6 pontos de monitoramento deverão ser acrescentados 2 pontos na faixa de praia localizada a direita da foz e 4 entre os gabiões;

-Estimar com precisão a taxa de transporte eólico na margem direita do rio e na faixa de praia da Caponga tendo em vista a existência de áreas de assoreamento;

-Levantamentos com equipamentos de precisão do comportamento das ondas e correntes na foz e ao longo do litoral para que se possa estimar com segurança modificações no transporte longitudinal de sedimentos;

-Acompanhamento da morfodinâmica sazonal da foz de rios e riachos através de levantamentos batimétricos e sensoriamento remoto de imagens de satélite de alta resolução (IKONOS e/ou SPOT) e fotografias de 35 mm. Essas informações inseridas no Sistema de Informações Geográficas permitem a elaboração de cenários com as diversas possibilidades de migração da foz na direção das praias adjacentes. Lançando mão das informações do comportamento morfodinâmico e hidrodinâmico e o fluxo de banhista das praias estudadas foram identificadas às áreas de riscos sazonais e as potencialidades ao uso dessas praias (Figura 71).



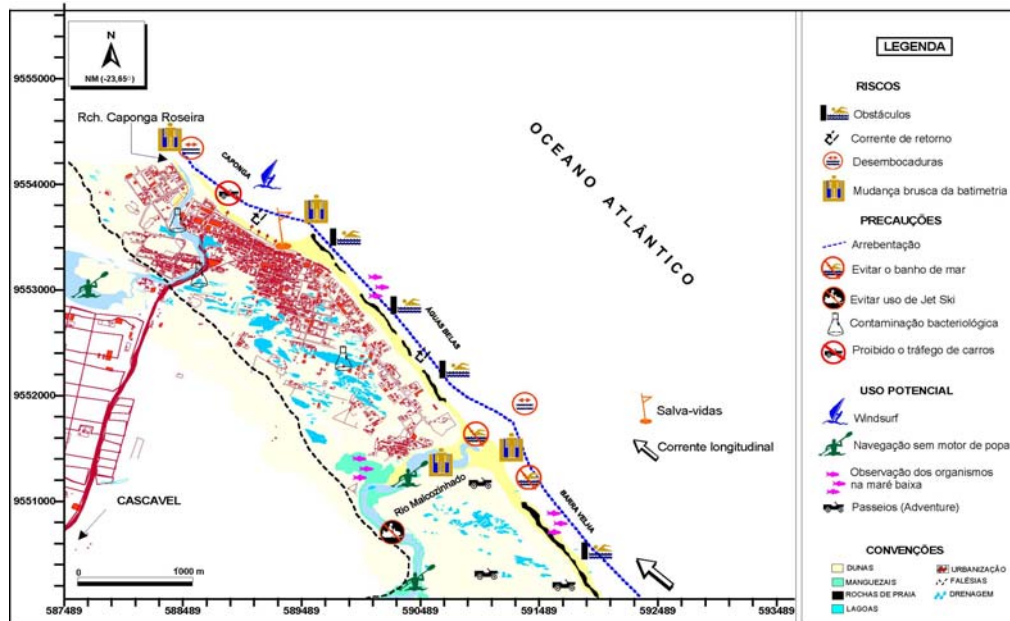


Figura 71. Riscos e potencialidades no uso das praias de Barra

## **10. ZONEAMENTO GEOAMBIENTAL E IMPLICAÇÕES PARA A GESTÃO DA ÁREA DE INFLUÊNCIA DIRETA DO AMBIENTE ESTUARINO**

### **10.1. Zoneamento Geoambiental**

O zoneamento consiste na identificação espacial e lógica do estado atual dos sistemas ambientais físicos e socioeconômicos e suas implicações para a sustentabilidade e vulnerabilidade ambiental. Na área estudada o zoneamento foi aplicado para se traçar um cenário das modificações espaciais e dinâmicas na área de influência direta do estuário considerando a implantação do reservatório e as demandas impostas pelos modelos desenvolvimentistas territoriais (expansão urbana e agrícola, turismo, mineração, carcinicultura e/ou piscicultura).

No caso do estuário do rio Malcozinhado a sua área de influência direta está limitada às unidades a jusante do reservatório e zona costeira adjacente. As áreas a montante, estariam relacionadas às de influência indireta tendo em vista a artificialização do leito do rio. Ou seja, os impactos a montante, como aumento do desmatamento, implantação de indústrias, expansão urbana causam influência direta no reservatório e indireta no estuário. A área de influência direta é aquela onde não ocorre interferência nos fluxos de matéria e energia

Os limites das categorias de sustentabilidade ambientais aplicados provêm das análises e da avaliação das propriedades dos fatores físicos, biológicos e socioeconômicos, que condicionam as potencialidades e limitações, possibilitando a percepção das fragilidades potenciais e das tendências de mudanças ambientais. Esse conhecimento envolve fatores de natureza diversa que põem em risco a capacidade de sustentação dos ecossistemas (equilíbrio dinâmico) adquirida no decurso da formação e evolução. O quadro 9 apresenta as categorias de sustentabilidade adaptadas e aplicadas por SOUZA(2002) para a zona Costeira do Estado do Ceará.

Quadro 9. Categorias de sustentabilidade e características físico-ambientais dominantes.

CATEGORIAS DE SUSTENTABILIDADE	CARACTERÍSTICAS FÍSICO-AMBIENTAIS PREDOMINANTE
Sustentabilidade muito baixa	Áreas em que a capacidade produtiva dos recursos naturais é mínima e os efeitos da degradação ambiental adquirem características praticamente irreversíveis.
Sustentabilidade baixa	Áreas com sérios problemas quanto à capacidade produtiva dos recursos naturais renováveis. Acentuada dinâmica onde a capacidade produtiva é restabelecida com o auxílio de reabilitação artificial e técnicas complexa seguido de manejo controlado.
Sustentabilidade moderada	Áreas com razoável produtividade dos recursos naturais em que se incluem: condições satisfatórias quanto ao potencial hídrico, disponibilidade de jazidas sedimentares e reservas paisagísticas.
Sustentabilidade alta	Área dotada de boa capacidade produtiva dos recursos naturais e com limitações que podem ser mitigadas com aplicação de tecnologias simples.

Fonte: SOUZA (2002)

Os ambientes estáveis são aqueles que possuem uma alta capacidade de resistir ou responder às contingências sem alterar substancialmente sua estrutura e seus balanços de material ou energia (TRICART, 1977). O grau de vulnerabilidade representa a perda da estabilidade ambiental a partir de interferência e/ou processos geogênicos e/ou antrópicos. As limitações de uso produtivo, além das restrições ligadas foram identificadas com base na vulnerabilidade e nas deficiências do potencial produtivo dos recursos naturais e do estado de conservação da natureza em função dos impactos produzidos pelo uso da terra.

As potencialidades são tratadas como atividades que podem ser sustentavelmente praticadas ou como atributos favoravelmente positivos dos recursos naturais. As limitações ao uso produtivo incluíram as restrições legais e a vulnerabilidade ambiental. No Quadro 10 estão organizadas as categorias de estabilidade e vulnerabilidade estabelecidas a partir das características naturais dominantes da área de influência direta do Estuário do Rio Malcozinhado.

Quadro 10. Classificação Ecodinâmica da área

CATEGORIAS DOS AMBIENTES	CARACTERÍSTICAS NATURAIS DOMINANTES	VULNERABILIDADE AMBIENTAL
1- Ambientes estáveis	Presença de solos; cobertura vegetal pioneira e com alta proteção a erosão pluvial; margens estabilizadas; balanço hídrico positivo; balanço sedimentar equilibrado; perfis de praia dissipativos; ocupação ordenada com densidade urbana inferior a 30%; aporte constante de água doce no sistema estuarino; limites das Áreas de Preservação Permanentes (APP) respeitados; efeito do espigão hidráulico maior do que a deriva litorânea.	Nula ou muito baixa
2- Medianamente estáveis	Interferência permanente na relação pedogênese/morfogênese com tendência a instabilidade pela remoção da cobertura vegetal nas margens fluviais; balanço hídrico equilibrado; perfis de praias variando sazonalmente de intermediários a dissipativos; ocupação moderada da pós-praia e APP com densidade variando de 30 a 60%, variações horizontais da salinidade e circulação controlada pela descarga fluvial e marés.	Moderada a forte
3- Ambientes instáveis	Intensos processos morfodinâmicos com fechamento da foz nas desembocaduras fluviais; baixa capacidade protetora exercida pela vegetação nas margens; solos erodidos e voçorocamentos nas falésias; migração de dunas; ocupação intensa da pós-praia, dunas, planícies aluviais e margens estuarinas; balanço hídrico negativo; densidade urbana variando de 60 a 80%; balanço de água, sal e sedimentos negativos no estuário; inversão da distribuição horizontal da salinidade (hipersalinização sazonal); perfis de praia intermediário; áreas com erosão sazonal. Circulação e mistura controlada exclusivamente pelas marés; presença de estruturas de proteção costeira (espigões, molhes, enrocamentos, etc).	Forte
4- Ambientes fortemente instáveis	Ausência ou extrema rarefação da cobertura vegetal nas margens fluviais e estuarinas, incidência generalizada dos processos erosivos, densidade urbana superior a 85%; Avanço da maré salina em terrenos agricultáveis; contaminação do lençol freático e lagoas costeiras; estagnação das águas estuarinas; hipersalinização; perfis de praias refletivos,	Extremamente forte

Fonte: Adaptação das categorias de estabilidade e vulnerabilidade de SOUZA(1998) à realidade da área de estudo.

O resultado do Zoneamento Geoambiental com os devidos atributos aplicados para a área estudada encontra-se sintetizado no Quadro 11.

