UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA FÍSICA

LUIZ FERNANDO DE CARLI LAUTERT

**Análise morfodinâmica e das águas nas bacias costeiras dos rios
Nhundiaquara e Marumbi, no litoral do Paraná**

São Paulo
2010

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA FÍSICA

**Análise morfodinâmica e das águas nas bacias costeiras dos rios
Nhundiaquara e Marumbi, no litoral do Paraná**

Luiz Fernando de Carli Lautert

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia Física do Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de doutor em Ciências (Geografia Física).

Área de concentração: Geografia Física
Orientador: Prof. Dr. Jurandyr Luciano Sanches Ross

São Paulo
2010

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo, desde que citada a fonte

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Biblioteca da UFPR Setor Litoral

Lautert, Luiz Fernando de Carli

Análise morfodinâmica e das águas das bacias costeiras dos rios Nhundiaquara e Marumbi no Litoral do Paraná / Luiz Fernando de Carli Lautert. -- São Paulo, 2010.

189 f.

Orientador: Prof. Dr. Jurandyr Luciano Sanches Ross.

Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Geografia Física. Departamento de Geografia. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. Universidade de São Paulo.

1. Visão integrada. 2. Fragilidade Ambiental. 3. Condições da água. 4. Bacias Hidrográficas. 5. Litoral do Paraná. I. Ross, Jurandyr Luciano Sanches II. Título.

CDD - 551

Folha de Aprovação

Luiz Fernando de Carli Lautert

Análise Morfodinâmica e das Águas nas Bacias Costeiras dos rios Nhundiaquara e Marumbi,
no Litoral do Paraná.

Tese apresentada à Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências
Humanas da Universidade de São Paulo para obtenção do título de
doutor em Ciências(Geografia Física).

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

AOS MEUS PAIS,
À MINHA COMPANHEIRA MARIANA E AO
NENÉM QUE VEM CHEGANDO

AGRADECIMENTOS

Ao Professor orientador deste trabalho, Jurandyr Luciano Sanches Ross, agradeço pelas orientações, força e confiança para realização e desenvolvimento desta pesquisa.

Ao prof. Eduardo Marone e Carlos Roberto Soares pela oportunidade de trabalhar nas pesquisas no Centro de Estudos do Mar.

Ao Professor Maurício Noernberg, pelas participações nos trabalhos de campo, orientações e ensinamentos práticos dos programas computacionais para o mapeamento cartográfico.

À Professora Eunice da Costa Machado pelas orientações e pela autorização para realizar as análises das amostras da água no Laboratório de Biogeoquímica, do Centro de Estudos do Mar/UFPR

Aos estagiários do laboratório Byanka, Kléber e à técnica de laboratório Liciane na colaboração nas análises laboratoriais.

Aos colegas do Laboratório de Física Marinha, Murillo, Vicente, Clécio, Georgina e Joaquim que ajudaram nas amostragens na baía.

Aos barqueiros Josias, Abrão e Zezé que conduziram as embarcações nas amostragens da baía.

Aos colegas Rangel Angelloti e Marcos Miara pelas discussões e ensinamentos para o manejo dos programas computacionais, na geração das cartas de fragilidade.

A todos os professores e funcionários da USP que de alguma forma me ajudaram na construção do trabalho.

Ao Centro de Estudos do Mar da Universidade Federal do Paraná, pelo espaço para desenvolvimento do trabalho.

Ao laboratório de Física Marinha (CEM-UFPR), que proporcionou espaço para o desenvolvimento do trabalho.

À Bibliotecária da UFPR, Litoral Liliam Orquiza, pela organização da ficha catalográfica.

Ao Biólogo e colega Prof. Paulo Henrique Carneiro Marques, pela parceria nas amostragens de água nas bacias.

A amiga e colega Nilva Brandini pela ajuda nas amostragens, análises e organização dos dados da baía.

Com muito amor e carinho gostaria de agradecer aos meus pais Albino e Noemi, minha irmã Sandra e minha sobrinha Anna Paula que sempre me apoiaram no desenrolar da pesquisa.

À minha companheira Mariana Gallucci Nazário pela ajuda nas análises laboratoriais, pelas discussões teóricas, pelas orientações e ajuda na formatação e principalmente pelo amor, carinho e paciência proporcionados neste período.

A todos aqueles que de forma direta ou indireta colaboraram de alguma forma para a realização deste trabalho.

RESUMO

Esta pesquisa faz um estudo integrado com ênfase na fragilidade das bacias hidrográficas costeiras do rio Nhundiaquara e rio Marumbi, localizadas no litoral do Paraná. Tem como objetivo geral a análise morfodinâmica destas bacias, na perspectiva da aplicação do modelo de fragilidade ambiental, frente aos indicadores das condições da água. Uma das justificativas deste trabalho é a tentativa de agregar aos estudos de fragilidade potencial e emergente, experimentos geradores de parâmetros ambientais de água. Além disso, a busca pela produção de material e de informações quantitativas e qualitativas sobre as características das bacias estudadas, visto que possam ser usadas como geoindicadores em programas de ordenamento, planejamento e gestão ambiental em atividades de educação pública. As informações para identificação, mapeamento e análise do meio físico (relevo, solos, geologia, vegetação e uso da terra) estão identificadas com apoio das tecnologias SIG, representadas pelas bases cartográficas. As correlações e combinações das informações são apresentadas com auxílio das tecnologias SIG representadas pelas ferramentas computacionais através dos softwares Spring, Idrisi e Corel Draw. Os resultados das combinações de informações temáticas apresentam fragilidades potencial e emergente, variando entre as classes baixa e muito alta, definidos pelas características físicas e sociais locais. A confrontação das fragilidades e as condições da água apresentam resultados com associação direta entre eles.

Palavras-Chave: visão integrada, bacia hidrográfica, fragilidade ambiental, condições de água, Litoral do Paraná.

ABSTRACT

This research consists of an integrated study that focuses the fragility of the coastal watersheds of which Nhundiaquara and Marumbi Rivers are part of both located in the seashore are of Paraná. The main purpose of this research is the morphodynamic analysis of these watersheds applying the environmental fragility model, considering the indicators of water conditions. One of the reasons of this study is the attempt to add to the emerging and potential fragility studies, experiments that that generate environmental parameters for water condition. Moreover, the search for the production of information and materials as well as quantitative and qualitative information about the characteristics of the watersheds studies can be used as geoindicators in the planning and management of activities in public education. The information for the identification mapping and analysis of physical environmental (topography, soils, geology, vegetation and land use) are identified with the help of GIS technologies represented by the cartographic databases. The correlations and combinations of information are presented with the support of GIS technology represented by computational tools through Spring; Idrisi and Corel Draw software's. The results of combinations of thematic information present potential and emerging fragility, varying in between low and very high classes, defined by local physical and social characteristics. The fragility confrontations and water conditions present results with direct association between them.

Keywords: integrated vision, watershed, environmental fragility, water conditions, Paraná Coastal.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da área de estudo. Organizado por Lautert (2010).....	21
Figura 2. Figuras publicadas no famoso <i>Principys of Geology</i> de 1853, livro que influenciou as primeiras gerações de geólogos e geógrafos físicos.....	25
Figura 3. Estrutura do Geossistema. Fonte: Bertrand (1971).....	34
Figura 4. Localização dos pontos de amostragem de água nas bacias. M: Rio Marumbi e NH: Rio Nhundiaquara. Organizado por Lautert (2010).	43
Figura 5. Detalhe da instalação do ADCP (<i>Adopler Current Profile</i>) na embarcação usada para coleta de dados. Organizado por Lautert (2010).....	46
Figura 6. A. Mapa da localização do transecto de amostragem das amostras de água e B. Detalhe do transecto. Organizado por Lautert (2010).	47
Figura 7. Módulo RECLESS-IDRISI. Organizado por Lautert (2010).....	59
Figura 8. Módulo IMAGE CALCULATOR-IDRISI. Organizado por Lautert (2010).....	59
Figura 9. Módulo CROSSTAB-IDRISI. Organizado por Lautert (2010).	60
Figura 10. Perfil esquemático do relevo de desde a planície costeira até Foz do Iguaçu. Organizado por Lautert (2010).....	63
Figura 11. Mapa Hipsométrico do estado do Paraná, adaptado de ANGULO, 1992, e organizado por Prata Jr.1996.....	64
Figura 12. Principais unidades geomorfológicas da região litorânea do Estado do Paraná, (1), planaltos, (2), serras originadas por dissecção da borda do planalto, (3) serras originadas por erosão diferencial, (4) talus, leques aluviais e planícies aluviais, (5) planície costeira, (6) divisor d água, (7) limite interestadual, Fonte:Angulo (2004), pag. 29.....	65
Figura 13. Serra do mar e planície costeira no litoral do Paraná, com destaque para localização da Serra do Mar e planície litorânea no litoral do Paraná com destaque para as serras do Marumbi e Graciosa. Fonte: Laboratório de Física Marinha – CEM – UFPR.	68
Figura 14. Serra do Marumbi, 1539m, formado por uma grande intrusão de granito, ocorrida no proterozoico superior. Fotografia, Lautert 2010, organização Lautert 2010.....	69
Figura 15. Esquema da origem e recuo erosivo as Serra do Mar, na região entre a Bacia do Paraná, no continente, e a Bacia de Santos, a sudeste. Estágios: 1. Soerguimento senoniano erodido, causando deposição nas bacias de Santos e do Paraná. Depósitos da formação Santos indicados na primeira e do grupo Bauru na segunda. Vulcanismo alcalino (A), Falha de Santos (F). 2. Desenvolvimento da superfície de aplainamento Japi no final do Senoniano. 3. Deformação da Superfície de Japi no Paleoceno. Surge a Serra do Mar (SM) na falha de Santos (F), o sistema de grabens continentais e começa a se desenvolver, na costa, a plataforma continental (P). 4. Recuo erosivo (R) da Serra do Mar para a posição atual. A posição esquemática da Depressão Periférica e indicada (DP). Intrusões alcalinas sustentam ilhas. Convenções: 1. Depósitos da Fm Santos, 2. Cobertura fanerozoica sotoposta ao basalto Serra Geral, 3. Formação Serra Geral, 4. Corpos alcalinos, 5. Grupo Bauru, 6. Falhas. Fonte: Adaptada de Almeida e Carneiro (1998)	70
Figura 16. Fenômenos que influenciam na mudança do nível dos oceanos. Adaptado de Fiers 2008 .	72
Figura 17. Evolução geológica-geomorfológica re região litorânea paranaense nos últimos milênios: (A) mostra quando o nível do mar estava 8 ± 2 m sobre o nível atual, chegando ao sopé da Serra do Mar há 120.000 anos atrás. (B) mostra uma superfície imaginária quando o nível mar estava -130 m abaixo do nível atual, entre 21.500 e 18.000 anos atrás. (C) 5.100 e 5.400 anos atrás ocorreu uma nova transgressão marinha, quando o nível máximo do mar atingiu entre +2 e +4 m sobre o nível atual, erodindo parte da planície costeira. (D) desde a transgressão mostrada em (C) o nível do mar começou a baixar até atingir o nível atual, quando praias e mangues foram formados. Para a elaboração destas figuras, utilizou-se como base o desenho do Prof. João José BIGARELLA, de 1978. Fonte: APA-CEM (2003, 32).	76
Figura 18. Dinâmica de sedimentos na zona costeira. Fonte: adaptado de: Open University por MANTOVANELLI (1999).	81
Figura 19. Compartimentação do relevo Fonte: Adaptado de Oka Fiori (2007).....	84
Figura 20. Geologia da Área de Estudo.	88

Figura 21. Declividade da área de estudo.	90
Figura 22. Solos da área de estudo.	92
Figura 23. Uso de Terra e Vegetação da área de estudo.	97
Figura 24. Municípios do litoral Paranaense. Organizado por Lautert (2010).	99
Figura 25. Agricultura praticada ao longo das planícies fluviais. Ao fundo nascentes do rio Marumbi. Organizado por Lautert (2010).	101
Figura 26. Área urbana de Morretes. Organizado por Lautert (2010).	103
Figura 27. Pluviosidade anuais entre os anos de 1977 e 2007, nas duas estações de Morretes: A) Cidade e B) Serra da Graciosa. Fonte: SUDERSA, org. LAUTERT 2010.	107
Figura 28. Pluviosidades mensais na estação meteorológica na cidade de Morretes entre os anos de 1996 e 2007. (Org. LAUTERT, 2010).	108
Figura 29. A. Vazão e curva da maré dos dois eventos e B. Precipitação dos 7 dias anteriores às coletas. Organizado por Lautert (2010).	109
Figura 30. Distribuição temporal dos fundeios realizados na fase seca (Novembro/2002) e chuvosa (Fevereiro/2003), realizados em 2 ciclos completos de maré (26h). Médias das 3 estações no canal da Baía de Antonina. Salinidade (UPS), Silicato (μM), Material Particulado em Suspensão (mg/l). As barras indicam os valores da média $\pm$ desvio padrão. Água de Superfície (■) e Água de Fundo (◆). Organizado por Lautert (2010).	111
Figura 31. Distribuição espacial dos fundeios realizados nas fases seca (Novembro/2002) e chuvosa (Fevereiro/2003), em dois ciclos completos de maré (26h). Médias do período amostrado nas 3 estações no canal da Baía de Antonina. Salinidade (UPS), pH, silicato (μM), Material Particulado em Suspensão (mg/l). As barras indicam os valores da média $\pm$ desvio padrão. Água de Superfície (■) e Água de Fundo (◆). Organizado por Lautert (2010).	112
Figura 32. A) Percentual de descarga de água doce (%), para cada rio amostrado, em relação à descarga de todos os rios amostrados somadas ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) e B) Fluxo de material em suspensão (%), para cada rio amostrado, em relação fluxo diário de todos os rios amostrados somados ($\text{Kg dia}^{-1} \text{m}^{-2}$). Fonte: Mantovanelli (1999).	114
Figura 33. Valores médios de temperatura, pH, concentração de Oxigênio Dissolvido e de Silicato nas estações de coleta de água. Média (△), Fase Seca (■) e Fase Chuvosa (◆). A) Temperatura; B) pH; C) Oxigênio Dissolvido e D) Silicato Reativo. Organizado por Lautert (2010).	115
Figura 34. Valores médios de material particulado em suspensão nas estações de coleta de água. A) Apenas Rios e B) Rios e Baía de Antonina. Média (△), Fase Seca (■) e Fase Chuvosa (◆). Organizado por Lautert (2010).	117
Figura 35. Representação esquemática das unidades taxonômicas, propostas por ROSS (1992).	119
Figura 36. Fragilidade Potencial. Organizado por Lautert (2010).	122
Figura 37. Carta de Fragilidade Potencial Muito Baixa (1). Organizado por Lautert (2010).	125
Figura 38. Carta de Fragilidade Potencial Baixa (2), com destaque para os locais da área onde ocorrem essa classe de fragilidade. Organizado por Lautert (2010).	127
Figura 39. Carta de Fragilidade Potencial Média (3), com destaque para os locais da área onde ocorrem essa classe de fragilidade. Organizado por Lautert (2010).	129
Figura 40. Carta de Fragilidade Potencial Alta (4), com destaque para os locais da área onde ocorrem essa classe de fragilidade. Organizado por Lautert (2010).	131
Figura 41. Carta de Fragilidade Potencial Muito Alta (5), com destaque para os locais da área onde ocorrem essa classe de fragilidade. Organizado por Lautert (2010).	134
Figura 42. Perfil Integrado do Rio Nhundiaquara. Organizado por Lautert (2010).	142
Figura 43. Perfil Integrado do Rio Marumbi. Organizado por Lautert (2010).	143
Figura 44. Fragilidade Emergente.	146
Figura 45. Carta de Fragilidade Emergente Baixa, com destaque para os locais onde ocorrem essas classe de fragilidade. Organizado por Lautert (2010).	148
Figura 46. Carta de Fragilidade Emergente Média, com destaque para os locais onde ocorrem essas classe de fragilidade. Organizado por Lautert (2010).	150

Figura 47. Carta de Fragilidade Emergente Alta, com destaque para os locais onde ocorrem essas classe de fragilidade. Organizado por Lautert (2010).	151
Figura 48. Carta de Fragilidade Emergente muito Alta, com destaque para os locais onde ocorrem essas classe de fragilidade. Organizado por Lautert (2010).	152
Figura 49. Enchente ocorrida em janeiro de 2006. Organizado por Lautert (2010).	157
Figura 50. Confrontação da fragilidade potencial e emergente com os dados de temperatura das amostras de água.	162
Figura 51. Confrontação da fragilidade potencial e emergente com os dados de pH das amostras de água.	165
Figura 52. Confrontação da fragilidade potencial e emergente com os dados de oxigênio dissolvido das amostras de água.	167
Figura 53. Confrontação da fragilidade potencial e emergente com os dados de silicato das amostras de água.	170
Figura 54. Confrontação da fragilidade potencial e emergente com os dados de temperatura das amostras de água.	172

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Pontos de coleta de água localizados nos rios Marumbi e Nhundiaquara, altitude e observação sobre o local de amostragem. Organizado por Lautert (2010).	44
Tabela 2. Pesos relativos à declividade. Organizado por Lautert (2010).	54
Tabela 3. Pesos relativos a solos. Organizado por Lautert (2010).	55
Tabela 4. Pesos relativos à geologia. Organizado por Lautert (2010).	56
Tabela 5. Pesos relativos ao uso da terra. Organizado por Lautert (2010).	58
Tabela 6. Reclassificação das 57 Classes resultantes da tabulação simultânea. Dígito1= declividade; dígito 2= solos e dígito 3= geologia, dígito 4 resultado da reclassificação. Organizado por Lautert (2010).	61
Tabela 7. Reclassificação das 25 Classes resultantes da tabulação simultânea. Dígito 1= fragilidade potencial; dígito 2= uso da terra. Organizado por Lautert (2010).	62
Tabela 8. Características Principais da História Geológica da Terra e os principais acontecimentos no Litoral do Paraná. Fonte: RC/APA-CEM 2003.	75
Tabela 9. Área colhida, produção, rendimento médio e valor da produção agrícola –IBGE- 2006, produção agrícola municipal nota: dados estimados. Fonte: (IPARDES, 2009).	101
Tabela 10. Síntese das medições realizadas em alguns rios da bacia de drenagem do sistema estuarino Antonina. Os valores de vazão, obtidos acima do ponto de medição (Q , $m^3 s^{-1}$), foram corrigidos para vazão total (QT , $m^3 s^{-1}$), considerando-se a área total da bacia de drenagem (A , Km^2): $QT = QA / (A-a)$, onde a representa a área abaixo do ponto de medição. A carga de material em suspensão (Seston) por unidade de tempo (Qs , $g s^{-1}$) foi calculada pela relação $Qs = QT * C$, onde C representa a concentração do material em suspensão (em $g m^{-3}$). A última coluna representa o fluxo diário de material particulado em suspensão (Seston, $Kg m^2 dia^{-1}$), relativizado pela área da bacia de drenagem de cada rio (MANTOVANELLI, 1999).* A descarga do rio Nhundiaquara foi estimada grosseiramente a partir da velocidade obtida somente em um ponto de medição. Organizado por Lautert (2010).	113
Tabela 11. Áreas e porcentagens da carta de fragilidade potencial. Organizado por Lautert (2010).	121
Tabela 12. Fragilidade potencial muito baixa (1). Organizado por Lautert (2010).	124
Tabela 13. Fragilidade potencial baixa (2). Organizado por Lautert (2010).	126
Tabela 14. Fragilidade potencial média (3). Organizado por Lautert (2010).	128
Tabela 15. Fragilidade potencial alta (4). Organizado por Lautert (2010).	130
Tabela 16. Fragilidade potencial muito alta (5). Organizado por Lautert (2010).	133
Tabela 17. Total de Área de Fragilidade da Declividade. Organizado por Lautert (2010).	135
Tabela 18. Fragilidade da Declividade. Organizado por Lautert (2010).	135
Tabela 19. Área total da Fragilidade do Solo. Organizado por Lautert (2010).	137
Tabela 20. Fragilidade dos solos. Organizado por Lautert (2010).	138
Tabela 21. Área total da fragilidade da geologia. Organizado por Lautert (2010).	139
Tabela 22. Fragilidade da geologia. Organizado por Lautert (2010).	140
Tabela 23. Área total da fragilidade emergente. Organizado por Lautert (2010).	145
Tabela 24. Área total do Uso da Terra. Organizado por Lautert (2010).	145
Tabela 25. Fragilidade Emergente Muito Baixa (1). Organizado por Lautert (2010).	147
Tabela 26. Fragilidade Emergente Baixa (2). Organizado por Lautert (2010).	148
Tabela 27. Fragilidade Emergente Média (3). Organizado por Lautert (2010).	149
Tabela 28. Fragilidade Emergente Alta (4). Organizado por Lautert (2010).	150
Tabela 29. Fragilidade Emergente Muito Alta (5). Organizado por Lautert (2010).	152
Tabela 30. Fragilidades Emergentes do Uso da terra. Organizado por Lautert (2010).	153
Tabela 31. Resumo das Unidades de Fragilidade Potencial. Organizado por Lautert (2010).	155
Tabela 32. Resumo das Unidades de Fragilidade Emergente. Organizado por Lautert (2010).	156

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 HIPÓTESES, OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA	19
1.2 JUSTIFICATIVA	20
3 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA	21
4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E METODOLÓGICA DA PESQUISA	22
4.1 CONSTRUINDO A VISÃO INTEGRADA	22
4.2 O SURGIMENTO DOS SISTEMAS E DOS GEOSSISTEMAS, NO ESTUDO DAS PAISAGENS	29
4.3 MODELO INTEGRADO COMO GEOINDICADOR	37
5 PROCEDIMENTOS TÉCNICOS OPERACIONAIS –PARA GERAÇÃO DOS PARÂMETROS DA ÁGUA, DAS CARTAS TEMÁTICAS, E SUAS COMBINAÇÕES	41
5.1 FASE DE LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO	41
5.2 COLETA DE ÁGUA E GERAÇÃO DE DADOS DE QUALIDADE DA ÁGUA	41
5.2.1 Amostragem nas Bacias Hidrográficas	42
5.2.2 Amostragem à Jusante na Baía de Antonina	45
5.3 METODOLOGIA DAS ANÁLISES DE LABORATÓRIO	48
5.3.1 Filtração	48
5.3.2 Determinação de Oxigênio Dissolvido	48
5.3.3 Determinação de Silicato Reativo	49
5.3.4 Determinação de Material em Particulado em Suspensão (MPS)	49
5.4 ELABORAÇÃO DA BASE CARTOGRÁFICA	50
5.4.1 Produção das cartas temáticas	50
5.4.1.1 Rede Hidrográfica	51
5.4.1.2 Declividade	51
5.4.1.3 Solos	52
5.4.1.4 Geologia	52
5.4.1.5 Uso da Terra	52
5.5 TRATAMENTO DOS DADOS PARA CHEGAR À FRAGILIDADE	53
5.5.1 Fragilidade potencial	53
5.5.1.1 Pesos da Declividade	54
5.5.1.2 Pesos dos Solos	54
5.5.1.3 Pesos da Geologia	55
5.5.2 Fragilidade Emergente	57

5.5.2.1	Peso do uso da terra	57
5.6	COMBINAÇÃO DAS INFORMAÇÕES	58
6	PRODUÇÃO, DESCRIÇÃO E ANÁLISE TEMÁTICA DOS DADOS	63
6.1	GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA DO LITORAL PARANAENSE	63
6.1.2	Zona Montanhosa do Litoral	66
6.1.2.1	Embasamento cristalino.....	66
6.1.2.2	Sedimentos do Quaternário (Tálus e colúvios).....	70
6.1.3	Zona da Planície Litorânea	71
6.1.3.1	Sedimentos Continentais	77
6.1.3.2	Sedimentos Marinhos	78
6.2	INTERAÇÃO COM O ESTUÁRIO.....	80
6.3	MAPEAMENTO DAS BACIAS DO NHUNDIAQUARA E MARUMBI.....	82
6.3.1	Geomorfologia.....	82
6.3.2	Geologia	85
6.3.3	Declividade.....	89
6.3.4	Solos	91
6.3.5	Vegetação e uso da terra.....	93
6.3.5.1	Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas	94
6.3.5.2	Floresta Ombrófila Densa Aluvial.....	94
6.3.5.3	Floresta Ombrófila Densa Submontana.....	95
6.3.5.4	Floresta Ombrófila Densa Montana	95
6.3.5.5	Floresta Ombrófila Densa Alto Montana	95
6.3.5.6	Associação da Formação Pioneira Manguezal	96
6.3.6	Uso da Terra	98
6.3.7	Clima	103
6.3.7.1	Os centros de ações atmosféricas	104
6.3.7.2	As massas de ar	105
6.3.7.3	Frentes	106
6.3.7.4	Pluviosidade	106
6.4	RESULTADOS DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA ÁGUA	109
6.4.1	Parâmetros do Estuário.....	109
6.4.2	Parâmetros das Bacias	114
6.4.2.1	Temperatura.....	114
6.4.2.2	Oxigênio Dissolvido	115

6.4.2.3 pH	116
6.4.2.4 Silicato Reativo	116
6.4.2.5 Material Particulado em Suspensão.....	117
7 INTERPRETAÇÃO DOS DADOS TEMÁTICOS COM A BASE NO MODELO DE ANÁLISE DE FRAGILIDADE UTILIZADO	118
7.1 RESULTADOS DA FRAGILIDADE POTENCIAL	121
7.1.1 Descrição e análise das Classes de Fragilidade Potencial	123
7.1.1.1 Classe de Fragilidade Potencial Muito Baixa (1)	123
7.1.1.2 Classe de Fragilidade Potencial Baixa (2)	125
7.1.1.3 Classe de Fragilidade Potencial Média (3)	127
7.1.1.4 Classe de Fragilidade Potencial Alta (4)	130
7.1.1.5 Classe de Fragilidade Potencial Muito Alta (5)	132
7.1.2 Morfometria (Declividade).....	135
7.1.3 Fragilidade do Solo.....	137
7.1.4 Fragilidade da Geologia.....	138
7.1.5 Morfologia.....	141
7.2 RESULTADOS DA FRAGILIDADE EMERGENTE.....	145
7.2.1 Descrição e Análise da Fragilidade Emergente	147
7.2.1.1 Classe de fragilidade emergente muito baixa (1)	147
7.2.1.2 Classe de fragilidade emergente baixa (2).....	147
7.2.1.3 Classe Fragilidade Emergente Média (3)	149
7.2.1.4 Classe de Fragilidade Emergente alta (4)	150
7.2.1.5 Classe de Fragilidade Emergente Muito alta (5)	151
7.2.2 A fragilidade emergente no Uso da Terra	153
7.3 SÍNTESE DOS RESULTADOS DAS FRAGILIDADES POTENCIAL E EMERGENTE.....	154
8 RESULTADOS ANALÍTICOS ENTRE AS CONDIÇÕES DAS ÁGUAS E AS FRAGILIDADES	159
8.1 CONFRONTAÇÃO DOS DADOS DE QUALIDADE DA ÁGUA COM A FRAGILIDADE POTENCIAL E EMERGENTE	159
8.1.1 Temperatura.....	161
8.1.2 pH	163
8.1.3 Oxigênio Dissolvido.....	166
8.1.4 Silicato Reativo	168
8.1.5 Material Particulado em Suspensão.....	171
9 CONSIDERAÇÕES FINAIS	173

9.1 A PROPOSTA INICIAL DA PESQUISA E SEUS RESULTADOS	173
9.1.1 Análise crítica do modelo	174
9.1.2 Resultados da convergência entre fragilidade e as condições das águas.....	175
9.2 A IMPORTÂNCIA DOS ESTUDOS INTEGRADOS E DA PRÁTICA INTERDISCIPLINAR NO PLANEJAMENTO AMBIENTAL E NA EDUCAÇÃO BÁSICA	177
10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	180

1 INTRODUÇÃO

A conscientização da sociedade para a importância da conservação e preservação das paisagens e seus recursos naturais tornou-se preocupação constante do cotidiano e felizmente algumas nações, mesmo que apenas juridicamente, têm demonstrado interesse sobre a apropriação e uso dos recursos naturais. Será que as gerações futuras sobreviverão com supostamente o fim, ou no mínimo, a diminuição acentuada das reservas de diversas energias contidas na natureza? Ou será que a sociedade em suas diferentes dimensões sempre encontrará novas técnicas para transformar e com isso vencer a natureza e dominar a si mesma?

Ao refletir sobre questões como esta, surge à necessidade de se pensar mais integradamente os sistemas naturais. Assim os estudos ambientais em Geografia têm contribuído de forma significativa na compreensão das relações entre sociedade e natureza. Nesse sentido tem sido cada vez mais elevada a produção de trabalhos na área ambiental, como nos apresentou a professora Dirce Suertegaray em seu artigo “A Natureza da Geografia Física (2002), em um levantamento da produção bibliográfica no âmbito do XII ENG- Encontro nacional de Geógrafos.

Este trabalho faz um estudo ambiental com ênfase na fragilidade e as condições da água das bacias hidrográficas costeiras do rio Nhundiaquara e rio Marumbi, localizadas no litoral do Paraná.

Na primeira parte, na revisão teórica e metodológica, se faz um resgate geral de alguns dos caminhos que levaram a Geografia e a Geografia física a refletir e concretizar idéias e metodologias práticas de trabalhos capazes de analisar e discutir alguns processos naturais, integrando informações ambientais contidas em um espaço interdisciplinar,

considerando em alguns momentos somente aspectos naturais, em outros naturais e sociais. Passando por Davis, Dokuchaiev, Penk, Bertalanffy, Tricart, Bertrand, Ab Saber, Casseti e Ross, buscou-se trilhar um rumo em direção à visão integrada de informações espaciais de algumas estruturas básicas das paisagens.

O capítulo 4 descreve os procedimentos técnicos operacionais utilizados para coleta e análise dos dados de água, a produção e geração das cartas temáticas utilizados para base da produção dos mapas de fragilidade, assim como a metodologia de combinação das informações para chegar às classes de fragilidade.

No capítulo 5 apresenta-se um panorama ambiental do litoral paranaense, acompanhado dos resultados do mapeamento das cartas de declividade, solos e geologia das bacias hidrográficas estudadas e das coletas de água realizadas nas bacias e fora delas, já no estuário, utilizadas principalmente como ponto controle da metodologia de amostragem e das variáveis.

O capítulo 6 apresenta os resultados das combinações das informações e, conseqüentemente, as cartas de fragilidade ambiental, potencial e emergente, identificando Unidades Ecodinâmicas da Paisagem, proposta por ROSS (1994), assim como os resultados e análises da fragilidade, avaliando aspectos gerais da morfologia e das relações entre fragilidade, declividade, solo e geologia, com perfis integrados dos principais rios das bacias envolvidas.

No último capítulo, com as conclusões, se faz uma confrontação da fragilidade com os parâmetros ambientais de água, buscando justificar a hipótese de que os resultados dos parâmetros ambientais de água nos rios são convergentes com o modelo utilizado para geração dos índices de fragilidade ambiental emergente. Por fim, no mesmo capítulo se faz uma análise crítica do modelo proposto discutindo os resultados.

2 HIPÓTESES, OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA

A principal hipótese trabalhada ao longo deste estudo é de que os resultados das condições ambientais da água dos principais rios são convergentes com o modelo de fragilidade proposto para as bacias. Desta forma, este trabalho tem os seguintes objetivos:

Objetivo Geral: Análise morfodinâmica das bacias dos rios Nhundiaquara e Marumbi, na perspectiva da aplicação do modelo de fragilidade ambiental, frente a indicadores das condições da água.

Objetivos Específicos:

- 1) Identificar, mapear e analisar as variáveis do meio físico (relevo, solo, geologia, água, vegetação e uso da terra);
- 2) Classificar e estabelecer pesos para cada uma das variáveis (declividade, solo, geologia), levando em consideração as características regionais.
- 3) Correlacionar essas variáveis e suas informações no modelo de fragilidade;
- 4) Obter conclusões sobre a morfodinâmica das bacias a partir do confronto dos resultados cartográficos.
- 5) Confrontar os resultados do modelo de fragilidade com os dados de campo e laboratório referentes às condições da água dos rios e estuário e,
- 6) Discussão crítica sobre a aplicação do modelo de fragilidade ambiental aplicado na pesquisa.

1.2 JUSTIFICATIVA

Os estudos de fragilidade ambiental têm sido cada vez mais freqüentes no Brasil, tornando-se uma ferramenta eficaz no conhecimento da caracterização das paisagens.

Uma das justificativas deste trabalho é a tentativa de agregar aos estudos de fragilidade potencial e emergente, experimentos geradores de parâmetros ambientais de água, buscando um estudo integrado. Além disso, a busca pela produção de material e de informações quantitativas e qualitativas sobre as características das bacias estudadas também é uma das principais justificativas para produção deste trabalho, visto que possam ser usadas como geoindicadores em programas de ordenamento, planejamento e gestão ambiental.

Essas mesmas informações podem servir para as escolas da rede pública de educação na cidade de Morretes e demais municípios do litoral do Paraná contidos neste importante espaço definido pela Serra do Mar, planície litorânea e estuário, formando base estrutural para o bioma Mata Atlântica, um dos remanescentes mais preservados desta paisagem rica em contrastes naturais.

3 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

O Litoral do Paraná tem uma área aproximada de 6.600 km², tendo como limites as latitudes sul 25° e 26° e 48° e 49° de longitudes oeste.

A baía de Antonina localiza-se no complexo estuarino da baía de Paranaguá, um dos maiores e mais importantes estuários do Brasil e é rodeada pelas formações da Serra do Mar, que são florestadas por uma das maiores remanescente de Mata Atlântica Brasileira. Todo este mosaico tem como bases geomorfológicas e hidrográficas, bacias costeiras adjacentes, que fazem constantes interações naturais e sociais com a baía.

Nesta pesquisa são estudadas as bacias do Rio Nhundiaquara e do Marumbi perfazendo um total de 436 km², localizadas principalmente dentro dos limites do município de Morretes, tendo sua desembocadura na baía de Antonina (figura 1).

Figura 1. Localização da área de estudo. Organizado por Lautert (2010).

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E METODOLÓGICA DA PESQUISA

4.1 CONSTRUINDO A VISÃO INTEGRADA

Sempre que o ser humano se depara procurando alguma explicação da realidade, com princípios teóricos e procedimentos empíricos, passa pela busca de forma, formulações, conceitos, métodos descritivos, elucidações, interpretação, construção e divulgação da realidade como um todo. Mas como? Como idealizar a realidade na mente humana e, conseqüentemente, como personificar essa idealização de forma tal que se possa criar e transformar informações cognitivas, codificá-las e estruturá-las teórica-cientificamente?

A moderna investigação da natureza vem com o fim da idade média e início de moderna. Com a queda do domínio cristão, emerge o renascimento científico-cultural e a natureza deixa de estar atada a fenômenos sobrenaturais, passando a ser encarada e explicada por si mesma (ENGELS, 1991). Obras antes proibidas ressurgem do interior dos castelos da Igreja, em toda Europa, com bibliotecas e trabalhos escritos por uma das mais importantes civilizações antigas. Renascem as idéias gregas, as quais se impõem novamente sobre o pensamento humano, impregnando de cultura o período glorioso. Obras como as de Heráclito, um dos primeiros homens a idealizar o átomo, inspiram novas teorias.

