

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
Programa de Pós graduação em Ecologia e Recursos Naturais

Integração entre Ecologia de Bacias Hidrográficas e
Educação Ambiental para a conservação dos rios
da Serra do Mar no Estado do Paraná

por

Paulo Henrique Carneiro Marques

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais da UFSCar como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Ciências (Ciências Biológicas), área de concentração: Ecologia e Recursos Naturais.

Orientação:

Prof^a Dr^a Haydée Torres de Oliveira

São Carlos – SP
Setembro de 2004

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária/UFSCar**

M357ie

Marques, Paulo Henrique Carneiro.

Integração entre ecologia de bacias hidrográficas e educação ambiental para a conservação dos rios da serra do mar no estado do Paraná / Paulo Henrique Carneiro Marques. -- São Carlos : UFSCar, 2005.
177 p.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2004.

1. Rios e riachos. 2. Ecologia de rios. 3. Educação Ambiental. 4. Serra do mar. 5. Bacias litorâneas. 6. Recursos hídricos. I. Título.

CDD: 574.526323 (20^a)

Agradecimentos

Durante a realização deste trabalho tive contato com várias instituições de ensino e pesquisa, e em todas elas tive o privilégio de conhecer e interagir com várias pessoas de diferentes formações. Todas estas pessoas tiveram papéis importantíssimos no muito que aprendi e no pouco que consegui fazer, e a todas sou muito grato. Tentarei colocá-las em uma lista, mas desde já peço desculpas se alguém ficou de fora:

Profª Drª Haydée Torres de Oliveira, orientadora, pela amizade e por sua dedicação e exemplo profissional;

Biólogos e grandes amigos Paulo Pagliosa e Nilva Brandini, pelo auxílio fundamental nas fases de campo e laboratório;

Profª Drª Eunice da Costa Machado, pela confiança, amizade e disponibilização da infraestrutura necessária;

Aos amigos Teó e Carmen, pela generosa hospedagem em São Carlos durante todo o período que passei aqui;

Professores, funcionários e colegas do Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, pela oportunidade e ótimo ambiente de trabalho;

Professores, funcionários e colegas Centro de Estudos do Mar da UFPR, especialmente Liciane, do laboratório de Biogeoquímica Marinha;

Sociedade Fritz Müller de Ciências Naturais, pela oportunidade de interação e pelo apoio ao projeto de pesquisa que resultou nesta tese;

Fundação O Boticário de Proteção à Natureza, pelo patrocínio ao projeto 055420021, que possibilitou a estrutura para o trabalho de campo;

Bióloga Michela Carboni, professores José Anevan e José Leite, e todos os alunos do Colégio Arnaldo Busato (Pinhais-PR) que participaram do grupo de estudo;

Equipe Secretaria Municipal da Educação de Curitiba (PR) e a todos (as os professores(as) das escolas que me deram a oportunidade de trabalho e interagiram com esta pesquisa de forma tão especial;

Aos muitos amigos que arranjei em São Carlos e, claro, aos incríveis Paralelos do Ritmo.

Ao “Gente Boa da Melhor Qualidade” e ao mestre Nelson Sargento.

Aos grandes amigos Paulinho, Miriam, Alessandra, Deborah, Mauro, Lu, Danilo, Gastão, Araci, Caio e Theo.

Turma da Toca, pela convivência e aprendizado: Angélica, Gledson, Gabi, Beto, Fernando, Cassiano Ari, Amazonas, Liliani, Marise, Juliana, Michel, Max, Mônica, Renato e Paxá.

Aos meus pais, Helio e Diana, por serem quem são.

À Adriana Cecília, minha companheira pela vida afora.

E, finalmente, devo agradecer ao meu país pela oportunidade de ter estudado desde o ensino primário até o doutorado em escolas **públicas, gratuitas** e de alta **qualidade**, tendo concluído o mestrado e o doutorado graças a uma bolsa de estudos MEC/CAPES. Espero sinceramente que meu trabalho futuro possa contribuir de alguma forma para que outros continuem tendo esta oportunidade.

SUMÁRIO

Resumo	VII
Abstract	IX
Listas de figuras e tabelas.....	XI

Introdução Geral

1.0 – Introdução	1
1.1 – A crise da água	1
1.2 – Água, molécula simples movendo a complexa natureza	5
1.3 – Água e cultura	7
2.0 - O Problema	8
2.1 – Recortes	10
3.0 – Objetivos Gerais	10
4.0 – Delimitação da pesquisa	11
4.1 – Descrição dos capítulos	11
4.2 – Abordagem interdisciplinar	14
4.3 – Articulação dos trabalhos desenvolvidos	17
4.4 – Contexto Regional	18
5.0 – Referências bibliográficas	21

Capítulo I

Estudo Ecológico de rios das vertentes continental e oceânica da Serra do Mar no Paraná

1.0 – Introdução	22
2.0 – Objetivos	23
3.0 - Caracterização da área de Estudo	24
3.1 – Localização	24
3.2 – Clima	30
4.0 - Material e métodos	33
4.1 – Desenho amostral	33
4.2 – Material de campo	35
4.3 – Amostragem e métodos de análise	36
4.4 – Análise e integração dos resultados	38
5.0 – Resultados: análise física e química da água	39
5.1 – Temperatura	39
5.2 – pH	40
5.3 – Condutividade	41
5.4 – Material particulado em suspensão (seston)	42
5.5 – Oxigênio Dissolvido	43

5.6 – Demanda Bioquímica de Oxigênio	44
5.7 – Nutrientes	45
5.8 – Clorofila – a	56
6.0 – Ordenação espacial a partir de variáveis limnológicas	58
7.0 – Considerações finais	63
8.0 – Referências bibliográficas	65

Capítulo II

Zoneamento das bacias hidrográficas a partir de variáveis limnológicas: uma ferramenta para o planejamento e para a Educação Ambiental

1.0 – Introdução	68
1.1 – Bacias hidrográficas como unidade de estudo	68
1.2 – Problema	69
2.0 – Objetivos específicos	70
3.0 – Fundamentação Teórica	71
3.1 – Ecologia da Paisagem	71
3.2 – Unidades de paisagem	76
3.3 – Ecologia de Rios	77
4.0 – As paisagens nas bacias hidrográficas estudadas	87
4.1 – Descrição da vegetação	87
4.2 – Geomorfologia	94
4.3 – Histórico de ocupação e demografia	95
4.4 - Uso do solo	96
4.5 – Elaboração dos mapas	97
4.6 – Definição das unidades de paisagem	99
5.0 – Zoneamento das bacias a partir das variáveis limnológicas	104
5.1 – Ordenação espacial de bacias hidrográficas	104
5.2 – Elaboração do zoneamento	105
6.0 – Discussão e considerações finais	108
6.1 – Importância do zoneamento limnológico	108
6.2 – Importância do estudo das paisagens	109
7.0 - Referências bibliográficas	113

Capítulo III

Experiências de Educação Ambiental em Bacias hidrográficas e sua integração curricular em diferentes níveis no ensino

1.0 – Introdução	117
2.0 – Delimitação do trabalho	120
3.0 – Fundamentação Teórica	121
3.1 – Clubes de Ciências, Letras e Artes	121
3.2 – Expedições Científicas Estudantis	123
3.3 – as Aulas-Passeio da pedagogia Freinet	125
3.4 – As fichas de observação e coleta	126

3.5 – Pesquisas e experiências antecedentes	127
4.0 – Narrativa do trabalho no Col. Arnaldo Busato – Pinhais(PR)	130
4.1 – Planejamento	131
4.2 – Atividade de sensibilização	132
4.3 – Reuniões iniciais	133
4.4 – Estudo e treinamento com os equipamentos	134
4.4 – Aula sobre Ecologia de Rios	135
4.5 – Estudo dos mapas e itinerário da expedição	136
4.6 – Preparação das fichas de campo	138
4.7 – Preparação da expedição	139
4.8 – A Expedição Científica “Alto Iguaçu”	139
5.0 – Atividades em outros níveis do ensino	143
6.0 – Considerações finais	145
7.0 – Referências Bibliográficas	147
Anexos do capítulo III	148
Anexo I – Ficha de avaliação de habitats aquáticos.....	149
Anexo II – Ficha de observação e descrição dos rios	150

Capítulo IV

Educação Ambiental e transversalidade no ensino formal: uma experiência de planejamento curricular com professores de escolas públicas da Região Metropolitana de Curitiba

1.0 – Introdução	151
2.0 – Delimitação da pesquisa	154
3.0 – Matrizes integradas de planejamento curricular	156
4.0 – Resultados e discussão	162
5.0 – Considerações finais	169
6.0 – Referências Bibliográficas	172
Considerações finais	173

Anexos

Anexo I – A Declaração de Veneza	176
---	------------

RESUMO

As bacias hidrográficas localizadas nas vertentes continental e litorânea da Serra do Mar no estado do Paraná são áreas de interesse estratégico, tanto pela urgência de ações de conservação dos ecossistemas únicos que ali se encontram, quanto pela importância de seus recursos hídricos, responsáveis pelo abastecimento de cerca de 2,5 milhões de habitantes na Região Metropolitana de Curitiba (RMC) e no litoral do Estado. O objetivo geral deste estudo foi o de realizar um trabalho de pesquisa ecológica nestas bacias hidrográficas diretamente conectado a um programa de Educação Ambiental no ambiente do ensino formal, procurando contribuir para o processo de planejamento da Região Metropolitana de Curitiba frente aos problemas ambientais decorrentes das racionalidades econômicas e sociais que dirigem o seu crescimento. O trabalho foi organizado em quatro linhas de ação que deram origem aos seguintes capítulos:

Capítulo I - Estudo ecológico de rios das vertentes continental e oceânica da Serra do Mar no Paraná. Este trabalho foi desenvolvido nas bacias dos rios Piraquara (vertente continental – Bacia do Alto Iguaçu) e dos rios Marumbi e Nhundiaquara (vertente oceânica – Bacia do Litoral). Teve como objetivo a descrição limnológica dos ecossistemas aquáticos e a análise dos efeitos da Serra, barreira orográfica que atua como um divisor climático sobre os ecossistemas aquáticos das bacias hidrográficas adjacentes.

Capítulo II – Zoneamento de bacias hidrográficas a partir de variáveis limnológicas: uma ferramenta para o planejamento e para a Educação Ambiental. A partir dos resultados obtidos no trabalho anterior, este capítulo apresenta uma metodologia de zoneamento de bacias hidrográficas baseada nas características do ambiente aquático. São discutidas as possibilidades e vantagens desse método para o planejamento e monitoramento de bacias no contexto da área estudada; a utilização do zoneamento como base para o planejamento de atividades de Educação Ambiental via estudo do meio, em vários níveis do ensino, como uma ferramenta didática para facilitar a compreensão do funcionamento dos ecossistemas lóticos, das principais

teorias ecológicas e das relações entre qualidade da água e impactos antrópicos.

Capítulo III – Estudo de Bacias hidrográficas e sua integração curricular no ensino de 1º e 2º graus. Partindo do conceito de Bacia hidrográfica como unidade natural de estudo e planejamento ambiental, este trabalho teve o objetivo de desenvolver, aplicar e avaliar um protocolo de atividades em Educação Ambiental para Bacias hidrográficas, como base para o estabelecimento de um programa de monitoramento participativo para a Bacia Hidrográfica do Alto Iguaçu. O protocolo envolveu metodologias de descrição ambiental o desenvolvimento de um Kit de análise de água, idealizado a partir dos equipamentos científicos tradicionais para coleta, filtração e análise físico-química da água. O protocolo de trabalho foi testado em um programa de intervenções envolvendo alunos de escolas públicas de Pinhais (PR) e em algumas atividades com alunos de graduação em Ciências Biológicas e professores.

Capítulo IV - Educação Ambiental e transversalidade no ensino formal: uma experiência de planejamento curricular com professores de escolas públicas da Região Metropolitana de Curitiba. **E**ste trabalho relata e avalia uma experiência concreta de integração da Educação Ambiental, adotando o conceito de transversalidade, no planejamento curricular formal de escolas públicas da Secretaria Municipal de Educação de Curitiba, através de cursos de formação continuada atendendo 350 professores de 21 escolas (cerca de 13% das escolas públicas municipais). Nestes cursos, foram desenvolvidas de modo participativo propostas de currículo interdisciplinar centralizados pela temática ambiental, através de mapas conceituais e de matrizes integradas de currículo, técnicas que são aqui apresentadas e discutidas.

Abstract

The catchment areas on the eastern and western slopes of “Serra do Mar” Mountains (Paraná state, Brasil) are sites of strategic interest to the conservation of riverine ecosystems, as they provide water supply to about 2,5 million people. The main objective of this study was to develop a riverine ecological research directly linked to an Environment Education program in public schools, in order to support a wide environmental planning for these spring areas. The study was developed throughout four guidelines, presented on the four chapters described below:

Chapter I - Comparative ecological study of streams in western and eastern slopes of Serra do Mar Mountains, Paraná State, Brasil.