**QUADRO 11. ZONEAMENTO GEOAMBIENTAL DA ÁREA DE INFLUÊNCIA DIRETA DO ESTUÁRIO DO RIO MALCOZINHADO-CASCAVEL-CE**

<b>FAIXA DE PRAIA E AMBIENTE MARINHO</b>					
<b>USO E OUPAÇÃO</b>	<b>IMPACTOS E RISCOS DA OCUPAÇÃO</b>	<b>SUSTENTABILIDADE</b>	<b>ECODINÂMICA</b>	<b>CAPACIDADE DE SUPORTE</b>	
				<b>POTENCIALIDADES</b>	<b>LIMITAÇÕES</b>
-Pesca artesanal com redes; - Navegação com barcos de pequeno porte para pesca; -Esportes náuticos de baixo impacto (surf e windsurfe); -Moradia, barracas de praia e outras atividades ligadas ao turismo e lazer.	-Erosão entre a praia de Caponga e Balbino com recuo da linha de costa e consecutiva perda de atrativos turísticos; -Falta de manutenção sistemática dos gabiões com recuperação das malhas; Acumulo de resíduos plásticos nos espigões; - Setores com correntes de retorno implicando em riscos sazonais ao banho de mar;	-Sustentabilidade baixa em Caponga, Balbino e Águas Belas; -Sustentabilidade moderada na praia de Barra Velha;	-Ambientes fortemente instáveis e vulnerabilidade muito forte  -Ambientes instáveis e vulnerabilidade forte	-Exploração da fauna aquática (peixe); -Infra-estrutura adequada às atividades turísticas; -Esportes náuticos de baixo impacto; -Ecoturismo com observação de organismos nos arenitos de praia; -Pesquisas científicas sobre recuperação de praias; -Patrimônio paisagístico;	-Expansão urbana de pequeno e grande adensamento; -Infra-estrutura turística de alto impacto; -Estrutura viária -Exploração mineral; -Transito de carros <i>off roads</i> entre Caponga e Águas Belas - APP / Limitação legal pela resolução do CONAMA No. 302 de 20 de março de 2002.
<b>TERRAÇOS MARINHOS</b>					
<b>USO E OUPAÇÃO</b>	<b>IMPACTOS E RISCOS DA OCUPAÇÃO</b>	<b>SUSTENTABILIDADE</b>	<b>ECODINÂMICA</b>	<b>CAPACIDADE DE SUPORTE</b>	
				<b>POTENCIALIDADES</b>	<b>LIMITAÇÕES</b>
-Casas de veraneio, barracas de praia e equipamentos urbanos; -Lazer e turismo; -Cultivo de coqueiros em Barra Velha.	-Erosão pelo avanço da linha de costa; -Impermeabilização, contaminação de aquíferos e acumulo de lixo no solo; -Inundações de áreas residenciais e estradas de acesso; -Desmatamento de áreas bioestabilizadas;	-Sustentabilidade moderada	-Ambientes medianamente estáveis com vulnerabilidade ambiental moderada. -Tendência à instabilidade pelo desmatamento e extração de areia	-Turismo; -Ecoturismo; -Educação ambiental; -Preservação da biodiversidade; - Expansão urbana de baixa densidade em Águas Belas com distância de 3 km da linha de preamar.	-Solos pobremente drenados, com baixa fertilidade e salinizados; -Área sujeita a inundações pela descarga de aquíferos costeiros; -Exploração mineral -Expansão urbana em Caponga pode desencadear processos erosivos de alta magnitude
<b>PLANÍCIE FLÚVIO-MARINHA DO RIO MALCOZINHADO (AMBIENTE ESTUARINO-LAGUNAR)</b>					
<b>USO E OUPAÇÃO</b>	<b>IMPACTOS E RISCOS DA OCUPAÇÃO</b>	<b>SUSTENTABILIDADE</b>	<b>ECODINÂMICA</b>	<b>CAPACIDADE DE SUPORTE</b>	
				<b>POTENCIALIDADES</b>	<b>LIMITAÇÕES</b>
-Ocupação imobiliária; -Agricultura de subsistência; -Extratativismo vegetal e animal; -Pesca de subsistência; -Lazer.	-Assoreamento dos canais estuarinos; -Desmatamento das margens e perda da diversidade florística; -Erosão por ravinamento; -Baixa concentração de oxigênio, hipersalinização sazonal; migração da foz e erosão de Águas Belas; -Construção de barramento;	-Sustentabilidade baixa	-Ambiente Instável com vulnerabilidade forte à ocupação e instabilidade pluviométrica.	- Ecoturismo; - Educação ambiental; - Preservação da biodiversidade; - Turismo de baixo impacto; - Implantação de unidades de conservação (APA)	- Área alagável; - Substrato inconsistente; - Salinização; - Navegação; - Intenso transporte eólico das margens. - Tempo de residência da água relativamente alto (taxa de renovação); - Limitação Legal pela Resolução do CONAMA No. 302 de 20 de março de 2002 e Código Florestal Lei No. 4771/65

## Continuação (1)

PLANÍCIE LACUSTRE E FLÚVIO-LAGUNAR					
USO E OUPAÇÃO	IMPACTOS E RISCOS DA OCUPAÇÃO	SUSTENTABILIDADE	ECODINÂMICA	CAPACIDADE DE SUPORTE	
				POTENCIALIDADES	LIMITAÇÕES
-Ocupação das margens por residências e casas de veraneio em Caponga e Águas Belas; - Turismo e Lazer; - Pesca de subsistência; - Unidade de Conservação (APA do Balbino); - Extrativismo vegetal e mineral - Nas margens da lagoa da Velha Ana	-Poluição dos recursos hídricos (lançamento de efluentes e lixiviação - resíduos sólidos); -Perda de atrativos turísticos e de recreação; -Agravamento de cheias periódicas; -Aterramento das lagoas por areias das dunas móveis; -Hipersalinização da lagoa da velha Ana;	-Sustentabilidade moderada das lagoas freáticas  -Sustentabilidade muito baixa da Lagoa da Velha Ana	-Ambientes instáveis com vulnerabilidade ambiental forte.	-Extrativismo controlado da fauna; -Pesca artesanal; -Exploração do patrimônio paisagístico; -Santuário e refúgio de fauna; -Turismo e lazer.	-Inundações periódicas; -Tempo de residência da água relativamente alto (taxa de renovação); - Desmatamento das margens protegidas pela Lei no 4.771/65 e Resolução do Conama No. 302 de 20 de março de 2002.
DUNAS MÓVEIS					
USO E OUPAÇÃO	IMPACTOS E RISCOS DA OCUPAÇÃO	SUSTENTABILIDADE	ECODINÂMICA	CAPACIDADE DE SUPORTE	
				POTENCIALIDADES	LIMITAÇÕES
-Exploração com turismo e lazer; -Extração de areia; -Ocupação de baixa densidade	-Desmonte ou interrupção do deslocamento de dunas por ocupação desordenada com intensificação da erosão costeira; -Assoreamento de desembocaduras e estuários comprometendo a hidrodinâmica costeira; -Avanço sobre estruturas urbanas; -Perda de atrativos turísticos;	-Sustentabilidade baixa	-Ambientes instáveis e vulnerabilidade forte.	-Turismo e lazer (exploração do Patrimônio paisagístico);  -Recursos hídricos subterrâneos; -Ocorrência de minerais pesados; -Energia eólica;	-Alta permeabilidade -Água subterrânea salinizada (cunha salina); -Ecodinâmica altamente instável (erosão e deposição de material) -APP pela Resolução do CONAMA No. 302 de 20 de março de 2002.
DUNAS FIXAS					
USO E OUPAÇÃO	IMPACTOS E RISCOS DA OCUPAÇÃO	SUSTENTABILIDADE	ECODINÂMICA	CAPACIDADE DE SUPORTE	
				POTENCIALIDADES	LIMITAÇÕES
-Vegetação de dunas; -Pastoreio; -Extrativismo vegetal (caju, carnaúba, murici, etc); -Extração de areia em Caponga; -Poços de água subterrânea; -Turismo e lazer; -Áreas Urbanas e de expansão	-Desmatamento erosão e intensificando o trânsito de sedimentos arenosos; -Assoreamento e soterramento de mangues, áreas urbanas, agricultáveis e lagoas (avanço da duna); -Perda de espécies endêmicas; -Sobrepastoreio de caprinos e asininos; -Exploração ilegal de areia.	Sustentabilidade moderada	Ambientes medianamente estáveis com vulnerabilidade variando de média a forte	-Turismo e lazer (exploração do patrimônio paisagístico); -Utilização de recursos hídricos subterrâneos; -Utilização da biodiversidade, inclusive com espécies endêmicas.	-Alta permeabilidade (susceptibilidade à poluição dos recursos hídricos); -Solo instável (baixo suporte para edificações).  -Ecodinâmica instável (erosão e deposição de material). -Limitação Legal pelo Código Florestal Lei No. 4771/65 e Resolução do Conama No. 302 de 20 de março de 2002.

## Continuação (2)

PLANÍCIE FLUVIAL (A JUSANTE DO AÇUDE MALCOZINHADO)					
USO E OUPAÇÃO	IMPACTOS E RISCOS DA OCUPAÇÃO	SUSTENTABILIDADE	ECODINÂMICA	CAPACIDADE DE SUPORTE	
				POTENCIALIDADES	LIMITAÇÕES
<p>-Culturas de subsistência; -Ocupação imobiliária; -Água para consumo e irrigação; -Extrativismo vegetal (Cana-de-açúcar, caju, carnaúba). -Extração de argilas -Pesca artesanal;</p>	<p>-Degradação da mata ciliar; -Desmonte de diques marginais dos rios; -Assoreamento do leito fluvial; -Poluição hídrica; -Salinização dos solos -Impactos da mineração de areia sem controle; -Ocupação urbana nos terraços baixos; -Erosão em áreas degradadas; -Poluição de pequenas barragens por agrotóxicos</p>	<p>-Sustentabilidade moderada</p>	<p>-Ambientes medianamente estáveis com vulnerabilidade forte à expansão urbana</p>	<p>-Potencial hídrico de superfície e sub-superfície; -Atrativos turísticos e de lazer; -Pesca artesanal; -<b>Área berçário de espécies aquáticas.</b>  -<b>Reflorestamento da Mata Ciliar</b>  -<b>Culturas anuais por diminuir o efeito da erosão.</b></p>	<p>-Intermitência fluvial e drenagem deficiente; -Diminuição da descarga fluvial no período chuvosos em 75% -Drenagem imperfeita dos solos; Áreas alagáveis - inundações periódicas; -Terraços com baixos níveis; -Expansão urbana e rural respeitando os limites das APP. -Limitações pela Lei No. 4771/65 do Código Florestal.</p>
TABULEIROS PRÉ-LITORÂNEOS					
USO E OCUPAÇÃO	IMPACTOS E RISCOS DA OCUPAÇÃO	SUSTENTABILIDADE	ECODINÂMICA	CAPACIDADE DE SUPORTE	
				POTENCIALIDADES	LIMITAÇÕES
<p>-Culturas de subsistência; -Extrativismo vegetal (caju, carnaúba, murici, etc); -Poços de água subterrânea; -Turismo e lazer; -Áreas Urbanas e de expansão urbana -Áreas urbanas;</p>	<p>-Desmatamento desencadeando erosão e intensificando o trânsito de sedimentos arenosos; -Perda de espécies endêmicas; -Sobrepastoreio de caprinos; -Impactos da mineração a céu aberto; -Contaminação do lençol freático por resíduos sólidos urbanos e rurais e por agrotóxicos.</p>	<p>-Sustentabilidade Moderada</p>	<p>-Ambientes medianamente instáveis, com vulnerabilidade variando de média a baixa. A tendência de instabilidade é dada pelo desmatamento -.</p>	<p>Turismo rural; -Sistemas Agro-florestais e agropastoris; -Topografia favorável à expansão urbana respeitando-se os limites das APP; -Exploração mineral controlada</p>	<p>-Solo com baixa produtividade natural.</p>

Como pôde ser observado, independente da construção e funcionamento do Açude Público Malcozinhado a área de influência direta do ambiente estuarino apresenta uma sustentabilidade variando de baixa a moderada. Dentre as ações mais impactantes destacam-se a remoção da cobertura vegetal que influenciou negativamente no escoamento superficial e assoreamento seguido da ocupação urbana em áreas inadequadas. O ambiente estuarino, propriamente dito, apresenta uma baixa sustentabilidade ambiental com uso potencial limitado ao ecoturismo e preservação. Com o aumento da disponibilidade hídrica para abastecimento e irrigação, o cenário tendencial desta área é o aumento das áreas urbanas e plantações a jusante do reservatório incrementando a condição de instabilidade morfodinâmica e diminuição da qualidade das águas estuarinas pela descarga de efluentes domésticos, pesticidas e agrotóxicos.