A realidade, a Terra, o mundo, passam a ser vistos sob outros aspectos. Submerge a metafísica e emerge o pensamento científico. Saem as divindades e entra a gravidade. O mundo passa a ser visto, então, sob a grande síntese da ordem cósmica de Newton (CHAUÍ, 1996). Mesmo considerando a natureza como imutável, foi um grande avanço. Kant, envolvido naquele contexto histórico, fortalece o debate que trata a natureza independente de fatores divinos, discutindo a sensibilidade humana de conhecer e interpretar as coisas com sua

percepção, do seu jeito, à sua maneira (CHAUÍ, 1996). Passa o tempo, e a ciência une-se a técnica, criando tecnologia e impondo conhecimento e descoberta.

Muito conectado com o contexto político, social e local, o pensamento científico e, conseqüentemente, a metodologia científica nas ciências naturais, naquilo que lhe é mais básico como observação, descrição, experimentação e comparação dos fenômenos, percorreu caminhos que levaram as diversas formas de interpretação da natureza integrada. A própria geografia física se materializou com esse olhar. O estudo das inter-relações das partes, seus fluxos e trocas, ocuparam o arcabouço imaginário filosófico de grandes pensadores da natureza. Em uma das mais conhecidas e divulgadas tentativas, o alemão Alexandre Von Humboldt, um dos pais da Geografia acadêmica, deixava clara essa tendência ao escrever no prefácio de “Cosmos” em 1844: “*eu desejava compreender o mundo dos fenômenos das forças físicas em sua conexão e na sua influência mútua*”. Olhar para a descrição do globo terrestre traz obrigatoriamente um olhar para relação entre os elementos. Talvez seja essa a mensagem desses grandes naturalistas em suas obras, que tentaram codificá-las e transferi-las aos integrantes da comunidade científica, pesquisadores, estudantes e interessados da época, de diversas formas.

Carl Ritter, ícone da escola alemã em Geografia foi outro grande mestre na busca pela organização do saber geográfico, que procurava idealizar a realidade como um todo. Essa tendência fica clara na obra: *A Organização do Espaço na Superfície do Globo, e sua função na Evolução histórica*. Com a citação abaixo, Ritter faz mais que pensar o todo dos aspectos físicos, inclui também a sociedade e ajuda construir a visão integrada com as ciências sociais.

Embora a Terra, como planeta, seja muito diferente das representações em escala reduzida que dela conhecemos, e que só nos fornecem uma idéia simbólica de seu modelado, tivemos que lançar mão dessas miniaturizações artificiais do globo terrestre para criar uma linguagem abstrata que nos permitisse falar da Terra como um todo. E foi desse modo que, inspirando-nos diretamente na realidade terrestre, pudemos elaborar a terminologia das relações espaciais (RITTER, 2010, pág.01).

Já algum tempo antes de Humboldt e Ritter, em 1795, Hutton constrói uma escola onde os naturalistas passam a descrever os processos naturais existentes como constantes e aceitáveis, considerando-os, desta forma, como chave para compreensão da natureza. Hutton é considerado um dos pais da Geologia, com seu pioneirismo na interpretação dos processos geológicos. Suas idéias influenciaram a famosa frase o: “*presente é a chave do passado*” (GREGORY, 1992, pag.36). Sua teoria libertou a Ciência e a Filosofia da cronologia bíblica a qual considerava a terra com não mais de 6.000 anos. Suas observações estavam centradas na idéia de que a superfície da terra estava sendo continuamente reciclada e regenerada, e que seus processos eram movidos pelo seu calor interno. Natural de Edinburg, escreveu: *The Teory of Earth*, em 1795 (GREGORY, 1992, op.cit.). A pesquisa de Hutton foi mais esclarecida em 1802 por Playfair, na obra *Illustations of the Huttonian Theory of Earth*, contribuindo em muito para consolidação das idéias do pesquisador (Gregory, 1992, op.cit.).

Mesmo com a publicação clássica de 1812, *Discurso Sobre as Revoluções na Superfície do Globo*, de Georges Cuvier (GREGORY, 1992, op. cit.), um dos mais importantes defensores do Catastrofismo, não se conseguiu diminuir a procura por novas explicações para os fenômenos naturais e, em 1853, Charles Lyell publica livro intitulado *Princípios de Geologia* (LYELL, 1853), onde traz uma discussão sobre o progresso metodológico da Geologia na época, a organização e composição dos materiais da crosta terrestre, a distinção entre rochas sedimentares e vulcânicas, além da descrição de seus trabalhos no campo da estratigrafia, que o transformaram em uma das maiores referências em Geologia e Geografia física do século XIX.

Neste livro (figura 2), as idéias de Lyell induzem que a Terra foi constituída lentamente por forças agindo por um longo tempo, sugerindo com isso, a idéia “huttoniana” de que os processos geológicos presentes podem explicar a história da Terra. Nessa publicação, com descrições estratigráficas feitas ao longo de sua viagem ao vulcão Etna, Baía

de Tereza e redondezas, discutiu a origem e interrupções de seqüências deposicionais, novas formações do plioceno e a geologia estrutural da Sicília.

Figura 2. Figuras publicadas no famoso *Principals of Geology* de 1830, livro que influenciou as primeiras gerações de geólogos e geógrafos físicos.

A mesma importância e influência que teve Hutton e Lyell para Geografia física no século XIX teve Davis no século XX. Foram poucos os livros didáticos que não tiveram sua influência, principalmente nas Américas e na Grã-Bretanha.

Contribuiu muito com a Geografia física e a Geomorfologia, sendo responsável por organizar e difundir de forma esquematizada, idéias com propostas gerais de um modelo, descrevendo a gênese e a transformação da paisagem, protagonizada principalmente pela estrutura do relevo e supondo fases de início, meio e fim.

Sua maior influência foi o ciclo de erosão, criado e apresentado em 1884 (MONTEIRO, 2006), representando um modelo de como os rios criavam as formas de relevo. Este ciclo de

erosão sugeria que os maiores rios possuem três principais seções: alto, médio e baixo curso, cada um destes contendo diferentes formas de relevo e outras propriedades associadas. A noção de tempo aparece em suas definições dos períodos de juventude, maturidade e senilidade, no desenvolvimento dos vales dos rios. Como fundador da Sociedade Americana de Geógrafos, em 1904, seus trabalhos foram muito difundidos no mundo todo. Foi muito importante no contexto histórico, apesar de mais tarde, com o desenvolvimento de novas técnicas, seu modelo de sido considerado uma primeira aproximação (GREGORY, 1992).

O Pesquisador Antonio Christofolletti, ressalta a importância da obra de Davis, principalmente para Geologia e Geografia física estrutural e para Geomorfologia. Em uma das suas obras mais referendadas, intitulada *Geomorfologia*, o ex-professor da Faculdade de Filosofia e Ciências da UNESP, Rio Claro, diz:

A influência de W. M. Davis sobre a geomorfologia foi maior do qualquer outra pessoa e, como viajante infatigável publicou numerosos trabalhos resultantes de suas observações e ensinou em várias universidades americanas e européias. Ele pode ser considerado como fundador da geomorfologia como disciplina organizada, estruturando-a como disciplina independente e possuidora de um corpo de doutrina coerente e original (CHRISTOFOLLETTI, 1980, pag.16).

A proposta de Davis, assim como muitas propostas científicas que se desgastam com o tempo e com as inovações tecnológicas, foi se enfraquecendo por não apresentar e discutir muitos detalhes e ter um caráter finalista.

Mesmo assim, CHRISTOFOLLETTI (1980), op.cit, lembra:

A concepção sofreu objeções pela sua simplicidade e o próprio Davis reconhecia e defendia a natureza teórica do modelo, explicando que o esquema correspondia à construção, passo a passo, de séries evolutivas de formas-tipos. Era um esquema de imaginação e não um assunto de observação que, deliberadamente simplificado, poderia, na realidade, sofrer interrupções ou complicações inseridas pela tectônica (movimentos da terra em relação ao nível de base), pelas modificações climáticas e pelas erupções vulcânicas (CHRISTOFOLLETTI, 1980, op.cit.,pag. 16).

Em um estudo sobre o pensamento “davisiano”, o professor Carlos Figueiredo Monteiro escreveu sobre a obra do Geógrafo americano, tratando da teoria e sua influência na Geografia. Monteiro reconhece que mesmo sob o desgaste do tempo, a importância do

trabalho de Davis foi muito grande, principalmente no campo da didática e, conseqüentemente, nas universidades e escolas em geral que, partindo da classificação genética das formas, trata o papel do tempo como elemento da terminologia geográfica e a descrição do ciclo geográfico ideal (MONTEIRO, 2006).

Contudo, em particular, Walter Penk, no início do século, pôs em dúvida elementos-chaves das idéias “finalistas” do ciclo de erosão e defendeu uma concepção mais integradora dos elementos que constituem a superfície terrestre, concluindo, que os processos de soerguimento e denudação ocorrem simultaneamente e a um ritmo gradual contínuo, determinado por diversos processos endógenos e exógenos (CASSETI, 1991). Na obra *Morphological Analysis of Land Forms*, de 1953, Penk reitera em seus estudos as relações entre os processos endogenéticos e exogenéticos, na composição da forma e, principalmente, a importância dos adventos climáticos, centralizados no intemperismo e seus componentes, tais como, temperatura, insolação, chuva, entre outros, trabalhando com a relação de tempo e denudação.

Valter Caseti ao escrever sobre as teorias em Geomorfologia diz:

Walther Penck (1924) aparece como principal opositor da postura dedutivista-historicista de Davis, valorizando o estudo dos processos. Em *Morphological Analysis of Landform*, publicação póstuma, utiliza-se da geomorfologia para subsidiar a geologia e contribuir para a elucidação dos movimentos crustais. Contribui assim para o avanço da geomorfologia, formalizando conceitos como o de “depósitos correlativos”. Apesar de criticado, com a publicação de 1953, versão inglesa, levou alguns autores norte-americanos a se interessarem pelos estudos de vertentes e processos (CASSETI, 1991, pag. 22).

Enquanto alguns pesquisadores como Hutton, Lyell, Davis, Penk e outros, construíam os princípios teóricos dos objetos de análise da Geografia e Geografia Física, outros trabalhos foram realizados para contribuição fenomenológica da ciência e da própria geografia. Entre eles, destacam-se os desenvolvidos por Pearce e Gibbert, que tratavam da filosofia do método, da lógica e os efeitos que podem ter significados práticos para o objeto, os quais foram muito

significativos nessa época, influenciando inclusive o trabalho de Davis (VITTE & GUERRA, 2004). Pai da Semiótica, Pearce teve sua relação com a Geologia, nos estudos de Geodésia que desenvolveu nos trabalhos para o *U.S. Coast Survey*, mesma época em que trocou idéias com Gilbert, principalmente nos temas ligados a construção da hipótese dos trabalhos científicos (VITTE & GUERRA, 2004, op. cit.). Gilbert se destacou ainda em estudos sobre sistemas fluviais de transporte de sedimentos (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Filosoficamente, a Geografia e toda uma geração de pesquisadores já eram influenciadas pela obra de Kant, que admitia a possibilidade do ser humano perceber e representar o mundo (KANT, 1996). Seus estudos e ensaios sobre lógica, analogias da experiência, prova, hipóteses, entre outros, foram bastante influenciadores. Porém, a essa altura suas idéias de natureza imutável, como *Princípio da Permanência da Substância*, que dizia: “*Em toda a variação dos fenômenos permanece a substância e o quantum da mesma não é, nem mesmo aumentado, nem diminuído na natureza*”, já estavam superados (KANT, 1996, pag. 168).

Apesar destes e outros pesquisadores estarem sempre em busca de princípios teóricos para explicação dos fenômenos de forma integrada, – muitas vezes suas propostas se isolaram dentro de cada área em função da necessidade contextual da história que impunha a construção dos princípios teóricos, daquelas que foram áreas recém criadas nas universidades (pedologia, climatologia, paleontologia, etc.), – não havia ainda forma e filosofia de ordenação dos conhecimentos e informações que integrasse a produção das diversas áreas, e a comunidade científica sentia falta de uma proposta metodológica mais holística, até surgir a teoria Geral dos Sistemas.

4.2 O SURGIMENTO DOS SISTEMAS E DOS GEOSSISTEMAS, NO ESTUDO DAS PAISAGENS

Em meados do século XX, Bertalanffy constrói um método para facilitar a visão, observação, interpretação e representação social da natureza integrada, criando a famosa Teoria Geral dos Sistemas. Nesta teoria, o biólogo de formação categoriza conceitos, princípios e critérios de classificação e organização das relações dos elementos e fenômenos da natureza, incluindo ou não os da sociedade. Diversas áreas da ciência beberam das fontes da teoria que influenciou e continua influenciando trabalhos no mundo todo. Bertalanffy, com sua influência ecológica, deu bastante ênfase aos ambientes dos sistemas, discutindo e fundamentando a estrutura e o funcionamento dos sistemas abertos e fechados. Enquanto o sistema fechado tem fim em si próprio, dependendo muito das relações internas, o aberto se articula com outros sistemas e sua influência vai até onde seus elementos e consequências alcancem. As trocas e fluxos de matéria e energia são constantes e, segundo famosa teoria desenvolvida por Hack, estão em equilíbrio dinâmico (GREGORY, 1992, op. cit.).

O surgimento de uma Teoria Geral dos Sistemas tem seus primeiros passos nas discussões de Biologia teórica. Segundo ODUM (1986), fosse qual fosse o ambiente estudado, os biólogos do começo do século começavam a considerar a idéia de que a natureza funcionava com um sistema.

Diferente da visão mecanicista incorporada pela cibernética, a Teoria Geral dos Sistemas congrega estruturas orgânicas em sistemas abertos, onde escalas de organizações se superpõem, atenuando a idéia de limites fixos ou de sistemas naturais fechados. Certamente ao trabalhar com ambientes, Bertalanffy organiza um conjunto conceitual, com critérios, fluxogramas, fatores e esquemas de interações, sintetizando metodologicamente morfologia e processos nos ambientes ecológicos. Com o conceito de ecossistemas já bastante trabalhado por Tansley (ODUM, 1986), Bertalanffy teoriza uma trama de relações orgânicas e

inorgânicas, para a interpretação aproximada da realidade estudada. Desta forma, intercomunicando informações, o pesquisador facilita, por exemplo, a inclusão no objeto de estudo, de fenômenos naturais e fatores sociais, tomados sob a mesma importância, participando do mesmo sistema, em uma nova forma de avaliar as paisagens. Por estarem contrárias as idéias da época na Alemanha, em um primeiro instante as propostas de Bertalanffy não foram muito bem aceitas em um ambiente de pós-guerra, onde a teoria e técnica cibernética exaltavam as máquinas através da economia, como o próprio autor declarou mais tarde:

A finalidade da teoria geral dos sistemas foi recebida com incredulidade, sendo julgada fantástica ou presunçosa, além dos mais - objetivava-se - a teoria era trivial, porque os supostos isoformismos eram simplesmente exemplos de truismo segundo a qual a matemática pode aplicar-se a todas as espécies de coisas e, portanto, não maior peso de que a “descoberta” de que $2 + 2 = 4$ é igualmente verdadeiras para as macas, dólares e galáxias. Dizia-se também que era uma teoria falsa e desnorteadora porque a analogias superficiais – como na famosa similitude entre a sociedade um “organismo”, escamoteiam as diferenças reais, e assim chegam a conclusões erradas e mesmo moralmente inaceitáveis. Ou ainda uma vez, dizia-se que a teoria alegava “irredutibilidade” dos níveis superiores aos inferiores, o que era evidente em vários campos, tais como na redução da química aos princípios físicos ou dos fenômenos da vida a biologia molecular (BERTALANFFY, 1975, pág. 31 – 32).

Mesmo sendo os Estados Unidos da América o país mais influenciado pela cibernética e pelas máquinas no mundo, foi lá que Bertalanffy conseguiu abertura para suas pesquisas e teorias, onde uma geração de ecólogos, por anos influenciou e ainda continua influenciando a produção científica em ecologia no mundo. Entre eles se destacam os irmãos Odum, filhos de Howard W. Odum, presidente da *American Sociological Associations*, em 1930. Howard T. Odum e Eugene Odum trabalharam com modelos ecológicos com influência ou não da sociedade. Eugene Odum (1986), mais especificamente, escreveu o livro intitulado *Ecologia*, no qual descreve e exemplifica ecossistemas, trabalhando com energia, ciclos biogeoquímicos, fatores limitantes e o ambiente físico, propondo uma ecologia dos sistemas interpretada pelos modelos matemáticos que servem até hoje para cursos básicos de ecologia.

Bertalanffy definiu sistema como “*complexo de elementos em interação*” ou um “*conjunto de componentes em estado de interação*” (VASCONCELOS, 2006, pag.197), usando os termos totalidade e organização como sinônimos. Os fluxos entre as partes desempenham um fator fundamental para o funcionamento do sistema, que se mantém em equilíbrio caso não haja nenhuma anormalidade. Nas palavras de Vasconcelos:

A existência de interação ou de relações entre os componentes é então um aspecto central que identifica a existência do sistema como entidade, distinguindo-o de um simples aglomerado de partes independentes umas das outras. Quanto menores forem os índices de interação tanto mais o sistema se parecerá a um conjunto de elementos independentes (VASCONCELOS, 2006, pág.199).

A estrutura e a composição dos elementos são fundamentais para o funcionamento em equilíbrio. Christofolletti (1980), que se tornou um estudioso e divulgador do pensamento sistêmico, lembra que no estudo da composição do Sistema, há fatores importantes como: matéria, energia e estrutura. A matéria “*corresponde ao material que vai ser mobilizado pelo sistema, enquanto que a energia são as forças que fazem o sistema funcionar*” (CHRISTOFOLETTI, 1980, pág. 02). Já a estrutura, se constitui pela forma e as relações desta com outras estruturas, tendo o elemento como unidade básica. Ainda, ressalta “*o problema da escala é importante quando se quer caracterizar os elementos do sistema*”.

Os sistemas podem ser classificados conforme vários critérios, mas segundo Christofolletti (1999), para análise ambiental, o critério funcional e o da composição integrativa são os mais importantes. Foster, Report e Trucco levando em consideração o critério funcional, distinguem os seguintes tipos de sistemas:

a) sistemas isolados são aqueles que dadas às condições iniciais, não sofrem nenhuma perda nem recebem energia ou matéria do ambiente que os circundam. Dessa maneira, conhecendo-se a quantidade inicial de energia livre e as características da matéria, pode-se calcular exatamente o evoluir do sistema e qual o tempo que decorrerá até o seu final. Richard J. Chorley (1962) já assinalou que a concepção davisiana do ciclo de erosão ilustra perfeitamente essa perspectiva, pois se inicia com soerguimento brusco antes que os processos tenham tempo de modificar a paisagem. O ciclo começa com o máximo de energia livre devido ao soerguimento e, com o decorrer do conjunto até que alcance o estágio final, quando a energia livre é diminuta, isso devido à quase uniformidade da área que foi aplainada em função do

nível de base, constituindo a denominada paneplanície. A perspectiva em sistemas isolados favorece a abordagem dos fenômenos através do tratamento evolutivo e histórico, pois se pode prever o começo e a sucessão das etapas até o seu final.

b) Os sistemas não isolados mantêm relações com os demais sistemas do universo no qual funcionam, podendo ser subdivididos em: fechados, quando há permuta de energia (recebimento e perda), mas não de matéria. O planeta terra pode ser considerado como sistema não isolado fechado, pois recebe energia solar e também perde por meio da radiação para as camadas extra-atmosféricas, mas não recebe nem perde matéria de outros planetas ou astros, a não ser em produção insignificante, quase nula. Os processos relacionados com as passagens para os estados sólido, líquido e gasoso, além de representar troca de energia, representa uma transferência muito grande desta energia entre as regiões quentes para as temperadas. Entretanto, o volume de água existente no globo permanece constante. Os abertos são aqueles nos quais ocorrem constantes trocas de energia e matéria, tanto recebendo quanto perdendo. Os sistemas abertos são os mais comuns, podendo ser exemplificados por uma bacia hidrográfica, uma vertente, o homem, uma cidade industrial e muitos outros (CHRISTOFOLETTI, 1999, op.cit. pag. xx.).

A interferência da escola russa de Geografia também foi fundamental para a construção de formas e ferramentas de interpretação da natureza. Mesmo sem auxílio das discussões da Biologia Teórica e a Teoria Geral de Sistemas, mas já pensando sistematicamente, Dukuchaev influenciou em muito a Geografia física e a visão integrada da paisagem com seus estudos de solos na Rússia, incluindo os estudos das influências dos seres vivos e de matéria orgânica na composição dos solos. Dukachev deu início à idéia de que as variações geográficas nos tipos de solos poderiam ser explicadas pelo clima e por fatores topográficos e não somente pela Geologia (KRASILNIKOV, 1958). Dokuchaev passa a considerar o solo como um corpo natural, tendo sua própria gênese e história de desenvolvimento, um corpo complexo e com multiprocessos (KRASILNIKOV, 1958). Mesmo antes do conceito de ecossistema, Dokuchaev e seu discípulo Morozov, especialista em ecologia florestal, criaram o conceito de Biocenose, depois expandidos por Sukacev (1944), para Geobiocenose (ODUM, 1986). Ainda segundo Odum (1986), outros termos foram usados para expressar o ponto de vista holístico como *holocoen* (FRIEDRICH, 1930), *biossistema* (THIENEMANN, 1939), corpo *bionerente* (VERNADSKY, 1945) e *holon* (KOESTLER, 1969).

Na década de 60 e 70, já decorrente dos estudos da escola russa, foi desenvolvido o conceito de Geossistema, que teve como seu maior expoente Sochatva, como ferramenta de estudos das paisagens. Foi incorporando toda bagagem geoecológica dos estudos da *Paisagem* (*Landshaft*), da escola russa à Teoria Geral dos Sistemas, que Sochatva desenvolve o conceito de Geossistema, como método e forma de interpretação dos sistemas naturais. Destaca que através do enfoque físico geográfico integrado é possível analisar as múltiplas interações e transformações, como o transporte gravitacional, a circulação biogênica das substâncias, entre outras, e todas suas conseqüências geográficas.

Trabalhando com o Geossistema, Sotchava foi o mais forte sintetizador de uma proposta contendo como premissa principal, trabalhar no mesmo ensaio as conexões entre os vários componentes geográficos da natureza, como características fisiográficas, declividade, solos, clima e os processos morfodinâmicos que caracterizam a paisagem. Para ele:

[...] em condições normais deve-se estudar não somente os componentes do sistema, mas as conexões entre eles; não se deve distinguir a morfologia da paisagem, mas de preferência, projetar-se para o estudo de sua dinâmica, estrutura funcionamento, conexões, etc. (SOTCHAVA, 1977, pag.04).

Desta maneira, o Geossistema surge como um recorte no espaço, com forma e dinâmica particular, sempre conectado a outro sistema, um dentro do outro, seja hierarquicamente maior ou menor, classificado assim, como um sistema aberto. O ambiente o qual o Geossistema está inserido é objeto fundamental na proposta. O ambiente é formado por uma estrutura espacial territorial, composta de elementos e os fluxos resultantes, que atuam sob forma de processos de interação e troca de matéria e energia, que se expressam materialmente em forma dinâmica da paisagem.

Na dimensão espacial, Sotchava 1977 dividiu os Geossistemas em escala local ou topológica e escalas regionais e globais, dentro de uma hierarquia de funcionamento com categorias de ordem decrescente, correspondente a paisagem ou ambientes naturais, tendo como componentes os Geócoros (Geossistemas de estrutura heterogênea), Geômeros

(Geossistemas com estrutura homogênea) e Geotopos (Geossistemas associados a unidades morfológicas ou setores fisionômicos homogêneos).

Além das componentes naturais o conhecimento das ações da sociedade no sistema é fundamental para o entendimento da paisagem, e foi na escola francesa que os estudos ambientais passam a integrar cada vez mais a influencia antrópica em suas análises, tendo como figuras centrais os professores Bertrand e Tricard.

Segundo Bertrand 1971, a Paisagem não se forma somente pelo conjunto de componentes geográficos naturais, mas sim da paisagem total incluindo as implicações da exploração humana. Bertrand difunde a idéia ação antrópica, potencial Ecológico e exploração Biológica como elementos referenciais na estrutura do Geossistema, tendo nas suas interações processos significativos para sua forma (figura 3).

Figura 3. Estrutura do Geossistema. Fonte: Bertrand (1971).

BERTRAND afirma que:

O Geossistema corresponde a dados ecologicamente estáveis. Ele resulta da combinação de fatores geomorfológicos (natureza das rochas, valor do declive), climáticos (precipitações e temperatura) e hidrológicos(lençóis freáticos), portanto, é o potencial ecológico do ecossistema (BERTRAND, 1971, pag.15)

O pesquisador Francês fez sua proposta de hierarquia na classificação, usando o conceito de paisagem, que dividiu em unidades superiores, tendo zona, domínio e região, e unidades inferiores, compostas por Geossistemas, Geofáces e Geotopo, sem uma definição

fixa de cada unidade. O autor classifica o Geossistema como uma categoria de sistemas territoriais regido por leis naturais, modificados ou não pelas ações antrópicas.

Nesse sentido, Bertrand conceituou a paisagem como “[...] o resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto único indissociável, em perpétua evolução” (BERTRAND, 1971, p. 2). Assim, o estudo da paisagem é capaz de englobar todas as conexões que envolvem o meio ambiente, principalmente quando se utiliza o Geossistema como seu método de análise. Segundo Bertrand:

Considerando-se a paisagem como uma entidade global, admite-se implicitamente que os elementos que a constituem e participam de uma dinâmica comum que não corresponde obrigatoriamente a evolução de cada um dentre eles tomados separadamente. Somos levados então a procurar os mecanismos gerais da paisagem, em particular no nível dos Geossistemas (BERTRAND, 1971, pag. 5).

Os Geossistemas são agrupados de diversas formas e tamanhos. Dependendo dos elementos e das variáveis envolvidas, pode-se ter Geossistemas homogêneos ou heterogêneos, ricos ou pobres em biodiversidade (PENTEADO, 1980). Os Geossistemas podem ser avaliados por meio de suas variáveis e parâmetros que indicam forma, número, arranjo espacial, intensidades, fluxos e energia. Em um Geossistema, definem-se como variáveis: forma da encosta, perfil do rio, índice pluviométrico, forma da encosta e quantidade de sedimentos carregados (PENTEADO, 1980, p.155). A mesma autora comenta sobre Energia como sendo “a força que conduz o sistema ao funcionamento gerando capacidade realizar trabalho” e matéria “todo material que circula através do sistema”. Já num sistema florestal a “matéria é toda biomassa reciclante (matéria orgânica decomposta, minerais do solo” (PENTEADO, 1980, p.156).

Para Troppmaier, especialista em Biogeografia da UNESP, Rio Claro, o Geossistema é:

“... parte da geosfera em uma perspectiva vertical engloba as camadas superficiais do solo ou pedosfera, a superfície da litosfera com elementos formadores da paisagem, a hidrosfera e a baixa atmosfera, mas abrange também a biosfera, como exploradora do espaço” (TROPPMAIER, 1989, p.45).

Através dos Geossistemas, pode-se fazer uma avaliação quantitativa e qualitativa da paisagem. Quanto maior for o monitoramento quantitativo, maiores e mais precisas serão as informações. Segundo Penteado (1980, p.156) “*Geossistemas são formações naturais que experimentam o impacto dos ambientes: social, econômico e técnico*”.

A experiência francesa para concepção sistêmica da paisagem, além de Bertrand, se estendeu para outro Geógrafo francês Jean Tricart, que recuperou o conceito de Ecossistema para interpretação e caracterização do que chamou de Unidades Ecodinâmicas.

O conceito de Unidades Ecodinâmicas é integrado no conceito de Ecossistema. Baseia-se no instrumento lógico de *sistema*, enfoca as relações mútuas entre os diversos componentes da dinâmica e os fluxos de energia/matéria no meio ambiente (TRICART, 1977, pag.32).

Nesta proposta, Tricart inclui com muita força a influência do meio biótico no sistema natural, principalmente relativos à cobertura vegetal e do clima, destacando também as intervenções e consequentes transformações humanas. Segundo o autor, essas intervenções podem repercutir sobre:

- a energia da radiação que alcança o solo e, por sua vez, as temperaturas do solo, com efeitos sobre a respectiva flora e fauna, a mineralização do húmus, a nitrificação, etc., a fertilidade deste solo.
- a queda de detritos vegetais na superfície do solo e, em consequência, a nutrição dos organismos redutores, a estrutura do solo e sua resistência à erosão pluvial e, por conseguinte, o regime hídrico e a reciclagem dos elementos minerais pelas plantas.
- a interceptação das precipitações, ou seu tempo de concentração, e energia de impacto das gotas, que determinam a possibilidade de erosão pluvial. Novamente chegamos assim ao regime hídrico.
- a proteção do solo contra as ações eólicas, capazes de intensa degradação das terras.

Tricart descreve algumas das características do fluxo de energia na baixa atmosfera, na parte aérea da vegetação e ao nível do solo e classificou as unidades geodinâmicas em três categorias principais:

- *Meios estáveis*: A característica essencial desse meio é a evolução lenta e constante, resultante da permanência do tempo de combinação entre os fatores. O sistema morfológico não comporta transformações violentas que traduzem manifestações catastróficas. Os meios estáveis se encontram em regiões com cobertura suficientemente fechada, com dissecação moderada, com a ausência de manifestações vulcânicas.

Ainda, segundo Tricart:

A permanência, a partir do estabelecimento das condições de estabilidade, reveste-se de grande importância. É ela que determina o tempo a partir do qual a pedogênese pode exercer, portanto, a idade dos solos, que por sua vez vai influenciar o grau de evolução dos solos, e seus caracteres, tanto morfológicos quanto analíticos.

- *Meios Intergrades*: estão em transição entre os estáveis e os fortemente estáveis, são caracterizados pela interferência permanente da morfogênese-pedogênese.

- *Meios Fortemente Instáveis*: a morfodinâmica é predominante onde a geodinâmica interna de movimentos endogenéticos em particular o vulcanismo podem ser predominantes. Nestes ambientes a ação humana pode ser determinante para dar início a transformações morfológicas, a partir de processos erosivos, por exemplo.

Uma unidade ecodinâmica se caracteriza por certa dinâmica da paisagem e tem repercussões diferentes em função das atividades humanas.

O pensamento sistêmico ganhou mais força no Brasil ao ser incluído nas análises de Milton Santos, Geógrafo brasileiro muito reconhecido dentro e fora do país. Em 1996 ele lança o livro chamado “A Natureza do Espaço”, quando define o espaço geográfico como sendo um conjunto indissociável de sistema de objetos e sistema de ações.

4.3 MODELO INTEGRADO COMO GEOINDICADOR

No mundo todo, surgem métodos e propostas para estudos de Geoecologia da paisagem, onde Geografia e Biologia transitam em áreas de trabalho que se sobrepõem no mesmo objeto, sempre influenciando um ao outro. Desde Dokuchaiev, na Rússia, até Tricart, na França, e seus discípulos pelo mundo, as duas ciências experimentam diversas abordagens sobre diferentes pontos de vista.

No Brasil, a escola francesa teve destaque em algumas propostas de interpretação da paisagem tropical. Com influências nas idéias de Geógrafos como De Martonne, Tricart e Bertrand, alguns trabalhos tentam contribuir para visão holística dos ambientes. Em 1969, o Professor Ab' Saber publica um estudo ambiental integrado, associando as paisagens brasileiras a três níveis de abordagem, sistematizadas em: compartimentação morfológica, levantamento da estrutura superficial e o estudo da fisiologia da paisagem, sendo:

- A *compartimentação morfológica*, que analisa os diferentes níveis topográficos e características do relevo, influentes no uso da terra;
- A *estrutura superficial*, que trata dos depósitos relativos e da evolução histórica, incluindo informações de geologia e solos e,
- A *fisiologia da paisagem*, que como terceiro plano de análise, tenta compreender a ação dos processos, incluindo o homem como sujeito modificador e acelerador dos processos morfogenéticos, na atividade evolutiva do modelado. Mesmo não agindo diretamente na estrutura do relevo, atividades de desmatamento alteram de forma relevante as relações entre as forças de ação (processos morfogenéticas ou morfodinâmicos e de reação da formação superficial), gerando desequilíbrios morfológicos como movimentos de massa, voçorocamento, assoreamento, dentre outros, chegando a resultados catastróficos, a exemplo dos deslizamentos em áreas de risco (CASSETI, 1991).

Em 2003, o professor Ab' Saber utiliza a morfodinâmica como base para publicação do livro *Os domínios de Natureza do Brasil* (AB' SABER, 2003), no qual o autor subdivide o

país em seis domínios paisagísticos e macroecológicos, classificando-os como intertropicais e subtropicais.

Buscando bases para uma Geografia Construtiva, em 1990, o professor do departamento de Geografia da USP, Jurandyr Luciano Sanches Ross, publica o trabalho intitulado *Geomorfologia e Planejamento Ambiental*, no qual indica a importância da interdisciplinaridade, nos estudos do relevo e de paisagens. Em 1994, propõe uma metodologia de estudos ambientais integrados baseados no cruzamento de informações do meio físico, associadas às informações do meio biótico, abiótico e das atividades humanas (ROSS, 1994):

Os estudos integrados de um determinado território pressupõem o entendimento da dinâmica de funcionamento do ambiente natural com ou sem intervenções das ações humanas. Assim, a elaboração de Zoneamento Ambiental deve partir da adoção de uma metodologia, de trabalho baseada na compreensão das características e da dinâmica do ambiente natural, e do meio sócio econômico, visando buscar a integração das diversas disciplinas científicas específicas, por meio de uma síntese do conhecimento acerca da realidade pesquisada (ROSS, 1994, pág.64).

Ross admite a importância de se construir material referencial para uma análise mais globalizada da dinâmica, que mais tarde serve de subsídio geoindicador para planejamento de uso do território.

Pressupondo que estudos integrados dependem do entendimento da dinâmica e funcionamento do ambiente natural, bem como da sua intervenção social humana, Ross (1994), baseado principalmente em estudos da morfodinâmica, propõe uma classificação e organização do ambiente. O Geógrafo acredita que há necessidade de melhorar o dimensionamento e esclarecimento sobre a dinâmica dos ambientes, sugerindo a importância de se ter “*a noção clara dos limites naturais e dos limites de inserção do homem na natureza*” (ROSS, 1994, pag. 64). Para isso, propõe análise empírica da fragilidade do ambientes naturais e antropizados.

Com a influência de Tricart, Ross propõe as unidades ecodinâmicas potencial e emergente, classificando um conjunto de unidades entre Estáveis até Instáveis. As unidades potenciais se referem à fragilidade natural das paisagens, a partir de suas características físicas, enquanto que as emergentes tratam da ação do homem no ambiente.