This study was carried out in the Piraquara River Basin (eastern slope – Upper Iguaçu River Basin) and the Marumbi River Basin (western slope – Oceanic basin). The main objectives were to describe the limnological features of aquatic ecosystems and to analyse possible effects of the Serra do Mar Mountain slope as orographic barrier for the oceanic air masses loaded of humidity and nutrients. The results can be taken as an important basis for a wide biological monitoring program to the regional watersheds.

Chapter II – Watershed spatial zoning based on limnological variables: a methodology for environmental planning and Environmental Education.

Starting from results presented in chapter one, this study presents a methodology of spatial zoning based on the aquatic environment features, standing out the advantages of this method for the watershed planning and monitoring. Furthermore, the benefits to support Environmental Education programs based on environmental study at different levels of educational curriculum were analysed, as well as the methodology value as a didactical framework to improve the student comprehension about structure and function of lotic ecosystems and the relationship between water quality and anthropogenic effects.

Chapter III - River basin assessment and their integration to the curriculum of primary and secondary formal education.

Starting from the concept of River Basin as a natural unit for environmental management under ecological, social and economical points of view, this work was carried out with the goals of developing, applying and evaluating an Environment Education framework to river basins, throughout the study of local environmental problems. The framework embraced some methodological issues to environmental description and the development of a water quality analysis toolkit, based on the traditional tools of scientific procedures. The framework and the toolkit were tested and evaluated through an intervention program in public schools.

Chapter IV – Environmental Education and transversality: an experience on curriculum planning with teachers of public schools in Curitiba – Brasil.

This paper describes a concrete experience of integrating Environmental Education on formal curriculum, based on the concept of transversality, in teachers formation classes applied to 350 teachers of 21 public schools (about 13% of the local public schools). Throughout a participatory framework, the teachers developed the “integrated matrix of curriculum”, founded on the technics of conceptual keywords mapping, in order to achieve a curricular planning centralized by the local environmental issues and problems of the watershed management.

LISTA DE FIGURAS

INTRODUÇÃO

Figura 1 – Fluxograma representativo das frentes de trabalho.....	17
Figura 2 – Serra do Mar no estado do Paraná.....	18
Figura 3 – Vista da Serra do Mar.....	20

CAPÍTULO I

Figura 1 – Bloco-diagrama da Serra do Mar no estado do Paraná.....	24
Figura 2 – Localização da Área de estudo.....	25
Figura 3 – Imagem hipsométrica a partir de imagens landsat TM-5.....	25
Figura 4 – Bacias Hidrográficas dos Rios Piraquara e Murumbi.....	26
Figura 5 – Reservatório do Carvalho (Mananciais da Serra)	27
Figura 6 – Localização do Parque Estadual do Pico do Marumbi.....	28
Figura 7 – Vale do Rio Ipiranga.....	29
Figura 8 – Precipitação pluviométrica em diferentes localidades da Serra	31
Figura 9 – A Massa Tropical Atlântica.....	32
Figura 10 – Corte Hipsométrico das bacias estudadas.....	33
Figura 11 – Perfil Altimétrico dos pontos de coleta.....	34
Figura 12 – Kit de análise de água completo	35
Figura 13 – Coleta de água, filtração e medidas de campo.....	36
Figura 14 – Coleta de macroinvertebrados bentônicos.....	37
Figura 15 – Temperatura da água por ponto de coleta.....	39
Figura 16 – pH da água em cada ponto de coleta.....	40
Figura 17 – Condutividade (μS) por ponto de coleta.....	42
Figura 18 – Material Particulado em Suspensão (mg/L) por ponto de coleta.....	42
Figura 19 – Oxigênio Dissolvido por ponto de coleta.....	44
Figura 20 – Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_5) por ponto de coleta....	45
Figura 21 – Silicato Reativo – Si(OH)_4 ($\mu\text{mol.l}^{-1}$) por ponto de coleta.....	47
Figura 22 – Fosfato – PO_4 ($\mu\text{g.L}^{-1}$) por ponto de coleta.....	48
Figura 23 – Fósforo total ($\mu\text{g.L}^{-1}$) por ponto de coleta.....	49
Figura 24 – Nitrito – NO_2 ($\mu\text{g.L}^{-1}$) por ponto de coleta.....	51
Figura 25 – Nitrato – NO_3 ($\mu\text{g.L}^{-1}$) por ponto de coleta.....	51
Figura 26 – Amônio – NH_4 ($\mu\text{g.L}^{-1}$) por ponto de coleta.....	53
Figura 27 – Nitrogênio Inorgânico Dissolvido ($\mu\text{g.L}^{-1}$) por ponto de coleta.....	54
Figura 28 – Nitrogênio Total ($\mu\text{g.L}^{-1}$) por ponto de coleta.....	54
Figura 29 – Relação NID/PID em cada ponto de coleta.....	56
Figura 30 – Concentração de Clorofila-a em cada ponto de coleta.....	57
Figura 31 – Ordenação espacial dos pontos de coleta.....	59
Figura 32 – Ordenação espacial dos pontos de coleta.....	61

CAPÍTULO II

Figura 1 – Descrição de paisagens em uma bacia hidrográfica.....	75
Figura 2 – Funções ecológicas básicas dos ecossistemas lóticos.....	78
Figura 3 – Organização hierárquica do sistema lótico e seus habitats.....	79
Figura 4 – Natureza tetradimensional dos ecossistemas lóticos.....	80
Figura 5 – Representação esquemática do Conceito de Contínuo Fluvial.....	83
Figura 6 – Contribuição do conceito de dinâmica de manchas Ao contínuo fluvial.....	85
Figura 7 – Aspecto da Várzea no trecho final da bacia do Piraquara.....	87
Figura 8 – Aspecto do campo edáfico.....	88
Figura 9 – Mata de galeria no rio Piraquara	89
Figura 10 – Aspecto de campo natural e floresta Ombrófila Mista Montana....	90
Figura 11 – Campos de Altitude e floresta nebulosa no alto da Serra.....	92

Figura 12 – Distribuição da vegetação na encosta da Serra do Mar.....	93
Figura 13 – Articulação das cartas topográficas utilizadas.....	97
Figura 14 – Mapa hipsométrico.....	98
Figura 15 – Mapa das unidades de paisagem.....	102
Figura 16 – Aspectos dos rios e das paisagens.....	103
Figura 17 – Zoneamento limnológico das Bacias Hidrográficas.....	106
Figura 18 – Canteiro de obras da represa Piraquara II.....	109

CAPÍTULO III

Figura 1 - Educação Ambiental como medida compensatória	116
Figura 1 - Primeira reunião do grupo	133
Figura 2 – Treinamento com os equipamentos	134
Figura 3 – Amostras de macroinvertebrados bentônicos	136
Figura 4 – Discussão sobre a localização dos pontos	137
Figura 5 – Mapa da Bacia do Alto Iguaçu	137
Figura 6 – Atividades durante a Expedição Alto Iguaçu	140
Figura 7 - Comparação visual do filtros de água	141
Figura 8 – Atividades com professores	144

CAPÍTULO IV

Figura 1 – Montagem das matrizes integradas de currículo.....	157
Figura 2 - Exemplos de matrizes feitas pelos professores	158
Figura 3 – Matriz utilizada como exemplo durante as intervenções	159
Figura 4 – Matriz integrada para projetos pedagógicos	160
Figura 5 – Matriz integrada de planejamento – Bacia hidrográfica	161
Figura 6 – Bairro periférico antigo já com boa infraestrutura urbana.....	166
Figura 7 – Bairro periférico recente.....	166
Figura 8 – Bairro periférico recente.....	166

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela 1 – Autovalores das variáveis analisadas.....	59
Tabela 2 – Autovalores das variáveis.....	61

1- Introdução

1.1 - A crise da água

Em uma breve análise histórica do relacionamento da humanidade com o meio natural, verificamos o quanto a evolução cultural e tecnológica modificou a percepção humana e o modo de interagir com o ambiente. Medina (1996) analisa esta mudança a partir da antro-po-era pré-histórica, quando a sobrevivência das populações humanas era baseada na coleta, pastoreio e atividades de caça e pesca. A espécie humana participava das relações ecológicas atuando como predadora, submissa ao ritmo dos fenômenos naturais. O aprendizado da agricultura dá início ao domínio sobre a natureza, com as primeiras modificações nas paisagens naturais, a degradação de ambientes e a criação de ecossistemas artificiais. Porém, podemos considerar que até a idade média, a velocidade de regeneração ambiental praticamente se equilibra com a de consumo.

Com a Revolução Industrial e o surgimento do capitalismo, as relações convertem-se em processos de dominação e exploração, levando a uma ruptura no ritmo dos processos ambientais. A velocidade de consumo torna-se cada vez maior que a de regeneração dos recursos naturais, originando a grande crise ambiental em que vivemos hoje. A natureza, agora vista como “recurso”, sustenta uma economia global baseada na posse e na exploração de recursos naturais finitos. A consciência pública deste quadro crítico só inicia em meados do século XX, após a segunda grande guerra, quando surgem os primeiros sinais de que a degradação dos recursos naturais e a contaminação ambiental podem causar problemas à própria população que utiliza estes recursos. Apesar do enorme progresso científico e tecnológico do século XX, começamos a perceber que a tecnociência pode não ter a solução para os problemas ambientais que ela mesma criou.

Chegamos assim ao que Medina (op. cit.) descreve como antro-po-era da Urbanização. A consolidação do Capitalismo globalizado, o incrível aumento do poderio econômico das transnacionais, a acentuada divisão entre países centrais e periféricos e o surgimento das megacidades são as suas principais

características. Em 2020, a Terra deverá ter 500 cidades com mais de um milhão de habitantes e 33 megacidades com mais de 8 milhões de habitantes (Watson *et al.* citados por Tundisi, 1999). Os recursos naturais tornam-se propriedade privada e a natureza começa a manifestar limites ao crescimento, numa clara contraposição entre fatores ecológicos e econômicos. O fenômeno acentuado da urbanização trouxe as previsões de que, em 2025, cerca de 80% da população mundial esteja vivendo em cidades, aumentando consideravelmente a pressão sobre os recursos naturais do entorno, especialmente sobre os recursos hídricos.

O recurso natural vital para todo este processo no último século tem sido o petróleo, recurso não renovável que figura como um dos principais agentes da crise ambiental mundial, em função da emissão de gases decorrentes da sua queima, dos contaminantes ambientais fabricados a partir de seus derivados e da própria competição pela hegemonia de suas fontes. Com as previsões de esgotamento deste recurso num futuro próximo, desde a denominada “crise do petróleo” de 1973 muitos conflitos e guerras tem como pano de fundo o domínio das fontes de petróleo (vide a situação atual do Oriente Médio e especificamente do Iraque). Entretanto, nas últimas três décadas as atenções da mídia, dos sistemas financeiros, das instituições privadas, órgãos governamentais e ONG’s, da população em geral, têm gradativamente passado a focalizar a água, o outro recurso natural finito, considerado agora como um dos principais fatores limitantes ao desenvolvimento. A partir das previsões de escassez de água e deterioração de suas fontes em todo o planeta, o limnólogo brasileiro J. G. Tundisi (*op. cit.*) sintetiza esta “crise da água” através do que chamou de “desafios para o século XXI”:

- Escassez de água
- Disponibilidade de água
- Deterioração da qualidade da água
- Falta de percepção de gerentes e do público em geral sobre a gravidade da crise
- Fragmentação e dispersão do gerenciamento dos recursos hídricos.

- Declínio das fontes de financiamento para a resolução dos problemas relativos aos recursos hídricos.
- Ameaça à segurança e à paz internacional devido aos possíveis conflitos nos 114 rios que ultrapassam fronteiras nacionais.
- Perspectivas de mudanças globais na Terra que afetarão a distribuição e disponibilidade de recursos hídricos.