As áreas com estabilidade ambiental estão restritas a “ilhas” de pequenas expressões espaciais com cobertura vegetal pioneira. As áreas medianamente estáveis relacionam-se com as áreas com culturas anuais e pomares de sítios de veraneio. Isso demonstra a importância da manutenção das Áreas de Preservação Permanente (APP) e respeito ao Código Florestal principalmente em estuários cujas bacias estejam parcialmente e/ou totalmente inseridas em áreas rurais, onde a dinâmica e a produção de sedimentos é bem mais intensa. A figura 72 mostra a distribuição espacial das categorias de estabilidade ambiental onde se percebe o comprometimento do potencial produtivo desses ecossistemas pela ausência de manejo sustentável ao longo da história de ocupação do espaço costeiro.



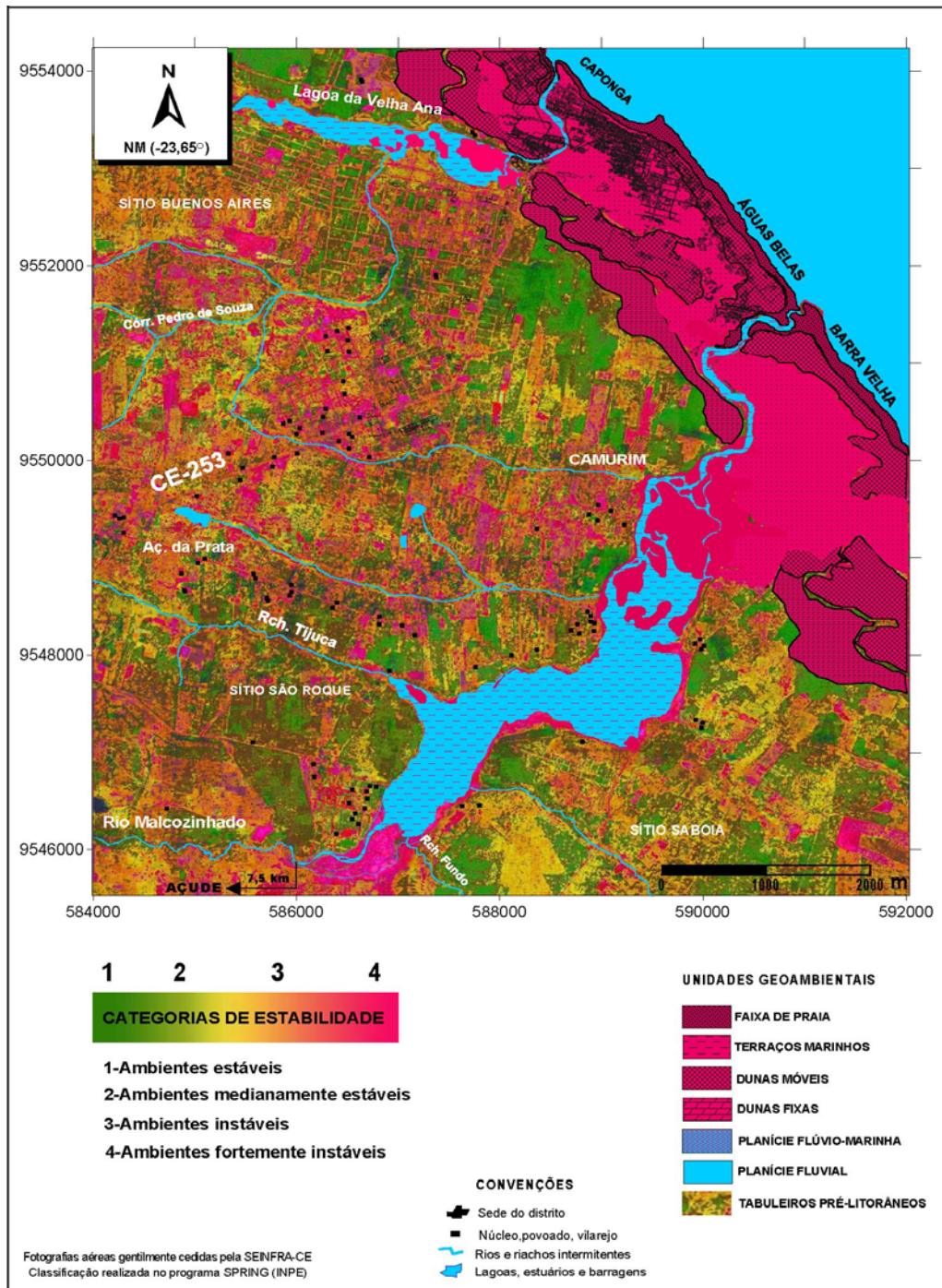


Figura 72. Distribuição espacial das categorias de estabilidade ambiental da área de estudo.

## 10.2. Prognose e o estabelecimento dos cenários de riscos ambientais

Os programas desenvolvimentistas representados primordialmente pela expansão urbana, desenvolvimento turístico e novas alternativas de aproveitamento da água ao mesmo tempo em que trazem oportunidades trazem riscos. Risco é a probabilidade ou frequência esperada da ocorrência de danos decorrentes da exposição a condições adversas ou a um evento indesejado. A noção de risco ambiental foi originalmente sistematizada por PAGE (1978) quando distinguiu claramente a visão tradicional de poluição do conceito de risco, que está relacionado à incerteza dos efeitos futuro.

A definição de risco trabalhada por MORAIS (1996) é uma circunstancia ou situação de perigo, perda ou dano social e econômico devida a uma condição geológica ou uma possibilidade de ocorrência de processo induzido ou não. Risco ambiental também pode ser definido como os processos naturais que representam um perigo ao bem-estar humano. Por isto, nos estudos de riscos ambientais além da dinâmica do meio ambiente deve ser incluída a sociedade. O risco específico é o grau de perda esperado devido à ocorrência de um fenômeno em particular.

Ao se avaliar a projeção dos riscos ambientais para a área de influência direta do estuário foram consideradas as transformações impostas aos sistemas ambientais pelo barramento e pela evolução da estrutura socioeconômica local onde se insere o turismo, agricultura e desenvolvimento urbano. A partir disso foi elaborado um cenário tendencial e um desejado, de acordo com as premissas do desenvolvimento sustentável. O primeiro refere-se ao prognóstico da situação atual sem considerar a implementação de medidas de desenvolvimento sustentável e o segundo corresponde à trajetória em direção a sustentabilidade geoambiental e econômico-social.

O quadro 12 sintetiza a evolução dos geossistemas e geofácies e a construção dos cenários de riscos ambientais:

**QUADRO 12. CENÁRIOS DOS RISCOS AMBIENTAIS NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DIRETA DO ESTUÁRIO DO RIO MALCOZINHADO/CASCAVEL-CE**

GEOSSISTEMA E GEOFACIES	CENÁRIO TENDENCIAL	CENÁRIO DESEJADO
FAIXA DE PRAIA E TERRAÇOS MARINHOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Decréscimo de recursos pesqueiros pela diminuição do aporte de nutrientes durante o período chuvoso;</li> <li>-Aumento do uso da praia em Águas Belas e Barra Nova e conseqüente produção de resíduos sólidos;</li> <li>-Loteamentos e urbanização da praia de Barra Velha inibindo o transporte de sedimentos na pós-praia e gerando áreas de riscos permanentes;</li> <li>-Crescimento da urbanização sobre os terraços marinhos gerando novas áreas de riscos a inundações;</li> <li>-Aumento da erosão em Caponga e águas Belas pela diminuição do transporte de sedimentos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Pesca (profissional, artesanal e amadora) controlada.</li> <li>-Patrimônio Paisagístico preservado;</li> <li>-Efluentes controlados;</li> <li>-Atividades educativas permanentemente com a participação das escolas de ensino fundamental e médio;</li> <li>-Morfodinâmica do ambiente praial monitorado, (conforme Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro GERCO).</li> <li>-Atividades produtoras de sedimentos (desmatamentos das falésias em Camurim, desestabilização de dunas de Barra Velha) controladas.</li> <li>-Coleta de lixo e qualidade das praias em execução;</li> <li>-Atividades de turismo monitoradas e controladas.</li> </ul>
DUNAS MÓVEIS E FIXAS	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Aumento da demanda por passeios turísticos nas dunas de Barra Velha;</li> <li>-Incremento do transporte de sedimentos para o estuário.</li> <li>-Ocupação urbana ou periurbana nas dunas fixas de Camurim aumentando a produção de sedimentos;</li> <li>-Aumento da demanda por infraestrutura de turismo em Águas Belas e Barra Velha.</li> <li>-Perda de atrativos turísticos na foz.</li> <li>-Extração de minerais (areias).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Atividades de turismo monitorada e controlada;</li> <li>Patrimônio Paisagístico preservado e protegido;</li> <li>-Instalação de correntes de guia-eólico ou bioestabilização redirecionando e retardando o transporte eólico em Barra Velha na direção do estuário;</li> <li>-Biodiversidade das dunas fixas protegidas, conservadas e mantidas;</li> <li>-Especulação imobiliária e expansão urbana controlada.</li> <li>-Extração mineral monitorada e controlada.</li> <li>Retirada da cobertura vegetal em dunas fixas controlado</li> </ul>
PLANÍCIE FLÚVIO-MARINHA	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Aumento da ocupação no entorno do estuário aumentando a produção de sedimentos;</li> <li>-Incremento da pressão por áreas para implantar fazendas de carcinicultura nas áreas de mangue;</li> <li>-Aumento do espelho d'água e da taxa de evaporação pelo fechamento da foz;</li> <li>-Condições de hipersalinização prolongada entre os perfis 8 e 10;</li> <li>-Diminuição da qualidade d'água;</li> <li>-Baixa saturação de oxigênio e elevação da temperatura média das águas;</li> <li>-Aumento do tempo de residência das águas no sistema;</li> <li>-Impactos benéficos aumentos da contribuição de água no período de estiagem 0,426 m<sup>3</sup>/s.</li> <li>-Perda da diversidade biológica e de serviços ambientais (processos e funções) dos ecossistemas estuarinos, mangues, restingas e salgados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Desestimular a implantação de fazendas de Camarão tendo em vista a baixa sustentabilidade do sistema;</li> <li>-Incentivar o beneficiamento/ industrialização dos produtos regionais, a exemplo do couro, frutas, pescados.</li> <li>-Atividades de Educação Ambiental permanentemente realizada;</li> <li>-Patrimônio paisagístico conservado, protegido e recuperado;</li> <li>-Efluentes e uso de adubos químicos controlados;</li> <li>Flora e fauna manejadas adequadamente;</li> <li>-Atividades de carcinicultura controlada; (ocupação controlada);</li> <li>-Atividades nas planícies ribeirinhas controladas;</li> <li>-Qualidade dos recursos hídricos controlados;</li> <li>-Saneamento ambiental realizado;</li> <li>-Turismo controlado;</li> <li>-Estudos de qualidade da água e concentrações de metais pesados com metodologias enquadradas no Projeto LOIZC);</li> <li>-Controle sistemático dos parâmetros físico-químicos e morfodinâmica do sistema estuarino;</li> </ul>