Seguindo também os princípios de teoria de Hack, o autor aponta que as Unidades Emergentes Estáveis são aquelas que estão em equilíbrio dinâmico e ainda não foram alteradas pela sociedade, portanto mantém seu estado natural (ROSS, 1994, pág. 66). As Instáveis são aquelas onde houve interferência da sociedade no sistema natural, alterando de alguma forma sua morfodinâmica, principalmente por ações de desmatamento e práticas inadequadas nos meios rurais e urbanos. O autor também sempre destaca as famosas formulações de Penk, op.cit., nas quais a morfodinâmica da paisagem se apóia nos processos exogenéticos e endogenéticos, associados aos processos devidos da interação destes dois juntos.

Combinando informações físicas e sociais, Ross organizou uma classificação com a atribuição de valores de um a cinco, que indicam a classe de fragilidade entre muito fraca até a muito forte, gerando os graus de estabilidade e instabilidade. Este modelo vem sendo usado nos últimos anos, auxiliando no diagnóstico, planejamento e gestão do território, tendo sido aplicado principalmente para estudos das bacias hidrográficas e em estudos de planejamento ambiental.

Em 2006, Jurandyr Luciano Sanches Ross publica *Ecogeografia do Brasil: Subsídios para planejamento ambiental*, onde indica a importância das informações do relevo no contexto de análise integrada para o planejamento ambiental e territorial.

5 PROCEDIMENTOS TÉCNICOS OPERACIONAIS –PARA GERAÇÃO DOS PARÂMETROS DA ÁGUA, DAS CARTAS TEMÁTICAS, E SUAS COMBINAÇÕES

Além dos levantamentos bibliográficos iniciais, este trabalho se divide em três fases, principais: coletas e análises da água, a geração das cartas temáticas e a combinação dessas cartas para geração do modelo de fragilidade.

5.1 FASE DE LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

A base bibliográfica utilizada foi selecionada em três bibliotecas principais, a Biblioteca do Setor de Tecnologia da UFPR, a biblioteca do Centro de Estudos do Mar da UFPR, a Biblioteca da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da USP, a Biblioteca do Setor Litoral da UFPR e o acervo pessoal do Professor José Bigarella, residente em Matinhos - PR. A bibliografia pode se dividir em dois grupos, sendo o primeiro contando com os clássicos e obras consagradas da Geografia, Geologia e Geomorfologia, e um segundo grupo, de publicações em periódicos e congressos.

5.2 COLETA DE ÁGUA E GERAÇÃO DE DADOS DE QUALIDADE DA ÁGUA

As coletas de água utilizadas para análise, discussão e conclusões deste trabalho foram realizadas nos anos de 2002 e 2003, nas bacias hidrográficas dos Rios Marumbi e Nhundiaquara e na região à jusante na baía de Antonina . As estratégias de amostragem para cada ambiente (rios e baía) foram distintas, devido à especificidade de cada local, porém, de uma maneira geral, as metodologias de análise de cada um dos parâmetros investigados foram

as mesmas aplicadas para as amostras dos dois locais, com algumas adaptações, sendo utilizada a estrutura do laboratório de Biogeoquímica Marinha, do Centro de Estudos do Mar – UFPR. Desta forma, serão descritas separadamente a amostragem da água para cada um dos locais citados e, posteriormente, as análises em laboratório, de uma maneira integrada para os dois tipos de amostra.

5.2.1 Amostragem nas Bacias Hidrográficas

Os parâmetros de água dos pontos nas bacias, utilizados na análise discussão e conclusões deste trabalho são secundários sendo que a coletas da água foram realizados por integrantes do laboratório de Biogeoquímica Marinha, coordenados pelo Biólogo Paulo Marques. As amostragens foram feitas ao longo dos principais rios onde foram estabelecidos 9 pontos de coleta (figura 4), buscando uma distribuição de acordo com as unidades de paisagem da serra do Mar e da Planície Litorânea descritas no capítulo 6. Nesta paisagem, as bacias hidrográficas se acomodam ao longo de um forte gradiente altimétrico, sendo que os pontos de amostragem foram distribuídos principalmente em relação à altitude e localização (antes ou após a foz) (tabela 1).

A denominação dos pontos de coleta foi realizada em sequência a partir do eixo nascente-foz, com a letra indicando o nome do rio onde se localiza o ponto:

- 1M a 6M – Rio Marumbi
- 1Nh a 3 Nh – Rio Nhundiaquara

Figura 4. Localização dos pontos de amostragem de água nas bacias. M: Rio Marumbi e NH: Rio Nhundiaquara. Organizado por Lautert (2010).

Tabela 1. Pontos de coleta de água localizados nos rios Marumbi e Nhundiaquara, altitude e observação sobre o local de amostragem. Organizado por Lautert (2010).

Rio	Ponto	Altitude (m)	Observação
Marumbi	1M	1200	Vertente Oceânica da Serra, trecho inicial do Rio Marumbi
	2M	1100	
	3M	1000	
	4M	250	Trecho final do Rio Marumbi
	5M	100	
	6M	10	
Nhundiaquara	1Nh	200	Antes da Foz do Rio Marumbi
	2Nh	10	Após a foz do Rio Marumbi
	3Nh	10	

Para a amostragem em campo, foi levado um kit de amostragem, composto pela frascaria necessária para armazenamento da água (frascos de oxigênio dissolvido e de polipropileno), pHmetro de campo, termômetro, GPS, kit filtração (kitasato e bomba peristáltica manual), água destilada, reagentes para fixação de oxigênio dissolvido, filtros de fibra de vidro e caixa térmica. O desenvolvimento deste kit de amostragem foi realizado a partir dos equipamentos científicos tradicionais para coleta, filtração e análise físico-química de água de rios, de acordo com as metodologias descritas em CETESB (1988). Algumas modificações foram adotadas tendo em vista a obtenção de um equipamento de fácil transporte.

Foram realizadas sete expedições de coleta, sendo a primeira considerada como coleta-piloto (Novembro de 2002), e as demais distribuídas de modo a abranger os dois períodos distintos do ciclo sazonal: fase chuvosa, compreendendo as coletas de Janeiro, Fevereiro e Março; e fase seca com as coletas de julho, agosto e Setembro de 2003. Em cada ponto de coleta foram realizadas amostragens de água, segundo a metodologia descrita pela CETESB (1988), com uma réplica amostral tomada com um intervalo de aproximadamente 15 minutos

após a primeira amostragem. Em campo, foram realizadas também as medições de pH e temperatura da água, sendo as amostras para oxigênio dissolvido fixadas em campo para análise em laboratório. As amostras de água foram transportadas sob refrigeração em frascos de polipropileno até o laboratório, onde foram filtradas em filtros de microfibras de vidro 0,45µm, e posteriormente congeladas aguardando as análises químicas.

5.2.2 Amostragem à Jusante na Baía de Antonina

Os parâmetros de água dos pontos no estuário utilizados para análise, discussão e conclusões deste trabalho são primários e foram coletados pelos integrantes dos Laboratórios de Física Marinha e do Laboratório de Biogeoquímica Marinha, coordenados por este autor.

A jusante da desembocadura do Rio Nhundiaquara, na baía de Antonina, foram realizadas duas campanhas amostrais, uma na fase seca (novembro) e outra na fase chuvosa (verão). Com o auxílio de uma ADCP (*Adopler Current Profile*) (figura 5), foram caracterizados parâmetros como vazão, velocidade e direção de correntes, salinidade da água de superfície, meia-água e fundo, em dois eventos de maré sizígia, em um período de dois ciclos de maré (26h). Concomitantemente, em três pontos distribuídos equitativamente ao longo de um transecto (figura 6), foram coletadas amostras de água em intervalos de três horas, de superfície e de fundo com uma garrafa tipo “Van Dorn”, para determinação dos seguintes parâmetros: temperatura, pH, oxigênio dissolvido, silicato reativo e material particulado em suspensão.

Figura 5. Detalhe da instalação do ADCP (*Adopler Current Profile*) na embarcação usada para coleta de dados. Organizado por Lautert (2010).

No momento da amostragem foi determinada a temperatura da água, com um termômetro de mercúrio e o pH com um pH-metro portátil (Marca Hanna, precisão de 0,01). Além disso, no período diurno, durante essas amostragens foi determinada a transparência da água, com o auxílio de um disco de Secchi.

Figura 6. A. Mapa da localização do transecto de amostragem das amostras de água e B. Detalhe do transecto. Organizado por Lautert (2010).

Para a determinação da concentração de oxigênio dissolvido, as amostras foram coletadas cuidadosamente em frascos de vidro com volume conhecido e posteriormente foram fixadas em campo, com os reagentes Cloreto de Manganês (MnCl_2) e Iodeto de Potássio (KI). Após esse procedimento, foram armazenadas em ambiente escuro e em água local, para manutenção da temperatura ambiente até a chegada em laboratório. As demais variáveis físico-químicas selecionadas neste trabalho, tais como concentração de nutrientes inorgânicos dissolvidos, clorofila-*a* e material particulado em suspensão, foram analisadas segundo metodologia empregada no Laboratório de Biogeoquímica Marinha do Centro de Estudos do

Mar. Após a retirada da alíquota para oxigênio dissolvido, foram retirados da garrafa coletora cerca de 1000 ml de água, armazenados em frascos de polietileno, previamente descontaminados e identificados e, posteriormente acondicionados sob refrigeração até a chegada em laboratório, onde foram cuidadosamente homogeneizadas para realização da filtração e análises.

5.3 METODOLOGIA DAS ANÁLISES DE LABORATÓRIO

5.3.1 Filtração

No Laboratório de Biogeoquímica Marinha do Centro de Estudos do Mar, as amostras armazenadas nos frascos de polietileno foram retiradas da refrigeração e cuidadosamente homogeneizadas. Após esse procedimento, foi realizada a filtração da água, utilizando um kit filtração e filtros Whatman GF/C de fibra de vidro com tamanho de poro de 0,45 μm . O procedimento de filtragem consistiu em duas etapas. A primeira, o filtro utilizado, sem nenhum tratamento prévio, foi utilizado para determinação de clorofila-*a* e a água filtrada utilizada para ambientação do recipiente. Já a segunda, o filtro utilizado foi previamente tratado e utilizado para a determinação do material particulado em suspensão, enquanto que a água filtrada foi utilizada para a determinação dos nutrientes inorgânicos dissolvidos.

5.3.2 Determinação de Oxigênio Dissolvido

As amostras fixadas em campo foram conservadas em local escuro até a análise em laboratório, realizadas entre 3 e 6 horas após a coleta. As concentrações de oxigênio dissolvido foram determinadas de acordo com o método de Winkler, modificado por

Grasshoff *et al.* (1999). A titulação foi realizada com tiosulfato de sódio, com o auxílio de um titulador automático (Titrino-METROHM). A determinação final do oxigênio dissolvido em miligramas por litro é realizada através da comparação com padrão de Iodato de Potássio, levando em consideração o volume de tiosulfato necessário na titulação da amostra e o volume exato do frasco de amostragem.

5.3.3 Determinação de Silicato Reativo

As concentrações de Silicato Reativo foram determinadas através do método colorimétrico descrito por GRASSHOFF *et al.* (1983), com leitura realizada em espectrofotômetro UV-1601, Shimadzu. A metodologia consiste na adição de reagentes específicos na amostra que reagem com o silicato da água, dando à ela uma coloração azul. Após esse procedimento, a amostra é lida no espectrofotômetro em comprimento de onda igual a 810 nm. A determinação da concentração é obtida através da comparação dos valores de absorbância das amostras com um padrão feito em laboratório de Fluorsilicato de Sódio 40 µM. Possíveis contaminações dos reagentes são corrigidas pela realização da análise em água deionizada, determinado como branco.

5.3.4 Determinação de Material em Particulado em Suspensão (MPS)

Para a determinação das concentrações de MPS foram filtradas cerca de 400 ml de cada amostra de água em filtros GFC - 47µm, previamente lavados e pesados. A análise consiste na determinação da diferença gravimétrica entre os filtros com amostra e os filtros vazios (STRICKLAND & PARSONS, 1972).

Durante a etapa de filtração, o maior cuidado é com a pressão da bomba, que não deve passar 0,3 atm. Após essa etapa e recolhimento da água para análise dos nutrientes, o filtro já contendo o material particulado é lavado com água destilada, para remoção do sal, nas amostras de água marinha, para evitar interferências de peso. Acondicionados nas placas de Petri, os filtros foram congelados até o momento da secagem e pesagem final dos filtros cheios.

A preparação dos filtros vazios consiste na lavagem destes com água destilada e posterior secagem em estufa à 60° C, por duas horas. Após essa etapa, os filtros são colocados em um dissecador até esfriarem, sendo pesados em uma balança analítica com 0,00001 gramas de precisão. Depois de pesados, os filtros foram acondicionados em placas de Petri previamente identificadas. A cada dez filtros pesados, era realizada a pesagem de quatro filtros utilizados como padrões para correção de teores de umidade do ar.

Por diferença gravimétrica (peso cheio – peso vazio) é determinada a concentração de material particulado em suspensão em miligrama por litro de água amostrada, levando em consideração a quantidade exata de água filtrada.

5.4 ELABORAÇÃO DA BASE CARTOGRÁFICA

5.4.1 Produção das cartas temáticas

As cartas deste trabalho foram produzidos em ambiente SIG e tiveram como suporte tecnológico os programas *Arcview 3.2*, *Spring 4.3.3*, *Idrisi Andes*, e *Corel Draw X4*.

Esses produtos foram construídos com informações de três bases cartográficas: a do Centro de Estudos do Mar (CEM), da Universidade Federal do Paraná (UFPR), a base da

Secretaria do Meio Ambiente do Estado do Paraná (SEMA) e a base do Instituto de Terras, Cartografia e Geociências (ITCG).

Os mapas de localização da área, divisa dos municípios e imagens de satélite *Landsat*, foram extraídos da base do Centro de Estudos do Mar e as cartas da rede hidrográfica, de declividade, solos, geologia e uso da terra foram gerados conforme descrição detalhada nos próximos itens.

5.4.1.1 Rede Hidrográfica

A carta da área das bacias e seus sistemas de drenagem foi recortada da base cartográfica da SEMA, escala 1:25.000, tendo os seus limites principais determinados pelos divisores da água, ao longo das bacias e, na desembocadura, o início do fluxo bidirecional, já em áreas com influência de maré. Todo esse processo foi feito em ambiente SPRING.

5.4.1.2 Declividade

Os dados para a carta temática de declividade foram extraídos da base cartográfica da SEMA, escala 1:25.000, que inclui curvas de nível com equidistância de 20m. Em ambiente SPRING, foi realizada a interpolação dos valores de cota, sendo gerada uma grade TIN da qual resultou na carta de declividade.

5.4.1.3 Solos

Com a inexistência de informações locais em escalas maiores, a carta de solos foi digitalizado a partir do reconhecimento e mapeamento de solos do Paraná (LARACH, 1984), em escala 1:650.000. O processo de digitalização do mapa foi feito com escaneamento e georreferenciamento no software SPRING, no qual ocorreu a poligonização dos tipos de solo.

5.4.1.4 Geologia

A carta de geologia foi extraída da base cartográfica digital do ITCG. As informações foram originalmente digitalizadas com base no levantamento geológico da Mineropar (2006), em escala 1:250.000, mais especificamente da carta SG-22-X-D.

5.4.1.5 Uso da Terra

A carta de uso da terra foi gerada a partir do escaneamento das cartas 2858-1SE e 2843-3, do levantamento de uso da terra do IPARDES (2001, 2002), em escala 1:250.000. As cartas foram então georreferenciadas em ambiente SPRING, e foi feita uma classificação automática dos pixels. O método estatístico utilizado foi o de Máxima Verossimilhança, que é o método de classificação "pixel a pixel" mais comum. Este método considera a ponderação das distâncias entre médias dos níveis digitais das classes, utilizando parâmetros estatísticos. O resultado deste procedimento foi à produção de uma carta temática de uso da terra.

Tendo em vista a necessidade da combinação destas informações cartográficas, houve a conversão dos dados para formato matricial. Para tanto, alguns parâmetros precisaram ser padronizados para determinados procedimentos realizados nos softwares SPRING e IDRISI.

Assim, foi definida a resolução espacial de 5 metros para todas as imagens, assim como foram mantidos os mesmos retângulos envolventes para todos os dados considerados nas análises.

5.5 TRATAMENTO DOS DADOS PARA CHEGAR À FRAGILIDADE

5.5.1 Fragilidade potencial

Para composição do modelo de Fragilidade Potencial foram combinadas informações de declividade, solos e geologia. Esses elementos foram tratados e combinados de forma integrada. As informações de cada polígono das três cartas foram hierarquizadas entre cinco pesos (dígitos) de acordo com sua vulnerabilidade. Assim, as variáveis mais estáveis apresentarão pesos mais próximos de 1,0 e as mais vulneráveis ou instáveis mais próximos de 5,0, enquanto que, as intermediárias, estarão próximas da média entre as duas. Desta forma, com a combinação das variáveis, foram identificadas classes de fragilidade, variando entre muito baixa (1), baixa (2), média (3), alta (4) e muito alta (5).

Diferente de outros modelos, neste estamos propondo a inclusão da geologia, adaptada da proposta de (CREPANI, 2001)

A descrição dos polígonos de cada variável, com seus respectivos pesos (dígitos) é apresentada nos próximos itens.

5.5.1.1 Pesos da Declividade

As classes de declividade foram estabelecidas visando representar bem as unidades naturais estudadas neste trabalho. Diferente da proposta de 1994, Ross orienta a inclusão de uma classe de 0 - 2% para facilitar a delimitação da planície litorânea (Tabela 2).

Tabela 2. Pesos relativos à declividade. Organizado por Lautert (2010).

Fragilidade	Declividade	Peso
Muito baixa	0 – 2%	1
Baixa	2- 12%	2
Média	12-30%	3
Alta	30 – 40%	4
Muito alta	40%	5

5.5.1.2 Pesos dos Solos

Os afloramentos rochosos e cambissolos associados à neossolos receberam peso (1), considerando-se que existe a predominância de afloramentos rochosos. Os cambissolos receberam peso (2). Apesar de estarem em regiões um pouco mais inclinadas, esses solos nesta área apresentam maior compactação e estabilidade em relação aos argilosos, que receberam peso (3). Estes, por sua vez, por estarem predominantemente na planície fluvial, com baixa compactação e mais instáveis, são mais suscetíveis a erosão mecânica. Os gleyssolos que são frequentemente saturados de água e pouco consolidados, receberam peso (5) (Tabela 3).

Tabela 3. Pesos relativos a solos. Organizado por Lautert (2010).

Fragilidade	Solos	Peso
Muito baixa	AR2 Afloramento de rocha, associados neossolos.	1
Muito baixa	CA31 Cambissolo, textura argilosa, horizonte A moderado/ associação Neossolo	1
Baixa	CA15 Cambissolo, textura argilosa, horizonte A moderado /associação Latossolo	2
Baixa	CA6 Cambissolo, textura argiloso, horizonte A moderado	2
Baixa	CA9 Cambissolo, textura argilosa, horizonte A proeminente.	2
Baixa	CD2 Cambissolo, textura argiloso, horizonte A moderado/ gleyssolos	2
Média	PVA10 Argisolos, textura argiloso, horizonte A moderado.	3
Média	PVA3 Argiloso, textura média/argilosa, horizonte A proeminente.	3
Muito Alta	HG2 Gleyssolo, textura argilosa.	5
Muito Alta .	HG3 Gleyssolo, textura argilosa.	5

5.5.1.3 Pesos da Geologia

Para geologia foram atribuídos os seguintes pesos:

Os setores relacionados ao complexo cristalino, composto pelos conjuntos de rochas do gnáissico-migmatíticos e granítico-migmatíticos, todos remanescentes do embasamento antigo (PEG, APL) tiveram o peso (1), representando baixa fragilidade em função de sua idade e resistência. As rochas da formação Guaratubinha (EG), referentes a uma pequena área do primeiro planalto antigo, hoje considerada por BIGARELLA (1978) e ANGULO (2004) como pertencente ao litoral, tiveram o peso (2). Os depósitos de sedimentos recentes formados por deposições continentais nas encostas do setor de pré-rampas da Serra do Mar (QHC) receberam o peso (3), enquanto que os depósitos continentais fluviais na planície litorânea

foram representados com o peso (4) e os depósitos marinhos (QHM) com uma área reduzida, na região da desembocadura, onde começa a influência do estuário, obtiveram o peso (5) na escala de atributos teoricamente representativos da fragilidade (Tabela 4).

Tabela 4. Pesos relativos à geologia. Organizado por Lautert (2010).

Fragilidade	Geologia	Peso
	1PEG2	
Muito Baixa	Suíte Álcali-granitos. Granito Graciosa.	1
	2PEG6	
Muito Baixa	Suíte Álcali-granito. Granito Marumbi.	1
	3PG1	
Muito Baixa	Suíte Álcali-granito. Granito Anhangava.	1
	4PG7	
Muito Baixa	Suíte Álcali-granito Granito Serra da Igreja.	1
	5EGA	
Muito Baixa	Formação Guaratubinha. Sequencia vulcânica ácida: riolitos, tufos e brecha.	1
	6EGG	
Muito Baixa	Formação Guaratubinha. Diques de riolito pórfiro, felsito e microgranito.	1
	7APLG3	
Muito Baixa	Complexo Granítico Gnáissico. Miringuava ou São José dos Pinhais, Monzogranitos e granodioritos gnáissicos, porfiróides e equigranulare.	1
	8APLMGE	
Muito Baixa	Complexo Gnáissico Migmatítico. Migmatitos estromáticos com paleosoma de biotita-hornblenda.	1
	9APLMGM	
Muito Baixa	Complexo Gnáissico Migmatítico. Migmatitos oftálmicos, com paleosoma de biotita, gnaiss, biotita-hornblenda, gnaiss e hornblenda gnaiss, localmente com quartzito.	1
	10APLCQ	
Muito Baixa	Complexo Cachoeira. Muscovita-biotita quartzitos, fuchsite quartzitos, quartzo, xistos, metarenitos e metarcósios, com intercalações de magnetita-micas-quartzo xistos, micas-quartzo xistos e metacherts.	1
	11APICCA	
Muito Baixa	Complexo Cachoeira. Anfibolitos, metabasitos e metaultrabasitos, hornblenda gnaisses indiferenciados.	1
	12APLCXM	
Muito Baixa	Complexo Cachoeira. Xistos magnesianos, anfibolitos, metabasitos, metaultrabasitos, gnaisses e ecnitos parcialmente migmatizados	1
	13EGS	
Baixa	Formação Guaratubinha.	2

	Sequência sedimentar: arcósios, siltitos, argilitos e conglomerados.	
	14QHC	
	Sedimentos Recentes.	
Média	argila, silte e areia, seixos e blocos. Depósitos de colúvio e talus., Depósito de colúvio associados a depósitos de talus com argila, silte, areias e seixo.	3
	15QHA	
	Sedimentos Recentes.	
Muito Alta	Sedimentos de deposição fluvial (aluviões), com areias, siltes, argilas e cascalhos depositados em canais, barras e planícies de inundação; Aluviões indiferenciados, (areias, argilas, cascalho)	4
	16QHMO	
	Sedimentos Recentes.	
Alta	Sedimentos argilo-siltico-arenosos , paleoestuarinos	5
	17QHMG	
	Sedimentos Recentes.	
Alta	Sedimentos flúvio marinhos, associados à manguezais.	5

É importante realçar que os ambientes formados pelo embasamento cristalino tiveram seus valores igualados, por serem considerados compostos por material resistente do embasamento antigo, pois a diferença na fragilidade entre estes não seria representativa nesta escala.

5.5.2 Fragilidade Emergente

A fragilidade emergente do meio físico foi elaborada a partir da interação/ combinação da carta de fragilidade potencial com as informações espacializadas de uso da terra e cobertura vegetal.

5.5.2.1 Peso do uso da terra

A descrição dos polígonos do uso da terra com seus respectivos pesos são apresentados na tabela 5.

Tabela 5. Pesos relativos ao uso da terra. Organizado por Lautert (2010).

Fragilidade	Uso da Terra	Peso
Muito Baixa	Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Mista, Campo de Altitude	1
Baixa	Formações Pioneiras, capoeira, capoeirão.	2
Média	Reflorestamento	3
Alta	Agricultura , pecuária e outros	4
Muito Alta	Áreas Urbanas	5

A Floresta Ombrófila densa, fundamental na proteção das superfícies de aplainamento recebeu peso (1) e as formações pioneiras com formação pioneira e capoeira peso (2), enquanto uma reduzida área de reflorestamento peso (3). Os pesos mais elevados foram relacionados com as ações da agricultura, peso (4), e do ambiente urbano, peso (5).

5.6 COMBINAÇÃO DAS INFORMAÇÕES

A combinação dos polígonos gerados vetorialmente no ambiente informacional SPRING, foram importados para o programa IDRISI.

Após edição (poligonização) e padronização dos dados vetoriais em formato matricial no software SPRING, esses foram importados pelo software IDRISI, para a combinação das informações.

A primeira etapa do processo foi reclassificar os polígonos de cada variável (declividade, solos, geologia) com os atributos (pesos) para geração das combinações. Esses pesos foram digitados no módulo RECLESS do IDRISI (Figura 7).

Figura 7. Módulo RECLESS-IDRISI. Organizado por Lautert (2010).

O primeiro ensaio foi feito com um cálculo de somatória simples e médias aritméticas, no módulo: *image calculator – map algebra and logic modeler* (figura 8), que resultou em 14 classes. No módulo RECLESS, foram reclassificadas em cinco classes com resultados entre 1 a 6=1 (muito baixa) 6 a 7=2, (baixa), 7 a 9=3 (média) 9 a 11=4 (alta) e 11 a 14=5 (muito alta).

Figura 8. Módulo IMAGE CALCULATOR-IDRISI. Organizado por Lautert (2010).

No segundo ensaio, foi realizado a combinação simultâneo das três variáveis ambientais, utilizando-se o módulo *crosstab*, (figura 9) resultando em uma carta com 57 classes (combinações) (figura 9 e tabela 6).

Figura 9. Módulo CROSSTAB-IDRISI. Organizado por Lautert (2010).

Essas 57 classes foram reclassificadas em cinco classes e utilizou-se uma análise qualitativa, na qual os dígitos foram posicionados lado a lado. Foi estabelecida uma classificação de fragilidade através da composição entre os três planos, composta pelas categorias e algarismos relacionados na Tabela 6.

O primeiro relacionado à declividade, o segundo aos solos e o terceiro à geologia. Da combinação destes algarismos (por exemplo, 111, 123, 243) foi possível combinar os graus de fragilidade potencial. As seguintes regras foram estabelecidas: quando as três classes possuem o mesmo grau de fragilidade (código) mantém-se esse grau de fragilidade e, quando a combinação é de classes com graus diferentes, a fragilidade resultante será aquela mais forte, com exceção daqueles casos que apresente graus inversamente proporcionais como, por exemplo, 5-2-1, que então foram ajustados, para fragilidade média (menos suscetível). Como resultado chegou-se a figura 35, apresentada no capítulo 5.

Tabela 6. Reclassificação das 57 Classes resultantes da tabulação simultânea. Dígito1= declividade; dígito 2= solos e dígito 3= geologia, dígito 4 resultado da reclassificação. Organizado por Lautert (2010).

1-1-1=1	5-3-1=5	4-2-2=3	2-5-3=4	4-3-4=4
2-1-1=1	1-5-1=4	1-2-3=2	3-5-3=5	5-3-4=5
3-1-1=3	2-5-1=3	2-2-3=3	4-5-3=5	1-5-4=4
1-2-1=1	3-5-1=4	3-2-3=3	5-5-3=5	2-5-4=5
2-2-1=1	4-5-1=4	4-2-3=3	1-2-4=4	3-5-4=5
3-2-1=3	5-5-1=5	5-2-3=5	2-2-4=4	4-5-4=5
4-2-1=3	1-1-2=1	1-3-3=2	3-2-4=4	5-5-4=5
5-2-1=4	2-1-2=1	2-3-3=3	4-2-4=4	0-0-4=0
1-3-1=2	3-1-2=3	3-3-3=3	5-2-4=5	1-3-5=5
2-3-1=2	1-2-2=2	4-3-3=4	1-3-4=4	
3-3-1=3	2-2-2=2	5-3-3=5	2-3-4=4	
4-3-1=4	3-2-2=3	1-5-3=3	3-3-4=3	

Nessa combinação, quando o conjunto numérico apresenta 111, representa todas as variáveis favoráveis (fragilidade muito baixa) e o conjunto numérico 555 apresenta as variáveis desfavoráveis (fragilidade muito alta). Através desta análise proposta por ROSS (1994), foi possível estabelecer as áreas mais frágeis e menos frágeis.

Comparando os dois ensaios chegou-se a conclusão que o segundo é mais restritivo. O resultado do segundo ensaio foi o utilizado nesse trabalho.

Para fragilidade emergente, no módulo CROSSTAB, foi realizada a combinação simultânea da fragilidade potencial com os polígonos de uso da terra, resultando 25 classes (combinações) (Tabela 7).

Tabela 7. Reclassificação das 25 Classes resultantes da tabulação simultânea. Dígito 1= fragilidade potencial; dígito 2= uso da terra. Organizado por Lautert (2010).

0-0=0	4-1=3	3-2=3	2-3=3	2-4=3
0-1=0	5-1=3	4-2=3	3-3=3	3-3=3
1-1=1	0-2=0	5-2=4	4-3=4	4-4=4
2-1=2	1-2=2	0-3=0	0-4=0	5-4=5
3-1=2	2-2=2	1-3=2	1-4=3	4-5=5

Foram reclassificadas em cinco classes entre 1 a 5. Para estabelecer as classes os números foram somados e divididos por dois, e quando o quociente não era um numero inteiro o resultado final foi estabelecido arredondando os valores para cima (por exemplo, $5+2=7 / 2=3,5 =4$).

O Programa IDRISE gerou tabelas automáticas, com os resultados das combinações em linguagem computacional (Anexos 3 e 4), que foram tratadas gerando as tabelas com a áreas totais de cada classe de fragilidade apresentadas no capítulo 7.

A descrição e análise dos dados bem como combinação dos planos de informação também são apresentados no capítulo 7 deste trabalho.

6 PRODUÇÃO, DESCRIÇÃO E ANÁLISE TEMÁTICA DOS DADOS

6.1 GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA DO LITORAL PARANAENSE

A configuração do sistema natural no estado do Paraná modelou-se através de movimentos epirogênicos e tectônicos, da ação dos sistemas hidrográficos e da influência das alterações climáticas (MAACK, 1968).

As linhas orográficas principais delimitam as suas paisagens naturais. Os três planaltos do interior do Estado inclinam-se suavemente para oeste, representando uma típica paisagem constituída na maior parte por degraus estruturais, ou escarpas de estratos. MAACK (1968), op. cit., ao sistematizar os principais elementos da paisagem dividiu o Estado do Paraná em cinco grandes zonas, chamadas: "zonas de paisagem natural", ou "regiões geográficas naturais": a) Litoral; b) Serra do Mar; c) Primeiro Planalto (ou Planalto de Curitiba); d) Segundo Planalto (ou Planalto de Ponta Grossa), e) Terceiro Planalto (ou Planalto de Guarapuava) (figura 10).

Figura 10. Perfil esquemático do relevo de desde a planície costeira até Foz do Iguaçu. Organizado por Lautert (2010).

Na região a leste dos planaltos, se destaca a Serra do Mar, como grande acidente orográfico que alcança até 2000 m, e a planície Litorânea. O litoral do Paraná encontra-se em uma pequena área espremida e apertada pelo mar, formado por montanhas e planícies.

Observando o mapa de hipsométrico do litoral do Paraná (figura 11), nota-se que a paisagem de forma geral apresenta um relevo com descontinuidade bem aparente. Suas terras partem do nível do mar subindo até 1500 metros, chegando à superfície do primeiro planalto em média a 900 metros de altitude, configurando um sistema natural diversificado em formas e processos. Desde os cordões litorâneos até as cristas da cadeia de montanhas sucedem diversos tipos de ambientes, reunindo um conjunto de ecossistemas, que de forma integrada completam se organizam em um mosaico representado pelo bioma de mata atlântica, e os estuários que formam as baías de Paranaguá e Antonina e suas ilhas, como Ilha do Mel e do Superagui.

Figura 11. Mapa Hipsométrico do estado do Paraná, adaptado de ANGULO, 1992, e organizado por Prata Jr.1996.

Estudando suas principais paisagens, ANGULO (1999), subdividiu o litoral em duas subzonas: a da Montanhosa Litorânea e a Planície Litorânea (figura 12).

Figura 12. Principais unidades geomorfológicas da região litorânea do Estado do Paraná, (1), planaltos, (2), serras originadas por dissecação da borda do planalto, (3) serras originadas por erosão diferencial, (4) talus, leques aluviais e planícies aluviais, (5) planície costeira, (6) divisor d água, (7) limite interestadual, Fonte:Angulo (2004), pag. 29.

ANGULO 1999, op.cit, classificou a geomorfologia do litoral Paranaense em duas grandes unidades e suas subdivisões delimitadas principalmente em função da estrutura morfológica, onde se encontram duas paisagens diferentes, que em conjunto formam um sistema natural, diversificado:

- **Zona Montanhosa Litorânea:** Planaltos, Serras, originadas por dissecação de bordas do planalto, Serras originadas por erosão diferencial, Colúvios, talus, cone aluviais.
- **Zona Planície Litorânea:** Planícies e leques aluviais, Planície costeira.

6.1.2 Zona Montanhosa do Litoral

6.1.2.1 Embasamento cristalino

Na Zona Montanhosa Litorânea prevalece formações da Serra do Mar, como imponente divisor entre o planalto e o litoral. No seu todo, a serra do Mar é um grande centro dissecado de falhas, formadas pelas bordas do planalto atlântico, constituindo-se em um conjunto de montanhas escarpadas com mais de 1.000km, que se estendem desde o Rio de Janeiro até o norte de Santa Catarina, no trecho voltado para bacia de Santos, na plataforma continental (ALMEIDA & CARNEIRO, 1998).

No Paraná, a Serra do Mar é um complexo cristalino formado principalmente por estruturas Geológico-geomorfológicas antigas, que incluem pequenos depósitos sedimentares recentes formados de material erodido da própria serra no quaternário.

O Professor Maack ao falar sobre as vertentes da Serra do mar no Paraná comenta:

O aspecto fisiográfico da superfície da paisagem fundamenta-se num complicado processo de tectonismo de falha que abrange a maior parte da orla continental oriental da América do Sul. O aspecto morfológico dos degraus e blocos isolados foi modelado pela influência de um clima alternante seco e úmido, (MAACK, 1968, pag.296).