A partir da década de 1970 nos acostumamos a conviver com previsões alarmantes para a crise da água em um futuro próximo, com suas conseqüências para a economia, para o desenvolvimento e para o bem estar das futuras gerações. Mas, em agosto de 2004, um litro de água “mineral” embalada em garrafa de plástico reciclável custa em média R\$ 1,90 em lojas de conveniências em Curitiba (PR), quase o mesmo que um litro de gasolina (R\$ 2,05) o que nos leva a concluir que este futuro previsto pelos ambientalistas nos últimos trinta anos já chegou, não é mais um “desafio para as próximas gerações”. E a crise da água é um fenômeno global:

“A escassez hídrica também é manchete. Alguns dos grandes rios mundiais estão secando, deixando de alcançar o mar. Entre eles estão o Colorado, principal rio do sudoeste dos Estados Unidos. Na China, o rio Amarelo, o mais ao norte entre os dois maiores do país, não chega mais ao mar durante certa época do ano. Na Ásia central, o Amu Darya às vezes não consegue atingir o Mar de Aral devido à drenagem a montante para irrigação. Poços estão secando em todos os continentes. À medida em que a população se expande e a renda aumenta, a demanda pela água simplesmente suplanta a oferta em muitos países. Os mais ricos perfuram poços cada vez mais profundos, buscando água solo adentro. Os que não dispõem de recursos para aprofundarem seus poços ficam em desvantagem. A tendência é a situação se tornar bem mais precária, uma vez que as 3.2 bilhões de pessoas que serão acrescentadas à população mundial até 2050 nascerão em países que já estão enfrentando escassez hídrica. Com 40% dos alimentos mundiais produzidos em terras irrigadas, a escassez hídrica causa impacto diretamente na segurança alimentar. Se estivermos diante de um futuro de escassez hídrica, estamos também diante de um futuro de escassez alimentar” (Brown, 2003)

Dentre as inúmeras conseqüências da crise, a que causa maior mobilização nesta época de economia globalizada é o impacto econômico da escassez hídrica. O século XXI inicia com grandes polêmicas mundiais em torno de temas como a valoração dos recursos hídricos, a privatização das fontes de água e a atribuição da responsabilidade de recuperar os recursos

hídricos aos causadores da degradação (princípio do “poluidor-pagador”). Mas a valoração do recurso hídrico não é uma tarefa que possa ser reduzida à simples aplicação das chamadas “leis de mercado”.

Atualmente existem duas abordagens mais comuns para este problema: uma é estimativa direta do valor deste recurso, avaliando quanto as pessoas estariam dispostas a pagar pelo uso da água; a outra é uma estimativa indireta, pela qual se observam os produtos e serviços ofertados em uma dada região que necessitam da água em sua produção, avaliando o quanto a população estaria disposta a pagar por estes bens e produtos finais. Estudiosos do assunto como Lester Brown (Angelo, 2003) consideram que o aumento do preço da água, bem como a cobrança pelo seu uso agrícola ou industrial, são mecanismos que podem racionalizar o uso, reduzindo o desperdício, acreditando num possível poder de auto-regulação do mercado frente a uma crise mundial. Por outro lado, os economistas clássicos argumentam que, se todos os *fatores externos* (como é o caso dos fatores ambientais) forem incluídos nas contas da economia, os preços subirão a ponto de tornar as relações econômicas impraticáveis.

Assim como a própria crise, as polêmicas em torno da valoração da água não são fenômenos localizados, e parece consensual a constatação de que o ônus da degradação hídrica recai sempre sobre o consumidor residencial (que consome apenas 6% do total), quando os maiores consumidores estão nos setores agrícola (73%) e industrial (21%) (Brigante et. al., 2002). Em março de 2004, A direção da Liga para a Protecção da Natureza de Portugal divulga em seu sítio um manifesto alusivo ao “dia mundial da água” (22 de março):

“O consumidor doméstico é mais uma vez penalizado de uma forma desigual, quando comparado com outras utilizações, acabando por pagar o tratamento de águas de má qualidade, muitas vezes devido a más práticas dos sectores agrícola e industrial. A este valor pode ser ainda adicionada uma taxa de saneamento, devida pela recolha e tratamento de águas residuais, apesar se verificarem graves deficiências no funcionamento das ETAR” (...) “O aumento de preço da água é, assim, inaceitável sem haver uma garantia de qualidade da água de abastecimento e de tratamento adequado das águas residuais, tanto mais que em muitos casos os custos de tratamento da água são fortemente inflacionados pelo facto das origens estarem poluídas. Ao serem imputados os custos de tratamento para potabilização da água ao consumidor doméstico, este está também a pagar a poluição causada por outras fontes, nomeadamente a indústria e a agricultura.”

No hemisfério Sul, a Lei Federal brasileira nº 9.433, de 1997, prevê que a água passe a ter um valor econômico, como qualquer outro recurso mineral, sendo que a verba arrecadada deve ser empregada na preservação da própria bacia. Como consequência direta do pagamento pela água dos rios, as empresas de saneamento reajustariam as contas domésticas. Na Região Metropolitana de Curitiba (RMC), cenário deste trabalho, um jornal anunciou a novidade:

“Cobrança pelo uso de rio deve aumentar o preço da água em 1%”

Presidente da Sanepar diz que não há data certa para a medida”

“(…) O diretor-presidente da Sanepar, Carlos Teixeira, disse ontem que o aumento no preço da conta doméstica, por causa do pagamento pela água bruta retirada dos rios da Bacia do Alto Iguaçu, deve ficar em torno de 1%. Na quinta-feira, o governo do estado divulgou que a expectativa é de que os grandes usuários de água (companhias de saneamento, indústrias e usinas hidrelétricas) comecem a pagar pela retirada da água da natureza, no caso da Bacia do Alto Iguaçu, até o fim do ano.” (Fernando Martins - Gazeta do Povo 20/01/2001)

Apresentamos até aqui alguns aspectos sócio-econômicos, procurando demonstrar a idéia de que a crise é de abrangência mundial, sendo refletida de várias formas na realidade local da área deste estudo. Mas esta é apenas uma das possibilidades de abordagem da “crise da água”; podemos analisar também dos pontos de vista ambiental ou cultural, como veremos a seguir.

1.2 - Água, molécula simples movendo a complexa natureza

“O rio é como se fosse a urina da paisagem. Examinando o rio dá para saber tudo o que acontece na bacia hidrográfica”.

Prof. Felisberto Cavalheiro, em uma das primeiras aulas que assisti na UFSCar.

Do ponto de vista das Ciências Naturais, a água é considerada “solvente universal” pela sua capacidade de dissolver e transportar a maioria das substâncias existentes. Em seu ciclo, totalmente movido a energia solar, a água está presente em todos os ambientes e organismos existentes, moldando a superfície terrestre, influenciando o clima, formando os solos, participando de todos os processos fisiológicos dos seres vivos. A simplicidade de sua

composição, a fantástica propriedade de mudar de estado físico com pouca energia e o constante movimento na crosta terrestre fazem com que a água seja uma espécie de elo vital do planeta. No meio terrestre, a evapotranspiração na superfície das folhas dos vegetais dá origem à diferença de potencial hidrostático que impulsiona a contínua absorção de água nas raízes. Com a água, são absorvidos os nutrientes que sustentarão a produção primária do vegetal e conseqüentemente toda a cadeia alimentar. Nos animais, o sangue é constituído majoritariamente por água, transportando nutrientes e oxigênio a todas as células. Mortos os animais e vegetais, a água e os microorganismos se encarregam de devolver tudo isso ao ambiente, possibilitando nova geração de vida.

Podemos afirmar que as características físicas, químicas e biológicas da água refletem a saúde e a qualidade dos ecossistemas que ela atravessa durante seu ciclo. As atividades humanas em uma bacia hidrográfica, modificando a vegetação natural e convertendo a terra para outras funções, produzem mudanças nas características das águas de drenagem, freqüentemente nocivas à própria população que utiliza o recurso. Este fato, aliado às perspectivas de escassez mundial de recursos hídricos, tem motivado pesquisas em vários países sobre uso do solo e qualidade da água, (Townsend *et al.*, 1997; Mulholland, 1992).

Nas décadas de 1960/70, trabalhos como os de Bormann & Likens (1967) e, principalmente, do clássico “The stream and its valley” (Hynes, 1975) consolidam as idéias de que as características dos ecossistemas lóticos são resultantes das paisagens que o rio atravessa. As bacias hidrográficas passam então a ser consideradas unidades naturais para o planejamento físico do ambiente, sob os enfoques social, econômico, cultural, ecológico, entre outros, sendo objeto de estudo de várias disciplinas científicas. Atualmente, atividades de gestão e conservação de recursos hídricos ou de recuperação de ecossistemas aquáticos devem desenvolver uma visão sistêmica e integrada dos processos físicos, químicos, biológicos e também humanos em uma bacia hidrográfica.

1.3 – Água e cultura

Do ponto de vista cultural, a água também exerce um papel fundamental na vida humana. A maioria das civilizações desenvolveu-se justamente em habitats que dispunham de boas quantidades de água doce, como é o caso da Mesopotâmia, dos vales dos rios Nilo, Yang-tsé Kiang, e outros rios do Velho Mundo. A expansão da população humana também acompanhou os vales dos grandes rios, em diferentes épocas, vide a história de colonização do Rio Mississippi, do Rio Congo, das bacias do Prata/Paraná e do Rio São Francisco, o “rio da integração nacional brasileira”. A última grande bacia no mundo que ainda está em franco processo de ocupação é a bacia amazônica, obviamente a partir dos rios.

Rios e lagos também adquirem significados afetivos para a maioria das pessoas, principalmente no campo da memória individual e coletiva. Frequentemente ouvimos pessoas mais velhas recordando do tempo em que pescavam ou se divertiam à beira de um rio ou córrego que hoje está canalizado, recebe o esgoto de uma cidade ou teve sua fauna destruída pela poluição agrícola. Muitas pessoas, ao planejar seus momentos de lazer nos fins de semana ou nas férias, procuram lugares em que a presença da água é a característica principal do ambiente, seja um rio, cachoeira, lago, represa, ou praia. Apesar desta relação afetiva positiva em relação à água, rios e córregos são depositários de tudo que não tem mais serventia à população. Da mesma forma como lavamos nossos utensílios, automóveis, calçadas, sabendo que a água “levará a sujeira embora”, depositamos nosso lixo e esgoto nos cursos d’água como se estes fossem capazes de fazê-los desaparecer. Ninguém joga o lixo porque não gosta do rio, mas porque, no outro dia, o lixo simplesmente não está mais lá, desapareceu do campo visual (reforçando a noção de externalidade dos processos ecológicos).

Embora o tema “recursos hídricos” seja atualmente bastante celebrado pela mídia, as iniciativas que pretendem a conscientização e o comprometimento de públicos-alvo específicos geralmente sofrem as consequências das racionalidades sociais e econômicas que dirigem os processos de exploração dos recursos naturais. Iniciativas geradas por organizações não governamentais geralmente possuem escala regional e não

conseguem se articular em redes maiores; geralmente contam com financiamento por tempo restrito, findo o qual dificilmente se observam continuidades. As iniciativas governamentais esbarram na própria incapacidade de internalização pelo público-alvo, podem sofrer influências político-eleitoreiras ou estão comprometidas com a curta duração dos mandatos de gestão pública, dificilmente conseguindo superar a transição política.

Tanto é assim que Curitiba, cidade que tem uma condição ambiental um pouco melhor em função de suas áreas verdes, e cujo *marketing ecológico* a tornou conhecida como “Capital Ecológica”, não possui sequer um único rio limpo dentro de seus limites municipais. Com raras exceções, as suas favelas (são mais de duas centenas), hoje convenientemente denominadas “ocupações irregulares”, estão localizadas à beira dos cursos d’água ou em áreas consideradas mananciais de abastecimento.

Esta introdução foi uma tentativa de descrever um quadro altamente complexo em nível global, procurando demonstrar que todas estas questões colocadas são refletidas, em maior ou menor grau, na realidade local da área de abrangência deste estudo. Somando a este quadro, podemos verificar que bacias hidrográficas localizadas nas vertentes continental e litorânea da Serra do Mar no estado do Paraná são áreas de interesse estratégico, tanto pela urgência de ações de conservação dos ecossistemas únicos que ali se encontram, quanto pela importância de seus recursos hídricos, responsáveis pelo abastecimento de cerca de 2,5 milhões de habitantes na Região Metropolitana de Curitiba (RMC) e no litoral do Estado.

2 - O PROBLEMA

Na diversidade dos conflitos ambientais, um é particularmente significativo: o confronto entre o crescimento das cidades enquanto espaços construídos e o seu entorno natural, do qual a sociedade se apropria e de onde retira parte dos recursos necessários para a sua sobrevivência e reprodução. Na perspectiva deste fenômeno global, este trabalho pretende contribuir através da análise da uma realidade local, a da Região Metropolitana de Curitiba frente aos problemas ambientais decorrentes das racionalidades

econômicas e sociais que dirigem o seu crescimento, a partir de uma abordagem envolvendo a Ecologia de Bacias Hidrográficas e a Educação Ambiental. Para tanto, procuramos partir da análise dos principais obstáculos a uma correta gestão dos recursos hídricos na região estudada, definindo os seguintes **problemas** que motivaram esta pesquisa:

- a carência de estudos específicos sobre o recurso hídrico e sua biota associada, de modo a conhecer os processos que regulam a estrutura e a dinâmica dos ecossistemas aquáticos em suas múltiplas escalas espaciais e temporais;
- a dificuldade de se realizar a **extensão** do conhecimento científico, possibilitando ações de conservação ou recuperação em várias instâncias da sociedade;
- a falta de conhecimento e de internalização de conceitos por parte do público em geral sobre os processos de degradação das bacias hidrográficas;
- A carência de recursos didáticos específicos e programas educacionais que tenham seu currículo orientado para a problemática ambiental das bacias hidrográficas.