Continuação:

GEOSSISTEMA E GEOFACIES	CENÁRIO TENDENCIAL	CENÁRIO DESEJADO
<b>PLANÍCIE LACUSTRE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Aumento da ocupação no entorno das lagoas e captação dos recursos hídricos;</li> <li>-Perda de qualidade das águas pelo lançamento de resíduos sólidos;</li> <li>-Surgimento de áreas sujeitas às inundações;</li> <li>-Redução do aporte de água doce no estuário no período de estiagem;</li> <li>-Conversão de áreas de mangue</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Reestruturação espacial com organização das Áreas de Preservação Permanente.</li> </ul>
<b>PLANÍCIE FLUVIAL</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Aumento da demanda por recursos hídricos pelo incremento das áreas agricultáveis e expansão urbana a jusante do reservatório;</li> <li>-Aumento do desmatamento da mata ciliar;</li> <li>-Diminuição de 75% da descarga fluvial no estuário durante o período chuvoso;</li> <li>-Concentração de moradias nas áreas ribeirinhas;</li> <li>-Perda da qualidade das águas;</li> <li>-Assoreamento do leito fluvial e áreas de alagamento.</li> <li>-Impactos da mineração de areia exacerbados, produzindo sedimentos e causando danos à biota aquática;</li> <li>-Áreas de criação e repovoamento de organismos aquáticos degradados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Extrativismo (vegetal e faunístico) monitorado e controlado;</li> <li>-Bacias hidrográficas manejadas;</li> <li>-Monitoramento da qualidade das águas permanentemente realizado;</li> <li>-Controle da vazão do reservatório para que a tendência de hipersalinização seja eliminada.</li> <li>-Expansão urbana nos baixos níveis de terraços fluviais controladas;</li> <li>-Efluentes industriais e agrícolas controlados;</li> <li>-Saneamento ambiental realizado;</li> <li>-Áreas de berçário de espécies aquáticas protegidas.</li> <li>-Atividades de pesca artesanal e rizicultura nas lagoas marginais planejadas e controladas.</li> <li>-Controle da erosão e monitoramento da sedimentação em lagos e canais permanentemente efetuados.</li> <li>-Serviços ambientais (funcionais) dos ecossistemas mantidos e controlados;</li> <li>-Atividades de mineração monitoradas e controladas.</li> </ul>
<b>TABULEIROS PRÉ-LITORÂNEOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Área de recarga de aquífero degradada pelo desmatamento das paleodunas de Camurim e Caponga;</li> <li>-Aumento da erosão por ravinamento e voçorocamento em Camurim;</li> <li>-Áreas degradadas por sobrepastoreio;</li> <li>-Aumento da concentração urbana;</li> <li>-Aumento de doenças de veiculação hídrica;</li> <li>-Aumento do desmatamento;</li> <li>-Incremento da mineração.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Sistema de saneamento urbano e periurbano implantados;</li> <li>-Recursos florestais e faunísticos adequadamente manejados;</li> <li>-Mananciais protegidos.</li> <li>-Atividades de turismo rural implementada, monitoradas, controladas e economicamente prósperas.</li> <li>-Sistemas agro-florestais implantados e economicamente prósperos.</li> <li>-Práticas conservacionistas no uso da terra definidas e implementadas.</li> <li>-Serviços ambientais (funcionais) dos ecossistemas mantidos/recuperados;</li> <li>-Bacias hidrográficas manejadas integradamente;</li> <li>-Mananciais de abastecimento protegidos e controlados;</li> <li>-Implantação de sistema de saneamento urbano e periurbano;</li> <li>-Controle de doenças de veiculação hídrica;</li> <li>-Controle da mineração.</li> </ul>

### **10.3. Categorias de uso e proposições para a Gestão Ambiental**

A gestão ambiental é o planejamento, direção, coordenação e controle do uso dos recursos naturais. Do ponto de vista administrativo, a gestão trata do modo como uma organização gerencia suas atividades relativas ao ambiente. Nela aparecem formas específicas de manejo, tecnologias apropriadas e ambientalmente concebidas. Embasados nos resultados apresentados anteriormente foram criadas categorias de uso para o estuário e sua área de influência direta. Considerando toda a dinâmica entre os sistemas ambientais e as perspectivas de uso futuro, foram elaboradas três categorias de uso e ocupação do solo apresentado a seguir:

#### **1 - Uso Restrito (Preservação)**

Estão incluídas as áreas de expressiva significação ecológica e alta fragilidade, que devem ficar livres de interferências humanas e protegidas da degradação, pois apresentam sustentabilidade muito baixa e baixa. Esta classificação é aplicada nas áreas de praia, com influência direta ou não dos gabiões, campos de dunas, margens fluviais, falésias, lagoas, lagunas e planície flúvio-marinha do Rio Malcozinhado. Portanto nestes ambientes não deverão ser permitidas as novas construções de edificações e exploração mineral. Em especial na área da faixa de praia de Barra Velha e Águas Belas, deve-se estabelecer a proibição da extração do material que forma os beach-rocks, na medida que estes exercem fundamental proteção contra a erosão da costa e migração do estuário. A faixa de praia deve estar sob um constante processo de monitoramento, controle e fiscalização de sua qualidade ambiental e do funcionamento dos gabiões. Deve-se controlar a deposição de lixo na faixa de praia, além de ser promovida a limpeza periódica.

#### **2 – Uso controlado (Conservação)**

Nas áreas de terraços marinhos devem ser permitidos o uso e ocupação dos recursos sem que as atividades não superem a potencialidade de regeneração do ambiente em questão. Apesar dos terraços estarem definidos como áreas de conservação, as áreas onde as lagoas intermitentes surgem devem ser preservadas,

na medida em que são submetidas às condições de recarga do lençol freático, não sendo destinada à ocupação humana. Os tipos de uso e ocupação urbano-turísticas devem ser controlados para que se evite as atividades associadas a estas intervenções em áreas naturalmente destinadas à flutuação do lençol freático (lagoas freáticas) e que a ocupação seja planejada para que não interfiram no fluxo das águas para as áreas estuarinas.

Embora as planícies flúvio-marinhas e flúvio-lagunares sejam consideradas áreas de uso restrito e preservação, sabe-se que o morador local depende substancialmente deste ecossistema, principalmente do produto da pesca para sua subsistência. Seria importante para esta área, a delimitação de uma APA-Área de Proteção Ambiental, para que sejam classificados os critérios de utilização de cada ambiente deste geofácies e sejam realizados projetos de educação e pesquisa ambiental para que o próprio morador local faça parte do monitoramento de campanhas instrutivas e mantenha sua fonte de alimento sem degradar o ecossistema.

Nas zonas de uso restrito e controlado por situarem quase que totalmente em áreas particulares, torna-se necessário à aplicação de ações mais específicas como implementação de projetos de reflorestamento, educação ambiental, recuperação sistemática, com apoio técnico-científico adequado para que os proprietários possam melhorar a qualidade de seu próprio espaço e redirecionar suas atividades de produção de acordo com a carga suporte do ambiente específico.

### **3- Uso intensivo-sistemático**

Estão incluídas as áreas que requerem medidas normais de controle ambiental nas atividades que ali se exercem. Estas áreas correspondem aos terrenos dos tabuleiros pré-litorâneos, com áreas de produção agropecuária (cultura de subsistência e pecuária permanente) e ocupação urbana. Nessas áreas, a implantação de residências e empreendimentos de lazer e turismo deverão ser desenvolvidos principalmente ao longo das estradas e vias de acesso pavimentadas. É de grande importância para o aumento da produtividade dos cultivos de subsistência, a aplicação de medidas que levem à melhoria da fertilidade edáfica.

Entretanto, deve-se estabelecer e fiscalizar normas adequadas de manejo das atividades agrícolas, para que se evite o carregamento destes adubos e também de agrotóxicos para os mananciais hídricos da área e conseqüentemente para o litoral.

Mesmo apresentando uma estabilidade ao uso urbano, as áreas de tabuleiro devem seguir um projeto adequado de planificação urbana sobre bases ecológicas para que não ocorra o redirecionamento de impactos para áreas que apresentem ecossistemas de equilíbrio mais frágil, no caso o estuário do Rio Malcozinhado e planícies fluviais. Além disso, é necessário para a efetiva urbanização que tende a se expandir nessa área, a realização de maiores estudos e planos de urbanização, a fim de haver uma adequada organização das vias de acesso pavimentadas, localização das casas juntamente com a infra-estrutura de água e esgoto e outros serviços básicos. As categorias de uso estabelecidas estão organizadas espacialmente no Mapa 2.

Considerando as diretrizes anteriores no que concerne à proposta de zoneamento da área litorânea em estudo, e que podem ser aplicadas em outras áreas costeiras, elaborou-se uma série de sugestões que devem estar aliadas ao processo de zoneamento, e que procuram definir tipos de ações preventivas e mitigadoras dos impactos:

- Preservar fontes que dêem origem à drenagem superficial dos estuários, uma vez que estas asseguram e influenciam os processos hidrodinâmicos das planícies flúvio-marinhas e lagunares;
- Proporcionar educação ambiental nas escolas, associações, visando a conscientização da sociedade sobre a importância de conservação do ambiente natural e manutenção dos espigões na praia;
- Elaborar proposta para a sistematização de densidade populacional de acordo com a capacidade de suporte do ambiente, considerando as ocupações já existentes;
- Enquadrar os corpos d'água segundo legislação vigente e desenvolver ações de recuperação de APP;

**Formatado:** Recuo: À esquerda: 27 pt, Primeira linha: 0 pt, Com marcadores + Nivel: 1 + Alinhado em: 64,35 pt + Tabulação após: 64,35 pt + Recuar em: 64,35 pt

- Promover o desenvolvimento do ecoturismo na Região não permitindo, nos estuários, a prática de esportes náuticos motorizados de forte impacto;
- Estimular e regulamentar a prática de turismo náutico e esportes aquáticos de baixo impacto sobre os sistemas ecológicos;
- Nas praias, desestimular adensamento nas adjacências e desenvolver ações permanentes de limpeza da praia;
- Desestimular a implantação das fazendas de carcinicultura;
- Permitir somente atividades de turismo de baixo impacto como passeios turísticos e pesca esportiva;
- Exigir projetos arquitetônicos e de infra-estrutura harmônicos com os ambientes naturais
- Nas dunas móveis, desenvolver atividades de turismo e lazer de contemplação;
- Nas dunas fixas existentes nos perímetros urbanos de Caponga proibir a urbanização.
- Implantar Unidade de Conservação de Uso Sustentável da categoria APA para proteger o estuário;
- Implementar um plano de monitoramento integrado das condições hidrodinâmicas, morfodinâmicas, bióticas, qualidade da água, aspectos sócio-econômico das áreas estuarinas diretamente impactadas. Esse monitoramento deve ser executado em um período mínimo de seis anos;

No mês de agosto de 2003 o Governo do Estado do Ceará em convênio com o Banco Mundial iniciou a elaboração do Plano de Monitoramento Integrado dos Estuários do Rio Jaguaribe, Timonha, Catú e Malcozinhado exigido pelo BID. A elaboração do plano e a realização do diagnóstico ambiental serão finalizadas em 16



meses. O monitoramento integrado intitulado “Diagnóstico Sócio-ambiental das Áreas Estuarinas e dos Manguezais do Rio Jaguaribe, Catú, Malcozinhado e Timonha” será executado durante seis anos. Este projeto está envolvendo as Secretarias Estaduais, fundações do Meio-ambiente e diversas áreas do conhecimento das Universidades Estadual e Federal do Ceará. Isso indica que os resultados obtidos por este estudo poderão contribuir na consolidação do plano de monitoramento contribuindo de forma significativa para o manejo sustentável do estuário do Rio Malcozinhado.