Suas unidades mais antigas são formadas por rochas do arqueano, constituídas pelo complexo gnáissico-migmatítico, remanescentes da base da antiga bacia do Paraná, antes da abertura do Oceano Atlântico e por intrusões de granito do proterozóico superior, formados durante o processo de consolidação do embasamento da plataforma (final do proterozóico ao cambriano). As unidades mais antigas formadas pelo complexo Gnáissico-migmatítico são classificadas geomorfologicamente por ANGULO (1992) como serras originadas por dissecação do planalto, enquanto complexo granítico-gnáissico, como as serras Marumbi e Graciosa (figuras 13 e 14) são classificadas como serras originadas por erosão diferencial. As

unidades mais recentes são representadas por material do quaternário, como tálus e colúvios, que ocorrem principalmente no sopé das vertentes e nos vales dos rios.

Os setores do primeiro planalto paranaense, incluídos na área de estudo correspondem a espaços que antigamente pertenciam à bacia do Rio Iguaçu e que, atualmente, como consequência de sucessivas capturas, drenam para as bacias das baías de Paranaguá e Guaratuba (ANGULO 2004).

As serras originadas por dissecação de bordas do planalto estruturam-se como um conjunto de falhas e escarpas erosivas de constituídas por uma grande diversidade de rochas ígneas e metamórficas de idade arqueana (mais de 600 milhões de anos). Contém migmatitos e outras rochas associadas como quartzitos, quartzo-muscovitas, anfibólitos, xistos, xistos magnesianos, quartzitos com magnetita e rochas manganíferas, integrando o chamado complexo cristalino e considerado como embasamento de rochas metamórficas do Grupo Açungui. Os migmatitos são intrusivos por diversos corpos graníticos, que constituem os núcleos das serras regionais (BIGARELLA, 1978).

Em seu livro Geografia física do estado do Paraná, Reinhardt Maack indica a ocorrência de granitos que formam os setores do proterozóico superior identificados por ÂNGULO (2004) como Serras originadas por erosão diferencial com intrusões de granito, suíte alcalinos, representados principalmente pelos granitos Graciosa e Marumbi com direção geral noroeste, e de aspecto submilimétrico e milimétrico, leucocrático, com coloração branca, cinza-claro, creme ou avermelhado (MAACK, 1968). Possui morfologia mais escarpada do lado atlântico do que do lado continental, com taludes íngremes e vertentes vigorosas, tanto em relação ao Primeiro Planalto, como em relação à zona pré-Serra do Mar do litoral do Paraná. Destacam-se as Serra do Marumbi, Graciosa e Paraná (figuras 13 e 14).

A vertente oriental é separada da planície sedimentar costeira, frequentemente por superfícies em forma de taludes, rampas e terraços de composição colúvio-aluvianares, cujas

formações mais antigas mergulham sob os sedimentos marinhos, flúvio lagunares e de baía mais recentes (BIGARELLA *et al.*1978). Estas formações constituem a fonte de sedimentos continentais para a Planície Costeira ao longo de sua história geológica.

Figura 13. Serra do mar e planície costeira no litoral do Paraná, com destaque para localização da Serra do Mar e planície litorânea no litoral do Paraná com destaque para as serras do Marumbi e Graciosa. Fonte: Laboratório de Física Marinha – CEM – UFPR.

Apesar de ser composta por rochas tão antigas os estudos sobre a Serra do Mar, mostram que sua morfologia começou a se desenhar bem mais tarde, depois da abertura do oceano atlântico, que se iniciou a cerca de 225 milhões de anos, no final período Permiano (ALMIR (1976), ASMUS & Ferrari (1978) *apud* ALMEIDA & CARNEIRO, 1998) , e se expandiu durante todo o mesozóico. Assim as formações Serranas têm sua origem no cretáceo superior com um grande evento tectônico causado por processos movimentação vertical, com conseqüente soerguimento do bloco ocidental da falha de Santos, gerando falhas e deformações do planalto na antiga superfície de aplainamento das cristas médias, identificada por De Martonne em 1943 e denominada Japi por Almeida em 1958 (figura 15) (ALMEIDA & CARNEIRO, 1998). Este falhamento se deu originalmente mais a leste, onde atualmente está a plataforma continental interna e veio regredindo durante o Terciário, até a posição atual, influenciada nos diferentes períodos climáticos, por diferentes processos, sejam endógenos e exógenos, que produziram grandes transformações na configuração da borda continental sul americana como, por exemplo, os processos associados a formação de uma unidade estrutural

de elevada importância regional, designada Arco de Ponta Grossa com eixo principal na direção NW.

Figura 14. Serra do Marumbi, 1539m, formado por uma grande intrusão de granito, ocorrida no proterozóico superior. Fotografia, Lautert 2010, organização Lautert 2010.

Os constantes falhamentos causados ao longo de sua história, também serviram de passagem de material magmático intrusivo que expeliu basaltos por uma grande área da bacia do Paraná englobando vários estados brasileiros e países vizinhos, formando estruturas chamadas no Brasil de Serra Geral. Com a diminuição dos eventos, rochas ígneas preencheram os falhamentos e há presença de diques de diabásio (corpos verticais) em toda a área, salientado a presença de diques de diorito cortando a Serra do Mar, na direção NW-SE, controlados sempre pelo Arco de Ponta Grossa. Estes eventos deixaram vestígios geomorfológicos marcantes no antigo embasamento cristalino e aparecem em alguns pontos no litoral do Paraná como no morro da Cotinga e na Ilha do Mel nos municípios de Paranaguá assim com no morro da ilha dos Ratos em Matinhos, PR.

Figura 15. Esquema da origem e recuo erosivo da Serra do Mar, na região entre a Bacia do Paraná, no continente, e a Bacia de Santos, a sudeste. Estágios: 1. Soerguimento senoniano erodido, causando deposição nas bacias de Santos e do Paraná. Depósitos da formação Santos indicados na primeira e do grupo Bauru na segunda. Vulcanismo alcalino (A), Falha de Santos (F). 2. Desenvolvimento da superfície de aplainamento Japi no final do Senoniano. 3. Deformação da Superfície de Japi no Paleoceno. Surge a Serra do Mar (SM) na falha de Santos (F), o sistema de grabens continentais e começa a se desenvolver, na costa, a plataforma continental (P). 4. Recuo erosivo (R) da Serra do Mar para a posição atual. A posição esquemática da Depressão Periférica é indicada (DP). Intrusões alcalinas sustentam ilhas. Convenções: 1. Depósitos da Fm Santos, 2. Cobertura fanerozóica sobreposta ao basalto Serra Geral, 3. Formação Serra Geral, 4. Corpos alcalinos, 5. Grupo Bauru, 6. Falhas. Fonte: Adaptada de Almeida e Carneiro (1998)

6.1.2.2 Sedimentos do Quaternário (*Tálus e colúvios*)

Os tálus localizam-se nos sopés das vertentes mais íngremes da serra e apresentam superfícies de deposição com alta declividade. Não apresentam proeminência de processos fluviais, ocorrendo aparentemente o domínio dos processos de queda de detritos (ANGULO 2004). Depois de alguns trabalhos pontuais na serra da Prata ao sul da área estudada, ANGULO (1992), chegou à conclusão que em alguns casos, as rampas apresentam ravinamento, com

padrão paralelo não radial, como nos leques. Quanto à idade, torna-se difícil uma datação precisa, podendo considerá-los de maneira geral, do quaternário.

Os colúvios associados à vertente da serra, nos quais não se observam evidências de transporte por fluxo de baixa viscosidade. Têm os sedimentos na sua maioria finos com variável proporção de seixos e areia geralmente sem estruturas. Os seixos podem estar dispersos na matriz ou concentrados em níveis ou linha (stone line) (ANGULO, 2004). ANGULO (1992), ressalta presença colúvios superpostos. Alguns colúvios podem ter sido originados por lentos processos de movimento de massa, envolvendo o manto de intemperismo mas, em alguns casos, as linhas de seixos e os solos enterrados atestam a complexidade de sua evolução (ANGULO, 2004, op. cit.)

6.1.3 Zona da Planície Litorânea

As planícies Litorâneas têm sua formação histórica associadas a mudanças do nível relativo do mar (eustasia). Estas variações podem ser relacionadas em três grandes dimensões de fenômenos em que MORDER (1980) *apud* FIER (2008) (figura 16), define como:

- a) gravidade/rotação, ou geóide-eustasia, que regula as mudanças de distribuição de níveis oceânicos,
- b) Movimento Terrestre, ou Tcnoeustasia, que regula a mudança de distribuição do nível oceânico,

- c) Clima, ou Glácio-eustasia, também relacionada com as mudanças de volume, porém regionais, onde de diferentes formas e lugares do planeta as mudanças locais estão relacionadas a parâmetros meteorológicos, hidrológicos e oceanográficos que todos associados influenciam na eustasia (mudança de níveis oceânicos).

Figura 16. Fenômenos que influenciam na mudança do nível dos oceanos. Adaptado de Fiers 2008

Essa associação de fenômenos tem sua implicância na dinâmica nos períodos de glaciações e interglaciações quando no período frio há diminuição na altura relativa e nos períodos interglaciais um aumento e, ao longo de milhares de anos, influenciaram diferentes eventos com ciclos distintos de tempo, proporcionando as transgressões e regressões marinhas.

No Brasil, as principais referências com relação aos estudos das variações do nível do mar estão apresentados nos trabalhos de SUGUIO *et al.* (1985), LESSA, ÂNGULO E, ARAÚJO, (2000).

As variações no nível marinho durante o quartanário (de 1,8 milhões de anos até o presente) foram caracterizadas por fases regressivas e transgressivas, com significativas variações do nível relativo do mar que condicionaram a evolução paleogeográfica da região litorânea do Paraná. Há 120.000 anos A.P. (antes do presente) ocorreu um máximo transgressivo (na época do Quaternário designada como Pleistoceno), que elevou o mar aproximadamente 8 ± 2 m acima do nível atual, ou seja, toda a área da atual Planície Litorânea estava recoberta pelo mar, cujo limite era o sopé da Serra do Mar (tabela 8 e figura 17). A configuração da região na época provavelmente seria a de um golfo, com ilhas esparsas (morros com mais de 8 ± 2 m sobre o nível do mar atual, como os da Cotinga, do Mel, Currais, etc.), havendo apenas as montanhas e o mar, sem a existência de uma Planície Litorânea significativa (APPA-CEM). Conforme SUGUIO (2001), essa subida ocorreu relativamente rápido:

As subidas do nível do mar nas fases tardiglaciais e pós-glaciais ocorreram a velocidades, que em termos geológicos, podem ser consideradas espantosas porque, a grosso modo, em 10.000 anos (de 16.000 a 6.000 AP) o nível do mar subiu mais de 100 metros, representando taxa superior a 1 cm/ano. Esta ascensão muito rápida em termos geológicos afetou tanto as costas em soerguimento como em subsidência, promovendo conspícuas transgressões marinhas, provocando a deposição de sedimentos marinhos (SUGUIO (2001) pág. 25).

De 120.000 anos A.P. até aproximadamente de 21.500 a 18.000 anos A.P., o nível do mar baixou até onde hoje se situam as isóbatas entre -100 e -130 metros da plataforma continental (tabela 8 e figura 17). Quando o mar atingiu esta última cota, toda a área então anteriormente submersa tornou-se emersa, inclusive as áreas da atual plataforma continental, pois a linha de costa deveria estar situada a aproximadamente 190 km ao leste das praias

atuais. Como os rios deságuam no mar, a drenagem deveria correr sobre o que é atualmente o fundo da plataforma continental, que deveria ser vegetada, até atingir o seu nível de base, a linha de costa da época.

Após esta fase em que o nível do mar estava entre -100 e -130 metros abaixo do atual, começou a vigorar uma nova transgressão, que teve seu máximo entre 5.100 e 5.400 anos A.P. quando atingiu a cota entre + 2,0 a + 4,0 m acima do nível atual (na época do Quaternário designada como Holoceno) (tabela 8 e figura 17). Com a regressão, novos depósitos, também na forma de cordões litorâneos e depósitos estuarinos, formaram-se ao leste do rio Guaraguaçu, à medida que o mar foi baixando até atingir o nível atual (**RC/APA-CEM 2003**)

A Planície Litorânea estende-se desde o sopé da Serra do Mar até o Oceano Atlântico, com um comprimento de aproximadamente 105 km e uma largura máxima em torno de 55 km na região da Baía de Paranaguá. A planície está profundamente recortada pelas baías de Paranaguá e Guaratuba. A planície tem em geral uma altitude inferior a 20 m sobre o nível do mar podendo chegar a 30 metros mais para dentro na altura de Morretes (BIGARELLA, 1959) e sua origem está intrinsecamente relacionada às variações do nível relativo do mar nos últimos milhares de anos (tabela 8 e figura 17).

A configuração atual do sistema natural na Planície Litorânea paranaense é uma resposta a todos estes processos que ocorreram sobre o embasamento cristalino, principalmente relacionado às variações do nível relativo do mar, durante o período Quaternário, que deixaram como principal resposta, as planícies arenosas fluviais e marinhas de diferentes altitudes (tabela 8 e figura 17).

Tabela 8. Características Principais da História Geológica da Terra e os principais acontecimentos no Litoral do Paraná. Fonte: RC/APA-CEM 2003.

A escala do tempo geológico				
Era	Período	Época	Características principais na história da Terra	Registros no litoral paranaense
Cenozóica (de 66 milhões de anos atrás até os dias de hoje)	Quaternário	Holoceno	Fim da última idade glacial. Grande desenvolvimento cultural do homem moderno e surgimento da civilização.	Nova transgressão marinha, atingindo um nível máximo do mar entre +2 e +4 m sobre o nível atual entre 5.100 e 5.400 anos atrás erodindo parte da planície costeira. O nível do mar começa a baixar até atingir o atual. Praias e mangues são formados.
		Pleistoceno	Tem início a idade glacial no Hemisfério Norte. Surgem o <i>homo erectus</i> , o <i>homo sapiens</i> e os primeiros traços culturais humanos (pinturas rupestres).	Grandes variações do nível relativo do mar. Há 120.000 anos atrás este atingiu seu máximo (8 ± 2 m sobre o nível atual, chegando ao sopé da Serra do Mar. Nesta fase o litoral do Paraná teria configuração similar a um grande golfo, com ilhas esparsas. Entre 21.500 e 18.000 anos atrás o mar atingiu seu nível mais baixo, podendo ter chegado a -130 m abaixo do nível atual. Todos os depósitos da atual plataforma continental ficaram expostos (sub-aéreos), formando uma ampla planície costeira.
	Terciário	Plioceno	Surge o <i>homo habilis</i> (cerca de 2 milhões de anos).	Soerguimento da Serra do Mar a partir de atividades tectônicas. No Mioceno Inferior deposita-se a Formação Alexandra sobre o embasamento, sendo esta composta por sedimentos de origem continental, aflorando apenas em um pequeno trecho do relevo atual. Em subsuperfície, a distribuição desta unidade ainda é pouco conhecida.
		Mioceno	Surgem grandes cadeias montanhosas como os Alpes, os Andes e o Himalaia.	
		Oligoceno	Os mamíferos assumem o domínio dos continentes.	
		Eoceno	Segue a propagação dos mamíferos, aves, insetos e flores.	
Mesozóica (de 245 milhões a 66 milhões de anos atrás)		Paleoceno	Início da propagação dos mamíferos, aves, insetos e flores.	Formação do Oceano Atlântico. Início do soerguimento da Serra do Mar e aparecimento do Arco de Ponta Grossa (unidade estrutural importante regionalmente). Intrusões ígneas formam os diques de direção NW-SE, como os que ocorrem nas ilhas da Cotinga e do Mel.
		Cretáceo	---	
		Jurássico	---	
		Triássico	---	
Paleozóica (de 540 milhões a 245 milhões de anos atrás)	Permiano	---	Expansão das gimnospermas. Extinção de corais primitivos.	Não depósitos ou formações geológicas desta Era no litoral paranaense.
	Carbonífero	---	Surgem grandes florestas tropicais e os primeiros grandes Depósitos de carvão. Surgem os primeiros répteis.	
	Devoniano	---	Surgem as florestas e os primeiros anfíbios tetrápodes e insetos. Diversificação dos peixes.	
	Siluriano	---	Conquista dos continentes pelos animais (artrópodes). Surgem as primeiras plantas terrestres.	
	Ordoviciano	---	Grande diversificação dos animais com conchas.	
	Cambriano	---	Surgem organismos com conchas e carapaças e os primeiros cordados.	
Pré-Cambriana (de 3,8 bilhões a 540 milhões de anos atrás)	Proterozóica	---	O O ₂ torna-se um componente estável na atmosfera e surgem os primeiros micróbios (2.000 milhões). Surgem os primeiros animais (650 milhões).	Formação das rochas ígneas e metamórficas do Embasamento Cristalino, que posteriormente foram soerguidas resultando nas montanhas da Serra do Mar
	Arqueozóica	---	Surgem as mais antigas rochas metamórficas e os oceanos. Os mais antigos fósseis datam dessa Era.	
	Azóico	---	Ausência de vida. Formam-se as primeiras rochas

Figura 17. Evolução geológica-geomorfológica re região litorânea paranaense nos últimos milênios: (A) mostra quando o nível do mar estava 8 ± 2 m sobre o nível atual, chegando ao sopé da Serra do Mar há 120.000 anos. (B) mostra uma superfície imaginária quando o nível mar estava -130 m abaixo do nível atual, entre 21.500 e 18.000 anos atrás. (C) 5.100 e 5.400 anos atrás ocorreu uma nova transgressão marinha, quando o nível máximo do mar atingiu entre $+2$ e $+4$ m sobre o nível atual, erodindo parte da planície costeira. (D) desde a transgressão mostrada em (C) o nível do mar começou a baixar até atingir o nível atual, quando praias e mangues foram formados. Para a elaboração destas figuras, utilizou-se como base o desenho do Prof. João José BIGARELLA, de 1978. Fonte: APA-CEM (2003, 32).

BIGARELLA (1959), quando trabalhou na Universidade Federal do Paraná, já fez referências à ocorrência de depósitos continentais e marinhos junto ao embasamento cristalino, na região da Baía de Paranaguá. O pesquisador curitibano, filho de alemães, percorreu todo litoral, indicando principais formas e feições.

Em um estudo que procurou explicar as formas atuais, Rodolfo ÂNGULO (1992) classificou um conjunto unidades geo-ambientais, referentes ao cenozóico que se encontram amplamente desenvolvidas no litoral do Paraná e na região em estudo, cuja idade geológica, deve ainda ser objeto de estudo (ÂNGULO 2004). No quaternário, desenvolveram-se no sopé da Serra do Mar e na planície litorânea, feições fito-fisionômicas, dando origem a uma série de depósitos continentais e marinhos classificados por (ÂNGULO, 1992), definidos no próximo item.

6.1.3.1 Sedimentos Continentais

a) Planícies Fluviais:

Identificada como unidade de “Sedimentação terrígena” por BIGARELLA (1946), apresenta-se como tabuleiros planos desenvolvidos, ocorrendo mais para o interior da planície litorânea. Situam-se ligeiramente elevados em relação ao leito menor dos principais rios de cursos meandantes (que apresentam geralmente seus leitos sujeitos a inundações, entremeados de pântanos e brejos, tem como principais materiais constituintes depósitos de granulação fina com grande porcentagem de argila) (PASSOS, 2000).

As planícies fluviais do litoral, ainda não foram objeto de estudos detalhados. Pela avaliação de BIGARELLA (2001): “Os depósitos de aluviais terrestres de origem fluvial apresentam-se como ‘tabuleiros’”. Descrevendo os tabuleiros da região de Morretes, BIGARELLA (2001) comenta:

Os tabuleiros apresentam-se planos, constituídos de sedimentos em sua maioria de granulação fina com grande porcentagem de argila. Situam-se a certa altura sobre o nível do rio, e são sujeitos a inundações periódicas. O seu desenvolvimento mais importante situa-se mais para o interior da planície, junto aos rios maiores. A planície aluvial de Morretes acha-se a 10 m de altitude sobre o nível do mar, é cortada pelo rio Nhundiaquara e seus afluentes, (BIGARELLA, 2001 pag.37).

ANGULO em 1992, também faz referencia as planícies aluviais:

Um tipo particular de planície aluvial, freqüente na Serra do Mar, são as *planícies de soleira*, formadas a montante de obstáculos no curso fluvial, constituídos por rochas mais resistentes. No Primeiro Planalto, as planícies são amplas e com canais meandantes. Na planície costeira, uma das principais características é a desproporção entre o tamanho da planície aluvial e o do canal fluvial. Trata-se de rios desproporcionados, originados pelo afogamento de grandes vales fluviais escavados durante períodos de mar baixo e afogados durante os períodos de mar alto, (ANGULO, 1992, pag.29)

6.1.3.2 Sedimentos Marinheiros

a) Cordões litorâneos:

Os cordões pleistocênicos foram depositados ao longo da regressão marinha após a última grande transgressão a que chegou ao pé da serra (120.000 anos) e descendo a nível bem mais baixo que o de hoje. Já o material holocênico se depositou com uma redução do nível das marés, após atingir a barreira pleistocênica há 5.100 anos. As planícies com cordões litorâneos são constituídas por areias finas e muito finas, moderada a muito bem selecionadas (BIGARELLA et al., 1978; TESSLER & SUGUIO, 1987; ÂNGULO, 1992 a,b). *apud* ANGULO 2001. Os cordões correspondem a antigas linhas de costa.

b) Planícies de maré

As planícies de maré formam um ambiente de sedimentação, do interior do estuário da baía de Paranaguá, descritos pela primeira vez como unidade geográfica geológica por BIGARELLA (1946). Mais recentemente foi denominada de planície de maré por ÂNGULO (1990) e trata-se de depósitos em banco arenosos e areno-argilosos recobertos de lama e lodo

ricos em matéria orgânica, por serem sedimentados localizados nas zonas de inundação regular das marés. Estão associam aos ecossistemas denominados manguezais.

ANGULO (1992) ressalta que apesar do conjunto da planície de maré, ser predominantemente formado por mangue, esta apresenta dinâmica de sedimentação diferenciada, em função de forte relação com a cobertura vegetal e dos diferentes níveis de intensidade de alagamento, face ao ritmo regular das marés e ação da dinâmica fluvial. Assim, o autor diferencia sete ambientes associados a planície de maré-, relacionados abaixo:

- ***Manguezal***: caracterizando os mangues como sendo aquelas áreas de planície de maré de inundação regular das marés, em águas calmas da baía e foz dos principais rios, onde há sedimentação do material siltico-argiloso e muito rico em matéria orgânica, estabilizados em função da vegetação característica.
- ***Marismas***: constituídos de areias muito finas, são associadas aos bancos arenosos e arenosos argilosos.
- ***Bancos arenosos e areno-argilosos***: com variação textural frequente e teores de matéria orgânica também muito variáveis e sedimentos argilo-arenosos com grânulos e seixos em situação muito próxima a serra. Com relação a presença de estruturas não há registro.
- ***Manguezal com Acrostichum e Hibiscus***: tem sua ocorrência associada a margens de rio e próximos a sua desembocadura, na porção mais interior das baías.
- ***Zona de Cladium***: é a zona que bordeja os terraços dissecados das restingas, onde a frequência de inundação pelas marés e bem menor que as do manguezal, apenas as marés de sizígia e de tormenta, dominada pela vegetação a qual serviu para sua denominação, ou seja, o *Claudium Jamaicense*, apresenta uma faixa variável de poucos metros a mais de duas centenas de metros onde ocorre um desnível de aproximadamente 30cm, em cuja porção inferior é praticamente desprovido de vegetação.
- ***Pântano de maré***: nas faixas de áreas onde ocorre intenso aporte fluvial a zona de cladium.

c) Paleoestuários:

Sedimentos antigos remanescentes da antiga forma do estuário, sistema que ao longo do tempo sofreu alteração na sua geomorfologia, provocada pela interação terra-mar, onde estão em jogo variáveis hidrológicas, geomorfológicas, atmosféricas e oceanográficas. Segundo ANGULO (1992), nos sedimentos paleoestuarinos predominam areias (aproximadamente 73%), aparecendo ainda areias argilosas e siltosas e silte argilo arenoso. Grande parte dos sedimentos depositados em ambientes estuários tem idade holocênica.

6.2 INTERAÇÃO COM O ESTUÁRIO

Segundo WISLER & BRETER (1964), a Bacia hidrográfica é “uma área definida topograficamente, drenada por um curso d’água ou por um sistema conectado de cursos d’água, tal que toda vazão efluente é descarregada através de uma saída.”

Quando terra, mar e atmosfera estão interagindo, mais complexa e mais intrigante ainda é a dinâmica que ocorre nos chamados sistemas costeiros, e conseqüentemente as bacias hidrográficas costeiras.

Diferentemente das áreas de planalto, os ambientes costeiros são comumente modelados e determinados pela ação marinha. Regressões e transgressões marinhas agem constantemente na dinâmica geomorfológica. Fatores oceanográficos têm influência incessante no clima, vegetação, geologia e solos da região.

Nas planícies costeiras ocorre a importação e exportação de sedimentos, que são movimentados e regidos por vários fatores naturais.

Figura 18. Dinâmica de sedimentos na zona costeira. Fonte: adaptado de: Open University por MANTOVANELLI (1999).

Observa-se perda ou ganho em vários processos físicos como ondas, marés, correntes, vento, além, é claro, dos processos biogênicos ou antrópicos, que também contribuem em muitos processos erosivos (figura 18).

As bacias costeiras estão em interação constante com o sistema marinho adjacente que é o caso de Antonina localizada em um estuário, mais precisamente em uma zona estuarina, o que implica no aumento de elementos ou partes envolvidas em uma malha de um sistema de bacias hidrográficas costeiras.

Estuários se caracterizam como os únicos sistemas aquáticos onde ocorre a interação dinâmica entre águas doces e águas marinhas, o sistema terrestre e a atmosfera (DAY *et al.*, 1989). A zona estuarina é utilizada para referirem-se as áreas que são direta ou indiretamente afetadas por um determinado estuário, como as próprias baías e as áreas inundáveis pela maré. DAY *et al.* (1989) ainda afirmam que esta paisagem destaca-se por sua produção biológica que ocorre como reflexo:

- Da alta diversidade de sistemas produtores (manguezais, marismas, algas bentônicas e fitoplâncton;
- Do abundante suprimento de nutrientes provenientes de aportes fluviais, pluviais e antrópicos;
- Da renovação d'água nos ciclos de maré;
- Da rápida remineralização e conservação de nutrientes através de uma complexa teia trófica, que inclui organismos detritívoros e filtradores e,
- Da troca de nutrientes e outras propriedades biogeoquímicas entre o sistema bentônico e a coluna d'água estuarina, através dos processos de erosão e ressuspensão dos sedimentos de fundo.

6.3 MAPEAMENTO DAS BACIAS DO NHUNDIAQUARA E MARUMBI

6.3.1 Geomorfologia

A figura com a Geomorfologia das bacias (figura19) foi baseada e elaborada segundo o trabalho elaborado por (OKA FIORI 2007) sobre a Geomorfologia do Estado do Paraná. Os recortes para as bacias geraram cartas que apresentam características marcantes como os blocos soerguidos da serra do mar, a serra do mar paranaense, presentes na parte oeste das bacias, rampas de pré-serras e serras isoladas, assim como a planície litorânea, e as áreas de depósitos fluvio-marinhos. A geomorfologia local está associada às características morfoestruturais, associadas principalmente pela declividade, geologia, solos, vegetação e clima.

Segundo FUCK *et al.* (1969), a drenagem local é profundamente encaixada e toda adaptada às linhas tectônicas, apresentando um padrão retangular com vales profundos de

vertentes íngremes. A geomorfologia das bacias estudadas acompanha a tendência regional e tem dois setores bem distintos entre auto e baixo curso. Enquanto à montante as nascentes estão na Serra do Mar, à jusante todo médio e longo curso ocorrem em área de planície litorânea. No alto curso o relevo é formado por escarpas de declividade acentuadas com vales profundos. A estrutura montanhosa possui uma crista na direção norte sul (figura 14) e é recortada por falhamentos perpendiculares. Com uma classificação detalhada, o mapa Geomorfológico do Estado do Paraná (OKA FIORI, 2007) classifica as regiões de vertentes da Serra do mar paranaense e Blocos soerguidos da serra do mar.

Os blocos soerguidos de granito (figura 19) apresentam vertentes ravinadas de perfis côncavos-convexos, representados principalmente por maciços graníticos com topos angulosos e achatados, sustentado remanescentes do antigo planalto (PASSOS, 2000). As declividades são acentuadas, superiores a 20% , predominando declividades maiores que 45% com amplitudes médias superiores a 400m (PASSOS, 2000). A drenagem é alta e média densidade com padrão dendrítico, localmente subparalela, com vales em V profundo. As escarpas que constituem apresentam vertentes de perfis retilíneos e topos angulosos ou localmente achatados (PASSOS, 2000). As amplitudes locais são superiores a 300m com declividades geralmente superiores a 45%. A drenagem é de alta densidade com padrão sub-retangular a dendrítico. Instalada nos maciços serranos, são constituídos preferencialmente de granitos e magmáticos.

Figura 19. Compartimentação do relevo Fonte: Adaptado de Oka Fiori (2007).

Ao longo das escarpas da serra há um conjunto de montanhas marginais (PASSOS, 2000), do complexo gnáissico-migmatítico, que são constituídas por rampas retilíneas em sua maioria (figura 19), com topos angulosos e arredondados. Apresentam amplitudes locais acima de 200m e declividades acentuadas sempre acima de 20%, com predominância de declividades superiores a 45%. A drenagem é de alta densidade em padrão dendrítico a subparalelo com vales em geral fechados. Apresentam continuidade física com as montanhas, integrando o conjunto da serra do Mar, representando uma diferenciação de controle litológico em primeiro lugar e subsidiariamente estrutural sobre antigas superfícies residuais, muito dissecadas (PASSOS, 2000).

Na planície litorânea (figura 19) o relevo é plano e suave, com pequenas ondulações e altitudes, sendo encaixado na região da serra do mar. Sua altura na região de Morretes não passa de 10m, (BIGARELLA, 2001). Ainda ocorre um conjunto de morros isolados e espigões que se destacam na topografia. Entre pequenos maciços ou blocos isolados existem níveis de sedimentos embutidos em largos alvéolos irregulares, refletindo a sedimentação intermontana em certas fases do quaternário (KOZCIAK, 2006).

Os depósitos de colúvios aparecem nos sopés das vertentes da Serra do mar, e os depósitos aluvionares ao longo dos vales dos principais fluxos d'água e sobre a planície aluvial do rio Nhundiaquara (KOZCIAK, 2006). Ambas as formações são constituídas por sedimentos não consolidados de origem predominantemente continental.

6.3.2 Geologia

As Bacias hidrográficas estudadas estão contidas na área de contato da borda do planalto e a planície litorânea. Na serra do Mar, os granitos e os migmatitos são os dois tipos

litológicos predominantes. Em menor proporção são encontradas seqüências vulcânicas ácidas do Eo-Paleozóico, CORDONI & GIRARDI (1967) *apud* KOZCIAK (2006) e os depósitos recentes.

O alto das bacias (figura 20) é formado por paredões rochosos que chegam entre 800 e 1.000 m de altitude. Do lado norte nas nascentes do rio Nhundiaquara por uma pequena fração do complexo gnáissico migmatítico (arqueano superior) do primeiro planalto e pelos Suite alcalino granitos da formação graciosa. Ao sul é dominado por uma grande área do complexo gnáissico. As direções estruturais de foliações nos gnaisses e migmatitos são dominantes NE-SW (FUCK, *et al.*, 1969).

Na região central (figura 20), formando uma ilha entre a planície e a borda do planalto encontram as imponentes formações do granito Marumbi (figura 14) (Proterozóico inferior), apresentando fraturamentos característicos alinhados, principalmente na direção NE-SW (CORDONI & GIRARDI (1967) *apud* KOZCIAK, 2006). Paralelamente, às margens direitas do rio Nhundiaquara ocorre a formação antiga do complexo Cachoeira (Proterozóico Superior – Cambriano) descrita com xistos magnesianos, anfíbolitos, metabasitos, gnaisses parcialmente migmatizado, e uma macha de 1,9 km de formações mais antigas do complexo Cachoeira, (Arqueano-Proterozóico Inferior), formada por Anfíbolitos, metabasitos e metaultrabasitos, hornblenda gnaisses indiferenciados. Na margem direita do rio Marumbi ocorrem formações do Complexo Gnáissico Migmatítico, (Arqueano-Proterozóico Inferior), formadas por, Migmatitos oftálmicos, com paleosoma de biotita, gnaisse.

Nos períodos Jurrássico-Cretáceo, ocorreu intrusão de números diques básicos (diabásio, diorito, pórfiro, microdiorito), os quais preencheram um sistema de fraturas profundas e paralelas, com orientação geral N40 - 60 w, para se alojar (KOZCIAK, 2005).

Nas encostas da serra e no contato com a planície (figura 20) aparece material continental, representados por sedimentos recentes na forma de tálus e cones aluviais formados principalmente por seixos mais grosseiros (figura 20).

Ao longo da planície fluvial (figura 20) aparecem sedimentos continentais formando depósitos coluviais de silte e argila, que aparentemente não tem estruturas sedimentar, sendo oriundos de deslizos de grande escala. Na área também ocorrem aluviões fluviais de caráter mais arenoso e leito de cascalho, ocorrendo principalmente ao longo dos rios CORDONI & GIRARDI (1967) *apud* KOZCIAK (2006). Os aluviões podem também estar associados a depósitos de várzeas e de talude (KOZCIAK, 2005) e são inconsolidados, de pequena espessura, formados por silte e argilas, aparecendo em áreas restrita principalmente ao longo dos rios. Em parte, turfosos e com areias de diversas granulações, aparecem também leitos de cascalho, onde predominam seixos de quartzos e quartzitos, bem selecionados e arredondados, indicando transporte efetivo (KOZCIAK, 2005). Os depósitos de aluvião cobrem áreas da planície costeira e encontrando-se ao longo das encostas inferiores da serra do Marumbi e Graciosa.

Na desembocadura do rio Nhundiaquara, (figura 20) já na área de transição e influência do estuário, são encontradas ambientes com sedimentos recentes do quartenário/holocênico, com forma de planície de marés formada por sedimentos fluvio-marinhos com 2,2 km², associados a manguezais, e ao lado uma área de 2,6km² com sedimentos argilo-siltico-arenosos recentes, associados a zonas paleo-estuarinas.

Figura 20. Geologia da Área de Estudo.

6.3.3 Declividade

Gerados a partir das curvas de nível, a carta de declividade apresenta as características principais das bacias, área montanhosa e áreas de planície (figura 21). Os blocos rebaixados do complexo cristalino formam diante da Serra do Mar uma zona serrana particular, em cujos vales penetram as baías de ingressão com planos de entulhamento marinho e terrestre recentes. ANGULO (1992), dividiu o litoral em: 1) planície litorânea e, 2) zona montanhosa litorânea, cujas características são:

- A planície litorânea tem aproximadamente 10 a 20 km de largura, e atinge o máximo de 50 km na Baía de Paranaguá; e em sua maior extensão, a planície litorânea possui altitudes inferiores a 10 metros sobre o nível médio do mar, atingindo 20 metros s. n. m. no interior. As ilhas formadas de rochas cristalinas serviram de apoio para os processos de sedimentação (BIGARELLA, 1978). As áreas planas de 0 a 2% não alcança a base da serra (figura 21) enquanto as áreas entre 2% e 20%, entram e alcançam a serra principalmente no canal dos rios principais.
- A zona montanhosa costeira é constituída por um conjunto de montanhas em blocos (serras), escarpas e restos de planaltos profundamente dissecados, com elevações que variam de 500 metros a mais de 1.800 metros s. n. m., e tem aproximadamente 5 a 10 km de largura, atingindo o máximo de 35 km na Serra do Marumbi.