A natureza destes problemas demanda ações que supram esta necessidade de pesquisa básica e, principalmente, da extensão dos conhecimentos gerados de maneira eficaz à população, estimulando as iniciativas locais. Obviamente, a solução destes problemas não pode ser abrangida no curto período de um curso de doutorado, muito menos por um único pesquisador, mas neste sentido este trabalho apresenta experiências nas áreas da Ecologia de Rios e da Educação Ambiental procurando contribuir para a construção de estratégias integradas de enfrentamento desta crise ambiental atual. A via escolhida para a abordagem foi o desenvolvimento de um programa de pesquisa ecológica nestas bacias hidrográficas, diretamente conectado a um programa de Educação Ambiental no âmbito da rede pública de ensino, sendo que o trabalho foi delineado através dos seguintes recortes e objetivos:

- **Recorte espacial:** Bacia Hidrográfica do Alto Rio Iguaçu (Rio Piraquara), e Bacia Hidrográfica Litorânea (Rios Marumbi e Nhundiaquara) abrangendo áreas dos municípios paranaenses de Curitiba, Pinhais, Piraquara e Morretes.
- **Recortes temáticos:** Processos de ocupação e modificação da paisagem na bacia hidrográfica; Ecologia de rios; aspectos metodológicos do ensino de Ciências Naturais; Educação Ambiental no ensino formal.
- **Recorte amostral:** Comunidades escolares do ensino público na Bacia do Alto Rio Iguaçu (Região Metropolitana de Curitiba – PR)
- **Palavras-chave:** Meio Ambiente, Desenvolvimento, Bacia Hidrográfica, Ecologia de Rios, Ensino de Ciências Naturais, Educação Ambiental, Interdisciplinaridade.

3 - OBJETIVOS

1. Desenvolver um estudo sistemático de duas bacias hidrográficas da Serra do Mar no Paraná, contribuindo para uma base regional de dados que possa subsidiar ações de conservação, monitoramento, recuperação e educação ambiental;
2. Elaborar uma síntese de conhecimentos sobre a Ecologia de bacias hidrográficas, embasado em dados e exemplos locais, que possa subsidiar ações de Educação Ambiental no âmbito do ensino formal;
3. Aplicar e avaliar uma metodologia de zoneamento de bacias hidrográficas com base nas variáveis ecológicas dos ecossistemas lóticos, como subsídio ao planejamento ambiental e à Educação Ambiental;
4. Desenvolver, implementar e avaliar um protocolo de Educação Ambiental para o estudo e a conservação da bacia hidrográfica, buscando sua integração curricular em diferentes níveis do ensino formal;

5. Desenvolver, através de pesquisa participante, formas de integração da Educação Ambiental para bacias hidrográficas de forma transversal no contexto do planejamento curricular no ensino formal em escolas públicas.

4.0 – DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A partir dos problemas expostos, dos recortes utilizados e dos objetivos traçados, a pesquisa foi organizada em quatro frentes de trabalho, de forma interdisciplinar e integrada conforme a descrição no item 4.2. Cada frente de trabalho resultou em um dos quatro capítulos sumarizados a seguir, respondendo a um ou dois dos objetivos gerais propostos. Cada capítulo está organizado na forma de um trabalho independente, com suas próprias questões de pesquisa e objetivos (que podem ser entendidos como os objetivos específicos da tese), métodos, referenciais teóricos e discussões. Ao final, são tecidas considerações discutindo as possibilidades e limites de cada linha de trabalho, as facilidades e dificuldades de integração destas linhas em função das realidades que foram se desenhando ao longo do trabalho, bem como as propostas de continuidade.

4.1 – Descrição dos capítulos

Capítulo I - Estudo Ecológico de rios das vertentes continental e oceânica da Serra do Mar no Paraná

Este trabalho foi desenvolvido nas bacias dos rios Piraquara (vertente continental – bacia do Alto Iguaçu) e dos rios Marumbi e Nhundiaquara (vertente oceânica – Bacia do Litoral). Do ponto de vista científico, teve como objetivo a descrição limnológica dos ecossistemas aquáticos e a análise dos efeitos da Serra, barreira orográfica que atua como um divisor climático, sobre os ecossistemas aquáticos das bacias adjacentes (bacia Litorânea e Alto Iguaçu). Foi também discutida a aplicabilidade das atuais teorias para

ecossistemas aquáticos, desenvolvidas e exaustivamente testadas em rios do hemisfério Norte, mas que ainda carecem de adaptação e validação para os ecossistemas tropicais e subtropicais brasileiros.

Para o desenvolvimento deste estudo foi obtido o apoio da Sociedade Fritz Muller de Ciências Naturais, através de projeto financiado pela Fundação “O Boticário” de Proteção à Natureza (projeto nº 055420021), possibilitando a compra dos equipamentos de análise de água. A infraestrutura foi cedida pelo Laboratório de Biogeoquímica do Centro de Estudos do Mar da Universidade Federal do Paraná, coordenado pela profa. Dra. Eunice Machado, e o trabalho contou com a colaboração dos biólogos Nilva Brandini (Msc. - Biogeoquímica) e Paulo Roberto Pagliosa (Dr. - Ecologia e Recursos Naturais).

Capítulo II – Zoneamento de bacias hidrográficas a partir de variáveis limnológicas: uma ferramenta para o planejamento e para a Educação Ambiental

A partir dos resultados obtidos no trabalho anterior, este capítulo apresenta uma metodologia de zoneamento de bacias hidrográficas baseada nas características do ambiente aquático, adotando elementos da Ecologia da Paisagem. A aplicação da metodologia e os resultados obtidos são discutidos em duas linhas: as possibilidades e vantagens desse método para o planejamento e monitoramento de bacias no contexto da área estudada; a utilização do zoneamento como base para o planejamento de atividades de Educação Ambiental via estudo do meio, em vários níveis do ensino, como uma ferramenta didática para facilitar a compreensão do funcionamento dos ecossistemas lóticos, das principais teorias ecológicas e das relações entre qualidade da água e impactos antrópicos.

Capítulo III – Educação Ambiental em Bacias hidrográficas e sua integração curricular em diferentes níveis do ensino.

Com base no conceito de Bacia hidrográfica como unidade natural de estudo e planejamento ambiental, este trabalho teve o objetivo de desenvolver e aplicar um protocolo de atividades em Educação Ambiental para Bacias

hidrográficas, como base para o estabelecimento de um programa de monitoramento participativo para a Bacia do Alto Iguaçu. Partindo da idéia Clube de Ciências, o protocolo envolveu metodologias de descrição ambiental, Ecologia de paisagem, percepção ambiental e o desenvolvimento de um Kit de análise de água. O protocolo de trabalho e o Kit de análise de água foram testados em um programa de intervenções envolvendo alunos do município Pinhais – PR, com o auxílio de estagiários da disciplina de Prática de Ensino em Biologia da UFPr (Departamento de Teoria e Prática de Ensino). Paralelamente, o protocolo de atividades foi adaptado e aplicado também com alunos de cursos de graduação em biologia de três universidades paranaenses, durante mini-cursos de Ecologia de Rios ministrados durante as respectivas “semanas da Biologia”, e em algumas atividades com grupos de professores de escolas públicas, possibilitando a sua avaliação em outros níveis de ensino.

Capítulo IV - Educação Ambiental e transversalidade: uma experiência de planejamento curricular com professores de escolas públicas da Região Metropolitana de Curitiba

Este trabalho relata e avalia uma experiência concreta de integração da Educação Ambiental, adotando o conceito de transversalidade, no planejamento curricular formal de escolas públicas de uma metrópole brasileira frente à sua problemática sócio-ambiental. Com o apoio da Secretaria Municipal de Educação de Curitiba, foram promovidos cursos de formação continuada atendendo 350 professores de 21 escolas (cerca de 13% das escolas públicas municipais). Nestes cursos, foram desenvolvidas de modo participativo propostas de currículo interdisciplinar centralizados pela temática ambiental, através de mapas conceituais e de matrizes integradas de currículo, técnicas que são aqui apresentadas e discutidas. O material produzido pelos professores foi sistematizado e analisado através da definição de categorias, com o objetivo de avaliar possibilidades e limites da transversalidade da EA no ensino formal.

4.2 – Abordagem interdisciplinar

“Vivemos em um mundo de complexidade, onde tudo é interação, inter-retroação e inter-relação e é então que somos forçados a vê-lo de um modo complexo se não quisermos mutilar seriamente a realidade” (Edgar Morin)

Dentro da perspectiva complexa que envolve o planejamento dos recursos hídricos, cada ponto de vista analisado pode trazer em si *fatos discrepantes* ou *problematizações* que justificariam estudos em diversas áreas do conhecimento. Muitos deles só poderiam ser adequadamente tratados em uma perspectiva interdisciplinar, sob risco de abordar a realidade de forma reducionista ao tentarmos enquadrar o problema no compartimento de uma única disciplina científica. Tal condição exige que se desenvolva uma postura que contemple o maior número possível das variáveis que permeiam o tema e que favoreça um caminho de pesquisa capaz de superar os limites das especializações. A interdisciplinaridade aponta para esta possibilidade.

A busca por novas modalidades de pesquisa para o estudo de realidades complexas surge na década de 1970, juntamente com outros conceitos como sustentabilidade e interdisciplinaridade. Em um encontro organizado pela UNESCO em 1986, com a participação dos mais expressivos intelectuais das Ciências, da Educação e da Filosofia em nível mundial, foi produzido um documento denominado Declaração de Veneza (UNESCO, 1986 - vide anexo I), onde são discutidos os rumos do conhecimento científico e problemas decorrentes do avanço tecnológico na atualidade, ressaltando o papel fundamental do Ensino das Ciências e da integração entre pesquisa e ensino de forma inter e transdisciplinar para o enfrentamento destes problemas:

“(...) O ensino convencional da Ciência por uma apresentação linear dos conhecimentos, dissimula o rompimento da Ciência contemporânea e as visões ultrapassadas de mundo - nós reconhecemos a urgência da pesquisa de novos métodos de educação, que levarão em conta os avanços da Ciência que harmonizam agora com as grandes tradições culturais, cuja preservação e estudos aprofundados mostram-se fundamentais. (...) Os prejuízos de nossa época - o prejuízo da autodestruição da nossa espécie, o prejuízo informático, o prejuízo genético, etc. - esclarecem de uma forma a responsabilidade social dos cientistas, ao mesmo tempo dentro da iniciativa e da aplicação da pesquisa. Se os cientistas não podem decidir a respeito da aplicação de suas próprias descobertas, eles não devem assistir, passivamente, à aplicação cega

destas descobertas. Para nós, a abrangência dos prejuízos contemporâneos exige, por um lado, a informação rigorosa e permanente da opinião pública e, por outro, a criação de órgãos de orientação e até de decisão, de natureza pluri e transdisciplinar” (A Declaração de Veneza – UNESCO, 1986).

Além da perda da visão de conjunto que a fragmentação do conhecimento provoca, outras variáveis que levaram à busca do pensamento interdisciplinar são, segundo Luz (2001): (a) a força das características de disciplinas interdependentes (Biofísicoquímica, por exemplo); (b) o fato de se perceberem conceitos de domínio conexo em duas ou mais disciplinas, como o de entropia, que é fundamental na Termodinâmica, na Biologia e na Matemática da Comunicação; (c) as pressões de mercado, extremamente exigente de interrelações disciplinares e (d) questões éticas, pois no especialismo, perdeu-se a noção de responsabilidade (Machado, 1996). Vários autores têm se dedicado à questão da interdisciplinaridade, tanto na pesquisa quanto no ensino, e surgem áreas de pesquisa e programas de pós-graduação que assumem a interdisciplinaridade como linha mestra na condução de seus trabalhos. No Brasil, destaco alguns trabalhos que tiveram grande influência nas tomadas de decisão durante o planejamento deste trabalho: Hilton Japiassu (1976) e Nilson Machado (*op. cit.*) com a abordagem a partir da Filosofia e da Epistemologia; no campo dos novos paradigmas educacionais, são fundamentais as contribuições de Fazenda (1994) e Migliori (1993).

Sem a pretensão de aprofundamento nas questões que envolvem o conceito de interdisciplinaridade, acredito que uma das condições essenciais para sua ocorrência é dada pela postura do pesquisador frente aos limites da sua área de especialização para a resolução de problemas reais, quando então procura em outras áreas do conhecimento e no diálogo com outros pesquisadores os elementos que possam enriquecer seu trabalho. Isto é tanto mais claro quanto mais nos aprofundamos no estudo das ciências do ambiente, que ocupam a interface entre as ciências naturais e humanas.