## CONCLUSÕES

1. As exposições realizadas ao longo deste trabalho mostram que as atividades diversas e a pressão especulativa da zona costeira alteraram de forma significativa as funções naturais da área de influência direta do estuário do Rio Malcozinhado, com uma redução significativa do espaço de variação das praias e dinâmica estuarina. Isso se reflete no percentual de ocupação de 86% onde apenas 14% da área apresentam características naturais preservadas. O crescimento da malha urbana nas margens estuarinas entre os anos de 1959 e 1993 foi de 73%. Mesmo com a tendência erosiva, degradação de mangues a expansão urbana entre 1993 e 2002 foi de 75%. Ou seja, em quase dez anos (1993-2002) se teve um crescimento urbano maior ao verificado no intervalo de 34 anos (1959-1993) favorecendo o surgimento de áreas de riscos atuais;

2. A configuração atual das unidades geoambientais é resultado de uma larga evolução Tercio-Quaternária associada às flutuações do nível do mar que gerou os campos de dunas fixas e móveis, os terraços marinhos, o esculpimento da planície fluvio-marinha do Rio Malcozinhado bem como a migração da foz e a formação das praias. No cenário de evolução recente a migração do campo de dunas móveis e o desmatamento desordenado das margens participaram de forma ativa na migração da foz, na formação das ilhas e configuração da drenagem de forma anastomosada contribuindo na evolução de um estuário do tipo planície costeira para um sistema estuarino-lagunar;

3. A direção dos ventos na foz do estuário no período de estiagem foi de E-S (65%), seguidos de NE (21%) e NNE e ENE, sendo estes dois últimos relacionados às brisas marinhas. As maiores velocidades foram registradas nos meses de novembro com valor médio de 7,0 m/s contribuindo na migração das dunas na direção do estuário. O vento é, portanto, fator precípua na elaboração e degradação ambiental desta linha de costa e principalmente na remobilização de cordões arenosos na foz;

4. O sistema de ondas que banham a área, tem a sua força geradora no sistema de ventos locais, apresentando alturas médias de 1,54 m para as máximas e de 0,70 m para as mínimas, direções variando entre 100º a 110º ao largo e de 50º a 75º na arrebentação. O período médio variou de 4,5 a 13 segundos, com predominância de ondas do tipo sea. O volume médio de sedimentos transportado anualmente pelas correntes nas menores e maiores condições de altura, período e ângulo de incidência das ondas foi de 882.091 m<sup>3</sup> e 1.530.000 m<sup>3</sup>, respectivamente. Os resultados apresentaram uma boa correlação com os cálculos realizados no CERC para a instalação dos gabiões na praia da Caponga que foi de 854.303 m<sup>3</sup>/ano para as menores condições de ondas. A direção predominante das correntes longitudinais é de N-NW, com valores médios de 0,30 e 0,20 cm/s, forçando a migração da foz para NW;

5. As marés no estuário são do tipo semidiurnas com amplitude de sizígia de 1,50 m na foz e de 0,58 m no limite da zona estuarina, com redução de 45% da amplitude registrada no Porto do Mucuripe (3,3 m). No inverno de 2002 apesar da precipitação ter sido dentro da média, a amplitude foi de 1,26 m com uma redução de 16% devido à migração do banco de areia estrangulando o canal estuarino em frente a Águas Belas. Na foz, o atraso da baixa-mar no verão foi de 20 minutos no período de estiagem, ao passo que no período chuvoso foi de 2 horas e 35 minutos após a registrada no porto de Mucuripe. Nos setores mais ao sul o atraso da baixa-mar em setembro de 2001 foi de 4 horas e 35 minutos após a registrada na estação na foz. Isso indica que no período de estiagem o tempo de residência das águas é grande favorecendo a evaporação e tornando-os inviáveis à emissão de esgotos e outros tipos de efluentes;

6. A sazonalidade climática é refletida também na contribuição do escoamento superficial no estuário. A drenagem da bacia estuarina é intermitente sazonal e exorréica dividida em cinco sub-bacias com um baixo potencial de escoamento superficial. A descarga total da bacia no período estudado foi de 32,55 m<sup>3</sup>/s com 99,10% do escoamento restrito ao primeiro semestre do ano, perfazendo uma média de 5,37 m<sup>3</sup>/s. A contribuição total do Rio Malcozinhado e seus afluentes no sistema estuarino são de 24,73 m<sup>3</sup>/s, responsável por 75,97% de toda a água doce que entra no sistema. A vazão regularizada do reservatório de 0,426 m<sup>3</sup>/s

implicará na redução de 75,45% da contribuição de água no sistema estuarino incrementando o processo de assoreamento induzido pelas marés, aumento da salinidade média e diminuição da oxigenação das águas, imprescindíveis a produtividade biológica desse ecossistema.

7. Atualmente os trechos ocupados pelas culturas de subsistência representam aproximadamente 7,58% da área e as culturas anuais 65,91% totalizando as duas juntas 73,49% indicando a alta vulnerabilidade aos processos erosivos pela retirada da cobertura vegetal pioneira. A intermitência natural do rio Malcozinhado e o desmatamento das margens em Camurim em um período de 43 anos resultaram no avanço de 180 m do canal estuarino na direção de Águas Belas. A relação da variação das taxas de erosão e as médias pluviométricas para o período estudado foram bastante significativa com uma curva polinomial com  $R^2 = 0,99$ . Ou seja, mesmo o rio não tendo competência suficiente para abrir o canal e jogar o material arenoso para a deriva litorânea, o fluxo existente retarda o efeito das marés na sedimentação dos bancos arenosos ao longo do estuário.

8. O substrato estuarino é formado predominantemente por areias quartzosas e lamas arenosas. Os minerais de argilas predominantes no estuário do Rio Malcozinhado, assim como os observados na costa do Ceará são a esmectita, ilita e caolinita. A taxa média de sedimentos transportados do mar para o estuário no período de estiagem foi de 1,30 g/s. A taxa exportação de sedimentos foi de 1,14 g/s, 12,30% menor do que o volume de sedimentos que entrou no estuário. Na maré vazante no período chuvoso, observa-se o incremento da contribuição do rio Malcozinhado para a faixa de praia com uma taxa de transporte de 3,34 g/s. A taxa de transporte de sedimentos estuário acima foi de 0,30 g/s, 77% inferior ao verificado no período de estiagem indicando a barreira que o rio exerce no transporte de sedimentos marinhos para o interior do sistema.

9. No período de estiagem a salinidade média variou de 34,23 a 38,30. Os maiores valores foram observados durante a preamar e baixa-mar (50,37 e 40,82) com inversão longitudinal da salinidade e alta vulnerabilidade a hipersalinização. No período chuvoso a salinidade média no sistema estuarino variou

de 9,19 a 23,95 conferindo ao mesmo um regime polialino. Durante o período de estiagem as temperaturas são maiores em todo o estuário do Rio Malcozinhado e respondem à combinação entre a diminuição da lâmina d'água e o aumento da radiação solar. A saturação média de oxigênio na coluna d'água (ml/l) no período de estiagem variou de 4,30 ml/l a 4,58 ml/l. Na coleta do mês de abril de 2002, a saturação média de oxigênio variou de 4,85 ml/l a 5,50 ml/l. Por isso, a contribuição do Rio Malcozinhado em uma vazão de 6,53 m<sup>3</sup>/s é imprescindível para reverter as características de hipersalinização, além de promover a oxigenação das águas.

10.No período de estiagem as maiores velocidades média de corrente foram observadas durante o estágio de preamar (0,30 m/s) e vazante(0,31 m/s). As velocidades na superfície e fundo apresentaram pouca variação com um desvio padrão médio para todas as estações de 0,019 m/s. O eixo principal das correntes superficiais foi de E-W sob a influência dos ventos locais e as correntes de fundo foi de ENE-WSW acompanhado os contornos do canal. No período chuvoso a velocidade das correntes variou de 0 a 0,852 m/s com variação da direção acompanhando os contornos do estuário e favorecendo na desobstrução da foz.

11.Considerando a integração dos estudos morfodinâmicos e hidrodinâmicos, o estuário do Rio Malcozinhado é um sistema estuarino-lagunar, bem misturado sendo classificado como estuário tipo 1a, segundo a classificação de HANSEN e RATTRAY(1966). As características tipicamente estuarinas segundo PRITCHARD(1967) são observadas apenas no primeiro semestre do ano. No período chuvoso a coluna d'água apresentou sutis estratificações tendendo para o sub-tipo 1 b. Em alguns pontos foi observada circulação do tipo gravitacional. Pelos resultados apresentados a principal fonte para misturar o sistema e transportar sal estuário acima e abaixo é o processo de difusão turbulenta gerada pelas marés.

12.A variação do volume de sal importado entre o inverno e verão foi de apenas 0,06 tonelada enquanto no volume exportado foi de 0,343 toneladas demonstrando a ação da descarga fluvial na redução da vulnerabilidade ao processo de hipersalinização. Cerca de 0,53 toneladas de sal são transportadas para o estuário enquanto o volume exportado no mesmo ciclo de maré foi de 1,12 toneladas comprovando o efeito da evaporação e estagnação das correntes.

Durante o período chuvoso o volume de sal transportado estuário adentro foi de 0,403 toneladas e exportado de 0,426 toneladas, com um desvio padrão de apenas 0,01.

13.A faixa de praia sob a influência direta do Rio Malcozinhado é um ambiente fortemente instável com a zona de pós-praia totalmente ocupada e com erosão da linha de costa controlada por estruturas de proteção do tipo gabião. A retomada dos processos erosivos na praia da Caponga a curtos e médios prazos estão diretamente associadas à baixa proteção natural, alto adensamento urbano, ausência de manutenção dos gabiões, uso inadequado pelos usuários da praia e a migração da desembocadura do riacho Caponga Roseira. O reservatório poderá incrementar esse processo em longo prazo.