6.3.4 Solos

De acordo com o levantamento de reconhecimento de solos do Estado do Paraná, escala 1: 600.000, (EMBRAPA,1981), o processo de individualização a nível categórico de grande grupo em unidades cartográficas simples de solo, face a “distribuição” geográfica muito intrincada”, obrigou o uso freqüente da generalização a nível de unidades combinadas, em associações formadas por duas ou três unidade simples. São consideradas no presente estudo as unidades definidas com os critérios de levantamento e tendo na caracterização o Levantamento de Reconhecimento de Solos do Estado do Paraná, EMBRAPA (1981).

Na área estudada ocorrem desde solos neossolos, cambissolos, gleyssolos e argilosos, conforme. Os neossolos (R2) característicos em áreas de afloramento de rochas ocorrem principalmente relacionados aos granitos das serras do Marumbi e Graciosa (figura 22).

Ao sul das encostas da serra do complexo migmatítico, nas nascentes do rio Marumbi, e ao norte junto ao granito Graciosa (figura 22) aparecem os solos cambissolos com textura argilosa (CA31), e horizonte A moderado, com associação Neossolo. Já acima destes, os solos das áreas mais elevadas apresenta os cambissolos, textura argilosa, com horizonte A moderado (CA6). Esses solos aparecem também na área das nascentes do rio Nhundiaquara. Na região onde a serra encontra a planície acompanhando complexo granítico e migmatítico, a carta de solos da área (figura 22) apresenta os cambissolos com textura argilosa, horizonte A moderado /associação Latossolo (CA15).

Segundo PASSOS (2000), os solos de piemonte com afloramentos presentes junto a áreas pediplanadas dissecadas com relevo forte ondulado, montanhoso e escarpado, apresentam cobertura vegetal Montana, altomontana, ecótono e refúgio ecológico, face às condições particulares de natureza bioclimática, desenvolvem solos que apresentam em seus horizontes “A” húmicos e há mesmo o registro de ocorrência de horizontes turfosos em algumas unidades edáficas (PASSOS, 2000).

Na planície litorânea, os solos ocorrem sob relevo plano e nas áreas mais baixas dos tabuleiros fluviais com declividades 0% e 2%. Nessas áreas, os solos incidentes são o gleyssolos hidromórficos (HG2), indiscriminados, com alto teor de umidade (KOZCIAK, 2005), os quais o lençol freático quase alcança a superfície, desenvolvidos a partir da meteorização de sedimentos aluviais ou coluviais do quaternário (KOZCIAK, 2005). Sua ocorrência é observada nas partes mais baixas, nas margens do rio Marumbi.

Já nas áreas das margens do rio Nhundiaquara, na planície o solo predominante é o Argiloso, textura média/argilosa, horizonte A proeminente, (CD2) muito provavelmente formados por material originados dos morros do complexo cachoeira, composto de Xistos magnesianos, anfíbolitos, metabasitos, gnaisses parcialmente migmatizado.

Os solos argilosos, textura média/argilosa, horizonte A proeminente, (PVA10), estão associados as encostas do conjunto de morros formados pelo embasamento antigo do arqueano.

6.3.5 Vegetação e uso da terra

A Mata Atlântica possui uma cobertura vegetal exuberante e expressiva no Litoral do Estado do Paraná e as formações litorâneas e serranas estão associadas ao domínio da Floresta

Ombrófila Densa. Em 1978 KLEIN *in* BIGARELLA 1978, definiu as formações do setor litorâneo e o setor montanhoso, descritos a seguir:

6.3.5.1 Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas

Na planície costeira desde a área piemonte e pelos vales amplos de menos gradiente, onde se desenvolvem planície de inundação atingindo a cota de aproximadamente 50 metros, até a zona onde predominam as pioneiras sob influencia flúvio-marinha e marinha destaca-se a comunidade vegetal na qual predominam no estrato superior espécies hidrófilas associadas a espécies diferentes (KLEIN, 1979), onde se encontram em grande parte devastada em face de ações de intervenção humanas, especialmente pela agricultura (PASSOS, 2005). Quando preservada se constituem em três estratos.

Nas bacias estudadas KLEIN, op.cit. registrou a presença de espécies seletivas (Canela branca (*Nectandra pichurim*), a Figueira purgante (*Ficus insípida*) e *Ficus gameleira* (PASSOS, 2005).

6.3.5.2 Floresta Ombrófila Densa Aluvial

Ocorre em planícies aluviais que adentram a Serra do Mar, por vales profundos em segmentos ribeirinhos, com planícies de inundação acima da cota de 40 metros, destacam-se a *Sloanea guianensis* (laranjeira do mato), *Euterpe edulis* (palmito), *Nectandra pichurim*, (canela branca), (PASSOS, 2005).

6.3.5.3 Floresta Ombrófila Densa Submontana

Desenvolve-se nos baixos divisores e pequenas elevações ou em morros com altitude superiores a 40 metros acima do nível do mar, distribuídos na planície costeira, e na porção inferior das encostas da Serra do Mar avançando até 500 a 700 metros em média, (PASSOS, 2000). Ocorrem, entre outras, a Bocuva (*Virola oleifera*) e a laurácea Canela (*Nectrandia sp.*).

6.3.5.4 Floresta Ombrófila Densa Montana

Ocorrência na média encosta e abrangendo topos, divisores intermediários, borda de planalto e escarpas, entre 500 a 1200 m de altitude, formando associação florística mais heterogênea da região (KLEIN *in* BIGARELLA, 1978). Nela ocorrem Lauráceas (Canelas), mirtáceas, rubiáceas, e leguminosas de grande porte, como Guatambu, Ipê amarelo, Licurana e Cedro (PASSOS, 2005).

6.3.5.5 Floresta Ombrófila Densa Alto Montana

Identificada por KLEIN *in* BIGARELLA (1978) como mata nebulosa, localizada nas porções elevadas nos altos divisores e junto aos topos mais elevados da serra (PASSOS, 2005). Consiste em uma vegetação arbórea bastante seletiva. Alguns de seus exemplares são Gramimunha, Mangue do mato (*Clusia criuva*), Cocão (*Erythroxylum*), e mirtáceas do gênero *Eugenia*, *Myrcia* e *Myrceugenia* (guanirins e cambuí) (PASSOS, 2005).

6.3.5.6 Associação da Formação Pioneira Manguezal

Nas áreas plana junto a restingas já na interface com o estuário, adentrando a margem de alguns rios, destacam-se como baixios lodosos, sistematicamente inundados. PASSOS (2005) identificou Mangue vermelho (*Rizoflora mangle*) e Mangue Amarelo (*Avicennia schaueriana*).

Em estudos na região VELOSO, *et. as* (1991), indicaram que a cobertura vegetal da zona montanhosa litorânea é a floresta tropical de encosta e, apesar de apresentar-se ainda hoje de forma natural, notam-se em algumas áreas cada vez mais as marcas da penetração das atividades humanas. Através da exploração do palmito (*Euterpe edulis*) e das diversas madeiras de lei, associado ao desmatamento sistemático, principalmente no sopé da serra visando a produção de carvão vegetal e expansão das plantações de banana, a agressão a este ecossistema se torna cada vez mais perturbadora. Os animais autóctones, principalmente os de grande porte, já foram praticamente extintos(PASSOS, 2005).

Já na planície litorânea, o sistema edáfico de primeira ocupação ou Áreas de Formações Pioneiras, nas áreas de planície de maré, e na planície costeira, florestas arenosas ou secas, florestas paludosas ou brejosas. Com influência flúvio-marinha: marismas e manguezais; aqui são incluídas áreas de transição destes sistemas com zonas de influência exclusivamente marinha.

Figura 23. Uso de Terra e Vegetação da área de estudo.

Segundo trabalho desenvolvido pela SEMA (2002), na região também ocorrem áreas de formações pioneira principalmente com influência fluvial (figura 23). Corresponde às formações herbáceas dos abaciados úmidos (várzeas) influenciados pelo regime hídrico dos rios, de ocorrência generalizada em toda a área de influência do projeto, onde predominam principalmente espécies das famílias Cyperaceae e Poaceae e a Typhaceae *Typha domingensis* (taboa), cosmopolita das regiões tropicais e subtropicais com predomínio de *Typha domingensis* (taboa)- taboal, que ocorrem em Morretes (PASSOS, 2005).

6.3.6 Uso da Terra

O espaço geográfico do litoral paranaense é caracterizado por diferentes sistemas sociais distribuídos em uma base física territorial diversificada. A forma de apropriação da natureza e de produção do espaço se distingue em alguns tipos e na distribuição. Porém, algumas se destacam como a apropriação para habitação e subsistência, promovida pelos pescadores e agricultores familiares, a pecuária intensiva dos grandes proprietários de terras, a apropriação para segunda residência promovida pelo fluxo de turistas e a apropriação para sistema portuário demanda do setor de transportes. O conjunto de meios instrumentais e sociais, ora isola grupos como no Superagui, ora se superpõe a quase todos como em Paranaguá.

O litoral paranaense é um local privilegiado naturalmente, já que suas terras se localizam no mais preservado espaço contínuo de mata atlântica no Brasil. Separados do resto do estado pela serra do mar, sete municípios espremem seus territórios entre os contrafortes orientais da serra do mar e a linha de costa, são eles Guaraqueçaba, Antonina, Morretes, Paranaguá, Pontal do Paraná, Guaratuba e Matinhos (figura 24).

Figura 24. Municípios do litoral Paranaense. Organizado por Lautert (2010).

Observando traços da ocupação no litoral paranaense, notam-se grandes espaços vazios e algumas aglomerações antrópicas principalmente ao longo da costa. Essas aglomerações ou concentrações humanas variam desde vilas até cidades, saindo desde sistemas técnicos mais simples e rudimentares com a pesca tradicional e agricultura familiar até os mais modernizados sistemas técnicos de trabalho no sistema portuário. A maioria tem uma coisa em comum, com exceção de uma aglomeração expressiva como Morretes com seus espaços agrícolas, praticamente todas as aglomerações seguem o traçado da linha de costa tanto do continente como das ilhas. Seguindo desde a vila da barra da Ararapira, pelas vilas do Superagui e Peças, passando por Guaraqueçaba, ilha Rasa, Amparo, Antonina, Paranaguá,

Pontal do Paraná, Matinhos, Guaratuba e Barra do Saí, todas as aglomerações importantes do litoral do Paraná, sejam elas de diferentes tamanhos e características distintas, se instalaram nas bordas do continente, tanto as internas como as externas ou nas desembocaduras. Também se encontram casas isoladas.

Dentre todos os municípios que abrangem as áreas das bacias o que possuem mais terras é o município de Morretes. O município de Morretes cresceu como entreposto agrícola entre Curitiba e o porto de Antonina. Hoje sua economia é praticamente baseada na agricultura de baixa produção (familiar) e do turismo, com as chácaras de lazer. Nas suas terras se localiza o Parque Estadual do Marumbi, um dos mais antigos do estado. Turistas de final de semana também costumam descer a serra e desfrutar dos rios e da culinária local. As chácaras de turismo dominam principalmente nas margens do rio Nhundiaquara, que é muito utilizado para banho nas épocas de calor, principalmente pelos turistas que descem a serra, vindo de Curitiba.

O município tem uma área de 687,541 km², com uma população de 15.275 habitantes sendo 8.122 moradores da área rural, e 7.153 na área urbana.

A agricultura principalmente de ciclo curto se consolida como uma das atividades mais importante e ocorre sobre os tabuleiros fluviais. A produção em hectares é liderada pela roça de banana, seguido pela mandioca da cana de açúcar (tabela 9 e figura 25). Além desses ainda são produzidos com mais arroz, feijão, maracujá, milho, tangerina e tomate entre outras que não foram registradas.

Tabela 9. Área colhida, produção, rendimento médio e valor da produção agrícola –IBGE- 2006, produção agrícola municipal nota: dados estimados. Fonte: (IPARDES, 2009).

Produtos	Área colhida (ha)	Produção (t)	Rendimento médio (kg/ha)	Valor (R\$1.000,00)
Arroz	90	408	4.533	237
Banana	660	6.496	9.84	2.598
Cana de açúcar	110	5.500	50.000	440
Feijão	64	33	516	38
Mandioca	203	3.451	17.000	276
Maracujá	75	900	12.000	360
Milho	95	200	2.105	77
tangerina	39	390	10.000	78
Tomate	44	1.741	39.568	1101

Figura 25. Agricultura praticada ao longo das planícies fluviais. Ao fundo nascentes do rio Marumbi. Organizado por Lautert (2010).

Conforme a figura 23, as áreas de agricultura se apresentam ao longo das planícies fluviais, em solos argilosos arenosos considerados bons para Agricultura. BIGARELLA em 2001 afirma:

Entre os tabuleiros de aluvião terrestre ocorrem pântanos e brejos. Representam esses solos os terrenos mais ricos para a agricultura regional. O homem do litoral, habitante da restinga geralmente tem sua roça nos terrenos de aluvião terrestre, nos tabuleiros mais interiores.

A carta de uso da terra mostra que as áreas de agricultura acompanham as estradas, e as margens dos rios Nhundiaquara e Marumbi. Estas áreas que aparecem na carta também incluem as chácaras e sítios da população flutuante principalmente de final de semana quando ocorre turismo ecológico.

Outro destaque da carta de uso da terra (figura 23) é uma grande área de vegetação pioneira, o que pode indicar antigas áreas de desmatamento.

Na área urbana a cidade possui um centro histórico herdado dos anos em que a lugar era muito mais movimentada em função do grande circulação proporcionada pela estrada de ferro, que liga Curitiba a Paranaguá, e que aquela época fazia a única ligação da planície costeira e a o primeiro Planalto, onde estava a capital Curitiba. Hoje o centro histórico parcialmente recuperado, é utilizado pelo comércio local que com uma gastronomia tradicional representada principalmente pelo “barreado”, movimenta os finais de semana (figura 26).

Figura 26. Área urbana de Morretes. Organizado por Lautert (2010).

O município costuma também promover vários eventos ao longo do ano como festas e quermesses já tradicionais em todo o litoral, atraindo turista de todo a região e do Brasil. Os produtos agrícolas artesanais costumam ser vendidos nesses eventos em feiras já bem conhecidas pela população. Quando passa pela cidade não há mata ciliar.

6.3.7 Clima

A posição geográfica do Estado do Paraná ocupa um espaço de transição entre as regiões tropical e subtropical. Os fenômenos meteorológicos atuantes na região, que definem o quadro climático, estão inscritos num sistema mais amplo, o quadro sul-americano. Particularmente interessa as ações atmosféricas do Atlântico Sul que são as principais causas da circulação atmosférica sobre a parte oriental do Brasil meridional.

A região apresenta clima pluvial temperado, com temperatura média do ar anual de 21°C, sempre úmido, com chuvas todos os meses do ano e temperatura média do mês mais

quente maior que 22 °C (Cfa) (IAPAR, 1994). A pluviosidade média é de 1988 mm, com estações chuvosas durante o verão (fevereiro) e secas no inverno (julho e agosto). O regime de ventos é controlado pela influência do sistema semi-permanente da Alta do Atlântico Sul e pela passagem de sistemas frontais. Predominam ventos dos setores ENE, E, ESSE e SE, com intensidade média de 4 m/s. O sistema de brisa na região é bastante relevante, sendo detectadas amplitudes de até 2 m/s nos meses de novembro a março (MARONE & CAMARGO, 1994).

6.3.7.1 Os centros de ações atmosféricas

Os principais centros de ação atmosférica que controlam as condições meteorológicas da região são: os anticiclones subtropicais do Atlântico e do Pacífico; o anticiclone Migratório Polar; e o centro de baixa pressão, baixa térmica, depressão do Chaco (IAPAR, 1994).

O anticiclone do Pacífico é de pouco interesse para a região sul do Brasil. Ocasionalmente, no inverno, devido a sua posição mais ao sul, aproximando-se ao centro Migratório Polar, acentua-se a frontogênese na frente Polar Pacífica, produzindo um acúmulo de ar frio no setor atlântico e reforça a Frente Polar Atlântica, que avança para o norte com maior intensidade.

O anticiclone do Atlântico Sul, caracteriza-se por ar subsidente, divergente e límpido. Nele originam-se os ventos alísios de SE-E e de NE-NW que incidem sobre o litoral brasileiro. Para o litoral paranaense este centro de ação tem um significado especial, pois nele origina-se a massa de ar Tropical Atlântica (Ta), cuja atuação é de grande importância na definição dos tipos de tempo no litoral.

O anticiclone Migratório Polar desenvolve-se em latitudes subpolares pelo acúmulo de ar oriundo dos turbilhões polares sobre os oceanos. Propaga-se em direção ao norte atraído

pelo gradiente térmico equatorial. Ao encontrar o continente sul americano, devido à orientação N-S da Cordilheira dos Andes, bifurca-se em dois grandes ramos. Neste centro de ação individualiza-se a massa Polar (Pa), cujo ramo atlântico tem atuação destacada no sul do Brasil.

A baixa térmica ou depressão continental forma-se na região do Chaco, em virtude do superaquecimento do continente e do maior contraste térmico com o oceano. Desloca-se para leste no verão e diminui consideravelmente no inverno.

A combinação dos efeitos da latitude, continentalidade e relevo, fornecem as características das massas de ar atuantes na região. Estas se originam nos centros de ação, onde adquirem suas propriedades físicas e dinâmicas. Estas propriedades alteram-se na medida em que se deslocam e incorporam as características das superfícies percorridas em sua trajetória.

6.3.7.2 As massas de ar

A massa Tropical Atlântica (Ta) é gerada no centro do anticiclone do Atlântico Sul. Em sua fonte é quente e úmida com tendência a estabilidade. Dá origem aos ventos chamados de alísios de retorno que sopram de NE para SW. Tem grande capacidade de penetração no interior do continente, em virtude de sua emissão no sentido anti-horário. Possui inversão térmica que oscila em altitude; no inverno mais alta e no verão mais baixa. Este fato determina as chuvas orográficas quando esta massa ultrapassa a escarpa atlântica.

A massa Tropical Continental (Tc) forma-se a leste dos Andes e ao sul do trópico de Capricórnio numa região baixa, estreita, quente e árida. Existe praticamente apenas no verão e é instável, porém a reduzida umidade impede a formação de nuvens.

A massa Equatorial Continental (Ec) que se forma na bacia amazônica e no interior quente do continente, chega às vezes até as serras costeiras do Brasil. É muito quente e muito instável produzindo chuvas ou aguaceiros quase que diariamente à tarde.

As massas Polares geralmente marítimas e frias originam-se na região sub-antártica, sobre a corrente marítima Antártica, nos oceanos Atlântico e Pacífico. A massa Polar Atlântica, com temperatura relativamente baixa frequentemente dirige-se para a costa brasileira chegando aos 10 Lat. S no inverno, e no verão até os 20 Lat. S. Devido a aumentos de temperatura e umidade adquiridos sobre a corrente quente do Brasil, as massas tornam-se acentuadamente mais instáveis quanto maior for o percurso sobre o mar.

6.3.7.3 Frentes

As frentes constituem a zona de encontro de massas de diferentes propriedades. A Frente Polar Atlântica é dotada de grande mobilidade, interferindo o ano todo, mais acentuadamente no inverno, no Brasil meridional. A atividade dinâmica da Frente Polar Atlântica é reguladora do mecanismo de circulação. Quando a frente fria encontra a Serra do Mar, que se antepõe ao seu movimento estaciona o que faz com que as condições de mau tempo perdurem até que seja dissipada.

6.3.7.4 Pluviosidade

Foram organizando os dados de pluviosidade registrados por duas estações meteorológicas uma localizada na área urbana, na planície e outra nas encostas da serra, localizada em altitude de 60m. Os dados apresentaram uma precipitação anual considerada alta girando com valores médios entre 2.500 mm anuais (figura 27). Foram utilizados dados

entre os anos de 1998 e 2007. A comparação entre as duas estações meteorológica mostram que na serra ocorrem geralmente maiores precipitações anuais, porem olhando a figura 27 de dados percebe-se que não se trata de uma regra, já que em algumas em algumas vezes ocorreram chuvas na cidade com maio intensidade.

Figura 27. Pluviosidade anuais entre os anos de 1977 e 2007, nas duas estações de Morretes: A) Cidade e B) Serra da Graciosa. Fonte: SUDERSA, org. LAUTERT 2010.

Calculando a média das duas estações chegou-se a valores de 2.460mm para a estação de da cidade e de 2.772mm, para a estação localizada nas encostas da serra. Analisando os valores dessas duas estações percebe-se que a chuva é bem distribuída na área, apesar de naturalmente existir uma tendência de maiores precipitações nas áreas à montante. Diferente da situação mensal, onde geralmente as precipitações se concentram nos meses de Janeiro a abril, caracterizando uma sazonalidade, a qual apresenta um verão chuvoso e inverno seco como apresentam os gráficos da figuras 28.

Figura 28. Pluviosidades mensais na estação meteorológica na cidade de Morretes entre os anos de 1996 e 2007. (Org. LAUTERT, 2010).

Esta sazonalidade fica bem clara quando observamos um período de 10 anos (figura 28), nos quais as chuvas se concentram entre os meses de novembro e abril, representando entre 54% e 75% do total, enquanto no inverno entre os meses maio a agosto ocorrem as precipitações menos acentuadas. Enchentes também são comuns na região e ocorrem frequentemente.

6.4 RESULTADOS DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA ÁGUA

6.4.1 Parâmetros do Estuário

Em um âmbito geral, o aumento da descarga de água doce foi o fator mais importante, tanto no comportamento hidrológico, como no comportamento dos parâmetros químicos. Apesar das duas coletas terem sido feita na estação teoricamente chuvosa, no evento de fevereiro houve uma precipitação bem mais acentuada (figura 29B), causando maior fluxo de água, intensidade de correntes e maior estratificação da coluna d'água e, conseqüentemente, variações temporais bem definidas nos parâmetros físico-químicos (Figuras 29A e 29B).

Figura 29. **A.** Vazão e curva da maré dos dois eventos e **B.** Precipitação dos 7 dias anteriores às coletas. Organizado por Lautert (2010).

Os valores de vazão foram bastante afetados já que enquanto em novembro os valores não ultrapassaram a $9.000 \text{ m}^3/\text{s}$, em fevereiro subiram até $13.000 \text{ m}^3/\text{s}$. Da mesma forma, as velocidades médias de corrente chegaram a 0,95 em novembro e a 1,27m/s em fevereiro.

De forma similar aos fatores hidrológicos, registrou-se uma maior estratificação no mês de fevereiro/2003, principalmente para salinidade, silicato e material particulado em suspensão, associada a um incremento na drenagem continental (figura 30). A tendência da água doce em se manter na superfície pode ser observada através do gráfico de salinidade que se concentra no fundo e pelo padrão médio de distribuição dos silicatos, onde os maiores valores são claramente encontrados na superfície.

A tendência da água doce em se manter na superfície pode ser observada através do gráfico de salinidade que se concentra no fundo e pelo padrão médio de distribuição dos silicatos, onde os maiores valores são claramente encontrados na superfície.

A tendência do MPS em se concentrar no fundo e ser mais variada com as chuvas provocando maior ressuspensão comprova a força do gradiente de pressão entre água doce e salgada (figura 30).

Figura 30. Distribuição temporal dos fundeios realizados na fase seca (Novembro/2002) e chuvosa (Fevereiro/2003), realizados em 2 ciclos completos de maré (26h). Médias das 3 estações no canal da Baía de Antonina. Salinidade (UPS), Silicato (μM), Material Particulado em Suspensão (mg/l). As barras indicam os valores da média $\pm$ desvio padrão. Água de Superfície (■) e Água de Fundo (◆). Organizado por Lautert (2010).

Em relação às variações espaciais dos parâmetros físico-químicos, observou-se um padrão semelhante entre as estações nos dois eventos, com um leve aumento das concentrações na estação 3, que pode estar associado a uma menor profundidade (figura 31).

Figura 31. Distribuição espacial dos fundeios realizados nas fases seca (Novembro/2002) e chuvosa (Fevereiro/2003), em dois ciclos completos de maré (26h). Médias do período amostrado nas 3 estações no canal da Baía de Antonina. Salinidade (UPS), pH, silicato (μM), Material Particulado em Suspensão (mg/l). As barras indicam os valores da média $\pm$ desvio padrão. Água de Superfície (■) e Água de Fundo (◆). Organizado por Lautert (2010).

As maiores concentrações de material particulado em suspensão ocorreram no período chuvoso confirmando que as chuvas incrementam bastante material originário das bacias hidrográficas adjacentes, o que pode estar relacionado ao tipo de solo aluvial pouco compactado das áreas de planície. No ponto central do perfil amostrado houve diferenças marcantes já que enquanto que no período seco as médias de MPS chegaram a 67,13mg/l na superfície e 93,4mg/l no fundo, no período chuvoso os valores subiram para 75,73 mg/l na superfície e 146,97mg/l (figura 31).

Coletas anteriores realizadas em 1996 realizadas nas bacias hidrográficas corroboram com essa tendência, onde o Rio Cachoeira e o Rio Nhundiaquara somaram 82% do total do aporte no sistema, sendo que o Rio Cachoeira contribuiu com 88% da carga de material particulado em suspensão (MPS). Neste período, o aporte médio foi de 182 e 41 m^3/s

respectivamente para o verão (chuvoso) e inverno (seco), e uma carga de MPS de 355 ton/dia no verão e 88 ton/dia no inverno. A maior parcela da carga de MPS é introduzida no sistema estuarino em curtos períodos de tempo, registrando-se picos de concentração após fortes precipitações (MANTOVANELLI, 1999). Estima-se em mais de 200 m³/s de média anual de aporte de água doce em todo o braço L-O (MARONE et al., 1995).

Amostragens realizadas num período de estiagem (agosto-setembro de 1996), permitiram uma primeira estimativa do aporte de água doce (m³s⁻¹) e do material particulado em suspensão (MPS, mg L⁻¹) dos principais rios que deságuam nas baías de Antonina e Paranaguá, cujas áreas de drenagem somadas perfizeram cerca de 71% da área total de drenagem do sistema estuarino Antonina - Paranaguá (Tabela 10).

Tabela 10. Síntese das medições realizadas em alguns rios da bacia de drenagem do sistema estuarino Antonina. Os valores de vazão, obtidos acima do ponto de medição (Q, m³s⁻¹), foram corrigidos para vazão total (QT, m³s⁻¹), considerando-se a área total da bacia de drenagem (A, Km²): $QT = QA / (A - a)$, onde a representa a área abaixo do ponto de medição. A carga de material em suspensão (Seston) por unidade de tempo (Qs, g s⁻¹) foi calculada pela relação $Qs = QT * C$, onde C representa a concentração do material em suspensão (em g m⁻³). A última coluna representa o fluxo diário de material particulado em suspensão (Seston, Kg m⁻² dia⁻¹), relativizado pela área da bacia de drenagem de cada rio (MANTOVANELLI, 1999). * A descarga do rio Nhundiaquara foi estimada grosseiramente a partir da velocidade obtida somente em um ponto de medição. Organizado por Lautert (2010).

Nome do Rio	Data de medição	QT (m ³ s ⁻¹)	Área da bacia (Km ²)	MPS (mg l ⁻¹)	Qs (g s ⁻¹)	MPS (Kg m ⁻² dia ⁻¹)
Cacatu	22/Ago/96	1,20	45,61	0,54	0,64	1,21
Nunes	22/Ago/96	0,67	29,86	0,69	0,46	1,33
Faisqueira	23/Ago/96	1,24	112,33	4,61	5,74	4,41
Cachoeira	23/Ago/96	31,89	443,19	9,21	293,61	57,24
Sapitanduva	14/Set/96	0,83	44,57	6,75	5,61	10,88
Nhundiaquara*	14/Set/96	30,98	219,02	3,62	112,24	44,28
Marumbi	14/Set/96	16,54	107,60	6,07	100,41	80,63
Pinto	14/Set/96	2,74	81,50	3,89	10,66	11,30
Passa Sete	14/Set/96	0,51	20,37	5,39	2,73	11,58
Sagrado	14/Set/96	1,66	123,87	9,47	15,75	10,99
Soma		88,26	1227,92	50,24	547,85	233,85

Figura 32. A) Percentual de descarga de água doce (%), para cada rio amostrado, em relação à descarga de todos os rios amostrados somadas ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) e B) Fluxo de material em suspensão (%), para cada rio amostrado, em relação ao fluxo diário de todos os rios amostrados somados ($\text{Kg dia}^{-1} \text{m}^{-2}$). Fonte: Mantovanelli (1999).

A análise da contribuição percentual de cada rio, em relação à vazão total medida, permitiu identificar que os principais aportes de água doce corresponderam aos rios Cachoeira, Nhundiaquara e Marumbi (90 %) e, em relação à carga em suspensão por unidade área drenada ($\text{kg dia}^{-1} \text{km}^{-2}$), os maiores valores correspondem ao rio Marumbi, seguido pelos rios Cachoeira e Nhundiaquara (78%) (figuras 32A e 32B).

Esses aumentos significativos de MPS e outros elementos na desembocadura corroboram com a idéia de que o escoamento superficial das bacias tem transportado uma grande quantidade de sedimentos para malha de drenagem, o que significa dizer que a ocupação das bacias tem alterado significativamente a cobertura original do solo, provocando processos erosivos.

6.4.2 Parâmetros das Bacias

Os parâmetros das bacias são apresentados aqui em gráficos, incluindo os resultados da baía.

6.4.2.1 Temperatura

A média entre os valores da fase chuvosa e seca variou de 14,3 a 27,8 °C, com valores mais baixos verificados na parte montante da bacia do Rio Marumbi (figura 33 A). Ao longo da bacia de drenagem dos Rios Marumbi e Nhundiaquara foi observado uma elevação nos valores de temperatura, sendo os mais elevados observados na amostragem realizada na baía de Antonina.

De uma maneira geral, os valores de temperatura foram mais elevados na fase chuvosa que na fase seca, com valores oscilando entre 16,2 e 29,4 °C na primeira e entre 12,0 e 26,0 °C na segunda. A tendência de acréscimo ao longo dos pontos de amostragem verificada nos valores médios foi a mesma observada considerando as duas fases distintas (figura 33 A).

Figura 33. Valores médios de temperatura, pH, concentração de Oxigênio Dissolvido e de Silicato nas estações de coleta de água. Média ($\triangle$), Fase Seca ($\blacksquare$) e Fase Chuvosa ($\diamond$). (A) Temperatura; B) pH; C) Oxigênio Dissolvido e D) Silicato Reativo. Organizado por Lautert (2010).

6.4.2.2 Oxigênio Dissolvido

A média entre os valores da fase chuvosa e seca variou de 5,72 a 8,83 mg/l ao longo dos pontos de amostragem, sendo o maior valor observado no Rio Marumbi, estação 2M e o

menor valor verificado na baía de Antonina. (figura 33 B). Ao longo das bacias de drenagem foi verificada uma oscilação de valores, mas com uma tendência média de decréscimo.

De uma maneira geral, concentrações de oxigênio dissolvido foram mais elevadas na fase seca que na chuvosa, com a mesma tendência verificada nos dois períodos.

6.4.2.3 pH

A média entre os valores de pH da fase chuvosa e seca variaram de 6,18 a 7,76, com valores mais baixos verificados no Rio Marumbi e maiores verificados na amostragem da baía (figura 33 C), sendo verificado, de uma maneira geral, um aumento desse parâmetro ao longo da bacia de drenagem.

A diferença entre as duas fases para os valores de pH não foram tão marcantes, com valores levemente mais elevados na fase seca em relação à chuvosa.

6.4.2.4 Silicato Reativo

Os valores médios de silicato entre a fase chuvosa e seca variaram de 8,9 a 44,7 μM com valores geralmente menores na montante do Rio Marumbi e baía de Antonina e maiores nas regiões de planície dos rios.

De forma geral, os valores encontrados na fase seca foram mais elevados que na fase chuvosa, com exceção dos pontos 2M e o localizado na baía de Antonina (figura 33D).

6.4.2.5 Material Particulado em Suspensão

Os menores valores médios entre as duas fases de amostragem foram observados na montante do rio Marumbi, havendo um acréscimo ao longo dos pontos, com variação de 0,4 a 6,6 mg/l nos pontos localizados nos rios. O valor mais elevado foi observado na baía de antonina, com a concentração de 94,3 mg/l. De uma maneira geral, os valores verificados na fase chuvosa foram mais elevados que na chuvosa, mais evidenciado na amostragem realizada na baía de Antonina (figuras 34A e 34B).

Figura 34. Valores médios de material particulado em suspensão nas estações de coleta de água. A) Apenas Rios e B) Rios e Baía de Antonina. Média (△), Fase Seca (■) e Fase Chuvosa (◆). Organizado por Lautert (2010).

7 INTERPRETAÇÃO DOS DADOS TEMÁTICOS COM A BASE NO MODELO DE ANÁLISE DE FRAGILIDADE UTILIZADO

O estudo de fragilidade ambiental neste trabalho se baseia no modelo proposto por ROSS, (1994). Neste modelo o autor introduz no Brasil a análise da fragilidade e da potencialidade dos recursos naturais. Uma primeira etapa focaliza os estudos da natureza a partir de informações morfodinâmicas, com análise das características do relevo e dos solos e, em uma segunda etapa, inclui informações de ocupação e uso do espaço, enunciando:

A fragilidade dos ambientes naturais face as intervenções humanas é maior ou menor em função de suas características genéticas. A princípio, salvo algumas regiões do planeta, os ambientes naturais mostram-se ou mostravam-se em estado de equilíbrio dinâmico até o momento em que as sociedades humanas passaram progressivamente a intervir cada vez mais intensamente na exploração dos recursos naturais. ROSS, 1994, pag. 63.

A fragilidade corresponde à vulnerabilidade, a desagregação e desestruturação da forma original e, consequentemente, do funcionamento do extrato geográfico. Na concepção teórica da análise, incluem elementos e suas interações e, segundo MATOS FIERZ (2009):

O termo fragilidade ambiental pode ser concebido a partir dos conceitos relacionados aos preceitos da teoria geral dos sistemas, nos quais os elementos na natureza são considerados como de interação mútua, (...) está identificado o caráter sistêmico. Nesse sentido a fragilidade ambiental seria explicada pelas possíveis quebras na interação entre os elementos do Sistema Natural.