“... torna-se necessário que o especialista adquira certa familiaridade com uma disciplina diferente da sua. Não se trata, evidentemente, de tornar-se especialista em duas ou mais ciências. (...) Em outras palavras, não tem o direito de permanecer ignorante de suas *démarches* essenciais ou indiferente aos desenvolvimentos científicos que se produzem nos setores vizinhos ao seu campo de investigação, nem que seja porque precisa saber onde tomar de

empréstimo quando tiver necessidade de dados ou de instrumentos para a sua própria pesquisa. Isto é tanto mais verdadeiro quanto os pesquisadores que se propõem ao empreendimento interdisciplinar jamais conseguirão chegar a essa espécie de mutação mental ou de renovação do pensamento – “conversão” intelectual prévia, imprescindível a uma tarefa desse tipo – a não ser que renunciem, não somente ao espírito particularista de cada disciplina, mas a toda e qualquer atitude de pequeno proprietário demasiado aferrado à sua porção de saber como a um bem a ser avarentamente protegido.” (JAPIASSU, 1976, p. 90-106)

Assim, resumizando a postura interdisciplinar que procurei adotar nesta pesquisa, tentei me colocar como um ecólogo preocupado em traduzir o seu estudo ecológico de forma que este possa ser efetivamente estendido à Educação Ambiental no contexto do ensino formal ou, por outro lado, como um educador que busca na Ecologia de Rios os elementos para melhorar suas atividades tendo em vista uma problemática ambiental regional. Cabe ressaltar que a abrangência de diferentes áreas só foi possível em função das oportunidades e facilidades que a minha atividade profissional nos últimos doze anos me proporcionou, que funcionaram como variáveis intervenientes:

- a formação como biólogo e o mestrado em Ecologia, quando realizei um estudo sistemático de uma bacia hidrográfica, possibilitou o planejamento do estudo ecológico, facilitando tanto o relacionamento com o laboratório que forneceu a infraestrutura do trabalho, quanto a busca de financiamento desta parte da tese através de um projeto patrocinado;
- a experiência como autor de livro didático na área de Ciências me proporcionou maior facilidade para o planejamento e execução do trabalho relatado no capítulo 3.
- a experiência anterior como professor em diferentes níveis do ensino público e em projetos educacionais (feiras e clubes de ciências) e em cursos de atualização docente para professores na área de Ciências facilitou os contatos e propostas junto às diversas instituições de ensino abrangidas, bem como à Secretaria Municipal de Educação de Curitiba.

Sem estes três fatores mencionados, que não significam mérito mas oportunidade, este trabalho dificilmente teria sido levado a cabo, pelo menos não com a abrangência que teve.

4.3 – Articulação dos trabalhos desenvolvidos.

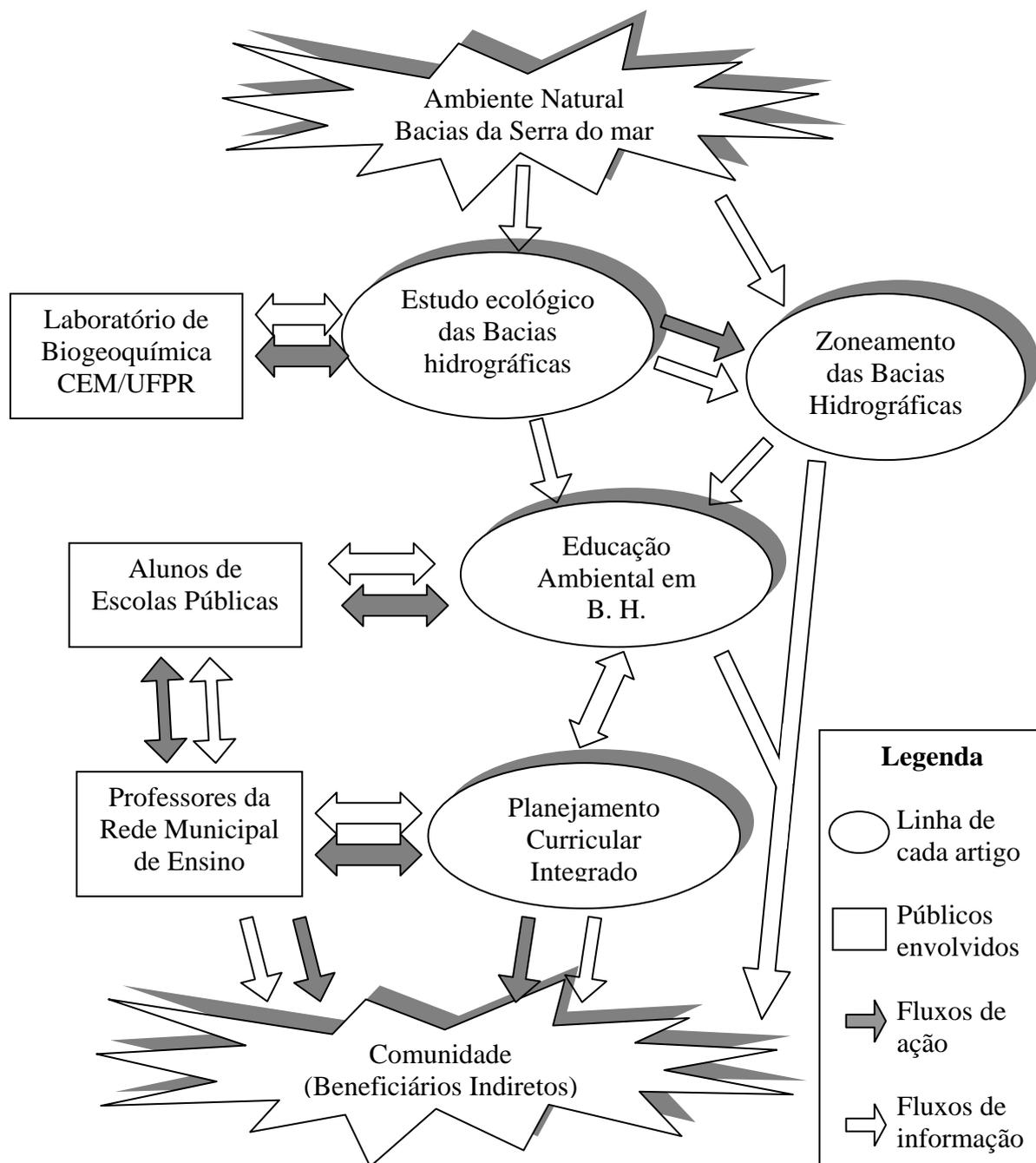


Figura 1 – Fluxograma representativo das frentes de trabalho abrangidas neste estudo, evidenciando as suas articulações.

4.4 - Contexto Regional

As bacias hidrográficas estrategicamente escolhidas para este trabalho estão situadas nas vertentes continental e litorânea da Serra do Mar no Paraná, tanto pela urgência de ações de conservação dos ecossistemas únicos que ali se encontram, quanto pela importância de seus recursos hídricos, que fornecem o abastecimento de água para cerca de dois milhões de pessoas.



Figura 2 – Serra do Mar no estado do Paraná. A expansão urbana da Região Metropolitana de Curitiba (mancha no lado esquerdo da fotografia) tem ocorrido principalmente na direção leste, avançando sobre os mananciais da vertente continental da serra. À direita, temos a baía de Paranaguá. Imagem: EMBRAPA, 2003.

Nesta região são encontrados registros dos movimentos que fizeram parte do que pode ser chamado de berço da Comunidade Paranaense; talvez menos enquanto espaço de fixação dos primeiros colonizadores e mais enquanto rota daqueles que, oriundos da faixa litorânea e dos movimentos das províncias de então (Minas Gerais, São Paulo,...), deixaram suas marcas em

uma considerável faixa de terras e ambientes que significam um elo entre a planície litorânea, os contrafortes da Serra do Mar e a paisagem típica do Primeiro Planalto paranaense. A paisagem regional apresenta vertentes, faixas de trânsito vegetacional e de nascentes vitais, tanto pelas condições climáticas, quanto pelo tipo de solo e várzeas. Marques (1987) afirma que, se por um lado os ecossistemas presentes não se revelaram propícios à expansão do urbanismo capitalista ou dos sistemas agroindustriais (o que garantiu a existência ainda de grandes áreas pouco atingidas pela exploração humana), por outro, representam o risco da “terra de ninguém”, pois a demografia rarefeita coloca a região sob constante ameaça de degradação pelo surgimento de empresas de exploração primária, como pedreiras e mineradoras, pelo sediar de instituições proscritas pelo cidadão da capital (favelas, colônia penal, presídio), pelo uso para o depósito de excedentes das cidades próximas, como o lixo urbano.

Assim, a questão da preservação dos mananciais é complexa e intimamente ligada à ação das comunidades que se instalaram principalmente a partir da década de 1970 naquela região. Sobre estas comunidades, destacamos algumas características (Luz, 2001):

a) grande parte dessas populações resultam do excedente populacional de Curitiba, sujeitas aos já estudados processos sociais de exclusão e confinamento;

b) embora as regiões de mananciais sejam protegidas por legislações federais, estaduais e municipais específicas, verifica-se o desordenado assentamento, sem condições mínimas de infra-estrutura e saneamento. São comuns os processos de favelização às margens dos cursos de água, nascentes, várzeas, fundos de vale e cavas;

c) muitas famílias são oriundas de distintas regiões do interior do país, sofrendo ainda grandes dificuldades pela transição da cultura rural para o ambiente urbano. Observa-se como conseqüência a não-formação de identidade cultural nessas comunidades, sendo que os poucos indícios de organização comunitária na região são demasiadamente sujeitas a influências político-eleitoreiras;

d) não bastassem essas variáveis, a região abriga ainda refúgios das classes mais abastadas, como é o caso de casas e clubes de campo, haras e

condomínios fechados (denominados “villages”), produzindo um claro contraste social, o que dificulta ainda mais as ações de conservação ambiental.

Por outro lado, a corroborar a idéia de que na relação entre comunidade e ambiente as influências são recíprocas, as populações em questão são também as primeiras vítimas dessa problemática ambiental, fato que pode ser evidenciado pelos seguintes indicadores (Santos, 1995):

a) aumento significativo nos registros de doenças infecciosas relacionadas ao contato com águas contaminadas, tais como hepatite, leptospirose, doenças respiratórias e, principalmente, doenças de pele;

b) maior exposição aos regimes ambientais peculiares a uma região de mananciais, como as enchentes;

c) deficiência dos programas curriculares no que diz respeito a uma efetiva Educação Ambiental tendo em vista a problemática regional;

d) grande aumento nos índices de violência, drogadicção e desemprego.



Figura 3) Vista da Serra do Mar (ao fundo) a partir do centro de Pinhais (Av. Camilo de Lelis, Julho de 2004)

Dada a gravidade desses problemas e sendo a água um fator limitante fundamental à sustentabilidade, tornam-se urgentes os estudos sobre a dinâmica dos ecossistemas em questão e sua resposta a perturbações diversas, principalmente em uma época em que se intensificam as invasões e loteamentos clandestinos, ao mesmo tempo em que são definidos e realizados

grandes planos de desenvolvimento regional, como represas para captação de água e obras rodoviárias (p. ex. o Contorno Rodoviário Leste da RMC e barragem do Rios Irai e Piraquara II). O estudo pretende subsidiar ações de planejamento e contribuir para um efetivo programa de Educação Ambiental para a região dos mananciais.