14. Através do zoneamento foi observado que independentemente da construção e funcionamento do Açude Público Malcozinhado, o sistema estuarino apresenta uma baixa sustentabilidade ambiental com uso potencial limitado ao ecoturismo e preservação. As áreas com estabilidade ambiental estão restritas a “ilhas” de pequenas expressões espaciais com cobertura vegetal pioneira. As áreas medianamente estáveis relacionam-se com as áreas com culturas anuais e pomares de sítios de veraneio. Isso demonstra a importância da manutenção das Áreas de Proteção Permanente (APP) principalmente por ser um sistema cuja bacia está totalmente inserida em áreas rurais, onde a dinâmica e a produção de sedimentos é bem mais intensa;

15. O resultado dos estudos de morfodinâmica e hidrodinâmica estuarina foi elemento-chave para o estabelecimento das categorias de uso e ocupação da área permitindo a análise do grau de estabilidade e vulnerabilidade ambiental em escala de detalhe. A categoria de uso restrito foi aplicada as áreas com alto risco e baixa sustentabilidade ambiental constituída pela faixa de praia, com influência direta ou não dos gabiões ,campos de dunas, margens fluviais, falésias,lagoas, lagunas e planície flúvio-marinha do Rio Malcozinhado. Nas áreas de uso controlado (conservação) foram incluídos os terraços marinhos onde os tipos de uso/ocupação urbano-turísticas devem ser controlados para que se evite intervenções em áreas naturalmente destinadas á flutuação do lençol freático

(lagoas freáticas) e fluxo das águas para as áreas estuarinas. A área de uso intensivo/sistemático engloba os terrenos dos tabuleiros pré-litorâneos para a produção agropecuária e ocupação urbana.

16. A partir da construção dos cenários de risco, a implantação imediata da APA do Estuário do Rio Malcozinhado é o procedimento mais adequado em curto prazo para evitar a ampliação das áreas instáveis e diminuição da sustentabilidade do sistema estuarino. Ao lado disto, devem ser implantados projetos de monitoramento do estuário durante um período mínimo de seis anos. Essas informações serão úteis no controle da vazão regularizada do Açude Público Malcozinhado compatibilizando as necessidades de água para abastecimento e para o equilíbrio do sistema. A educação ambiental é necessária para que o próprio morador local faça parte do processo de gestão.

## BIBLIOGRAFIA

- ALCANTARA-FILHO,P.A. Contribuição ao estudo da hidrologia e ecologia do caranguejo-uça, *Ucides cordatus cordatus* (Linnaeus,1763) (Crustácea,Decapoda,Brachyura), no manguezal do Rio Ceará (Brasil). **Arquivo de Ciências do Mar**,18(2), p.1-41, Fortaleza,1978.
- AMARANTE, O. A. C. *et al.* **Wind/Hydro complementary seasonal regimes in Brazil.** Wilhelmshaven, Dewek. 2000.
- ATLAS DO POTENCIAL EÓLICO DO ESTADO DO CEARÁ. Secretaria de Infra-estrutura do Estado do Ceará. Convênio No. 021/ SEINFRA/2000. (CD ROM), 2000.
- ARAI, M. *et al.* Considerações sobre a Idade do Grupo Barreiras no Nordeste do Estado do Pará. In: XXXV CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 1988, Belo Horizonte - MG. **Anais...**, p. 738-745.
- ARAÚJO,M *et al.* Hidrodinâmica de sistemas estuarinos: caracterização experimental,modelagem matemática e simulação numérica. Aplicação ao sistema Jaboatão,Pernambuco. **Relatório Técnico APQ 400155/97**, Recife, CNPq.89p,1998.
- ARAÚJO,M. Energy balance and time-scale of mixing and stratification in the Jaboatão estuary,NE-Brazil. **Revista Brasileira de Oceanografia**, 47(2),p.145-154,1999.
- ARRIAGA,L.;MONTAÑO,M.;VÁSCONEZ,J.Integrated managemnet perspective of the Bahía de Caráquez zone and Chone River estuary, Ecuador. **Ocean & Coastal Management**,42(1), p.229-241,1999.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projetos: NRB14724,10520 e 6023.** Rio de Janeiro, Agosto de 2002.
- BERTALLANFY, L. V. **Teoria Geral dos Sistemas.** Petrópolis, Editora Vozes, 1973.
- BERTRAND,G. Paysages et Geographie Physique globale. Esquisse méthodologique.**Revue Géographique des Pyrénées et du Sud Ouest**,39(3),p.249-272,1968.
- BERTRAND,G. Écologie d'um espace géographique: lês geósystemes du Valle de Prioro.**Espace Géographique**,(2), p.113-128,1972.



BIGARELLA, J. J. The Barreiras Group in Northeastern Brazil. **Academia Brasileira de Ciências** (suplemento). 1975. p. 365-393.

BIRD, E. C. F. Physical setting and geomorphology of coastal lagoons. *In*: KJERVE, B.(Ed.) **Coastal Lagoon Processes**. London: Elsevier Oceanography Series, 1994. p. 9-36.

BIRD, E. C. F. **Beach Management Chi Chester**. John Wiley & Sons. 1996. 261p.

BITTENCOURT,A.C.S.O. et al. High and Low Frequency Erosive and Constructive Cycles in Estuaries Beaches: an example from Garcez point, Bahia/Brazil. **Academia Brasileira de Ciências**.73(4),p.599-609,2001.

**BITTENCOURT, R.; ALMEIDA G.; CARPENTIERI, E.** Potencial Eólico no Litoral do Ceará e Rio Grande do Norte para Geração de Energia Elétrica. **1996. Relatório – DEFA-EO-RT, CHESF - 002/96, rev.1, outubro, 1996.**

BOWDEN,K.F. Circulation and Diffusin. *In*: **Estuaries**. Lauf,G,H.(ed). American Association for the Advancement, Publication No.83, Washington,D.C.p.15-36,1962.

BRASIL.Ministério do Meio Ambiente. Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro. Resolução No. 01 de 1990. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília,DF, 1990. Disponível em <[http://www.mma.gov.br/mp\\_leis/gerco](http://www.mma.gov.br/mp_leis/gerco)>.

BRASIL.Ministério do Meio Ambiente. Lei No.4771 de 1968-Código Florestal.. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília,DF, 1965. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/>>.

BRASIL.Ministério do Meio Ambiente. Resolução No.302 de 20 de março de 2002-CONAMA. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília,DF, 2002. Disponível em <<http://www.mma.gov.br>>.

BRUUN, P. **Sea Level Rise a Cause of Shore Erosion**. Proc. ASCE. Water Harbors Div.. v. 88. p. 117-130, 1962.

**BRUNN, P.** Engineering projects in coastal lagoons. *In*: KJERVE, B.(Ed). Coastal Lagoon Processes. London: Elsevier Oceanography Series, p. 507-532, 1994.

BUSQUETS, T. et al. **Sediment: Clay Minerals and Geochemistry in the Estuaries of Elbe River and Valdivia River**. Wilhelmshaven,v.1, 2002.

CAMERON,W.M.;PRITCHARD,D.W. **Estuaries**. In: Hill,M.N (Edi). The Sea: Ideas and observations on Progress in the Study of the Seas. **New York, Intescience,p.306-324,1963**.

CANCINO, L., NEVES, R. Hydrodynamic and sediment suspension modelling in estuarine systems,Part I: Description of the numerical models, **Journal of Marine Systems**, v.22, p. 105-116, 1999.

CARTER, R. W. G; WOODROFFE, C. D. Coastal evolution: an introduction. In: \_\_\_\_\_. **Coastal Evolution: late quaternary shoreline morphodynamics**. London: Cambridge University Press, 1994. p. 1-32.

CARVALHO, N.O. **Hidrossedimentologia Prática**. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais CPRM/ Centrais Elétricas Brasileiras-ELETRORBRAS. Rio de Janeiro,1994.

CAVALCANTE, J. C.; GOMES, J. R. C.; MEDEIROS, M. F. Geologia. In: CEARÁ. Secretaria de Planejamento e Coordenação (SEPLAN). Fundação Instituto de Planejamento do Ceará (IPLANCE). **Atlas do Ceará**. 1989. p.14-15.

CEARÁ- Secretaria de Recursos Hídricos. Plano Estadual de Recursos Hídricos, 1990.

CEARÁ-Secretaria de Recursos Hídricos. Estudo de Aproveitamento Hídrico do Açude Público Malcozinhado, Tomo 1,84 p.,executado pela KL - Serviços e Engenharia Ltda,1997.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. 1ª Edição. São Paulo: Ed. Blucher, 1999.

CIRM-Comissão Interministerial Para os Recursos do Mar In: **III Plano Básico de desenvolvimento Científico e Tecnológico**. I Plano Setorial para os Recursos do Mar (1982-1985),105 p., Brasília, 1981.

COASTAL ENGINEERING RESEARCH CENTER (CERC). Department of the Army. **Shore Protection Manual**. Vicksburg - Mississippi, 1984. Second printing.

COMPANHIA DE PESQUISAS DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). Programa de Recenseamento de Fontes de Abastecimento por Águas Subterrânea no Estado do Ceará. **Atlas dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Ceará**. 1999. CD-ROM.

COSTA,R.S.;ALCANTARA FILHO,P. **Contribuição ao conhecimento dos manguezais do Nordeste do Brasil**, V.5, Coleção ESAN Ano XX, Mossoró,1987.

COUTINHO, P.N. Sugestões para o Gerenciamento de Estuários. **Arquivos de Ciências do Mar**, (25), p.77-86, 1986.

COWELL, P. J.; THOM, B. G. Morphodynamics of coastal evolution. *In*: CARTER, R. W. G; WOODROFFE, C. D. **Coastal Evolution: late quaternary shoreline morphodynamics**. London: Cambridge University Press, 1994. p. 33-86.

DAL, C. R.; SIMEONI, U. A model for determining the classification, vulnerability and risk in the southern coastal zone of the Marche - Italy. **Journal Coastal Research**, 10 (1), p. 18-29. 1994.

DAVIS, R. A. Beach and nearshore zone *In*: \_\_\_\_\_. **Coastal Sedimentary Environments**. New York: Springer, 1978. p. 237-286.

DEAN, R. G. **Heuristic Models of Sand Transport in the Surf Zone**. In: Sydney: Proc. Conf. Dynamics in Surfzone. p. 208-214, 1973.

DOMINGUEZ, J. M. L. **Quaternary Sea Level Changes and the Depositional Architecture of Beach – Ridge Strand Plains along the East Coastal of Brazil**. 1987. 288 p. Tese (Doutorado) – University of Miami, Miami, 1987.

DYER, K.R. Lateral circulation effects in estuaries. *In*: **ESTUARIES, GEOPHYSICS AND THE ENVIRONMENT**. Studies in geophysics. National Academy of Sciences, Washington, D.C. 1977.

EGLER, C.A. Risco Ambiental como critério de Gestão do Território: Uma aplicação à zona costeira brasileira. **Território**, 1(1), p;31-39, 1996.

EMERY, K. O. A Simple Method of Measuring Beach Profiles. **Limnology and Oceanography**. 6(1):90-93, 1961.

FERNANDES, L.D.F. **Transporte de Poluentes em Estuários**. 2001. 75p. Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia do Ambiente (Graduação)-Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2001.

FIDELMAN, P.I.J. Impactos Causados por tenses de origem antrópica no sistema estuarino do Rio Santana, Ilhéus, Bahia. *In*: SEMANA NACIONAL DE OCEANOGRAFIA. **Anais...** Rio de Janeiro: UERJ. 438 p.:il., 1999.