Para ALMEIDA & TERTULIANO (1999), os sistemas ambientais sempre estão funcionando perante flutuações no fornecimento de matéria e energia e cada evento (ação) fornece determinada quantidade de matéria e energia ao sistema, sendo que o valor dessa quantidade representa sua magnitude (intensidade ou grandeza). Entretanto, os eventos apresentam variabilidade muito grande no fornecimento dessas quantidades. Os autores dizem que todo fluxo no sistema promove algum efeito, sendo que essas mudanças variam com a intensidade da entrada. Em seu processo de ajustagem, o sistema é capaz de absorver

determinada variação sem que ocorram alterações, mas os eventos de alta magnitude muitas vezes provocam ultrapassagem nos limiares de absorção do sistema, promovendo, assim, alterações no mesmo.

Seguindo influências ecológicas ROSS (1994) centraliza o relevo como principal condicionador no equilíbrio dinâmico das paisagens e, conseqüentemente, dos processos/resultados envolvidos na capacidade de cada ambiente em suportar mudanças, sejam elas naturais ou antrópicas (AB' SABER, 1968). Para isso, ROSS (1992) apresenta uma classificação de unidades do relevo que abrange 6 níveis hierárquicos que os denominou de Taxon, conforme a figura 35.

Figura 35.
Representação esquemática das unidades taxonômicas, propostas por ROSS (1992).

1º Taxon- Unidades Morfoestruturais – grandes unidades da paisagem, que se difere de outras de mesmo porte principalmente pela forma. Bacias sedimentares, representadas na figura

como a bacia do Paraná, grande planaltos, planícies e formações montanhosas e planícies como a serra do Mar e suas planícies holocênicas.

2° Taxon- Unidades morfoesculturais – correspondem aos compartimentos e supercompartimentos do relevo pertencentes à morfoestrutura e posicionados em níveis topográficos distintos.

3°- Taxon - referentes as unidades morfológicas com padrões semelhantes de relevo.

4° Taxon - trabalha com o tipo de relevo: colinas, formas tabulares, formas em morros.

5° Taxon – inclui estudos do tipo e forma da vertente.

6° Taxon – analisa formas dos processos atuais de evolução, passando por localização de processos difusos e concentrados de dissecação.

Neste trabalho a intenção é produzir geoindicadores para planejamento regional ao nível do 4° taxon, da proposta de ROSS (1994), analisando unidades e formas de padrão semelhante.

Considerou-se desnecessária uma análise detalhada do tipo de vertentes, as quais seriam úteis para um estudo mais aprofundado de ecologia ou biogeografia, com os estudos de populações e distribuição da fauna ou da flora por exemplo, em escalas de maior detalhe

7.1 RESULTADOS DA FRAGILIDADE POTENCIAL

Para a carta de fragilidades potencial gerou-se 5 classes com seus totais e percentagens descritos na tabela 11 e na figura 36:

Tabela 11. Áreas e percentagens da carta de fragilidade potencial. Organizado por Lautert (2010).

Fragilidade Potencial	Km2	%
Muito Baixa	2,68	0,6
Baixa	109,26	25,1
Média	152,11	34,9
Alta	157,01	36,0
Muito Alta	15,01	3,4
TOTAL	436,07	100

As fragilidades média e alta tiveram as maiores concentrações, com 157,01 km²/36,0% referentes à fragilidade alta e 152,11km²/34,9% das bacias. As duas classes somam mais de 70%. Em seguida, a fragilidade baixa se destaca com 25% da área, seguidas pelas áreas mais reduzidas de classe alta. A classe muito baixa praticamente inexistiu. A carta (figura 36) apresenta a distribuição conjunta das fragilidades.

Figura 36. Fragilidade Potencial. Organizado por Lautert (2010).

7.1.1 Descrição e análise das Classes de Fragilidade Potencial

Para uma análise a respeito das condições de cada uma das cinco classes de Fragilidade Potencial das bacias, foi realizada uma descrição e avaliação quantitativa de cada uma das classes. Para tanto, foram identificadas quais as características de cada grau de fragilidade potencial com as variáveis ambientais relacionadas. Foram calculados os percentuais de cada uma das cinco classes de cada variável. Estes dados observados e analisados permitem a descrição e análise detalhada nos próximos itens.

7.1.1.1 Classe de Fragilidade Potencial Muito Baixa (1)

A Classe de fragilidade muito baixa apresentou as áreas e porcentagens descritas na tabela 12.

A classe de fragilidade potencial muito baixa praticamente não foi representativa com 2,8 km².

O relevo de classe fragilidade muito baixa (1) é composto por 57,75%, 1,55 km² com declividades de 0-2%, com, e 42,25%, 1,13km² com declividades de 02-12%, (tabela 12) revelando a baixa declividade dos setores do primeiro planalto.

Nesta fragilidade, com área total de 2,68km², predominam os cambissolos com 55,16%/ 1,48km² de Cambissolo, textura argilosa, “A” proeminente (CA9), 34,40%/ 0,92Km², pertencentes aos cambissolos, textura argilosa, “A” moderado (CA6), 5,20%/ 0,14km² de Cambissolo, textura argilosa, “A” moderado /associação Latossolo, (CA15), e 5,24%/0,14km² de Cambissolo, textura argilosa, “A” moderado/ associação Neossolo (CA31) (tabela 12).

Tabela 12. Fragilidade potencial muito baixa (1). Organizado por Lautert (2010).

Declividade	Frag 1	Muito Baixa	Solos	Frag 1	Muito Baixa	Geologia	Frag 1	Muito Baixa
	%	km ²		%	km ²	%	%	km ²
0 - 2	57,75	1,55	CA6	34,40	0,92	QHA	0,0	0,0
2 - 12	42,25	1,13	CA9	55,16	1,48	QHC	0,0	0,0
12 - 30	0	0,00	CA15	5,20	0,14	QHMG	0,0	0,0
30 - 40	0	0,00	CA31	5,24	0,14	QHMO	0,0	0,0
>40	0	0,00	CD2	0,00	0,00	EGA	0,0	0,0
			PVA3	0,00	0,00	EGG	0,0	0,0
			PVA10	0,00	0,00	EGS	0,9	0,0
			HG2	0,00	0,00	PEG1	1,5	0,0
			HG3	0,00	0,00	PEG2	14,2	0,4
			AR2	0,00	0,00	PEG6	0,0	0,0
						PEG7	0,0	0,0
						APICCA	0,0	0,0
						APLCQ	0,0	0,0
						APLCXM	0,7	0,0
						APLGE3	4,1	0,1
						APLMGE	77,5	2,1
						APLMGM	0,6	0,0
TOTAIS	100	2,68		100,00	2,68		100	2,68

Nota: **Solos:** CA6-Cambissolo, textura argiloso, A moderado; CA9-Cambissolo, textura argilosa, A proeminente; CA15-Cambissolo, textura argilosa, A moderado/associação Latossolo; CA31-Cambissolo, textura argilosa, A moderado/associação neossolo; CD2-Cambissolo, textura argiloso, A moderado/gleyssolos; PVA3-Argiloso, textura média/argilosa, A proeminente; PVA10-Argisolo, textura argiloso, A moderado; HG2-Gleyssolo, textura argilosa; HG3-Gleyssolo, textura argilosa; AR2-Afloramento de rocha, neossolos. **Geologia:** QHA-Sedimentos Recentes/Deposição fluvial (aluviões); QHC-Sedimentos Recentes/ Depósitos de colúvio e talus; QHMG-Sedimentos Recentes/flúvio marinhos, associados a manguezais; QHMO - Sedimentos Recentes/ Associação/Paleoestuarinos; EGA-Formação Guaratubinha/Sequência vulcânica; EGG-Formação Guaratubinha/Diques; EGS-Formação Guaratubinha/Sequência sedimentar; PG1-Granito Anhangava; PEG2-Granito Graciosa; PEG6-Granito Marumbi; PG7-Granito Serra da Igreja; APICCA-Complexo Cachoeira; APLCQ-Complexo Cachoeira; APLCXM-Complexo Cachoeira; APLG3-Complexo Granítico Gnáissico; APLMGE-Complexo Gnáissico Migmatítico; APLMGM-Complexo Gnáissico Migmatítico.

Nesta classe de fragilidade, a geologia é representada pela APLMGE-Complexo Gnáissico Migmatítico, com 77,5%/2,1km² e pelo PEG2-Granito Graciosa, com 14,2%/0,4km² de área.

Este trecho pertence à área de primeiro planalto, concentrados no sul das bacias e disperso ao norte principalmente no complexo Gnáissico Migmatítico (figura 37).

Teoricamente, estes espaços seriam classificados por ROSS (1994) como Unidades Ecodinâmicas de instabilidade potencial muito baixa.

Figura 37. Carta de Fragilidade Potencial Muito Baixa (1). Organizado por Lautert (2010).

7.1.1.2 Classe de Fragilidade Potencial Baixa (2)

A Classe de fragilidade baixa apresentou as áreas e porcentagens descritas na tabela 13.

A classe 2 ocupa uma área relativamente grande com 109,47 km². Diferencia-se da classe 1 basicamente por estarem localizados em áreas com predominância de declividade um pouco mais restritivas situadas na classe baixa (2), as quais 96,83%/105,79 km² estão localizadas em classe 2 – 12% de declividade e apenas 3,17% em classe de 0 – 2%. As demais características são semelhantes.

Esta classe de fragilidade possui em grande parte solos cambissolos com textura argilosa, pouco desenvolvidos (CA6) com 36,53%/39,91 km², cambissolos argilosos, horizonte “A” moderado associado à Neossolos (CA31), com 21,64%/23,64Km², os cambissolos, textura argilosa, “A” moderado /associação Latossolo (CA15) com

16,05/17,54Km², e uma menor porção os Cambissolo, textura argiloso, A moderado/ gleyssolos, (CD2) com 6,48%, 7,08km² (tabela 13). Aparecem ainda com destaque os Argisolos, textura argiloso, “A” moderado (CA15) com 16,05/17,54Km² e uma menor parte de Gleyssolo, textura argilosa (HG3), com 2,63%/2,87Km² (tabela 13).

Tabela 13. Fragilidade potencial baixa (2). Organizado por Lautert (2010).

Declividade	Frag 2	Baixa	Solos	Frag 2	Baixa	Geologia	Frag 2	Baixa
	%	km²		%	km²	%	%	km²
0 - 2	3,17	3,47	CA6	36,53	39,91	QHA	0,0	0,0
2 - 12	96,83	105,79	CA9	0,00	0,00	QHC	0,4	0,4
12 - 30	0,00	0,00	CA15	16,05	17,54	QHMG	0,0	0,0
30 - 40	0,00	0,00	CA31	21,64	23,64	QHMO	0,0	0,0
>40	0,00	0,00	CD2	6,48	7,08	EGA	0,1	0,1
			PVA3	0,01	0,01	EGG	0,0	0,0
			PVA10	16,57	18,10	EGS	1,7	1,9
			HG2	0,09	0,10	PEG1	3,8	4,1
			HG3	2,63	2,87	PEG2	18,6	20,3
			AR2	0,00	0,00	PEG6	5,6	6,1
						PEG7	0,3	0,3
						APICCA	0,6	0,6
						APLCQ	0,2	0,2
						APLCXM	8,4	9,2
						APLGE3	0,7	0,8
						APLMGE	44,9	49,1
						APLMGM	14,8	16,1
TOTAIS	100	109,26		100	109,26		100,0	109,26

Nota: **Solos:** CA6-Cambissolo, textura argiloso, A moderado; CA9-Cambissolo, textura argilosa, A proeminente; CA15-Cambissolo, textura argilosa, A moderado/associação Latossolo; CA31-Cambissolo, textura argilosa, A moderado/associação neossolo; CD2-Cambissolo, textura argiloso, A moderado/gleyssolos; PVA3-Argiloso, textura média/argilosa, A proeminente; PVA10-Argisolo, textura argiloso, A moderado; HG2-Gleyssolo, textura argilosa; HG3-Gleyssolo, textura argilosa; AR2-Afloramento de rocha, neossolos. **Geologia:** QHA-Sedimentos Recentes/Deposição fluvial (aluviões); QHC-Sedimentos Recentes/ Depósitos de colúvio e talus; QHMG-Sedimentos Recentes/flúvio marinhos, associados a manguezais; QHMO - Sedimentos Recentes/ Associação/Paleoestuarinos; EGA-Formação Guaratubinha/Sequência vulcânica; EGG-Formação Guaratubinha/ Diques; EGS-Formação Guaratubinha/Sequência sedimentar; PG1-Granito Anhangava; PEG2-Granito Graciosa; PEG6-Granito Marumbi; PG7-Granito Serra da Igreja; APICCA-Complexo Cachoeira; APLCQ-Complexo Cachoeira; APLCXM-Complexo Cachoeira; APLG3-Complexo Granítico Gnáissico; APLMGE-Complexo Gnáissico Migmatítico; APLMGM-Complexo Gnáissico Migmatítico.

Na classe de fragilidade baixa a geologia é representada principalmente por embasamento antigo com uma área de 49,1 km², 44,9% (tabela 13 e figura 38) do complexo gnáissico-migmatítico (APImge) e 20,3 km², 18,6% do total em granito graciosa (PEG2). Formam as pré rampas da serra do mar, com declividades predominantes de classe entre 2 e

12%. Uma das características desta área é a presença da vegetação (figura 38), contribuindo em muito para fragilidades potenciais mais baixas.

Figura 38. Carta de Fragilidade Potencial Baixa (2), com destaque para os locais da área onde ocorrem essa classe de fragilidade. Organizado por Lautert (2010).

Suas áreas estão entre a zona montanhosa e a planície litorânea, principalmente na partes menos inclinadas nas rampas pré-serra, as nascentes e margens dos principais rios (figura 38). Aparece intercalada com a classe de fragilidade média. ROSS (1994) classifica estas áreas de Unidades Ecodinâmicas de Instabilidade Potencial Baixa.

7.1.1.3 Classe de Fragilidade Potencial Média (3)

A Classe de fragilidade média apresentou as áreas e porcentagens descritas na tabela

Tabela 14. Fragilidade potencial média (3). Organizado por Lautert (2010).

Declividade	Frag 3	Média	Solos	Frag 3	Média	Geologia	Frag 3	Média
	%	km²		%	km²	%	%	km²
0-2	0,02	0,03	CA6	14,95	22,74	QHA	0,9	1,3
02_12	18,42	28,01	CA9	0,19	0,29	QHC	11,6	17,6
12_30	73,43	111,69	CA15	21,74	33,07	QHMG	0,0	0,0
30_40	8,14	12,38	CA31	37,89	57,64	QHMO	0,0	0,0
>40	0,00	0,00	CD2	2,93	4,46	EGA	0,1	0,1
			PVA3	0,03	0,04	EGG	0,1	0,1
			PVA10	10,09	15,35	EGS	0,4	0,7
			HG2	0,06	0,09	PEG1	3,5	5,3
			HG3	1,38	2,10	PEG2	20,2	30,8
			AR2	10,74	16,34	PEG6	14,7	22,4
						PEG7	0,7	1,1
						APICCA	0,8	1,2
						APLCQ	0,3	0,5
						APLCXM	5,5	8,3
						APLGE3	0,5	0,8
						APLMGE	33,4	50,8
						APLMGM	7,4	11,2
TOTAIS	100,00	152,11		100	152,11		100,0	152,1

Nota: **Solos:** **CA6**-Cambissolo, textura argiloso, A moderado; **CA9**-Cambissolo, textura argilosa, A proeminente; **CA15**-Cambissolo, textura argilosa, A moderado/associação Latossolo; **CA31**-Cambissolo, textura argilosa, A moderado/associação neossolo; **CD2**-Cambissolo, textura argiloso, A moderado/gleyssolos; **PVA3**-Argiloso, textura média/argilosa, A proeminente; **PVA10**-Argisolo, textura argiloso, A moderado; **HG2**-Gleyssolo, textura argilosa; **HG3**-Gleyssolo, textura argilosa; **AR2**-Afloramento de rocha, neossolos. **Geologia:** **QHA**-Sedimentos Recentes/Deposição fluvial (aluviões); **QHC**-Sedimentos Recentes/ Depósitos de colúvio e talus; **QHMG**-Sedimentos Recentes/flúvio marinhos, associados a manguezais; **QHMO** - Sedimentos Recentes/ Associação/Paleoestuarinos; **EGA**-Formação Guaratubinha/Sequência vulcânica; **EGG**-Formação Guaratubinha/ Diques; **EGS**-Formação Guaratubinha/Sequência sedimentar; **PG1**-Granito Anhangava; **PEG2**-Granito Graciosa; **PEG6**-Granito Marumbi; **PG7**-Granito Serra da Igreja; **APICCA**-Complexo Cachoeira; **APLCQ**-Complexo Cachoeira; **APLCXM**-Complexo Cachoeira; **APLG3**-Complexo Granítico Gnáissico; **APLMGE**-Complexo Gnáissico Migmatítico; **APLMGM**-Complexo Gnáissico Migmatítico.

Perfazem um total de 152,11 km², 34,85% da área total das bacias. Nesta classe, a principal diferença em relação à anterior também é a declividade, que neste caso chega a atingir 73,43% na classe média de 12 – 30%. Ainda aparecem 18,2%/29,01km², em espaços um pouco mais planos na classe de 2 – 12% e uma porção mais restrita 8,14%/12,38km², com classes entre 30 – 40% (tabela 14).

Nesta classe de fragilidade ocorrem em 37,89% da área total os solos cambissolos associados aos neossolos (CA31), perfazendo 57,64 km² e 21,74% da área, e cambissolos com horizonte “A” moderado (CA15), com 33,068 km²/21,74%, além dos cambissolos, textura argiloso, A moderado (CA6), com 14,95/22,74 km²(Tabela14). Destaca-se ainda a presença do Argisolo, textura argilosa, “A” moderado (PVA10), com 10,09% da área e

15,35km². Com 10,74%/16,34 km², aparecem os afloramentos rochosos (AR2). Com uma parte reduzida somando 1,40%/2,20km² ocorrem os gleyssolos (HG2 e HG3) (Tabela14).

Assim como as classes anteriores, esta concentra seus espaços com destaque para o complexo cristalino com áreas mais antigas do sistema natural, destacando porções do complexo gnáissico-migmatítico (APImge) com 50,8 km²/ 33,4%, e (Aplmgm) 7,4%/11,2km² da área total desta unidade tendo, ainda, o granito graciosa (Peg2) com 30,8 km² e 20,2% do total e o granito Marumbi (PEG6) com 22,4 km², 14,7% da área desta unidade nas bacias. Na fragilidade média ocorrem também os sedimentos recentes, colúvios e tálus com 11,6%/17,6 km² e uma área muito pequena na planície litorânea, com sedimentos recentes de deposição fluvial (QHA), tendo 0,9%/1,3km² de área.

Figura 39. Carta de Fragilidade Potencial Média (3), com destaque para os locais da área onde ocorrem essa classe de fragilidade. Organizado por Lautert (2010).

Apesar de alguns espaços estarem localizados em setores de declividade média, a cobertura vegetal (figura 39) garante uma estrutura mais resistente. Esses espaços também estão localizados na base da serra, porém diferenciam da classe anterior por estarem em áreas um pouco mais íngremes dentro da classe de 12 a 30%. Ocorrem também em setores entre as serras graníticas do Marumbi e Graciosa, onde o rio Nhundiaquara desce com velocidade e se encontra com a planície litorânea (figura 39). Segundo a proposta de ROSS (1994), se constituem em Unidades Ecodinâmicas de Instabilidade Potencial Média (figura 39).

7.1.1.4 Classe de Fragilidade Potencial Alta (4)

A Classe de fragilidade alta apresentou as áreas e porcentagens descritas na tabela 15.

Tabela 15. Fragilidade potencial alta (4). Organizado por Lautert (2010).

Declividade	Frag 4 %	Alta km ²	Solos	Frag 4 %	Alta km ²	Geologia %	Frag 4 %	Alta km ²
0 - 2	25,01	39,27	CA6	1,02	1,60	QHA	51,6	81,0
2 - 12	22,47	35,29	CA9	0,00	0,00	QHC	1,1	1,8
12 - 30	39,53	62,06	CA15	8,59	13,49	QHMG	0,0	0,0
30 - 40	10,06	15,79	CA31	5,52	8,67	QHMO	0,0	0,0
>40	2,93	4,60	CD2	28,18	44,25	EGA	0,0	0,0
			PVA3	0,00	0,01	EGG	0,0	0,0
			PVA10	4,32	6,79	EGS	0,0	0,0
			HG2	0,00	0,00	PEG1	4,6	7,2
			HG3	7,37	11,58	PEG2	17,5	27,5
			AR2	44,99	70,63	PEG6	19,0	29,9
						PEG7	0,9	1,4
						APICCA	0,1	0,1
						APLCQ	0,0	0,0
						APLCXM	0,2	0,3
						APLGE3	0,0	0,0
						APLMGE	4,6	7,2
						APLMGM	0,4	0,6
TOTAIS	100,00	157,01		100	157,01		100,0	157,0

Nota: **Solos:** CA6-Cambissolo, textura argiloso, A moderado; CA9-Cambissolo, textura argilosa, A proeminente; CA15-Cambissolo, textura argilosa, A moderado/associação Latossolo; CA31-Cambissolo, textura argilosa, A moderado/associação neossolo; CD2-Cambissolo, textura argiloso, A moderado/gleyssolos; PVA3-Argiloso, textura média/argilosa, A proeminente; PVA10-Argisolo, textura argiloso, A moderado; HG2-Gleyssolo, textura argilosa; HG3-Gleyssolo, textura argilosa; AR2-Afloramento de rocha, neossolos. **Geologia:** QHA-Sedimentos Recentes/Deposição fluvial (aluviões); QHC-Sedimentos Recentes/ Depósitos de colúvio e talus; QHMG-Sedimentos Recentes/flúvio marinhos, associados a manguezais; QHMO - Sedimentos Recentes/ Associação/Paleoestuarinos; EGA-Formação Guaratubinha/Sequência vulcânica; EGG-Formação Guaratubinha/ Diques; EGS-Formação Guaratubinha/Sequência sedimentar; PG1-Granito Anhangava; PEG2-Granito Graciosa; PEG6-Granito Marumbi; PG7-Granito Serra da Igreja; APICCA-Complexo Cachoeira; APLCQ-Complexo Cachoeira; APLCXM-Complexo Cachoeira; APLG3-Complexo Granítico Gnáissico; APLMGE-Complexo Gnáissico Migmatítico; APLMGM-Complexo Gnáissico Migmatítico.

Com uma área de $157,01\text{Km}^2$, 35,97% do total, as características da classe alta, respondem principalmente à declividade (serra) e a solos pouco consolidados (planície) (tabela 15). Suas características de declividade têm na região montanhosa a fragilidade alta presente com 39,53%/62,06 km^2 em classes entre 12-30%, 10,06%/15,79 km^2 , entre 30-40%, e 2,93%/4,60 km^2 com declividades acima de 40%. Por outro lado, na planície 22,47%/35,29 km^2 , estão em classe de declividade 2-12% e mais ainda 25,01%/39,27 km^2 estão em espaços mais planos entre 0-2%.

Figura 40. Carta de Fragilidade Potencial Alta (4), com destaque para os locais da área onde ocorrem essa classe de fragilidade. Organizado por Lautert (2010).

Na Fragilidade Alta (4) os solos que aparecem com maior destaque são o afloramento rochoso (AR2), com 44,99%, perfazendo 70,99 km^2 , e os cambissolos associados aos gleyssolos, pouco consolidados (CD2), com 29,18%/44,2 km^2 da área desta unidade. Ocorrem

ainda os gleyssolos de textura argilosa (HG3) com 7,37%/11,58km² e 8,59%/13,49 km² de cambissolos associados a latossolos (CA15) (tabela 15).

O destaque da geologia na fragilidade alta são os 81km² dos sedimentos recentes de deposição fluvial (QHA), chegando a 51,6% da área desta unidade, e as intrusões montanhosas com paredões de granito Marumbi, Graciosa, Anhangava e Serra da Igreja (PEG1, PEG2, PEG6, PEG7, respectivamente) (figura 40) que somados perfazem uma área de 66km², 41,1%. Ocorre ainda em menor proporção com 4,6%/7,2Km², material do complexo Gnáissico Migmatítico e 1,8km² de áreas de depósitos de tálus e colúvio. Nesta classe, outro destaque interessante que aparece na carta como resultado da combinação das informações ambientais são as áreas de fragilidade alta que ocorrem acompanhando as margens dos principais rios na planície litorânea (figura 40). A metodologia de ROSS (1994) classifica de Unidades Ecodinâmicas de Instabilidade Potencial Alta.

7.1.1.5 Classe de Fragilidade Potencial Muito Alta (5)

A Classe de fragilidade muito alta as áreas e porcentagens descritas na tabela 16.

Os espaços de fragilidade muito alta ocorrem em uma área relativamente reduzida, com 15,1 km² ou 3,45% do total das bacias estudadas (tabela 16). São formadas por deposições muito recentes e muito pouco consolidadas ocorrendo em núcleos de sedimentação, encostas da serra do mar e na desembocadura do rio Nhundiaquara, já na área de influência da baía de Antonina (figura 41).

Na fragilidade muito alta, a declividade segue o padrão e têm 43,92%/6,67Km² com áreas fortemente inclinadas com mais de 40% e 31,70% de planície em classe de 0-2%, somando uma área de 4,82km² (tabela 16).

Os solos que ocorrem neste grau de fragilidade são neossolos/cambissolos perfazendo praticamente o total dentro desta unidade.

Tabela 16. Fragilidade potencial muito alta (5). Organizado por Lautert (2010).

Declividade	Frag 5 %	Muito Alta km ²	Solos	Frag 5 %	Muito Alta km ²	Geologia %	Frag 5 %	Muito Alta km ²
0 - 2	31,70	4,82	CA6	0,05	0,01	QHA	4,5	0,7
2 - 12	1,22	0,19	CA9	0,00	0,00	QHC	23,9	3,6
12 - 30	18,66	2,84	CA15	0,37	0,06	QHMG	14,8	2,2
30 - 40	4,50	0,68	CA31	1,78	0,27	QHMO	17,2	2,6
>40	43,92	6,67	CD2	32,30	4,88	EGA	0,0	0,0
			PVA3	0,01	0,00	EGG	0,0	0,0
			PVA10	0,98	0,15	EGS	0,0	0,0
			HG2	0,01	0,00	PEG1	0,7	0,1
			HG3	0,13	0,02	PEG2	19,9	3,0
			AR2	64,38	9,72	PEG6	14,7	2,2
						PEG7	0,8	0,1
						APICCA	0,1	0,0
						APLCQ	0,0	0,0
						APLCXM	0,5	0,1
						APLGE3	0,0	0,0
						APLMGE	2,5	0,4
						APLMGM	0,3	0,1
TOTAIS	100,00	15,19		100	15,10		100,0	15,1

Nota: **Solos:** CA6-Cambissolo, textura argiloso, A moderado; CA9-Cambissolo, textura argilosa, A proeminente; CA15-Cambissolo, textura argilosa, A moderado/associação Latossolo; CA31-Cambissolo, textura argilosa, A moderado/associação neossolo; CD2-Cambissolo, textura argiloso, A moderado/gleyssolos; PVA3-Argiloso, textura média/argilosa, A proeminente; PVA10-Argisol, textura argiloso, A moderado; HG2-Gleyssolo, textura argilosa; HG3-Gleyssolo, textura argilosa; AR2-Afloramento de rocha, neossolos. **Geologia:** QHA-Sedimentos Recentes/Deposição fluvial (aluviões); QHC-Sedimentos Recentes/ Depósitos de colúvio e talus; QHMG-Sedimentos Recentes/flúvio marinhos, associados a manguezais; QHMO - Sedimentos Recentes/ Associação/Paleoestuarinos; EGA-Formação Guaratubinha/Sequência vulcânica; EGG-Formação Guaratubinha/Diques; EGS-Formação Guaratubinha/Sequência sedimentar; PG1-Granito Anhangava; PEG2-Granito Graciosa; PEG6-Granito Marumbi; PG7-Granito Serra da Igreja; APICCA-Complexo Cachoeira; APLCQ-Complexo Cachoeira; APLCXM-Complexo Cachoeira; APLG3-Complexo Granítico Gnáissico; APLMGE-Complexo Gnáissico Migmatítico; APLMGM-Complexo Gnáissico Migmatítico.

Na zona montanhosa da serra, deposições em formas de tálus, cones e leques aluviais (QHC) com 23,9%/3,6km² da área total desse material nas bacias estudadas. Estes depósitos costumam ocorrer associados a canais pluviais e fluviais. Também aparece uma pequena porção de sedimentos de deposição fluvial, com 4,5%/0,7km² (tabela 16). A desembocadura é preenchida de material recente com 14,8%/2,2 km² de sedimentos flúvio/marinhos associados a planícies de marés e manguezais (QHMG) e sedimentos recentes associados a antigas áreas estuarinas (QHMO) com 7,2%/2,6km². Ainda, na fragilidade muito alta estão as áreas com as

maiores declividades incluídas formadas por setores de granito Marumbi, Graciosa Anhangava e Serra da Igreja (PEG1, PEG2, PEG6, PEG7, respectivamente) (figura 41), que somados totalizam 35,4% do total desta unidade com 5,3 km². ROSS (1994) classifica esta unidade de Ecodinâmica de Instabilidade Potencial Muito Alta.

Figura 41. Carta de Fragilidade Potencial Muito Alta (5), com destaque para os locais da área onde ocorrem essa classe de fragilidade. Organizado por Lautert (2010).

7.1.2 Morfometria (Declividade)

A declividade do terreno tem interferência direta em diversas características ambientais ligadas ao maior ou menor grau de fragilidade. Na carta de fragilidade potencial, as características morfométricas do relevo foram determinantes na distribuição das fragilidades nas bacias hidrográficas estudadas, definindo padrões de distribuição através das características apresentadas na tabela 17.

Tabela 17. Total de Área de Fragilidade da Declividade. Organizado por Lautert (2010).

CLASSES	Km ²	%
0 – 2	49,12	11,3
02 – 12	170,41	39,1
12 – 30	176,59	40,5
30 – 40	28,86	6,6
>40	11,27	2,6
TOTAIS	436,25	100,0

Observando a tabela 17 do total de cada classe, nota-se que as classes dominantes foram entre 12 e 30% com 176,59 km², ou 40,5% do total, seguida de perto pela classe 2 – 12% que obteve 170,41km²/39,1%. Essas áreas se localizam principalmente no contato entre a planície e as rampas da Serra do Mar, que somados chegam a 80% do total. A planície litorânea se destaca a seguir com 49,2km², 11,3% do total. Com menores índices aparecem as classes 30-40% e >40.

Tabela 18. Fragilidade da Declividade. Organizado por Lautert (2010).

DECLIVIDADE	FRAG 1 %	M. baixa km ²	FRAG 2 %	Baixa Km ²	FRAG 3 %	Média km ²	FRAG 4 %	Alta km ²	FRAG 5 %	M. alta km ²
0 – 2	57,75	1,55	3,17	3,47	0,02	0,03	25,01	39,27	31,70	4,82
02 – 12	42,25	1,13	96,83	105,79	18,42	28,01	22,47	35,29	1,22	0,19
12 – 30	0	0,00	0,00	0,00	73,43	111,69	39,53	62,06	18,66	2,84
30 – 40	0	0,00	0,00	0,00	8,14	12,38	10,06	15,79	4,50	0,68
>40	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,93	4,60	43,92	6,67
TOTAIS	100	2,68	100	109,26	100,00	152,11	100,00	157,01	100,00	15,19 436,25

Observando a distribuição das fragilidades (tabela 18), os resultados indicam que os menores graus de declividade influenciam na determinação da distribuição no modelo das classes menos restritivas, entre fragilidades muito baixa e baixa, principalmente na planície litorânea, ocorrendo o contrário nos setores serranos, onde a declividade pressionou a instabilidade para cima, entre as fragilidades alta e muito alta. Nas áreas planas ocorreu a predominância da fragilidade baixa, com classes entre 2-12% com 96,83%, perfazendo uma área de 105,79km², evidenciando a planície costeira e justificando a mudança inicial nas classes indicada por ROSS no trabalho de 1994. Nos setores à direita da tabela 18 se destacam a zona montanhosa com fragilidade média, entre 12-30% e alta entre 30-40% representadas por unidades de pré serras, correspondendo a uma área acima de 105 km².

De uma maneira geral, as declividades entre 0 - 12% caracterizam ambientes de baixa fragilidade enquanto que ambientes com declividades entre 30-40% apresentam fragilidade alta.

Na zona montanhosa a instabilidade potencial não foi muito alta em função da resistência do material do embasamento cristalino.

7.1.3 Fragilidade do Solo

As características dos solos constituem-se em fatores de grande importância para avaliar a fragilidade do ambiente, uma vez que influenciam fortemente na configuração da paisagem, enquanto suporte da cobertura vegetal e interface para ação das atividades humanas. Têm relação direta com a morfogênese do relevo e se apresentam, no geral, distribuídos entre o cambissolos, argisolos, gleyssolos e afloramentos rochosos.

Tabela 19. Área total da Fragilidade do Solo. Organizado por Lautert (2010).

SOLOS	KM2	%
CA6	65,2	14,9
CA9	1,8	0,4
CA15	64,3	14,7
CA31	90,4	20,7
CD2	60,7	13,9
PVA3	0,1	0,0
PVA10	40,4	9,3
HG2	0,2	0,0
HG3	16,6	3,8
AR2	96,7	22,2
TOTAIS	436,2	100,0

Nota: **SOLOS:** **CA6**-Cambissolo, textura argiloso, A moderado; **CA9**-Cambissolo, textura argilosa, A proeminente; **CA15**-Cambissolo, textura argilosa, A moderado/associação Latossolo; **CA31**-Cambissolo, textura argilosa, A moderado/associação neossolo; **CD2**-Cambissolo, textura argiloso, A moderado/gleyssolos; **PVA3**-Argiloso, textura média/argilosa, A proeminente; **PVA10**-Argisolo, textura argiloso, A moderado; **HG2**-Gleyssolo, textura argilosa; **HG3**-Gleyssolo, textura argilosa; **AR2**-Afloramento de rocha, neossolos.

A área total (tabela 19) mostra o destaque para os Cambissolos, com horizontes “A” moderado e proeminente (CA6, CA9), que juntos somam quase 65% de toda a bacia, alcançando uma grande área com aproximadamente 192 km². Em seguida, aparecem os cambissolos/neossolos com 90,4 km², 20,7% do total, predominando no embasamento das montanhas, em setores com maior cobertura vegetal. Os solos argilosos (PVA10) aparecem

em 9,3% do total, somando 40,4km² uma área considerável. Os gleyssolos (HG3) têm uma área de 16,6km²/3,8%, aparecendo na planície litorânea.

Observando a distribuição das classes entre os solos (tabela 20), nota-se que entre as fragilidades muito baixa (FRAG1) e baixa (FRAG2) aparecem os cambissolos e, entre as mais altas, estão os afloramentos rochosos e os cambissolos associados aos neossolos, que apesar de serem consolidados, estão em altas declividades, sempre sujeitos a escorregamentos principalmente por parte dos cambissolos associados aos neossolos.

Tabela 20. Fragilidade dos solos. Organizado por Lautert (2010).