5.0 - Referências Bibliográficas

- ALVIM, A. M & XAVIER, L. (2004) **O valor Econômico da Água**. Boletim informativo nº 1 (6). Santa Cruz do Sul, Comitê Pardo – Comitê de gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo/Núcleo de Pesquisa e Extensão em Gerenciamento de Recursos Hídricos, 2004.
- ÂNGELO, C. (2003). Entrevista com Lester Brown. **Folha de S. Paulo Online** – disponível em <www1.folha.uol.com.br/folha/ciencia/ult306u9534.shtml>, acessado em 22/ago/2004.
- BORMANN, F.H. & LIKENS, G.E. 1967. Nutrient Cycling. **Science**, **155(3461)**: 4424-529.
- BRIGANTE, J. & ESPÍNDOLA, E.L.G. (2003). **Limnologia Fluvial: um estudo no rio Mogi-guaçu**. São Carlos: Rima, 2003.
- BROWN, LESTER R. (2003). **Eco-Economia: construindo uma economia para a terra** Salvador: UMA- Universidade Livre da Mata Atlântica. 2003. 368 p.
- FAZENDA, I. (1994). **Interdisciplinaridade: História, Teoria e Pesquisa**. São Paulo: Papyrus, 1994
- HYNES, H.B.N. (1975). **The stream and its valley**. Verh. Internat. Verein. Limnol. 19: 1-15.
- JAPIASSU, H. (1976). **Interdisciplinaridade e patologia do saber**. Rio de Janeiro: Imago, 1976.
- LUZ, G. O. F. (2001). **A formação de formadores em Educação Ambiental nos cenários da "Região Metropolitana de Curitiba": das resistências aos fatos**. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento). Curitiba, UFPR. 2001. 279p.
- MACHADO, C. J. S. (2003). **O Preço da água**. Ciência Hoje 32(192) p. 66-67.
- MACHADO, N. J. (1996). **Epistemologia e Didática**. São Paulo: Cortez, 1996.
- MARQUES, H. (1987). **Projeto Centro de Ciências do Ambiente de Piraquara**. Piraquara: Convênio Pref. de Piraquara e Fundação “O Boticário” de Proteção à Natureza, 1987.
- MEDINA, N. M. (1996) **Relações históricas entre sociedade, meio ambiente e educação**. Brasília: s.ed. 1996.
- MIGLIORI, R. (1993) **Paradigmas e educação**. São Paulo: Aquariana, 1993.
- MIRANDA, E.E. DE & COUTINHO, A.C. (coord.). 2004. **Brasil visto do espaço**. Campinas, Embrapa Monitoramento por Satélite, 2004. Disponível na Internet em <http://www.cdbrasil.cnpm.embrapa.br>.
- MULHOLLAND, P. J. (1992). Regulation of nutrient concentrations in a temperate forest stream: Roles of upland, riparian, and instream processes. **Limnology and Oceanography**, **37(7)**: 1512-1526.
- SANTOS, S. H. (1995). **Instrumentos processuais e políticos para o meio ambiente urbano**. In: Anais di Curso de Direito Ambiental e Urbanístico. Curitiba, IMAP, 1995.
- TOWNSEND, C.R.; ARBUCKLE, C.J.; SCARSBROOK, M.R. (1997). The relationship between land use and physicochemistry, food resources and macroinvertebrate communities in tributaries of the Taieri River, New Zealand: a hierarchically scale approach. **Freshwater Biology** **37**: 177-191.
- TUNDISI, J. G. (1999). **Limnologia no século XXI: perspectivas e desafios**. São Carlos: Instituto Internacional de Ecologia, 1999. 24 p.
- UNESCO (1986). **A Declaração de Veneza: A Ciência diante dos limites do conhecimento**. Veneza: UNESCO/Fundação Giorgio Cini, 1986.

Capítulo I

Estudo Ecológico de rios das vertentes continental E oceânica da Serra do Mar no Paraná

1 – Introdução

A Serra do Mar no estado do Paraná é uma região que pode ser considerada ambientalmente estratégica, tanto pela existência das paisagens de conservação prioritária que são os remanescentes da Floresta Atlântica, quanto pelo fornecimento de recursos hídricos à Região Metropolitana de Curitiba e às cidades litorâneas. A crescente demanda por recursos hídricos e o avanço desordenado dos centros urbanos em direção a estas áreas de manancial justificam o desenvolvimento de estudos sobre a dinâmica dos ecossistemas aquáticos e suas respostas a perturbações diversas, como base para o desenvolvimento de programas de monitoramento, recuperação, conservação e Educação Ambiental.

No Brasil, a correta gestão dos recursos hídricos atualmente apresenta uma grande carência de iniciativas em três áreas: a) trabalhos básicos de caracterização ecológica dos ecossistemas aquáticos; b) trabalhos que possam testar, adaptar e validar teorias ecológicas e procedimentos de monitoramento e conservação, desenvolvendo modelos baseados nos ecossistemas locais c) programas de extensão que possibilitem a difusão eficiente dos conhecimentos gerados.

Neste estudo foi realizada a comparação entre as características ecológicas entre rios situados na vertente oceânica e continental da Serra do Marumbi (estado do Paraná), adotando uma abordagem baseada na natureza tetradimensional dos ecossistemas lóticos (dimensões longitudinal, lateral, vertical e temporal, segundo Ward, 1989). Do ponto de vista da Ecologia de Rios, teve como objetivo analisar os efeitos da Serra, barreira orográfica que atua como um divisor climático, sobre os ecossistemas aquáticos das bacias adjacentes (bacia Litorânea e bacia do Alto Iguaçu). Foi também discutida a aplicabilidade das atuais teorias para ecossistemas aquáticos, desenvolvidas e exaustivamente testadas em rios do hemisfério norte, mas que ainda carecem

de adaptação e validação para os ecossistemas tropicais e subtropicais brasileiros. Do ponto de vista prático, o trabalho deu origem a uma proposta de zoneamento limnológico das bacias que servirá como base para identificar características dos rios em diferentes trechos de suas bacias, bem como os principais fatores determinantes da qualidade da água, procurando contribuir para um possível programa de monitoramento biológico das bacias hidrográficas da Serra do Mar. O trabalho foi contextualizado em vista das atuais tendências de ocupação do espaço e exploração do recurso hídrico na região.

2 - Objetivos

Objetivo geral

Analisar a variação espacial e temporal de características limnológicas em duas bacias hidrográficas nas vertentes continental e oceânica da Serra do Mar no Paraná, consideradas como sistema ecológico, subsidiando programas regionais de Planejamento, Conservação e Educação Ambiental.

Objetivos Específicos

- **Descrever** o gradiente espacial e temporal das variáveis físicas, químicas e biológicas dos rios durante um ciclo sazonal completo;
- **Comparar** o comportamento limnológico das vertentes da Serra do Mar, avaliando as possíveis influências da barreira orográfica e da vegetação sobre os ecossistemas lóticos;
- **Identificar e caracterizar** os trechos dos rios que apresentam um comportamento homogêneo das variáveis limnológicas, propondo um zoneamento baseado nessas variáveis, considerando as unidades da paisagem e seus biótopos ao longo das bacias e suas influências sobre o ecossistema lótico;
- **Identificar** possíveis fatores de descontinuidade serial e suas influências sobre o trecho seguinte dos rios;

- **Interpretar** ecologicamente os dados obtidos para cada unidade da paisagem, caracterizando sua estrutura e dinâmica, identificando os sistemas mais sensíveis a alterações e sugerindo possíveis ações de manejo, monitoramento e conservação;
- **Elaborar** uma síntese de conhecimentos sobre a Ecologia de bacias hidrográficas, embasada em dados e exemplos locais, que possa ser difundido através de ações em Educação Ambiental.

3 - Caracterização da área de Estudo

3.1 - Localização

As bacias hidrográficas dos rios Piraquara e Marumbi localizam-se entre as coordenadas geográficas de 25°32'30" e 25° 27'30" de latitude Sul e 48°49'30" e 49°07'30" de longitude oeste de GMT (vide Mapa da figura 4).

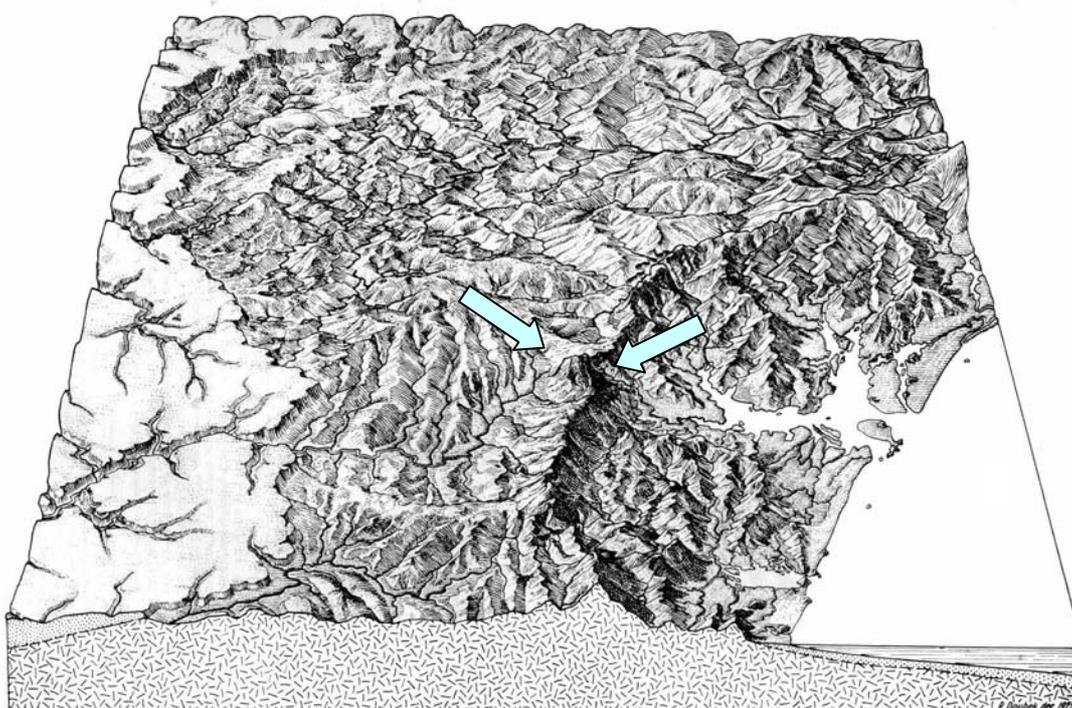


Figura 1) Bloco-diagrama da Serra do Mar no estado do Paraná. As setas indicam o posicionamento aproximado das bacias que foram estudadas.

Fonte: Bigarella, 1978

Como pode ser visto no bloco-diagrama da figura anterior (figura 1), as bacias estudadas estão localizadas nas vertentes do divisor de águas entre a bacia do Rio Paraná e a Bacia Litorânea, em um dos pontos em que a Serra do Mar no Brasil é mais estreita e íngreme (ver imagem hipsométrica da figura 3)



Figura 2) Área de estudo (aprox. 25°30' S e 49°00' W). Legenda: 1) Serra do Marumbi; 2) Cidade de Piraquara; 3) Cidade de Morretes; 4) Represa de Piraquara. (Montado a partir de imagens de Miranda & Coutinho, 2004)

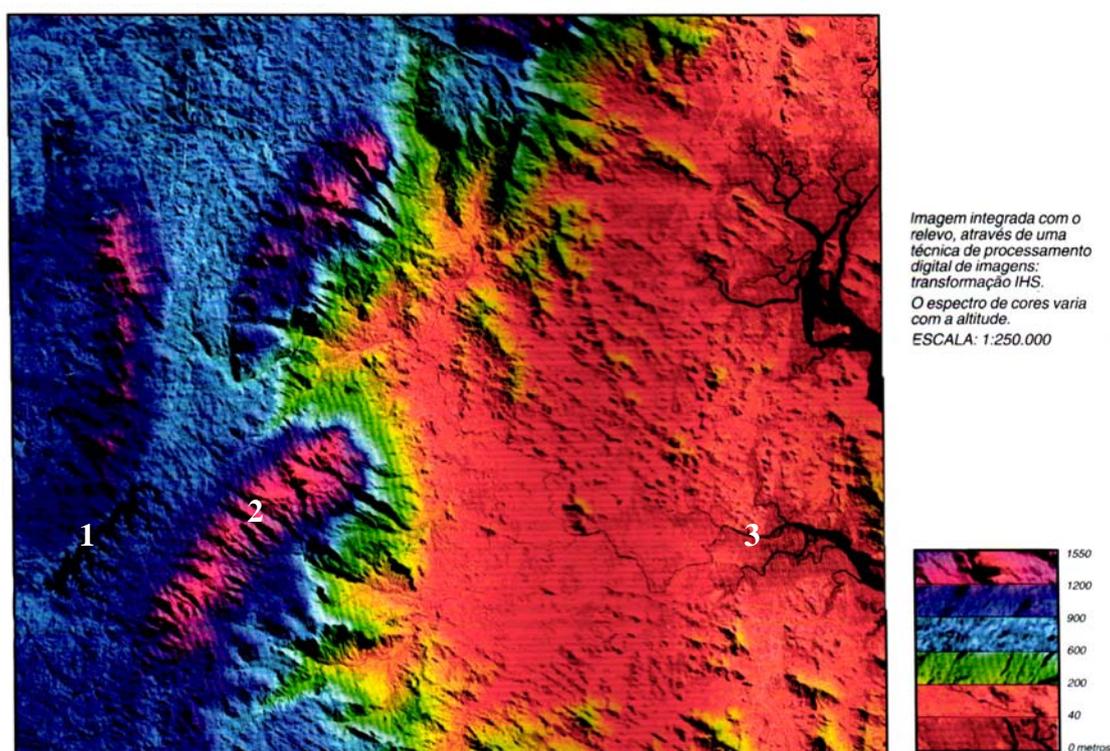


Figura 3 - Imagem hipsométrica a partir de imagens landsat TM-5. O espectro de cores varia com a altitude. Destacam-se a represa de Piraquara (1), A serra do Marumbi (2) e a foz do rio Nhundiaquara (3), na Baía de Antonina. Fonte: PARANÁ (1995).