FONTELES, M. L. **Evolução Geológica Sedimentar da Região Costeira de Itarema**. 1995. 183p. Relatório (Graduação em Geologia). Departamento de Geologia – Universidade Federal do Ceará. 1995.

FREIRE, G.S. **Etude hydrologique et sedimentologique de L'estuaire du Rio Pacoti ( Fortaleza-Ceará-Brésil)**. 1989, 223p. Tese (Doutorado) - Université de Nantes, Nantes/ France, 1989.

FREIRE, G.S.S.; MAIA, L.P. regime hidrodinâmico do estuário do Rio Pacoti-Ceará. **Revista de Geologia da UFC**, v.4, p.29-32, 1991.

FREIRE, G.S.S.; MAIA, L.P.; MORAIS, J.O. Frente salina e balanço do movimento do sal no estuário do Rio Pacoti-Ceará. **Revista de Geologia da UFC**, v.4, p.33-41, 1992.

FREIRE, G. S. S.; CAVALCANTI, V. M. M. **A Cobertura Sedimentar Quaternária da Plataforma Continental do Estado do Ceará**. Departamento de Geologia – Laboratório de Geologia Marinha Aplicada (LGMA). Fortaleza: UFC / DNPM. 1999.

FREIRE, S. M. C. **Análise Evolutiva do Uso e Ocupação da Terra na Bacia Hidrográfica do Rio Malcozinhado – Ce Utilizando Técnicas de Geoprocessamento**. 2001. 65 p. Monografia (Especialização em Geoprocessamento Aplicado à Análise Geoambiental e Recursos Hídricos) – Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2001.

**GEOPHYSICS STUDY COMMITTEE**. ‘Overview and recommendations : Estuaries’, Geophysics and the Environmental. **Washington, D.C., National Academy of Sciences, p.1-10, 1997.**

GOMES, D. F. **Mapeamento Geológico e Geoambiental do Distrito de Parajuru, Município de Beberibe – CE**. 1995. 159p. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1995.

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ. Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Associação Técnico-Científica Engenheiro Paulo Frontin. **Estudo de Impacto Ambiental**. Projeto de Engenharia para deter o avanço do mar a fim de amenizar os processos erosivos em áreas costeiras da Caponga, Cascavel, Ceará, 1997.

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ. **Secretaria de Recursos Hídricos-SRH**. Açude Público Malcozinhado-Município de Cascavel-CE. Relatório de Impacto Ambiental, TOMO 1, **Relatório Interno**, Fortaleza, 1999.

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ. **Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Naturais (FUNCEME). Relatório Interno**, Fortaleza. 2002.

HANSEN,D.V.; RATRRAY JR.,M. New dimension in Estuary Classification. **Limnology and Oceanography**,11(3),9.319-326,1966.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE, **CENSO 2002**,.www.ibge.com.Br.

INSTITUTO DE PLANEJAMENTO DO CEARÁ (IPLANCE) – **Relatório Interno**. 2000.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Imagens de Satélite Vetorizadas da Região Nordeste do Brasil**. [on-line]. CPTEC. 1999 e 2000. <http://www.cptec.inpe.br/satelite/indexp.html>.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS HIDROVIÁRIAS (INPH) – **Relatório Interno**. Pecém – CE, 2001.

IRION, G.; WUNDERLICH, F.; SCHWEDHELM, E. Transport of clay minerals and anthropogenic compounds into the German Bight and the provenance of fine-grained sediments SE of Helgoland. **Journal of Geological Society**, London v.144, p. 153-160, 1987.

IRION, G.; MORAIS, J. O.; WUNDERLICH, F. Geologische Studien an einem Küstenstreifen NE Brasiliens (Ceara). **Natur und Museum**, v. 119, p.158-166. 1989.

**KJERVE,B. Comparative oceanography of coastal lagoons. In: WOLFE, D. A.** Estuarine Variability. **New York: Academic Press, p. 63-81,1986.**

**KJERVE, B.; MAGILL, K. E. Geographic and hydrographic characteristics of shallon coastal lagoons. Marine Geology, v. 88, p. 187-199. 1989.**

KJERVE,B. Estuarine characteristics, circulation and physical processes. In: **Estuarine Ecology**. J.W.Day Jr. et al. Jonh Wiley and Sons Inc, New York,NY, p.47-78,1989.

KJERVE, B. Coastal lagoon processes. In: \_\_\_\_\_. **Coastal Lagoon Processes**. London: Elsevier Oceanography Series, 1994. p. 1-7.

KJERVE,B. et al. Hdrology and SALT balance on a Large, Hypersaline Coastal Lagoon: Lagoa de Aruarama, Brasil. **Estuarine,Coastal and Shelf Science**,42(1),p.701-725,1996.

LACERDA, L. D.; KJERVE, B. Conservation and management of Latin American mangroves. *In: SALOMONS, W.; TURNER, R. K.; LACERDA, L. D.; RAMACHANDRANS, S.(Org) Perspectives on Integrated Coastal Zone Management*. New York: Springer, 1999. p. 183-194.

LEAL, J.R.L.V. **Zoneamento Geoambiental da Área de Proteção Ambiental de Canoa Quebrada-Aracati-Ceará**. 2003. 188 p. Dissertação (Mestrado Acadêmico em Geologia Ambiental)-Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2003.

LEWIS, R.E.; LEWIS, J.O. The principal factors contributing to the flux of salt in a narrow, partially stratified estuary. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v.16, p. 599-626, 1983.]

LIMA, L.C.; MORAIS, J.O.; SOUZA, M.J.N. **Compartimentação territorial e gestão regional do Ceará**. Ed. FUNECE, Fortaleza-CE, 2001.

LINS, P.A.M. **Hidrologia e Hidrodinâmica do Baixo Estuário do Rio Ipojuca, PE**. 2002, 71p. Dissertação (Mestrado)- Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2002.

LIZÁRRAGA-ARCINIEGA et al. Planning for beach Erosion: A case study, Playas de Rosarito, B.C. Mexico. **Journal of Coastal Research**, 17(3), p.636-644, 2001.

MAGALHÃES, S. H. O. **Caracterização Morfodinâmica e Evolução a Médio e Curto Prazo das Praias dos Municípios de Caucaia e São Gonçalo do Amarante – CE**. 2000. 124p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2000.

MAIA, L.P.. **Proceso costeros y balance sedimentario ao lo largo de Fortaleza (NE-BRASIL): implicaciones para uma gestión adecuada de la zona litoral**. 1999. Tese (Doutorado). Universidade de Barcelona-Espanha, 269 p. 1998

MARTIN, L.; SUGUIO, K.; FLEXOR, J.M. As flutuações do nível do mar durante o Quaternário Superior e a evolução geológica de “ Deltas Brasileiros”. **Boletim IG-USP**. Publicação especial, No.1, 175p, 1993.

MARTIN, L.; DOMINGUEZ, J. M. L. Geological history of coastal lagoons. *In: KJERVE, B. Coastal Lagoon Processes*. London: Elsevier Oceanography Series, 1994. p. 41-66.

MCANNALY, W.H.; MEHTA, A.J. Collisional aggregation of fine estuarial sediment. **Coastal and Estuarine Fine Sediment Processes**, McAnnaly, W.H. & Mehta, A.J (Ed), Elsevier Science B.V., Proceedings in Marine Science 3, pp. 19-39, 2001.

- MEADE, R. Landward transport of bottom sediments in estuaries of the Atlantic coastal plains. **Journal of Sedimentology. Petrol**, v. 39, p. 222-234. 1969.
- MEDEIROS,C.;KJERVE,B. Hydrology of a Tropical Estuarine System: Itamaracá,Brazil. **Estuarine,Coastal and Shelf Science**,36(1),p.436-515,1993.
- MEDEIROS,C.; KJERVE,B.; NEUMANN-LEITÃO,S. The Itamaracá Ecosystem, Brazil. **Ecological Studies**, (U.Seeliger e Kjerne,B. eds.) V.144, p.71-81, 2001.
- MEIRELES,A.J.A.**Mapeamento geológico e geomorfológico do Quaternário costeiro de Icapuí: Extremo leste do Estado do Ceará.1991.** Dissertação (Mestrado em Geologia Sedimenatr-)Universidade Federal de Pernambuco, 195p,1991.
- MEIRELES,A.J.A.;PATRICIO,R.R. Un abordaje sistêmico:Las terrazas marinas como goeemento de integracion entre los processos em llanuras costeras. *In: VII CONGRESSO DA ABEQUA,1999, Porto Seguro,Anais...*,1999, CD ROM, viiabequa\_HE004.PDF. 1999.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Zoneamento Ecológico-Econômico do Baixo Parnaíba,Secretaria de Políticas para o Desenvolvimento Sustentável/SDS, [CD ROM],2002.**
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE-IBAMA.**Plano de Gestão e Diagnóstico Geoambiental e Socioeconômico da APA do Delta do Parnaíba/IBAMA.** Fortaleza-CE:IEPS/UECE,1998.
- MIOSSEC, A. La nature littorale et les formes de sa gestion. *In: GAMBLIN, A(Org). Les Littoraux Espaces de Vies.* Dossier des Images Economiques du Monde. Paris: SEDES, 1998. p. 29-41.
- \_\_\_\_\_. De l'aménagement des littoraux à la gestion intégrée des zones côtières. *In: GAMBLIN, A. Les Littoraux Espaces de Vies.* Dossier des Images Economiques du Monde. Paris: SEDES, 1998. p. 231-254.
- \_\_\_\_\_. L'estuaire de la loire. *In: GAMBLIN, A. Les Littoraux Espaces de Vies.* Dossier des Images Economiques du Monde. Paris: SEDES, 1998. p. 357-361.
- MIRANDA,L.B.;CASTRO,B.M.;KJERVE,B. **Princípios de Oceanografia Física de Estuários.** EDUSP: Universidade de São Paulo,2002,p.1-413.

MORAIS, J.O. **Aspectos da Geologia Ambiental Costeira no Município de Fortaleza – Ceará**. 1980. Tese (Professor Titular)-Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, 318 p., 1980.

MORAIS, J.O. Geologia no Planejamento Ambiental: Introdução, definições básicas e conceitos fundamentais. **Revista de Geologia da UFC**, Fortaleza-CE, v.4, p.127-154, 1990.

MORAIS, J.O.; MEIRELES, A.J.A. Riscos geológicos associados a dinâmica costeira na Praia da Caponga, Município de Cascavel, Estado do Ceará. **Revista de Geologia da UFC**, Fortaleza-CE, v.5, p.139-144, 1992.

MORAIS, J.O. Processos e Impactos Ambientais em Zonas Costeiras. **Revista de Geologia da UFC**, Fortaleza-CE, v.9, p 191-242, 1996.

MORAIS, J.O.; TINTELNOT, M. Late Quaternary changes on the NE-Brazilian Continental Margin as revealed by clay mineral and calcium carbonate fluctuations, **JOPS II**, 96-115. 1996.