SOLOS	FRAG 1 %	Km ²	FRAG 2 %	Km ²	FRAG 3 %	Km ²	FRAG 4 %	Km ²	FRAG 5 %	Km ²
CA6	34,40	0,92	36,53	39,91	14,95	22,74	1,02	1,60	0,05	0,01
CA9	55,16	1,48	0,00	0,00	0,19	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00
CA15	5,20	0,14	16,05	17,54	21,74	33,07	8,59	13,49	0,37	0,06
CA31	5,24	0,14	21,64	23,64	37,89	57,64	5,52	8,67	1,78	0,27
CD2	0,00	0,00	6,48	7,08	2,93	4,46	28,18	44,25	32,30	4,88
PVA3	0,00	0,00	0,01	0,01	0,03	0,04	0,00	0,01	0,01	0,00
PVA10	0,00	0,00	16,57	18,10	10,09	15,35	4,32	6,79	0,98	0,15
HG2	0,00	0,00	0,09	0,10	0,06	0,09	0,00	0,00	0,01	0,00
HG3	0,00	0,00	2,63	2,87	1,38	2,10	7,37	11,58	0,13	0,02
AR2	0,00	0,00	0,00	0,00	10,74	16,34	44,99	70,63	64,38	9,72
TOTAIS	100,00	2,68	100	109,26	100	152,11	100	157,01	100	15,10 436,16

Nota: **Solos:** **CA6**-Cambissolo, textura argiloso, A moderado; **CA9**-Cambissolo, textura argilosa, A proeminente; **CA15**-Cambissolo, textura argilosa, A moderado/associação Latossolo; **CA31**-Cambissolo, textura argilosa, A moderado/associação neossolo; **CD2**-Cambissolo, textura argiloso, A moderado/gleyssolos; **PVA3**-Argiloso, textura média/argilosa, A proeminente; **PVA10**-Argisolo, textura argiloso, A moderado; **HG2**-Gleyssolo, textura argilosa; **HG3**-Gleyssolo, textura argilosa; **AR2**-Afloramento de rocha, neossolos.

Nas fragilidades superiores destacam-se os cambissolos e parte dos gleyssolos, além dos afloramentos rochosos.

7.1.4 Fragilidade da Geologia

Na geologia, as unidades com a maior área são os materiais do Complexo Gnáissico Migmatítico (APLMGE e APLMGM), 137,46 km²/31,5% da área, localizados principalmente

nos setores da pré-serra do mar, seguidos pelos sedimentos recentes de deposição fluvial (QHA, QHMG, QHMO), característicos da planície litorânea, com 87,93km²/20,0% do total, e os sedimentos recentes da serra em forma de colúvios e tálus (QHC) com 23,41km²/5,4 km² (tabela 21). Os granitos da Serra do mar, representados por parte das serras do Anhangava, Graciosa, Marumbi e Serra da Igreja perfazem outra quantidade significativa, somando 37,2% da área e alcançando 162,3km². As menores porções pertencem aos materiais antigos do Complexo Cachoeira (APICCA, APLCQ, APLCXM), que em conjunto perfazem 20,88km²/4,8% da área e os materiais recentes da formação Guaratubinha (EGA, EGG, EGS), ainda no primeiro planalto (tabela 21).

Tabela 21. Área total da fragilidade da geologia. Organizado por Lautert (2010).

Geologia	Km ²	%
QHA	82,93	19,0
QHC	23,41	5,4
QHMG	2,24	0,5
QHMO	2,60	0,6
EGA	0,18	0,0
EGG	0,16	0,0
EGS	2,60	0,6
PEG1	16,78	3,8
PEG2	82,03	18,8
PEG6	60,58	13,9
PEG7	2,91	0,7
APICCA	1,97	0,5
APLCQ	0,69	0,2
APLCXM	17,92	4,1
APLGE3	1,69	0,4
APLMGE	109,48	25,1
APLMGM	27,98	6,4
TOTAL	436,16	100

Nota: **QHA**-Sedimentos Recentes/Deposição fluvial (aluviões); **QHC**-Sedimentos Recentes/ Depósitos de colúvio e talus; **QHMG**-Sedimentos Recentes/flúvio marinhos, associados a manguezais; **QHMO**-Sedimentos Recentes/ Associação/Paleoestuarinos; **EGA**-Formação Guaratubinha/Sequência vulcânica; **EGG**-Formação Guaratubinha/ Diques; **EGS**-Formação Guaratubinha/Sequência sedimentar; **PG1**-Granito Anhangava; **PEG2**-Granito Graciosa; **PEG6**-Granito Marumbi; **PEG7**-Granito Serra da Igreja; **APICCA**-Complexo Cachoeira; **APLCQ**-Complexo Cachoeira; **APLCXM**-Complexo Cachoeira; **APLG3**-Complexo Granítico Gnáissico; **APLMGE**-Complexo Gnáissico Migmatítico; **APLMGM**-Complexo Gnáissico Migmatítico.

De maneira geral, a tabela das classes de fragilidade para geologia (tabela 22) apresenta nas classes menos restritivas e mais estáveis, ou seja, nas fragilidades muito baixas e baixas, está principalmente o material do complexo gnáissico-migmatítico, com 77,5% da classe baixa, além de uma pequena parte do complexo granítico com predomínio para a serra da Graciosa, áreas ocupadas por floresta ombrófila densa. Nas fragilidades médias predominam os granitos com a maior porção na serra da Graciosa seguido pela serra do Marumbi, chegando a 35% da classe de fragilidade média (tabela 22).

No outro lado da tabela, nas fragilidades mais restritivas estão os sedimentos recentes pouco consolidados, sejam continentais ou flúvio-marinhos. Os sedimentos fluviais se destacam na fragilidade alta (FRAG4), com 81 km².

Tabela 22. Fragilidade da geologia. Organizado por Lautert (2010).

GEOLOGIA	FRAG 1 %	Km ²	FRAG 2 %	Km ²	FRAG 3 %	Km ²	FRAG 4 %	Km ²	FRAG 5 %	Km ²
QHA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	1,3	51,6	81,0	4,5	0,7
QHC	0,0	0,0	0,4	0,4	11,6	17,6	1,1	1,8	23,9	3,6
QHMG	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,8	2,2
QHMO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	17,2	2,6
EGA	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
EGG	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
EGS	0,9	0,0	1,7	1,9	0,4	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0
PEG1	1,5	0,0	3,8	4,1	3,5	5,3	4,6	7,2	0,7	0,1
PEG2	14,2	0,4	18,6	20,3	20,2	30,8	17,5	27,5	19,9	3,0
PEG6	0,5	0,0	5,6	6,1	14,7	22,4	19,0	29,9	14,7	2,2
PEG7	0,0	0,0	0,3	0,3	0,7	1,1	0,9	1,4	0,8	0,1
APICCA	0,0	0,0	0,6	0,6	0,8	1,2	0,1	0,1	0,1	0,0
APLCQ	0,0	0,0	0,2	0,2	0,3	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0
APLCXM	0,7	0,0	8,4	9,2	5,5	8,3	0,2	0,3	0,5	0,1
APLGE3	4,1	0,1	0,7	0,8	0,5	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0
APLMGE	77,5	2,1	44,9	49,1	33,4	50,8	4,6	7,2	2,5	0,4
APLMGM	0,6	0,0	14,8	16,1	7,4	11,2	0,4	0,6	0,3	0,1
TOTAIS	100,0	2,7	100,0	109,3	100,0	152,1	100,0	157,0	100,0	15,1 436,2

Nota: QHA-Sedimentos Recentes/Deposição fluvial (aluviões); QHC-Sedimentos Recentes/ Depósitos de colúvio e talus; QHMG-Sedimentos Recentes/flúvio marinhos, associados a manguezais; QHMO - Sedimentos Recentes/ Associação/Paleoestuarinos; EGA-Formação Guaratubinha/Sequência vulcânica; EGG-Formação Guaratubinha/ Diques; EGS-Formação Guaratubinha/Sequência sedimentar; PG1-Granito Anhangava; PEG2-Granito Graciosa; PEG6-Granito Marumbi; PG7-Granito Serra da Igreja; APICCA-Complexo Cachoeira; APLCQ-Complexo Cachoeira; APLCXM-Complexo Cachoeira; APLG3-Complexo Granítico Gnáissico; APLMGE-Complexo Gnáissico Migmatítico; APLMGM-Complexo Gnáissico Migmatítico.

7.1.5 Morfologia

Observando o perfil integrado dos rios Nhundiaquara e Marumbi (Figura 42 e 43), nota-se claramente a presença de dois compartimentos, como já foi descrito por vários autores no capítulo 6. O compartimento localizado na zona montanhosa do litoral tem sua morfologia determinada pelo embasamento cristalino, principalmente nos setores mais elevados, onde ocorrem os complexos graníticos e migmatítico, enquanto nas encostas menos inclinadas, a morfologia tem forte associação com a vegetação mais densa e a zonas de depósitos de materiais mais recentes. Neste compartimento os processos morfoestruturais parecem ter predominância sobre os pedogenéticos. A diferença entre as duas bacias é estrutural, pois enquanto o rio Nhundiaquara tem suas nascentes em áreas inclinadas do complexo granítico, o rio Marumbi tem suas nascentes em áreas levemente menos inclinadas do complexo gnáissico.

No rio Nhundiaquara, as nascentes têm como principais rios o Mãe Catira ao norte da bacia e o rio Ipiranga na região oeste, em áreas de floresta de submontana. As principais nascentes do rio Nhundiaquara atravessam a serra descendo o granito Gracioso abaixo, encontrando o rio Ipiranga, passando por areias e seixos recentes, depositados em forma de tálus e leques fluviais (figura 42) até chegar à planície litorânea

O rio Marumbi tem suas nascentes em uma pequena área do primeiro planalto, descendo pelo complexo gnáissico migmatítico, das regiões de pré-serra e, aproximadamente a 3 km à jusante encontram a planície litorânea que acompanha as margens fluviais do rio principal (figura 43).

Figura 42. Perfil Integrado do Rio Nhundiaquara. Organizado por Lautert (2010).

Figura 43. Perfil Integrado do Rio Marumbi. Organizado por Lautert (2010).

No compartimento onde se destaca a planície litorânea, os rios seguem pelos terraços fluviais e têm nas duas bacias uma morfologia com superfície predominantemente plana, com exceção de uma área reduzida de morros, herdada do complexo Cachoeira (embasamento arqueano) que, apesar de serem formados por Cambissolos, são consolidados, pois têm seus estratos praticamente protegidos por uma sistema natural com densa vegetação.

Nas áreas planas a morfologia está associada à presença de solos encharcados, localizados em partes pouco consolidadas, o que pode estar associado a um sistema florestal secundário. Neste compartimento a morfologia também sofre influência antrópica, tanto de atividades agrícolas e urbanas, as quais aceleram os processos morfodinâmicos. Na desembocadura do rio Nhundiaquara, a morfologia começa a ter influência do estuário, regida principalmente pelos movimentos das mar.

7.2 RESULTADOS DA FRAGILIDADE EMERGENTE

Em praticamente metade da área das bacias estudadas a instabilidade ao uso apontou a fragilidade baixa, enquanto quase a outra metade apresentou a fragilidade média. A fragilidade muito alta, 3 % do total, enquanto a muito alta 0,2% (tabela 23 e figura 44).

Tabela 23. Área total da fragilidade emergente. Organizado por Lautert (2010).

Fragilidade Emergente	Km ²	%
Muito baixa	1,23	0,3
Baixa	219,71	50,4
Média	201,33	46,2
Alta	13,07	3,0
Muito Alta	0,8	0,2
TOTAL	436,16	100

A descrição da tabela de uso da terra (tabela 24) indica o destaque para as florestas com 269,87Km²/61,9% da área total, seguidos de florestas pioneiras com 149,30/34,2%. As duas somadas perfazem 419,17km²/96,01% do total indicando a predominância. Nos usos mais intensivos, a agricultura e a área urbana, têm 15,33km²/3,5% e 0,81km²/0,2% do total, respectivamente (tabela 24 e figura 44).

Tabela 24. Área total do Uso da Terra. Organizado por Lautert (2010).

Uso da terra	Km ²	%
Floresta	269,87	61,9
Formação Pioneira	149,30	34,2
Reflorestamento	0,84	0,2
Agricultura	15,33	3,5
Área Urbana	0,81	0,2
TOTAIS	436,16	100,0

Figura 44. Fragilidade Emergente.

7.2.1 Descrição e Análise da Fragilidade Emergente

Para uma análise a respeito das condições de cada uma das cinco classes de Fragilidade Emergente das bacias, foi realizada uma descrição e avaliação quantitativa de cada uma das classes.

7.2.1.1 Classe de fragilidade emergente muito baixa (1)

A Classe de fragilidade muito baixa apresentou as áreas e percentagens descritas na tabela 25.

Tabela 25. Fragilidade Emergente Muito Baixa (1). Organizado por Lautert (2010).

Uso da Terra	Fragilidade Muito Baixa (Km ²)	%
Floresta	1,23	100
Formação Pioneira	0,00	0
Reflorestamento	0,00	0
Agricultura	0,00	0
Área Urbana	0,00	0
TOTAIS	1,23	100

A fragilidade emergente muito baixa seguiu a potencial e praticamente inexistiu, aparecendo apenas com 1,23 km² em uma área de floresta (Tabela 25).

7.2.1.2 Classe de fragilidade emergente baixa (2)

A classe de fragilidade baixa apresentou as áreas e porcentagens descritas na tabela 26.

Tabela 26. Fragilidade Emergente Baixa (2). Organizado por Lautert (2010).

Uso da Terra	Fragilidade Baixa (Km ²)	%
Floresta	182,16	82,9
Formação		
Pioneira	37,52	17,1
Reflorestamento	0,02	0,0
Agricultura	0,00	0,0
Área Urbana	0,00	0,0
TOTAIS	219,71	100,0

Analisando a fragilidade baixa verifica-se que seus índices são influenciados pela presença da cobertura vegetal representada pela floresta ombrófila densa, com seus subsetores submontana, montana e alto montana. As florestas ombrófilas densas ocupam 182,16km², uma grande porção perfazendo 82,9% do total e seu restante pelas florestas pioneiras, principalmente de influência fluvial, localizadas em áreas menos inclinadas da região pré-serra (figura 45). ROSS (1994) classifica essa unidade com sendo Unidade Ecodinâmica de Instabilidade Emergente Baixa.

Figura 45. Carta de Fragilidade Emergente Baixa, com destaque para os locais onde ocorrem essas classe de fragilidade. Organizado por Lautert (2010).

7.2.1.3 Classe Fragilidade Emergente Média (3)

A classe de fragilidade média apresentou as áreas e porcentagens descritas na tabela 27.

Tabela 27. Fragilidade Emergente Média (3). Organizado por Lautert (2010).

Uso da Terra	Fragilidade Média (Km ²)	%
Floresta	86,48	43,0
Formação Pioneira	111,78	55,5
Reflorestamento	0,81	0,4
Agricultura	2,26	1,1
Área Urbana	0,00	0,0
TOTAIS	201,33	100,0

Nesta classe de fragilidade, o predomínio está na ocupação de formações pioneiras, espaços que têm vegetação menos exuberante, principalmente porque já foram utilizadas de alguma forma e vem teoricamente se reconstituindo (figura 46). Ocorrem principalmente nas áreas mais elevadas da planície fluvial, ou ainda, nas áreas de pré-serra, em setores com declividades mais acentuadas que a classe de fragilidade anterior.

Na região montanhosa, a fragilidade emergente (figura 46) sobe em função da declividade e vegetação menos densa, mas também pela informação combinada de usos da terra, onde ocorre intenso fluxo de turistas, em caminhadas pelas diversas trilhas existentes na região. Hoje em dia, esses espaços são administrados por unidades de conservação, que teoricamente têm controle destes fluxos, porém, sempre ocorre degradação antrópica. Historicamente, a área foi estudada pelo Professor José Bigarella e a criação de unidades de preservação, como o Parque Estadual do Marumbi, foram criados em função dos alertas de Bigarella, que fez uma grande campanha de divulgação de proteção das montanhas elevadas da serra do Marumbi desde a década de 60.

Figura 46. Carta de Fragilidade Emergente Média, com destaque para os locais onde ocorrem essas classe de fragilidade. Organizado por Lautert (2010).

Nesta classe de fragilidade ainda ocorrem práticas agrícolas ou chácaras de turismo, com 2,62 km². ROSS (1994) estabelece que essas unidades sejam chamadas de Ecodinâmicas de Instabilidade Emergente Média.

7.2.1.4 Classe de Fragilidade Emergente alta (4)

A classe de fragilidade alta apresentou as áreas e porcentagens descritas na tabela 28.

Tabela 28. Fragilidade Emergente Alta (4). Organizado por Lautert (2010).

Uso da Terra	Fragilidade Alta (Km ²)	%
Floresta	0,00	0,0
Formação Pioneira	0,00	0,0
Reflorestamento	0,00	0,0
Agricultura	13,07	100,0
Área Urbana	0,00	0,0
TOTAIS	13,07	100,0

Na fragilidade alta, o modelo selecionou 100% de espaços agrícolas (tabela 28 e figura 47). Essas áreas são utilizadas geralmente o ano todo, como já se viu no capítulo de descrição e, em sua maioria, são ocupadas para a produção de mandioca. A produção de farinha de mandioca tradicional no município de Morretes, sempre gerou a instalação de diversas agroindústrias familiares, algumas bem tradicionais com equipamentos rústicos e outras já contando com inovações tecnológicas. Grande parte da produção é vendida de forma informal, nas rodovias e estradas que cortam o município, em pequenos mercados, sem controle do poder público. Parte da produção abastece as feiras da cidade.

Figura 47. Carta de Fragilidade Emergente Alta, com destaque para os locais onde ocorrem essas classe de fragilidade. Organizado por Lautert (2010).

7.2.1.5 Classe de Fragilidade Emergente Muito alta (5)

A classe de fragilidade muito alta apresentou as áreas e porcentagens descritas na tabela 29.

Tabela 29. Fragilidade Emergente Muito Alta (5). Organizado por Lautert (2010).

Uso da terra	Fragilidade Muito Alta (Km ²)	%
Floresta	0,0	0,0
Formação Pioneira	0,0	0,0
Reflorestamento	0,0	0,0
Agricultura	0,0	0,0
Área Urbana	0,8	100,0
TOTAIS	0,8	100,0

A fragilidade muito alta selecionou a área urbana do município que relativamente é pequena, porém seu padrão de ocupação segue o padrão normal dos ambientes urbanos no mundo todo. Neste espaço, a fragilidade emergente é muito alta em função da emissão de efluentes líquidos e sólidos de natureza doméstica, principalmente.

Figura 48. Carta de Fragilidade Emergente muito Alta, com destaque para os locais onde ocorrem essas classe de fragilidade. Organizado por Lautert (2010).

O meio urbano facilita os processos de erosão principalmente nos barrancos próximos a estradas e barrancas dos rios. Esta unidade é classificada por ROSS (1994) de Unidade Ecodinâmica de Instabilidade Emergente Alta (figura 48).

7.2.2 A fragilidade emergente no Uso da Terra

A distribuição da fragilidade ocorre seguindo a padrão de uso e ocupação, com as áreas florestadas ocupando principalmente a fragilidade baixa com 182,00km², 82,9% das bacias. Nas fragilidades médias predominam as formações pioneiras, com 111, 78km², 55% desta classe, ocorrendo também as florestas com 86,48km² ou 43% (tabela 30).

Nas classes de fragilidade mais elevadas predominam agricultura e uso urbano, tendo na classe de fragilidade alta a agricultura, com 13,7 km² e na classe de fragilidade muito alta uso urbano, com 0,8 km² (tabela 30).

Tabela 30. Fragilidades Emergentes do Uso da terra. Organizado por Lautert (2010).

Fragilidade Emergente	FRAG 1 Km ²	Muito Baixa %	FRAG 2 Km ²	Baixa %	FRAG 3 Km ²	Média %	FRAG 4 Km ²	Alta %	FRAG 5 Km ²	Muito Alta %
Floresta	1,23	100	182,16	82,9	86,48	43,0	0,00	0,0	0,0	0,0
Formação Pioneira	0,00	0	37,52	17,1	111,78	55,5	0,00	0,0	0,0	0,0
Reflorestamento	0,00	0	0,02	0,0	0,81	0,4	0,00	0,0	0,0	0,0
Agricultura	0,00	0	0,00	0,0	2,26	1,1	13,07	100,0	0,0	0,0
Área Urbana	0,00	0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,8	100,0
TOTAIS	1,23	100	219,71	100,0	201,33	100,0	13,07	100,0	0,8	100,0

7.3 SÍNTESE DOS RESULTADOS DAS FRAGILIDADES POTENCIAL E EMERGENTE

Observando as tabelas que organizam as informações das fragilidades Potenciais e Emergentes, tabelas 31 e 32, percebe-se que a fragilidade nesta análise está muito associada à declividade, à vegetação, aos solos e ao uso da terra.

Na medida em que a classe de fragilidade aumenta, eleva também a declividade, diminuindo a cobertura vegetal. Enquanto nas Unidades Ecodinâmicas de Instabilidade Baixa a floresta densa de montana e submontana tem 89,9% de cobertura, a classe de fragilidade superior (média) tem somente 43%, mostrando a importância do estrato vegetacional.

Toda essa influência também contribui para as classes de fragilidade alta e muito alta, já que nas áreas mais elevadas a vegetação de alto montana é pouco densa. Ao mesmo tempo, na planície diminui a declividade, porém os solos são geralmente mais encharcados e, conseqüentemente, mais inconsolidados.

Além da influência natural principalmente da declividade, somada aos solos e vegetação, a fragilidade emergente tem forte influência do uso da terra. Talvez o ponto fundamental para os processos de degradação seja a ocupação desordenada de vertentes, como normalmente ocorre. Brejos, planícies de inundação (fundo de vales) e encostas íngremes servem de base para assentamento habitacional e agricultura. O sistema geomorfológico passa a ser determinado não somente pelo clima e geologia, mas também pela ação do homem.

Tabela 31. Resumo das Unidades de Fragilidade Potencial. Organizado por Lautert (2010).

UNIDADES	ÁREA	LOCALIZAÇÃO	DECLIVIDADE	SOLOS	GEOLOGIA
Classe muito baixa (1) UNIDADE ECODINÂMICA, DE INSTABILIDADE POTENCIAL MUITO BAIXA	2,68km ² 0,6%	Primeiro Planalto	0-2%-57,75%, 02-12%-42,25%,	CAMBISSOLOS (CA9)55,16%/ 1,48km ² . (CA6)34,40%/ 0,92Km ² .	(APLMGE)- 77,5%/2,1 km ² (PEG2)- 14,2%/0,4km ²
Classe baixa (2) UNIDADE ECODINÂMICA, DE INSTABILIDADE POTENCIAL BAIXA	109,26km ² 25,1%	Pré-rampas mais suaves e Primeiro Planalto	2-12% -96,83%/ 0-2% - 3,17%	CAMBISSOLOS (CA6) 36,53%/39,91 km ² (CA31), 21,64%/23,64Km ² (CA15) 16,05/17,54Km ² (CA15) 16,05/17,54Km ²	(APIMGE) - 44,9%/49,1km ² , (PEG2) 18,6% /20,3 km ²
Classe média (3) UNIDADE ECODINÂMICA, DE INSTABILIDADE POTENCIAL MÉDIA	152,11Km ² 34,9%	Pré-serra mais íngremes Serra Marumbi e Graciosa Margens do rio Nhundiaquara	12-30%-73,43% 02-12%-8,14%/ 02-12% -22,47%/ 0-2% - 25,01%/ 12-30% -39,53% 30-40%- 10,06% >40- 2,93	(CA31) 21,74%/57,64 km ² (CA15) 21,74%/33,068 km ² (CA6) 14,95%/22,74 km ² (CA6) 14,95/22,74 km ² (PVA10), 10,09% 15,35km ²	(APIMGE) 33,4%/50,8 km ² / (APLMGM) 7,4%/11,2km ² (PEG2) 20,2%/30,8 km ² (PEG6) 14,7%/22,4 km ² (QHA) 0,9%/1,3km ²
Classe alta (4) UNIDADE ECODINÂMICA, DE INSTABILIDADE POTENCIAL ALTA	157,01Km ² 36%	Serra graníticas Planície fluvial	02-12% -22,47%/ 0-2% - 25,01%/ 12-30% -39,53% 30-40%- 10,06% >40- 2,93	(AR2) 44,99%/ 70,99km ² (CD2) 29,18%/44,2km ² (CA15) 8,59%/13,49 km ² (HG3) 7,37%/11,58km ²	(QHA) 51,6%/81,0km ² (PEG1, PEG2, PEG6PEG7) 41,1%, 66km ²
Classe muito alta (5) UNIDADE ECODINÂMICA, DE INSTABILIDADE POTENCIAL MUITO ALTA	15,1 km ² , ou 3,45%	Depósitos recentes Áreas serranas, (talus e leques) Planícies de maré.	0-2%-31,70% >40-43,92%	(CD2) 32,30% (AR2)64,38%	(QHC)23,9% (QHMG) 14.8% (QHMO) 7,2% (PEG1, PEG2, PEG6, PEG7)35,4

Tabela 32. Resumo das Unidades de Fragilidade Emergente. Organizado por Lautert (2010).

UNIDADES	ÁREA	LOCALIZAÇÃO	USO
Classe muito baixa (1) UNIDADE ECODINÂMICA, DE INSTABILIDADE EMERGENTE MUITO BAIXA	1,23Km2 0,3%	Floresta Planalto	
Classe baixa (2) UNIDADE ECODINÂMICA, DE INSTABILIDADE EMERGENTE BAIXA	219,71K m2 50,4%	Pré-rampas mais suaves e Primeiro Planalto	Floresta – 82,9% Floresta Pioneira – 17,1%
Classe média (3) UNIDADE ECODINÂMICA, DE INSTABILIDADE EMERGENTE MÉDIA	201,33K m2 46,2%	Pré-serra mais íngremes Serra Marumbi e Graciosa Margens do rio Nhundiaquara, Planície	Floresta 43% Formação Pioneira 55,5%
Classe alta (4) UNIDADE ECODINÂMICA, DE INSTABILIDADE EMERGENTE ALTA	13,07Km 2 3,0%	Planície Fluvial	Agricultura, Chácara recreação 100%
Classe muito alta (5) UNIDADE ECODINÂMICA, DE INSTABILIDADE EMERGENTE MUITO ALTA	0,8Km2 0,2	Planície Fluvial	Área Urbana 100%

O uso inadequado do solo pode alterar a estrutura do sistema físico. O ciclo hidrológico talvez seja o elo da cadeia natural que mais sofre com as interferências antrópicas. Na relação água-relevo-solos, o processo de armazenagem e transferência no solo pode modificar muito com a impermeabilização imposta pelos artefatos humanos.

A retirada da vegetação entra no processo de degradação, sendo o primeiro passo para o início do processo acima descrito, dando a partida para a desordem do sistema.

Outro fator importante está ligado ao clima, com as constantes enchentes que ocorrem nas áreas de planície litorânea, principalmente no período chuvoso, no qual costumam acontecer em um dia precipitações esperadas para o mês inteiro.

Figura 49. Enchente ocorrida em janeiro de 2006. Organizado por Lautert (2010).

Um evento típico ocorreu em 2006, quando em somente um dia choveu 217 mm (figura 49). As enchentes podem ocorrer distribuídas ao longo do ano, mas sempre predominam entre novembro e abril. Nestes eventos, a planície costuma ficar bastante encoberta com uma lâmina de água que pode atingir quase um metro de altura. São nestes eventos que podem ocorrer processos significativos de desprendimento e transporte de material. Em áreas desflorestadas, esse desprendimento se torna mais fácil, ocasionando remobilização do material dentro da bacia, provocados por deslizamentos, queda de rochas, avalanches, queda de barreira, entre outros. Desta forma, as águas naturais sistematicamente colaboram com o movimento gradual da manta do solo (SOARES, 2008).

Chuvas e enchentes variam enormemente e um único evento extraordinário pode produzir até 75% de toda a erosão de uma bacia num período de 10 anos. Os ácidos fracos formados na chuva e na água em percolação provocam erosão subsuperficial em áreas de solos sedimentares, formando sumidouros e rios subterrâneos (SOARES, 2008). O processo é bem mais fraco em granitos e basaltos, mas sob forte declividade, estes estão sujeitos aos deslizamentos. A presença da vegetação pode reduzir o excesso de precipitação, diminuindo a erosão superficial. Quantidades de solo desprendidas podem se deslocar poucos metros de uma trilha ou um campo, ou ainda, seguir adiante ou ficar estacionada por centenas de anos. HOLEMAN (1968) afirma que a descarga anual do rio Potomac, EUA, (60 tons/km²) é apenas 5% do total de solo desprendido dentro da bacia hidrográfica, o restante se desloca dentro da própria bacia.

8 RESULTADOS ANALÍTICOS ENTRE AS CONDIÇÕES DAS ÁGUAS E AS FRAGILIDADES

Neste capítulo é apresentada a confrontação entre os resultados da fragilidade e as condições da água resultantes das amostragens realizadas ao longo das bacias e no estuário.

8.1 CONFRONTAÇÃO DOS DADOS DE QUALIDADE DA ÁGUA COM A FRAGILIDADE POTENCIAL E EMERGENTE

Este estudo mostrou que geração de informações sobre fragilidade ambiental, pode ter cada vez mais espaço nas pesquisas básicas que buscam conhecer o espaço geográfico, seja ele interpretado sob qualquer categoria de análise da Geografia ou outras ciências.

Comprovadamente, o conhecimento das principais características do sistema natural, considerando sua geomorfologia, solos, geologia e o uso da terra, pode mostrar e indicar a capacidade de suporte das diferentes paisagens.

Neste trabalho, o estudo da fragilidade mostrou que as bacias envolvidas na pesquisa, por estarem inseridas em um ambiente subtropical, são formadas por características ricas em geobiodiversidade, contendo ambientes com diferentes níveis de fragilidade. Essas diferenças passam principalmente pela morfologia, representada predominantemente pela declividade, processos pedogenéticos relativos à consolidação dos solos, as características da vegetação e ao uso da terra.

As bacias hidrográficas contidas neste estudo, representadas pelas bacias do rio Nhundiaquara e mais ao sul pelo rio Marumbi, estão organizadas em um sistema

hidrográfico com características subtropicais úmidas, configuradas sobre uma estrutura inserida em um sistema fluvial regional. As nascentes e setores de primeira ordem estão estabelecidos na zona montanhosa as quais possuem estrutura e dinâmica fluvial determinada por características morfodinâmicas, considerando características geológicas e geomorfológicas, incluindo influências climáticas. Todos esses fatores estão envolvidos indissociavelmente e, que em conjunto, formam uma paisagem típica da serra do mar paranaense.

Os sistemas que configuram a rede de drenagem possuem um padrão dendrítico, obedecendo à resistência das rochas uniformes (SUGUIO & BIGARELLA, 1990). SUGUIO & BIGARELLA (1990) que ressaltam ângulos retos e fortes inclinações constituindo anomalias que frequentemente podem ser atribuídas aos fenômenos tectônicos. Por estarem em áreas de alta declividade, suas águas atingem muito rapidamente a zona da planície litorânea, chegando a outro patamar da bacia, que apresenta características morfoestruturais bem diferentes das áreas à montante. Neste setor as águas diminuem suas velocidades acentuadamente.

Na planície litorânea, as águas correm praticamente em grande parte sobre depósitos fluviais, encontrando na desembocadura as planícies de maré na conexão com o sistema estuarino.

A seguir são apresentadas discussões e conclusões referentes à confrontação da fragilidade com cada um dos parâmetros de água.

8.1.1 Temperatura

Os dados de temperatura variaram entre 16 e 26 graus nas bacias chegando a 29,36 na baía (figura 50). Os valores do período chuvoso são visivelmente mais elevados, o que é coerente com o período do ano amostrado. Na distribuição geográfica, ocorrem de forma crescente, da serra para o estuário, claramente obedecendo a critérios morfodinâmicos. As amostras coletadas nas encostas do rio Marumbi apresentaram menor temperatura, que pode estar relacionadas a proximidades das fontes, locais com microclima de temperaturas mais amenas, proporcionado pelas florestas de montana na Mata Atlântica. A jusante, no baixo curso, os valores de temperatura se elevam em função aumento do leito do rio, proporcionando maior contato com a insolação. A temperatura na baía segue mesma tendência, com maiores valores no período chuvoso e sendo mais elevada que nas amostras coletadas nos rios.

Os dados de temperatura respondem com a fragilidade principalmente nos pontos 1M, 2M e 3M, possivelmente por estarem em setores florestados, com temperaturas mais amenas e com fragilidade potencial baixa ou média (figura 50).

Figura 50. Confrontação da fragilidade potencial e emergente com os dados de temperatura das amostras de água.

8.1.2 pH

O pH é uma variável usada para indicar a intensidade da condição ácida ou básica de uma solução, expressando a concentração de íons de hidrogênio (SAWYER *et. al*, 1994). De uma maneira geral, o pH indica se a água é neutra, básica ou ácida. Se estiver com medidas próximas de 7, água neutra, menor que 6, ácida e maior que 8, básica.

Os valores de pH são muito úteis, pois podem nos dar indícios característicos relacionados às condições da água. Nas águas naturais, as variações destes índices são principalmente relacionadas ao consumo e/ou produção de dióxido de carbono (CO_2), realizados pelos organismos fotossintetizantes e pelos processos de respiração e fermentação de todos os organismos presentes na coluna da água, respectivamente (ODUM, 1983). Por outro lado, os valores de pH também podem ser grandemente influenciados pela quantidade de matéria orgânica (natural ou não) decomposta no ambiente, sendo que quanto maior taxa de decomposição, menores valores de pH serão encontrados, pois durante a degradação da matéria orgânica são produzidos diversos tipos de ácidos, tais como ácidos húmicos e fúlvicos (no caso de matéria orgânica natural), conhecidos como substâncias amarelas (ODUM, 1983). Geralmente, as águas superficiais têm um pH entre 4 e 9 (ESTEVES, 1988). Em alguns casos, são ligeiramente alcalinas (básicas) devido à presença de carbonatos e bicarbonatos. Assim, pode-se dizer que nesses casos o pH reflete o tipo de solo por onde a água percorre. Já em locais com uma população muito grande de algas, o pH pode chegar a 9, pois o processo de fotossíntese realizado pelas algas retira gás carbônico, que é a principal fonte natural de acidez da

água. Muitas vezes o pH muito ácido pode também estar associado a emissão de resíduos urbanos (ESTEVES, 1988).