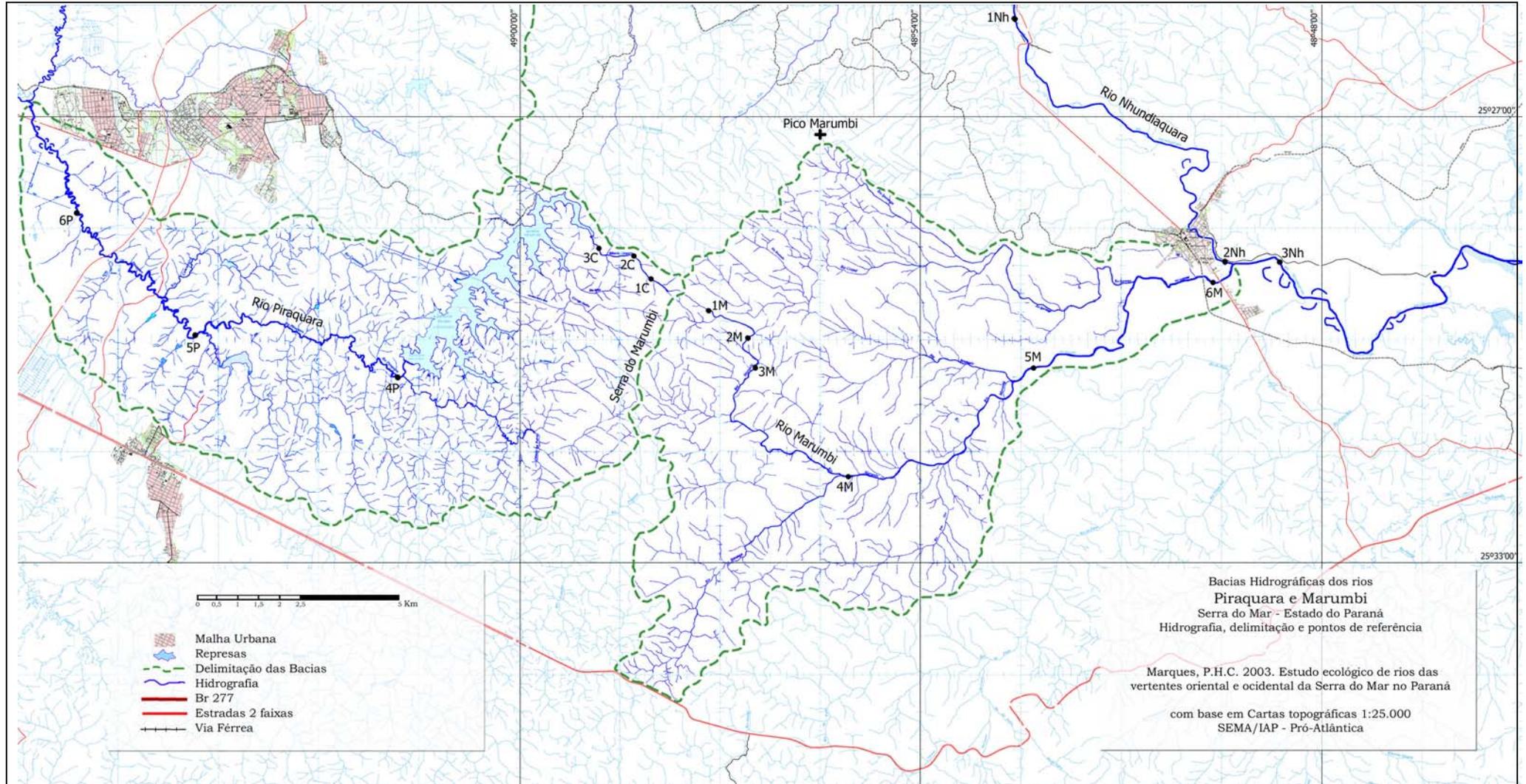


Figura 4 – Bacias hidrográficas dos rios Piraquara e Marumbi: Hidrografia, Delimitação e pontos de coleta.

O mapa anterior (figura 4) representa a área de estudo, com a hidrografia, delimitação das bacias, pontos de coleta e alguns pontos de referência. A Serra do Marumbi é o conjunto de montanhas no divisor de águas das duas bacias.

A bacia hidrográfica do rio Piraquara encontra-se inteiramente no município de Piraquara (região metropolitana de Curitiba – Paraná), ocupando aproximadamente 43% do seu território, no primeiro planalto paranaense. Suas nascentes estão localizadas na vertente oeste da Serra do Mar, que recebe localmente a denominação de Serra do Marumbi ou Serra do Leão, onde destacam-se o Pico do Marumbi com 1547m e o Morro do Leão com 1.564m (Vicentini et al., 1993). A bacia do Piraquara é uma das onze bacias que constituem a Bacia do Alto Rio Iguaçu, sendo a que apresenta a melhor condição de preservação e qualidade da água (Marques, 2000, p. 6). Sua foz está localizada no rio Iraí, na cota de 879 m sobre o nível do mar.

Nas cabeceiras desta bacia está localizada a área dos Mananciais da Serra, sendo a unidade de conservação mais antiga do estado. Foi adquirida pelo governo do estado em 1906 com a intenção de proteger os mananciais de captação de água da capital paranaense, na época totalmente realizada neste local (represa do Carvalho). Em 1967 a área foi designada “Jardim Botânico do Estado” e desde então sua administração ficou a cargo da Sanepar – companhia estatal de saneamento, que ainda operava o reservatório do Carvalho para abastecimento da cidade de Piraquara.



Figura 5 - Reservatório do Carvalho (Mananciais da Serra); construído no início do século XX, abastecia a capital paranaense (Foto do autor).

A bacia abrange também a porção sudoeste do Parque Estadual do Marumbi, e toda sua extensão é considerada como área de manancial de abastecimento público, contemplada por legislação própria. Em 1996 foi criada a Área de Proteção Ambiental (APA) do rio Piraquara, abrangendo toda esta bacia hidrográfica. O divisor de águas entre as bacias é a Serra do Marumbi, onde se localiza o Parque estadual do Marumbi como uma das mais importantes unidades de conservação do Estado.



Figura 6 - Localização do Parque Estadual do Pico do Marumbi (área verde clara), no divisor de águas entre a bacia do Alto Iguaçu e a bacia litorânea.

Exatamente na vertente oposta desta mesma Serra do Marumbi está a bacia hidrográfica do Rio Marumbi. A maior parte desta bacia possui cobertura vegetal em ótima condição de preservação, pois alta declividade nas encostas da serra restringe a atividade agrícola. Nas porções mais baixas, em regiões próximas à cidade de Morretes, já se observam traços acentuados de conversão do solo para atividades agrícolas, destacando-se os cultivos e criações de subsistência e pequenas lavouras de cana, banana e horticultura. A foz do Rio Marumbi está situada no Rio Nhundiaquara, a leste da cidade de Morretes, à cota de 10 m sobre o nível do mar.



Figura 7 - Vale do Rio Ipiranga, o maior afluente da margem direita do rio Marumbi, vista a partir da BR-277 (foto do autor).

A escolha destas duas bacias para a realização do estudo foi feita com base nos seguintes critérios:

- As bacias são adjacentes, tendo a Serra do Mar como divisor de águas (figura 2), elemento orográfico que atua também como divisor climático entre a planície costeira e o planalto. Assim, estas bacias mostram-se adequadas para o propósito de comparação das vertentes da serra.
- A nascente do rio Marumbi está localizada justamente na vertente oposta da nascente do rio Caiguava (Mananciais da Serra), e pode ser atingida em 3 horas de caminhada a partir desta última, através do divisor de águas da Serra do Marumbi. Os trechos mais baixos da bacia podem ser atingidos a partir de Morretes, via Estrada do Engenho.
- Os trajetos dos rios principais (Piraquara e Marumbi) representam, grosso modo, um transecto estendido na direção leste-oeste, atravessando gradientes paisagísticos que partem de uma situação altamente preservada nas nascentes, seguindo em direção a áreas urbanizadas, o que os torna adequados para servir como referência para programas de monitoramento.
- A atividade agrícola é pouco desenvolvida, restringindo-se à utilização de pastagens naturais em pequenas propriedades e lavouras de subsistência, não sendo encontrado o uso intensivo de agrotóxicos ou mecanização de lavouras. Não existem até o presente momento atividades industriais dentro dos limites das duas bacias.

3.2 – Clima

A área de estudo encontra-se na Região Bioclimática 1 (EMBRAPA, 1986), apresentando pelo sistema de Holdridge o clima submontano (tipo temperado quente) úmido e muito úmido (Vicentini et al., 1993).

Na Bacia do Rio Piraquara, o clima é definido pelo sistema de Koeppen como subtropical úmido mesotérmico, com verões frescos (temperatura média inferior a 22 °C) e invernos com ocorrência de geadas frequentes e severas (temperatura média inferior a 18 °C, com temperaturas mínimas podendo atingir -5 °C). Fevereiro é o mês mais quente com temperatura média de 21 °C e o mês mais frio é julho, com média de 13 °C. A Bacia do Marumbi, na vertente oceânica, apresenta o clima subtropical úmido mesotérmico com verões quentes, tendo a temperatura média dos meses mais quentes superior a 22° C, e meses mais frios isentos de geadas, com temperatura média inferior a 18° C, sem estação seca.

A região está sujeita às ações do anticiclone do Atlântico Sul, que dá origem à massa tropical atlântica e do anticiclone migratório polar e respectiva frente polar, e em menor escala ao centro de baixa pressão do Chaco. O anticiclone do Atlântico Sul atua o ano todo dando origem aos sistemas de ventos de Sudeste e Nordeste, sendo geralmente dotadas de temperaturas mais elevadas e forte grau de umidade específica. Esta umidade tende a concentrar-se em suas camadas inferiores, e as condições estruturais dessas massas de ar (Atlântica e Polar) são perturbadas quando elas adentram o continente e encontram a barreira orográfica da Serra do Mar, originando então as chuvas orográficas (PIRAQUARA, 1999). Esta condição é determinante para a ocorrência da exuberante vegetação ombrófila nas encostas da serra, embora o solo litólico seja bastante pobre.

Na figura seguinte (figura 8) a comparação da pluviosidade média entre estações situadas em um lado e outro da Serra do Mar mostra a clara diferença climática proporcionada pela barreira orográfica da Serra. Embora o regime pluviométrico seja equivalente em todos os locais (verifica-se distinção clara entre estação seca e chuvosa), a precipitação na estação Véu da Noiva (vertente oceânica) é praticamente o dobro da observada na estação Piraquara

(vertente continental), estando estas duas estações aproximadamente a 10 Km de distância uma da outra.

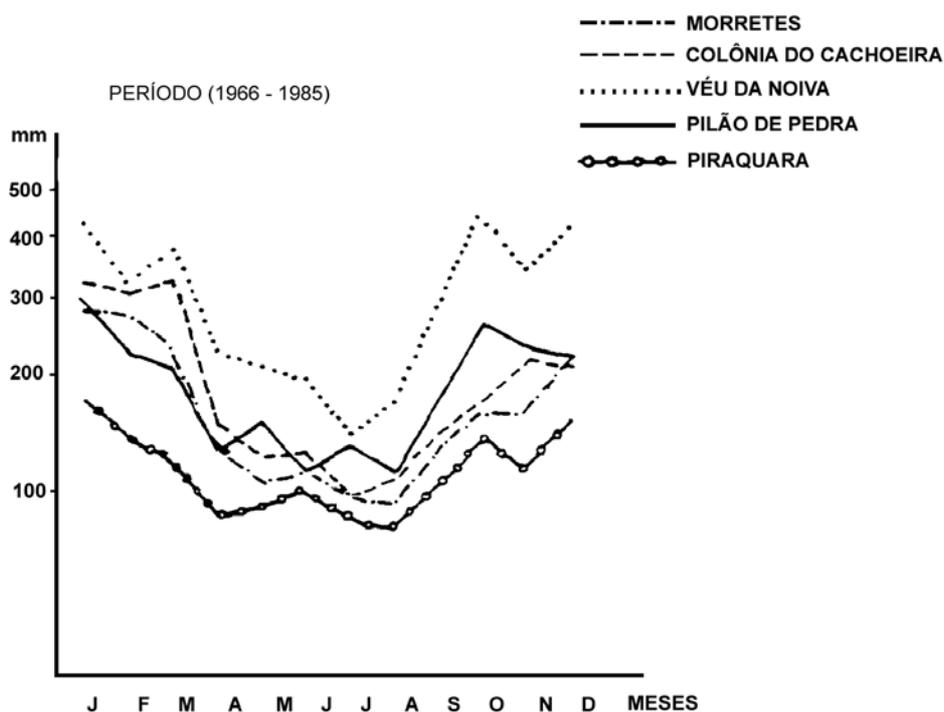


Figura 8 - Precipitação pluviométrica em diferentes localidades da Serra do Mar no Paraná. Fonte: ITCF (1987).

A diferença climática entre litoral e planalto pode ter grandes consequências sobre os ecossistemas lóticos. As massas de ar oceânicas geralmente são carregadas de nutrientes provenientes do “spray” marítimo, o que pode significar um maior aporte de nutrientes sobre a vertente oceânica da Serra. Por outro lado, a maior precipitação nesta vertente também pode fazer com que o fenômeno não seja detectável nas análises químicas da água, pois tais nutrientes estarão mais diluídos pelo maior volume de água precipitado.