MORAIS, J.O.; PINHEIRO, L.S. Características sedimentológicas da faixa de praia do Município de Cascavel-Ceará. **Essentia: Revista de Cultura, Ciência e Tecnologia, Sobral-CE**, v.3, n.1, p. 92-111, 2001.

MORAIS, J.O.; IRION, G.F.; PINHEIRO, L.S.; MEDEIROS, C. Aspectos sedimentológicos comparativos entre o sistema estuarino do Malcozinhado e Lagoa da Encantada-Ceará. **Essentia Revista de Cultura Ciência e Tecnologia**, Sobral, v. 4, n. 1, p. 101-113, 2002

MUEHE, D. Geomorfologia Costeira, In: Guerra, A.J.T.; Cunha, S.B. (Org). **Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações**. 2ª edição, 191-238, Edit. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro (RJ), 1996.

MÜLLER, G, IRION, G.F.; MORAIS, J.O. Heavy metal concentrations in fine grained sediments in the lower course of Brazilian rivers between the state of Piauí and Espírito Santo. **Essentia**, v. 2, p. 171-176. 2001.

OFFICER, C.B.; LINCH, D.R. Dynamics of mixing in estuaries. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, 12 p. 525-533, 1981.

OLIVEIRA, M.Q.C. **Impactos de mudanças no uso do solo nas características hidrossedimentológicas da bacia hidrográfica do Rio Joanes e sua repercussão na**



**zona costeira.** 1999. Dissertação(Mestrado em Geologia Sedimentar)-Universidade Federal da Bahia,180p, Salvador,1999.

PAGE,T. A generic view of toxic chemicals and similar risk.**Ecological Law Quaterly**,v.7,1978.

PINHEIRO,L.S. **Compatibilização dos processos morfodinâmicos e hidrodinâmicos com o uso e ocupação da praia da Caponga,Cascavel,CE.** 2000. Dissertação(Mestrado Acadêmico em Geografia),Universidade Estadual do Ceará, 185p, Fortaleza-CE,2000.

PINHEIRO,L.S.;MORAIS,J.O.;PITOMBEIRA,E.S. Caponga Shoreline Rehabilitation Assesments. In: **Journal of Coastal Research “ Proceedings of Brazilian Sandy Beaches: morphodynamics, ecology, use hazards and management”**, Special Issue No. 35, USA, 2001,.

PINHEIRO,L.S.;MORAIS,J.O.;MEDEIROS,C.Mudanças da linha de praia e feições morfológicas em Cascavel-Estado do Ceará. In: **Arquivos de Ciências do Mar.** FORTALEZA: LABOMAR-UFC.v.34,p.117-130, 2001

PITOMBEIRA,E.S.;AQUINO,M.D. Erosão Costeira em áreas urbanizadas. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, ABGE, Presidente Prudente, **Anais...**,CD ROM, 1999.

PLANO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS-PERH. **Secretaria dos Recursos** Hídricos do Estado do Ceará, 236 p, 1990.

**PRITCHARD, F. B. Estuarine hydrography. In: LANDESBERG, H. E.** Advances in Geophysics. **New York: Academic Press, p. 243-280,1954.**

PRITCHARD,D.W. “What is an estuary: Physical View Point”. In Lauff G.H.,(ed). **Estuaries**, Washington,D.C. American Association for the Advance of Science,p.3-5,1967.

RAUDKIVI, A.J. **Loose Boundary Hydraulics**, 3a. Ed. Pergamon Press,627 p,1990.

READING,H.G.; COLLINSON,J.D. 1996. **Clastic coasts**, In: Reading, H.G. (Editor).

RIDD,P.V.;STIEGLITZ,T. Dry Season Salinity Changes in Arid Estuaries Fringed by Mangroves and Saltflats. **Estuarine,Coastal and Shelf Science**,54(1),p.1039-1049,2002.

RODRIGUES,A.C.B.**Caracterização sedimentológica e processos eólicos costeiros da região de Caucaia, costa oeste do Estado do Ceará.**1999. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE,115p,1999.

SCHAEFERR-NOVELLI.Y et al. Brazilian Mangroves. **Aquatic Ecosystem Health and Management**, (3), p.561-570, 2000.

SCHWAB, Glenn O. et al. Precipitation. In: **Soil and Water Conservation Engineering**.2ed. New York: John Wiley & Sons,1966.

SHORT.A.D. Note on the controls of beach type and change, with S.E. Australian examples. **Journal Coastal Research**. Charlottesville,v.3,n.3,p.387-395,1987.

SHORT,A.D. H. Beach hazards and Safety. In: **Handbook of beach and shoreface morphodynamics** (org. Andrew D. Short). England, Ed. Jonh Wiley & Sons,LTD. 293-303p, 1999.

SILVA,E.A. **Zoneamento Geoambiental e Diretrizes para o desenvolvimento sustentável: O Litoral do Município de Cascavel-CE.** 2002.139p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente-PRODEMA), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza,2002.

SOARES FILHO,A.A.; ALCANTARA-FILHO,P.Características hidrológicas das águas estuarinas entre a região média e boca do Rio Jaguaribe (Ceará-Brasil). **Revista de Ciência e Tecnologia da UECE**, 4(4),43-50, Fortaleza,2002.

SOTCHAVA,V.B. **Définition de quelques notions et termes de Géographie Physique.** Dokl Institute de Géographie de la Sibérie et Extreme Orient,3:94-117. em russo,1962

SOTCHAVA,V.B. **O estudo de geossistemas. Métodos em Questão**, (16), p.1-52, IG-USP,1977.

SOUZA, M.J.N.Contribuição ao Estudo das Unidades Morfo-Estruturais do Estado do Ceará. **Revista de Geologia da UFC**,Fortaleza-CE, v.1,p. 73-91,1989.

SOUZA, M.J.N. **Análise Geoambiental e Ecodinâmica das Paisagens do Estado do Ceará.**1998. Tese (Professor Titular)-Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza-CE, 250p.,1998.

SOUZA, M.J.N.. Estudos do meio físico natural. In: AMBIENTE, Ministério Do Meio. (Org.).

**Zoneamento Ecológico-Econômico do Baixo Parnaíba (MA-PI-CE).** Brasília, 2002.

SOUZA, M.J.N et al.. **Macro-zonamento geoambiental da Zona Costeira do Estado do Ceará.** In: SEMACE. (Org.), Fortaleza, circulação restrita, 1999.

SOUZA, M.J.N. Diagnóstico Geoambiental In: Campos *et al.*,. **A Zona Costeira do Estado do Ceará: Diagnóstico para a Gestão Integrada,** Fortaleza, AQUASIS, 248 p., 2002

SUGUIO, K. **Introdução a Sedimentologia.** Ed. Edgard Blucher Ltda. 317 p. São Paulo, 1973.

TESSLER, M.G.; MAHIQUES, M.M. Por uma terminologia brasileira para o ambiente praial. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE PRAIAS ARENOSAS: MORFODINÂMICA, ECOLOGIA, USOS, RISCOS E GESTÃO/ Antônio H.F. Klein (organizador). **Anais...** 68-69. Ed. Univali. Itajaí-SC, 2000.

TRICART, J. **Ecodinâmica.** Rio de Janeiro. Fundação IBGE., 1977.

USDA BUREC. **Drainage manual; a water resources technical publication,** Denver: 1978, 14p.

VAN DER WAL, D.; PYE, K.; NEAL, A. Long-term morphological change in the Rible Estuary, northwest England. **Marine Geology,** 182 (1), p.249-266, 2002.

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada,** McGraw-Hill do Brasil, São Paulo, 244 p., 1975.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance.** Publications in climatology. Laboratory of Climatology, New Jersey, v.8, 104p, 1955.

WOLANSKI, E.; KING, B.; SPAGNOL, S. The implications of oceanographic chaos for coastal management. In: SALOMONS, W.; TURNER, R. K.; LACERDA, L. D.; RAMACHANDRANS, S. **Perspectives on Integrated Coastal Zone Management.** New York: Springer, 1999. p. 129-141.

WRIGHT, L.D.; SHORT, A.D. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis. **Marine Geology.** Amsterdam, v.56, .93-118, 1984.

ANEXO A. Curva-número (cn) representando o escoamento superficial para as condições de solo,  
cobertura vegetal e umidade abaixo apresentadas (condições de umidade  $i_i$  e  $i_a = 0,2 S$ ) (\*)

USO DA TERRA	COBERTURA		GRUPOS DE SOLO			
	TRATAMENTO OU PRÁTICA	CONDIÇÃO * HIDROLÓGICA	A	B	C	D
CURVA			NÚMERO DA CURVA			
Cultura em fileiras (milho, algodão, tomate, etc.)	Fileiras retas	Ruim	72	81	88	91
	Fileiras retas	Boa	67	78	85	89
	Fileiras em contorno	Ruim	70	79	84	88
	Fileiras em contorno	Boa	65	75	82	86
	Anterior + terraças	Ruim	66	74	80	82
	Anterior + terraças	Boa	62	71	78	81
Cultura em fileiras estreitas (trigo, arroz)	Fileiras retas	Ruim	65	76	84	88
	Fileiras retas	Boa	63	75	83	87
	Fileiras em contorno	Ruim	63	74	82	85
	Fileiras em contorno	Boa	61	73	81	84
	Anterior + terraças	Ruim	61	72	79	82
	Anterior + terraças	Boa	59	70	78	81
Leguminosas em fileiras estreitas ou forrageiras em rotação (também hortaliças)	Fileiras retas	Ruim	66	77	85	89
	Fileiras retas	Boa	58	72	81	85
	Fileiras em contorno	Ruim	64	75	83	85
	Fileiras em contorno	Boa	55	69	78	83
	Anterior + terraças	Ruim	63	73	80	83
	Anterior + terraças	Boa	51	67	76	80
Pastagens (pastoreio)		Ruim	68	79	86	89
		Regular	49	69	79	84
		Boa	39	61	74	80
	Fileiras em contorno	Ruim	47	67	81	88
	Fileiras em contorno	Regular	25	59	75	83
	Fileiras em contorno	Boa	6	35	70	79
Pastagens (feno)		Boa	30	58	71	78
Floresta		Ruim	45	66	77	83
		Boa	36	60	73	79
Ou Bosque		Boa	25	55	70	77

Boa – cobertura em mais de 75% da área.

Regular – entre 50 e 75%.

Ruim – menor de 50% da área.

$i_a$  – água inicial retida (plantas, empoçamento e água que se infiltra antes do início do escoamento superficial).

(\*) Segundo Shwab et al. *Soil and water conservation engineering* - pag. 104.

Fatores de conversão de curvas-número para as condições I e III para Ia = 0,2 S (\*).

CURVA-NÚMERO PARA A CONDIÇÃO II	FATOR DE CONVERSÃO DE CURVA NÚMERO II PARA:	
	CONDIÇÃO I	CONDIÇÃO III
10	0,40	2,22
20	0,45	1,85
30	0,50	1,67
40	0,55	1,50
50	0,62	1,40
60	0,67	1,30
70	0,73	1,21
80	0,79	1,14
90	0,87	1,07
100	1,00	1,00

(\*) Segundo Shwab et al. *Soil and water conservation engineering* - pag. 106.