Nas amostras de água avaliadas neste estudo, os valores de pH variaram entre 6,00 e 7,68 (figura 51) dentro da faixa de valores descrita por Esteves (1998), com valores mais baixos (mais ácidos) à montante, localizados em setores de fragilidade potencial média e alta, o que pode estar relacionado à quantidade de ácidos húmicos, característico de locais florestados (LIMA, 1986). No período chuvoso, nestes mesmos pontos foi possível perceber valores ligeiramente mais ácidos, podendo estar relacionado ao maior aporte de matéria orgânica natural, da proveniente de uma maior lavagem e, conseqüentemente, maior carreamento de material vegetal das bacias de drenagem, bem como pela acidez da água da chuva (figura 51). Já na porção final do rio Marumbi, do ponto 4 em diante, e nos pontos do rio Nhundiaquara, em setores de fragilidade potencial mais alta, foi verificado valores de pH ligeiramente mais alcalinos (básicos), o que talvez possa estar associado à presença de florestas menos densas e tendo convergência com unidades de fragilidade potencial mais alta (figura 51). Não foi verificada uma diferença sazonal, nem a ocorrência de concentração em picos, que pudessem sugerir alguma fonte antrópica, com influência da fragilidade emergente alterando drasticamente tal parâmetro (figura 51), fato esse que pode levar a crer que o fator determinante na sua variação estaria nas características naturais com uma elevação progressiva causada pelo aumento da área de drenagem chegando a valores mais elevados, em um sistema hierarquicamente acima como na baía (figura 51).

Figura 51. Confrontação da fragilidade potencial e emergente com os dados de pH das amostras de água.

8.1.3 Oxigênio Dissolvido

O oxigênio dissolvido é outro parâmetro importante para interpretação da qualidade de água, pois é fundamental para os sistemas bióticos nas águas. A análise da variação pode indicar as condições dos sistemas naturais e impactos como a eutrofização e poluição orgânica. Na maioria dos casos, a concentração de oxigênio dissolvido se reduz ao se aproximar de ambientes urbanos, quando os rios recebem emissões de substâncias orgânicas biodegradáveis, encontradas em esgotos domésticos e industriais. Um rio considerado limpo apresenta normalmente de 8 a 10 mg.L⁻¹, podendo variar com a temperatura e a pressão (CARMOUZE, 1994).

Foi uma das variáveis que apresentou diferenças sazonais (entre as concentrações observadas nos períodos seco e chuvoso) praticamente em todos os pontos e em todas as classes de fragilidade potencial. Este padrão sazonal provavelmente foi determinado pela relação com a temperatura e a intensidade de insolação da água. Estes dois fatores limitam grandemente o ambiente em apresentar maior ou menor produção primária líquida, ou seja, com maiores temperaturas e período de insolação, principalmente, haverá maior ou menor quantidade produzido de oxigênio através da fotossíntese (ESTEVES 1988).

Figura 52. Confrontação da fragilidade potencial e emergente com os dados de oxigênio dissolvido das amostras de água.

O padrão sazonal não se repetiu nos pontos à jusante, 6M, 2Nh, e 3Nh, que também apresentaram os menores valores de oxigênio dissolvido (figura 52), provavelmente por estarem localizados em setores de fragilidade emergente muito alta. Nestes locais, a concentração de oxigênio diminui em função do aumento do seu consumo por microorganismos, proporcionando pelo aumento na oferta de alimentos em forma de matéria orgânica na constante emissão de resíduos antrópicos, nas áreas agrícolas e urbanas de Morretes.

A mesma justificativa pode ser atribuída à queda na concentração de oxigênio na baía de Antonina, uma vez que o aporte de matéria orgânica, natural e/ou antrópica neste local também é elevada. Ainda, neste ponto a alta concentração de material particulado dissolvido e, conseqüentemente, da turbidez da água, a intensidade de luz que percorre a coluna da água é reduzida e, desta forma, pode reduzir também a quantidade de oxigênio produzido, como citado anteriormente.

8.1.4 Silicato Reativo

As águas doces normalmente contêm em solução silicatos, em várias proporções, dependendo da natureza geológica dos terrenos adjacentes, da quantidade de matéria orgânica que é lançada ao manancial, e de fatores indiretos tais como temperatura do ar e da água. A precipitação, dentre outros fatores aumenta ou diminui a sua solubilidade e concentração. O silício é encontrado em várias formas químicas, sendo a mais comumente identificada e monitorada a de silicato reativo ou ortossilicato. São de grande importância para a constituição física de alguns grupos de microalgas, especialmente as

diatomáceas e silicoflagelados (WETZEL & LIKENS, 1979) e, portanto, para a produtividade geral de sistemas com predominância destas espécies de fitoplâncton.

Seguindo o exemplo ocorrido com outras variáveis, a compartimentação físico natural das bacias proporcionou um aumento contínuo nas concentrações nas amostras coletadas nos rios (figura 53). Analisando os dados de silicato, percebe-se uma diferença clara entre os compartimentos montanhosos e da planície. Enquanto nos pontos à montante do rio Marumbi os valores não ultrapassam $20\mu\text{M}$, na planície estas médias quase que duplicam. Esses resultados podem estar associados à leve alcalinidade já verificada nestes pontos por Marques (2005), que pode influenciar sobre o processo de adsorção do silicato. Nesta variável, o aumento dos níveis nos pontos da planície também pode indicar o acúmulo deste material fruto dos processos erosivos associados a unidades de fragilidade potencial e emergente mais alta (figura 53), principalmente em espaços de ocupação humana ao longo de toda a bacia. No estuário, a diminuição de sua concentração pode estar associada à presença de mais consumidores, como microalgas (diatomáceas).

Observa-se também uma grande diferença entre as fases de amostragem. As menores concentrações associadas à fase chuvosa provavelmente é atribuída à maior diluição deste constituinte durante o período de constantes chuvas de verão.

Figura 53. Confrontação da fragilidade potencial e emergente com os dados de silicato das amostras de água.

8.1.5 Material Particulado em Suspensão

Estudos do LOICZ (2000) (*Land Ocean Interaction Coastal Zone*) em todo mundo têm procurado monitorar os fluxos da interação terra-oceano e, apesar de sua quantificação não fazer parte dos objetivos deste trabalho, esse fluxos influenciam de forma determinante a dinâmica ambiental local. Os dados coletados por MONTAVANELLI (1999) mostram indício destes fluxos, nos quais os rios Nhundiaquara e Marumbi aparecem com destaque no transporte de material particulado entre os sistemas continental e estuarino.

Observando os dados de material particulado em suspensão (figura 54) nota-se que os pontos à jusante, próximos à área de ocupação com agricultura e o meio urbano, têm os valores aumentados, principalmente os pontos 6M, 2Nh e 3Nh, o que pode ser influência deste tipo de ocupação convergindo tanto com a fragilidade potencial e emergente que aumentam também nestes pontos de amostragem. Analisados em uma escala maior, para comparação com a baía, nota-se que a quantidade de material particulado em suspensão (MPS) encontrados nos rios é consideravelmente mais baixo (figura 54), o que se é esperado, uma vez que estuários são locais onde geralmente encontram-se maiores quantidades de material particulado em suspensão, oriundos do acúmulo de todas as bacias de drenagem. Outro fator que corrobora para esse aumento pode ser a ressuspensão de sedimentos de fundo, devido à grande hidrodinâmica e baixas profundidades normalmente encontradas em alguns setores dos estuários.

Figura 54. Confrontação da fragilidade potencial e emergente com os dados de temperatura das amostras de água.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

9.1 A PROPOSTA INICIAL DA PESQUISA E SEUS RESULTADOS

Para realizar as propostas iniciais desta pesquisa, os objetivos buscam identificar, mapear, classificar correlacionar e confrontar dados, para obtenção das conclusões. De certa forma, considera-se que os objetivos foram alcançados.

Na identificação das variáveis optou-se por escolher as mais significativas entre as informações disponíveis. As informações para identificação mapeamento e análise do meio físico (relevo, solos, geologia, vegetação e uso da terra) estão identificadas com apoio das tecnologias SIG representadas pelas bases cartográficas.

A identificação das condições da água está construída sobre as informações obtidas nas amostragens de água realizadas nas bacias, que são utilizadas como informações secundárias, cedidas pelo Centro de Estudos do Mar (tabela em anexo). Já as informações sobre as condições das águas no estuário estão identificadas com os experimentos de campo e laboratório realizados por esta pesquisa, geradores das informações primárias, importantes para interpretações sobre a relação hierárquica entre sistemas de diferentes grandezas.

A classificação e o estabelecimento de pesos são apresentados nesta pesquisa sob influência dos parâmetros estabelecidos por ROSS (1994), com modificações e adaptações realizadas em função das características físicas regionais.

A forma de correlação e combinação das informações é apresentada com auxílio das tecnologias SIG, representadas pelas ferramentas computacionais através dos softwares Spring, Idrisi e Corel Draw.

As conclusões sobre a morfodinâmica das bacias estão expressas com a fundamentação principalmente dos trabalhos de Maack, Bigarella e Angulo, assim como com

o mapeamento das cartas temáticas, os perfis integrados dos rios Nhundiaquara e Marumbi e das condições da água.

9.1.1 Análise crítica do modelo

Os resultados da fragilidade ambiental apresentados nesta pesquisa servem para confirmar a complexidade da modelagem dos sistemas ambientais. O processo de modelagem é um grande desafio, pois implica combinar e compreender informações quantitativas e qualitativas entre as variáveis ambientais e a dinâmica complexa que envolve as paisagens subtropicais.

Uma das maiores dificuldades neste trabalho foi concretizar a busca e obtenção de informações principalmente relacionadas às características físicas e sociais das bacias. São poucos os estudos nas áreas, desde os clássicos trabalhos de MAACK, BIGARELLA e ANGULO, e obter as informações especializadas foi mais difícil ainda, sendo estas obtidas com muita insistência junto aos órgãos governamentais.

No modelo de fragilidade, entre os dados, uma das deficiências foram as informações de solo e climatologia. No caso dos solos a falta de trabalhos mais locais com reconhecimentos mais precisos obrigou-nos a utilizar informações e levantamentos generalizados, em escalas que não respondem adequadamente à necessidade desta pesquisa.

O mesmo ocorreu com as informações climatológicas visto que não foi possível obter dados de mais estações meteorológicas, porém deve-se ressaltar que a influência e as informações climáticas não foram excluídas da análise, visto que foi considerada tanto na estratégia de amostragem de água, quanto nas discussões deste trabalho, onde se levou em conta a elevada pluviosidade a que a área está submetida.

Como todos os experimentos de fragilidade ambiental, a subjetividade na definição dos pesos para estabelecer as combinações geradas das classes, sempre será um fator decisivo, no produto final. Este resultado sempre estará determinado pelos diferentes pontos de vista e de formação profissional do pesquisador. Desta forma, quanto maior a quantidade de informações e quanto melhor a qualidade destas, maior a chance de se chegar a melhores resultados.

Mesmo com as deficiências observadas, sobretudo às relativas aos solos, o modelo apresentou resultados satisfatórios quanto a fragilidade.

A fragilidade potencial ao apontar índices elevados em setores de alta declividade, ou ainda a planície com solos pouco consolidados são resultados coerentes e esperados. Ao indicar áreas com fragilidade baixas em setores de baixas declividades e com cobertura vegetal densa também são resultados satisfatórios.

Da mesma forma a fragilidade emergente ao apontar os setores com índices mais altos os espaços ocupados por atividades rurais e urbanas, e os mais baixos com vegetação mais densa, também são coerentes

9.1.2 Resultados da convergência entre fragilidade e as condições das águas

O conhecimento das variáveis físico-químicas e biológicas da água, em escalas temporal e espacial, permite a avaliação das condições ambientais do sistema, sua variabilidade e tendências. Além disso, estas informações constituem a base para a avaliação da capacidade de suporte do ambiente para diversas atividades (PENNEY *et al.*, 2001). Entretanto, é importante mencionar que se torna cada vez mais difícil a avaliação das alterações nas características ambientais, uma vez que a intervenção humana é comum à maioria dos ambientes.

Ao apresentar as cartas de fragilidade potencial e emergente, juntamente com os gráficos representando os resultados laboratoriais das condições da água (figuras 50, 51, 52, 53 e 54), pode-se observar que existe correlação com o resultado do modelo, corroborando para a hipótese deste trabalho. Esta correlação se observa principalmente com os dados de material particulado em suspensão (MPS), que são mais expressivos nos pontos onde a fragilidade está entre forte e muito forte. Isso concretamente representa um fenômeno e um resultado de relação direta entre a capacidade natural do sistema e a carta de fragilidade potencial, que indica fragilidades altas nas regiões mais baixas da planície com solos pouco consolidados sempre sujeitos a erosão, e carta de fragilidade emergente que comprova que o ambiente urbano e agricultura de ciclo curto disponibilizam uma carga maior de material particulado no sistema, alterando as condições da água.

No caso dos dados de temperatura e pH parecem estar respondendo mais ao ambiente natural, da fragilidade potencial, já que os valores dessas variáveis aumentaram à medida que aumentou a área da bacia, sem nenhum pico significativo que indicasse algum efeito antrópico direto. Os pontos localizados em áreas com fragilidade baixa (figura 51) responderam diferentemente com a maior fragilidade à jusante.

O silicato mostrou poder estar respondendo tanto à fragilidade potencial com a possibilidade de acúmulo natural, quanto à fragilidade emergente, com a probabilidade de este elemento estar mais disponível em função dos processos de ocupação.

Já os dados de oxigênio dissolvido e material particulado em suspensão parecem ter respondido melhor à fragilidade emergente. No caso do oxigênio dissolvido, possivelmente pode ter diminuído em função da maior emissão de matéria orgânica, tanto da agricultura como da cidade, induzindo a um aumento da atividade microbiana para degradação desse material e, conseqüentemente, levando a uma diminuição nos teores de oxigênio dissolvido na água.

Por sua vez, nas condições apresentadas pela água a concentração de material particulado em suspensão nas áreas localizados com fragilidade forte e muito forte, também em ambientes de agricultura e urbanização, parece indicar a aceleração de processos erosivos laminares, aumentando o transporte de material sólido para os rios.

Os valores de material particulado em suspensão apresentados no estuário, revelam uma diferença significativa para os valores apresentados nas bacias, configurando assim, sistemas naturais com hierarquia e tamanho diferentes, onde estrutura e dinâmica das bacias costeiras estão inseridas em ambientes regionais mais amplos constituindo o ambiente costeiro.

9.2 A IMPORTÂNCIA DOS ESTUDOS INTEGRADOS E DA PRÁTICA INTERDISCIPLINAR NO PLANEJAMENTO AMBIENTAL E NA EDUCAÇÃO BÁSICA

No âmbito geral, o que de mais positivo pode ser apontado nos resultados desta pesquisa é a geração de informações integradas e sistematizadas, capazes de oferecer suporte para tomada de decisões dos poderes públicos, principalmente o poder executivo municipal. Essas informações ou a aplicação desta proposta em outras bacias podem ser úteis tanto no planejamento ambiental como na educação pública básica.

No planejamento, as informações servem de base para estratégias de uso e ocupação do espaço, tornando-se ferramentas para planos diretores municipais ou para planejamentos regionais como planos de gerenciamento costeiro integrado.

Diferente da maioria das pesquisas sobre fragilidade ambiental que sempre ao seu final indicam os resultados importantes somente para o planejamento, neste deseja-se adicionar e ressaltar a importância das informações para as escolas públicas e suas comunidades.

Tradicionalmente o planejamento municipal sempre é feito por agentes externos que geralmente não conhecem a dinâmica ambiental do local, ou por agentes internos, que conhecem o local, mas são desprovidos do conhecimento técnico-científico.

Neste sentido a escola pública pode ter imensa colaboração no uso adequado da terra, trabalhando com seus alunos os resultados e informações deste e outros trabalhos, conhecendo melhor o local onde vivem e capacitando desde cedo os moradores da cidade e das comunidades menores e mais isoladas, diminuindo a grande distância que existe entre conhecimento ambiental e a população.

Outra consideração importante que se pode extrair desta pesquisa, é que, o fortalecimento dos estudos integrados passa por projetos e experimentos práticos de interdisciplinaridade. Para atender aos desafios reais não bastam discutir somente a teoria nos debates científicos, mas também a prática. No desenvolvimento de trabalhos com uma visão mais integradora, é determinante a parceria entre os profissionais atuantes na área, como geógrafos, geólogos, biólogos, oceanógrafos, sociólogos, entre outros e para isso é preciso reduzir o isolamento das ciências, que de forma tradicional, em sua maioria ainda trabalham muito compartimentadas.

Neste início de século XXI, surge cada vez mais à necessidade de projetos que coloquem frente a frente, na mesma pesquisa com os mesmos objetivos, geografia, geologia, biologia e ciências sociais, pois se continuarem isoladas voltadas para si mesmas continuar-se-á interpretando apenas as partes do todo que compõem os sistemas naturais.

Ao integrar na prática dados e informações das características físicas e sociais dos ambientes, talvez a sociedade possa estar um pouco mais próxima das respostas para as perguntas colocadas na introdução deste trabalho, as quais põem em dúvida a capacidade humana em manter a própria sobrevivência e de pensar e refletir novas idéias e propostas de vida.

Finalmente, considera-se importante continuar seguindo o caminho da visão integrada, sempre buscando técnicas inovadoras, que possam vir a contribuir para que a sociedade reconheça e compreenda cada vez mais a natureza e ao mesmo tempo a si mesma, frente aos diversos desafios ligados ao uso indiscriminado dos recursos naturais.

10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB´SÁBER, A. N. **Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o quaternário**. Geomorfologia. n. 18, IG-USP, S. Paulo, 1969.
- AB´SÁBER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil, potencialidades paisagísticas**. São Paulo, Ateliê Editorial, 2003.
- ALMEIDA F. F. M., CARNEIRO C. D. R. **Origem e evolução da Serra do Mar**. Rev. Bras. Geoc. **28**(2): 135-150, 1998.
- ALMEIDA, J. R. & TERTULIANO, M. F. **Diagnose dos Sistemas Ambientais: métodos e indicadores** in Sandra Baptista da Cunha e Antonio José Teixeira Guerra (org.) **Avaliação e Perícia Ambiental**. Rio de Janeiro; Bertrand Brasil, 1999.
- AMARAL, R. & ROSS, J. L. S. **As unidades ecodinâmicas na análise da fragilidade ambiental no Parque Estadual do Morro do Diabo e entorno, Teodoro Sampaio/SP**. Revista GEOUSP – Espaço e Tempo, São Paulo, 26:59-78. 2009.
- ANGEL, J. D. R. **Los sedimentos del Río Magdalena: Reflejo de la crisis ambiental**, Publicado por Universidad Eafit, 2005.
- ANGULO, R. J. **Geologia da Planície Costeira do Estado do Paraná**. Tese de doutoramento, USP 1992.
- ANGULO, R. J. **Mapa do Cenozóico do litoral do Estado do Paraná**. Boletim Paranaense de Geociências, 55:25-42. 2004.
- BERTALANFFY, L. **Teoria Geral dos Sistemas**. Petrópolis. Vozes, 1975.
- BERTRAN, G. **Paisagem geografia física global, esboço metodológico**. (13) Caderno de Ciências da Terra, USP, São Paulo, 1971.
- BIGARELLA, J. J. **A serra do mar e a porção oriental do Estado do Paraná. Governo do Estado do Paraná**, 1978.
- BIGARELLA, J. J.; SALAMUNI, R.; MARQUES F. P. L. **Ocorrência de Depósitos sedimentares continentais no Litoral do Estado do Paraná**. Curitiba, Not. Prel. Est. Inst. Biol. Pesq. Vol. 1. 1959.
- BIGARELLA, J. J. **Contribuição ao estudo da planície costeira do Paraná**. Brazilian Archives in Biology and Tecnology, publicação especial. 2001.
- BRAGA, E. S.; ESCHRIQUE, S. A.; BASTOS, A. T. C.; COELHO, L. H. F. **Silicato dissolvido e seu papel traçador de aportes Terrestres/sedimentares e sistemas estuarinos**. Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo. 2002

- BRAGA, B. **Introdução a Engenharia Ambiental**. São Paulo. Pratices Hall, 305 p. 2002.
- CARMOUZE, J. P. **O Metabolismo dos ecossistemas aquáticos: fundamentos teóricos, métodos de estudo e análises químicas**. São Paulo. Editora Edgard Blücher. FAPESP. p.253. 1994.
- CARLOS, A. F. **América Latina: O urbano no contexto da Globalização**. Curso ministrado no doutorado em meio Ambiente e desenvolvimento da UFPR. 1996.
- CASSETI, V. **Ambiente e apropriação do relevo**. São Paulo. Contexto, 1991.
- CAVALCANTI, A. P. B. (organizador) **Desenvolvimento sustentável e planejamento**. UFC. Fortaleza. 1997.
- CHAUÍ, M. S. **Vida e Obra de Kant in Coleção Os Pensadores: Kant**. São Paulo, Editora Nova Cultural. 1996.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2º Edição Editora Edgard Blücher, 1980.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo. Edgar Blücher. 1999.
- CONTI, J. B. **A Geografia física e as relações sociedade/natureza no mundo tropical**. Humanistas Publicações FFLCH/USP, São Paulo. 1997.
- CREPANI, E. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial**. Ministério da Ciência e Tecnologia – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais / INPE. São José dos Campos. 2001.
- DAY, J. W.; HALL, C. A. S.; KEMP, W. M.; YANEZ-ARANCIBIA A. **Estuarine Ecology**. Ed. Wiley, New York. p. 558. 1989.
- DREW, D. **Processos Interativos Homem-Meio Ambiente**. 3ºEd., Editora Bertrand Brasil. São Paulo, 1994.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Levantamentos de reconhecimentos de solos do Estado do Paraná**. 2º volume. Londrina, 1981.
- ENGELS, F. **A Dialética da Natureza**. Paz e Terra 5ª Edição, RJ. 1991.
- ESTEVES, F. **Fundamentos da limnologia**. Rio de Janeiro. Interciência. FINEP. 574p. 1998.
- FIERS, M. **As abordagens sistêmicas e do equilíbrio dinâmico na análise da fragilidade ambiental do litoral do estado de São Paulo: Contribuição à Geomorfologia das planícies costeiras**. Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado, São Paulo, 2008.
- GREGORY, K.J. **A Natureza da Geografia Física**. Ed. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 1992.

- GRIGORIEV, A. **The theoretical fundaments of modern physical geography**. In: The Interaction of Sciences in the Earth, Moscou, 1968.
- HOLEMAN, J.N. **The sediment yield of major river of the Word**. Wat. Resour. Vol 4, p. 737-747. 1968.
- HUMBOLDT, A. V. **Kosmos - Entwurf Einer Physischen, Weltbeschreibung Stuttgart-Tubingen**, 1845. Disponível em: <http://ivairr.sites.uol.com.br/humboldt.htm> (site de transcrição de textos originais). Data da Pesquisa: 20/04/2010.
- IPARDES. **Caderno Estatístico do Município de Morretes**, Curitiba, 2009.
- IAPAR. Instituto agrônomo do Paraná. **Cartas Climáticas do Estado do Paraná**. Londrina, 1994.
- KANT, E. **Crítica da Razão Pura**. Tradução de Valério Rohden e Udo Baldur Moosburger, in **Coleção os Pensadores: Kant**, São Paulo, Editora Nova Cultural. 1996.
- KLEIN R. M. **Aspectos fitofisionômicos da mata Pluvial da Costa Atlântica do sul do Brasil**. Boletim sociedade Argentina de Botânica, vol IX, 1979.
- KOZCIAK, S. **Análise da estabilidade de vertentes na bacia do Rio Marumbi – Serra do Mar – Paraná**. Tese de Doutorado. UFPR, Curitiba, 2005.
- KRASILNIKOK, U. A. **Soil Microorganisms and Higher Plants**. 1958. Disponível em: <http://www.soilandhealth.org/01aglibrary/010112Krasil/010112krasil.intro.html>. Data da Pesquisa: 28/04/2010.
- LESSA, C. G., ANGULO, R., GIANNINI, P. C.; ARAÚJO, A. D. **Estratigraphy and Holocene Evolution of a Regressive Barrier in South Brazil**. Marine Geology (no prelo) 2000.
- LYELL, C. **Principles of Geology**, vol III. Londres, John Murray, Albemarle Strit, 1853.
- MAACK, Reinhard. **Geografia Física do Estado do Paraná**. Max Roesner Ltda, Curitiba. 1968.
- MATEO, J. & RUA, A. **Curso de Meio Ambiente Urbano**, ministrado no Departamento de Planejamento Regional, UNESP, Rio Claro. 1996.
- MONTEIRO, A. F. C. **William Morris Davis e a Teoria Geográfica**. Revista Brasileira de Geomorfologia, volume 2, 1; 1-20. 2001.
- ODUM, E. P. **Ecologia**. Ed. Guanabara, Rio de Janeiro. 1988.
- PASSOS, E. **Classificação fitogeomorfológica de ecossistemas florestais numa porção do setor oriental do estado do Paraná**, UFPR, Tese de Doutorado. Curitiba/PR. 2000.
- PENTEADO, M. **Fundamentos de Geomorfologia**. IBGE, Rio de Janeiro, 1980.

- PRATA-Jr. V. **Caracterização geral das condições climáticas no litoral do Paraná**, Monografia de Conclusão de Curso, UFPR, Curitiba, 1996.
- PENK, W. **Morphological Analysis of land forms: A Contribution to Physical geology** London: Mc Millan, 1953.
- PENNEY, R. W.; MACKENZIE, C. H.; MILLS, T. J. **Assessment of the particulate food supply available for mussel (*Mytilus spp.*) farming in a semi-enclosed northern Inlet**. Estuarine, Coastal and Shelf Sciences. 53:107-121. 2001.
- RC/APA-CEM. **Relatório Consolidado**, Centro de Estudos do Mar, UFPR, 2003.
- RITTER, C. **A organização do espaço na superfície do globo e sua função na evolução histórica**. Disponível em: <http://ivairr.sites.uol.com.br/ritter.htm> (site de transcrição de textos originais). Data da pesquisa: 20/04/2010.
- ROSA, M. R. & ROSS, J. L. S. **Aplicação de SIG na geração de cartas de fragilidade**. Revista do Departamento de Geografia da USP. 13;77-105. 1999.
- ROSS, J. L. S. **Geomorfologia, ambiente e planejamento**. (Coleção Repensando a Geografia). São Paulo: Contexto, 1990.
- ROSS, J. L. S. **O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxionomia do relevo**. Revista do Departamento de Geografia da USP. São Paulo. 6:17-29. 1992.
- ROSS, J. L. S. **Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados**. Revista Do Departamento de Geografia. FFLCH-USP, São Paulo, n. 8. 1994
- ROSS, J. L. S., **Ecogeografia do Brasil - Subsídio para Planejamento Ambiental**. São Paulo, Oficina de Textos, 2006.
- ROSS, J. L. S. **Geografia e as transformações da natureza: relação sociedade-natureza**. Coleção por uma Geografia Latino-Americana. Ed. Expressão Popular. 1ª Edição. São Paulo. 2009.
- SANTOS, M. **A natureza do espaço, técnica e tempo razão e emoção**. São Paulo, HUCITEC, 1996.
- SAWYER, C. N.; McCARTY, P. L.; PARKIN, G. F. **Chemistry for environmental engineering**. 4º ed. New York. McGraw-Hill Book Company. 658p. 1994.
- SEMA. **Mapeamento da Floresta Atlântica do Estado do Paraná: cartilha de apoio à interpretação das cartas de vegetação**. Curitiba. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. 2002.
- SUGUIO, K. **Flutuações do nível relativo do mar durante o quaternário superior ao longo do litoral Brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira**. Revista Brasileira de Geociências. São Paulo, 15 (4): 273-286, 1985.

- SOTCHAVA, V. B. **O Estudo de Geossistemas**. Métodos em questão. USP, IG. São Paulo, (16) 1977.
- TROPPMAIR, H. **Biogeografia e meio ambiente**. Rio Claro. Editora da Universidade Estadual Paulista. 3ª ed. 1989.
- UNEP. **Marine and coastal ecosystems and human wellbeing: A synthesis report based on the findings of the Millennium Ecosystem Assessment**. UNEP. 76 p. 2006.
- VASCONCELLOS, E. M. J. **Pensamento Sistêmico. O Novo Paradigma da Ciência**. Campinas: Papirus, 4 edição. 268p. 2002.
- VELOSO, H. P. **Classificação da vegetação Brasileira adaptada ao Sistema Universal**. Rio de Janeiro, IBGE. p. 123. 1991.
- VITTE, A. & GUERRA, A. J. T. **Reflexões sobre Geografia Física no Brasil**. Rio de Janeiro, Editora Bertrand Brasil, 2004.

ANEXOS

Anexo 1. Dados dos parâmetros de água das bacias e da Baía, considerando as fases chuvosa, seca e a média entre as duas fases. OD: Oxigênio Dissolvido, MPS: Material Particulado em Suspensão, M: Rio Marumbi e Nh: Rio Nhundiaquara.

Fase	Ponto	Temperatura (°C)	pH	OD (mg/L)	Silicato (µM)	MPS (mg/L)
Chuvosa	1M	16,20	6,00	8,23	11,52	4,17
	2M	16,53	5,68	8,37	9,03	0,55
	3M	16,80	5,91	8,48	5,49	1,15
	4M	23,07	7,21	7,92	21,57	0,91
	5M	25,33	7,21	7,77	24,59	1,32
	6M	27,07	7,25	7,28	25,77	6,75
	1Nh	23,83	7,24	7,68	20,89	1,73
	2Nh	26,37	7,35	7,15	30,35	2,55
	3Nh	26,07	7,22	7,32	30,26	4,53
	Baía	29,36	7,68	5,55	27,59	109,59
Seca	1M	12,43	6,66	9,10	15,47	0,59
	2M	12,00	6,67	9,30	8,73	0,23
	3M	12,33	6,72	8,90	14,38	0,35
	4M	17,03	7,25	8,70	38,92	0,42
	5M	18,20	7,60	8,60	47,92	1,17
	6M	19,43	7,53	7,30	53,63	6,40
	1Nh	16,90	7,45	8,80	38,32	1,72
	2Nh	18,70	7,43	7,60	42,84	2,61
	3Nh	18,57	7,60	7,40	54,27	4,83
	Baía	26,00	7,84	5,90	17,60	78,97
Média	1M	14,32	6,33	8,67	13,50	2,38
	2M	14,27	6,18	8,83	8,88	0,39
	3M	14,57	6,31	8,69	10,83	0,75
	4M	20,05	7,23	8,31	31,98	0,66
	5M	21,77	7,40	8,18	38,59	1,25
	6M	23,25	7,39	7,29	42,49	6,58
	1Nh	20,37	7,34	8,24	31,35	1,73
	2Nh	22,53	7,39	7,38	37,84	2,58
	3Nh	22,32	7,41	7,36	44,67	4,68
	Baía	27,68	7,76	5,72	22,59	94,28

Anexo 2. Dados dos parâmetros de água das amostragens realizadas na Baía de Antonina nos meses de novembro/2002 e fevereiro/2003. OD: Oxigênio Dissolvido, MPS: Material Particulado em Suspensão.

	Amostragem	Coletas de Novembro/2002			Coletas de Fevereiro/2003		
		1	2	3	1	2	3
TEMPERATURA (°C)	Superfície	26,00	26,00	26,00	29,07	29,42	29,58
	Fundo	26,00	26,00	26,00	29,33	29,30	29,43
pH	Superfície	7,82	7,81	7,86	7,54	7,69	7,70
	Fundo	7,84	7,87	7,86	7,72	7,75	7,64
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	Superfície	6,09	6,24	6,11	5,93	6,16	6,13
	Fundo	5,65	5,58	5,71	5,40	4,95	4,75
Silicato Reativo (µM)	Superfície	21,17	20,32	18,73	42,52	31,43	32,75
	Fundo	16,99	13,29	15,10	21,24	16,86	20,72
MPS (mg/L)	Superfície	60,74	67,13	61,12	49,13	75,73	72,39
	Fundo	89,09	93,34	102,38	137,91	146,97	175,41

Anexo 3. Relatórios automáticos com os resultados da fragilidade potencial gerados pelo *software* IDRISI.

COMBINAÇÃO FRAGILIDADE DECLIVIDADE

Cross-tabulation of fragilidade_ross_4 (columns) against declividade_ross5 (rows)

	0	1	2	3	4	5	Total
0	129433741	0	0	0	0	0	129433744
1	0	61828	138695	1073	1570608	191542	1963746
2	1	45242	4231534	1120549	1411524	7363	6816213
3	0	0	0	4467606	2482543	112736	7062885
4	1	0	0	495144	631789	27164	1154098
5	0	0	0	0	183956	265361	449317
Total	129433744	107070	4370229	6084372	6280420	604166	146880000

COMBINAÇÃO FRAGILIDADE GEOLOGIA

Cross-tabulation of fragilidade_ross_4 (columns) against geologia (rows)

	0	1	2	3	4	5	Total
0	129430096	0	0	0	0	0	129430096
1	0	82971	1962333	2031549	287501	14915	4379269
2	658	15187	812644	1231505	1101432	120325	3281751
3	0	485	243603	894254	1195823	89034	2423199
5	0	0	16834	703921	71350	144405	936510
6	1279	655	645325	448256	22804	2009	1120328
9	236	0	0	51769	3238013	27405	3317423
10	0	12	8765	18232	607	0	27616
11	139	0	25052	49779	3517	470	78957
18	0	1559	165546	210064	289983	4080	671232
19	1044	785	366753	333547	12750	3114	717993
23	136	33	12905	44459	54438	4731	116702
25	14	0	3425	3500	121	0	7060
26	0	0	384	4537	1630	0	6551
27	0	992	76191	26691	0	0	103874
28	0	4391	30469	32309	451	0	67620
32	8	0	0	0	0	104093	104101
34	133	0	0	0	0	89585	89718
Total	129433752	107070	4370229	6084372	6280420	604166	146880000

COMBINAÇÃO FRAGILIDADE SOLOS

Cross-tabulation of fragilidade_ross_4 (columns) against solos (rows)

	0	1	2	3	4	5	Total
0	129433741	0	0	0	0	0	129433744
3	0	5563	701541	1322701	539491	2234	2571530
4	0	5611	945582	2305527	346630	10750	3614100
5	1	36832	1596324	909417	63946	283	2606803
6	0	59064	0	11792	0	0	70856
7	0	0	283382	178362	1770061	195147	2426952
8	1	0	0	653616	2825313	388937	3867867
10	0	0	724130	613845	271501	5942	1615418
13	0	0	4067	3457	126	51	7701
14	0	0	114728	84075	463151	769	662723
16	0	0	475	1580	201	53	2309
Total	129433744	107070	4370229	6084372	6280420	604166	146880000

Anexo 4. Relatórios automáticos com os resultados da fragilidade emergente gerados pelo *software* IDRISI.

COMBINAÇÃO FRAGILIDADE USO DA TERRA

Cross-tabulation of fragilidade_ross_emergente_final (columns) against pesos_uso_ross2 (rows)

	0	1	2	3	4	5	Total
0	129425285	0	0	0	0	0	129425288
1	4147	49335	7286326	3459258	0	0	10799066
2	4112	0	1500922	4471142	0	0	5976176
3	52	0	996	32426	98	0	33572
4	147	0	0	90452	522776	0	613375
5	0	0	0	0	0	32526	32526
Total	129433744	49335	8788244	8053278	522874	32526	146880016