A figura a seguir ilustra o papel do relevo da Serra do Mar na formação das chuvas orográficas, que são os principais fatores responsáveis pela diferença climática entre as duas vertentes da Serra.

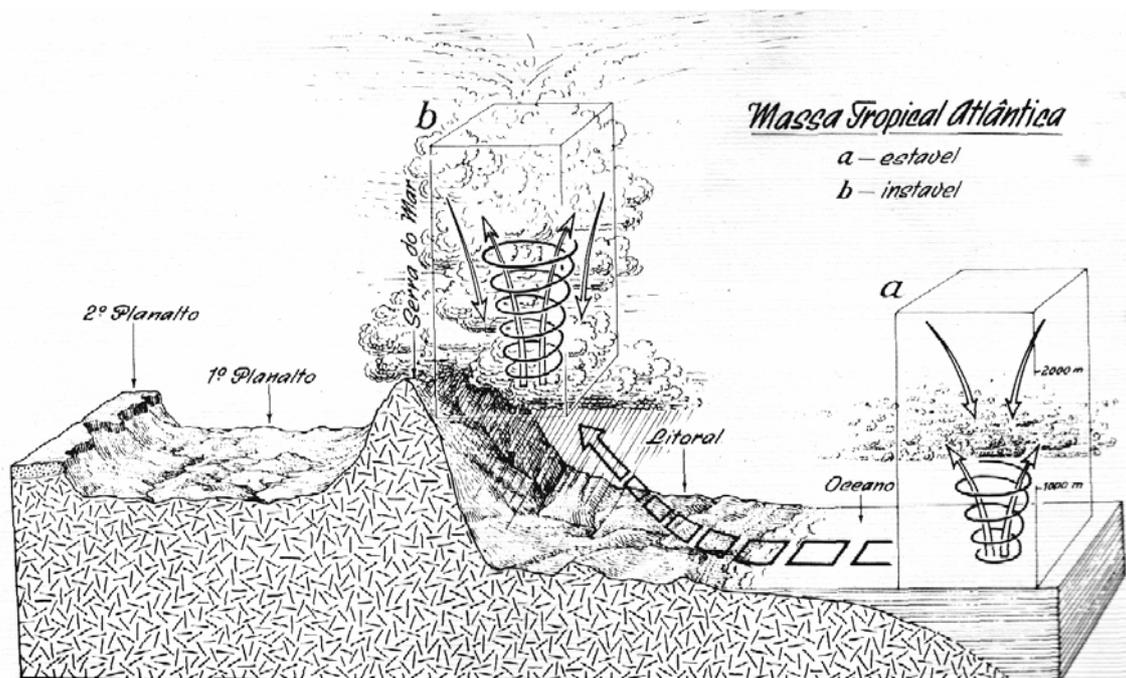


Figura 9 - A Massa Tropical Atlântica individualiza-se no centro do anticiclone do Atlântico Sul. Possui uma inversão térmica que oscila em altitude; no inverno mais alta e no verão mais baixa. Este fato determina as chuvas orográficas quando da sua ultrapassagem pela Serra do Mar. Fonte: Bigarella, 1978.

Alguns pesquisadores da floresta Atlântica da Serra do Mar destacam as diferenças entre a vegetação entre as duas encostas da Serra, se tomarmos pontos em altitudes equivalentes (Labiak, P., 2003, comunicação pessoal). Essas diferenças são observadas principalmente em termos do desenvolvimento mais acentuado da floresta na vertente mais úmida, e não tanto em termos de composição florística. Porém, entre a vegetação do planalto (acima de 900m) e a da planície litorânea (abaixo de 200 m) as diferenças são bem mais evidentes, inclusive na composição florística. Estes fatos, aliados aos resultados obtidos em estudo anterior realizado no Rio Piraquara (Marques et. al., 2003), fundamentaram os objetivos propostos para este trabalho, bem como o desenho amostral e os métodos utilizados.

A caracterização mais detalhada sobre vegetação, geomorfologia, histórico de ocupação e uso do solo está apresentada no item 4 do capítulo II, que apresenta o estudo das paisagens contidas nas bacias dos rios Piraquara e Marumbi.

4.0 – Material e Métodos

4.1 – Desenho amostral

Foram estabelecidos 15 pontos de coleta ao longo dos cursos principais das bacias (ver mapa da figura 4), buscando uma distribuição de acordo com as principais unidades de paisagem descritas no capítulo II. As unidades de paisagem nas bacias hidrográficas se dispõem ao longo do forte gradiente ambiental que pode ser evidenciado através do corte hipsométrico (figura 10) elaborado a partir da altitude de cada ponto de coleta (perfil altimétrico – figura 11). Neste corte, está representado um esquema do posicionamento relativo dos pontos nos rios Piraquara e Marumbi.

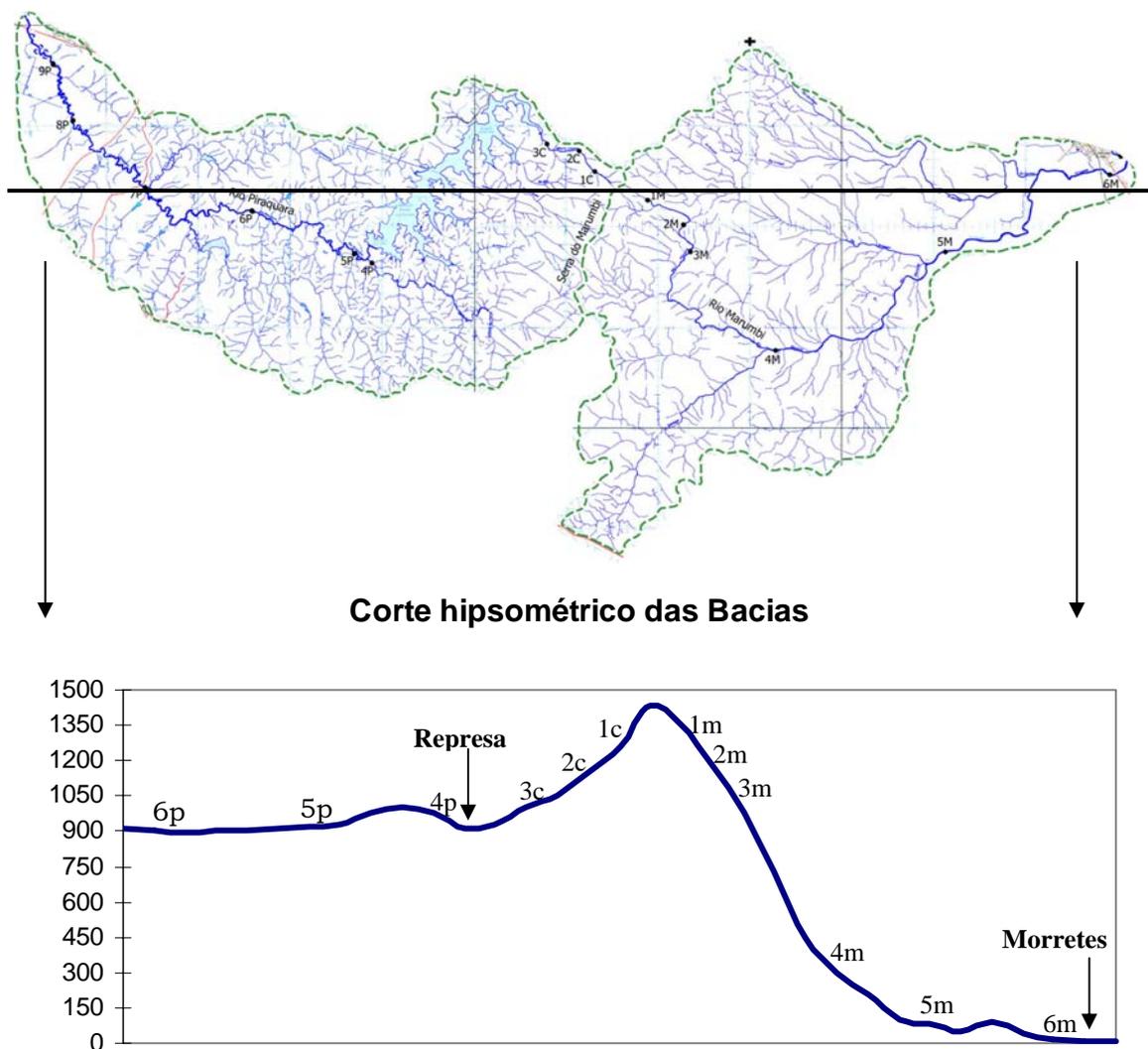


Figura 10 – Corte Hipsométrico das bacias estudadas. A escala vertical (altitude) é ilustrativa, não corresponde à distância real.

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

- 1C, 2C e 3C – Rio Caiguava (denominação local do rio Piraquara na vertente da serra)
- 4P, 5P e 6P - Porção final do Rio Piraquara
- 1M a 6M – Rio Marumbi
- 1Nh a 3 Nh – Rio Nhundiaquara

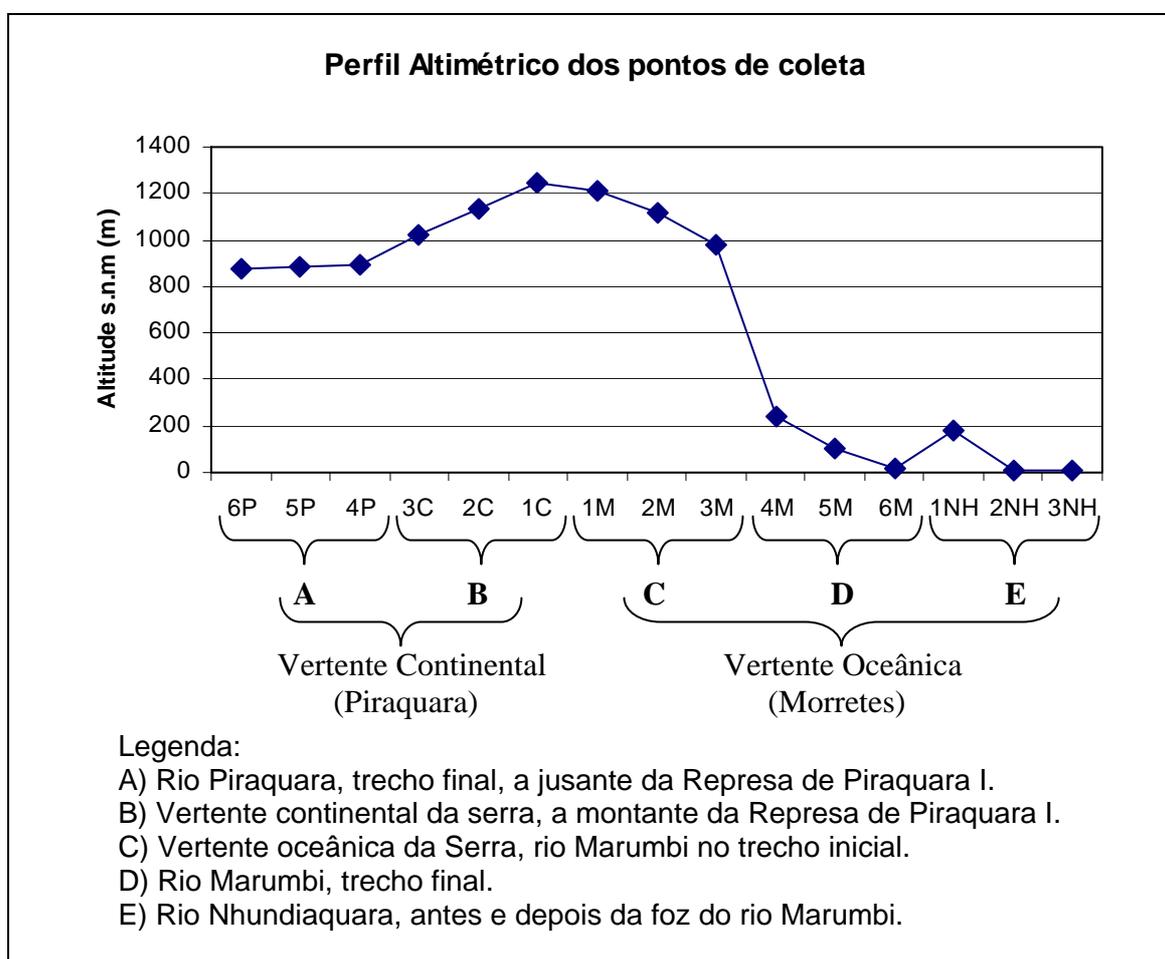


Figura 11 - Perfil Altimétrico dos pontos de coleta. As escalas vertical e horizontal são ilustrativas, não correspondendo à distância real.

4.2 – Material de campo

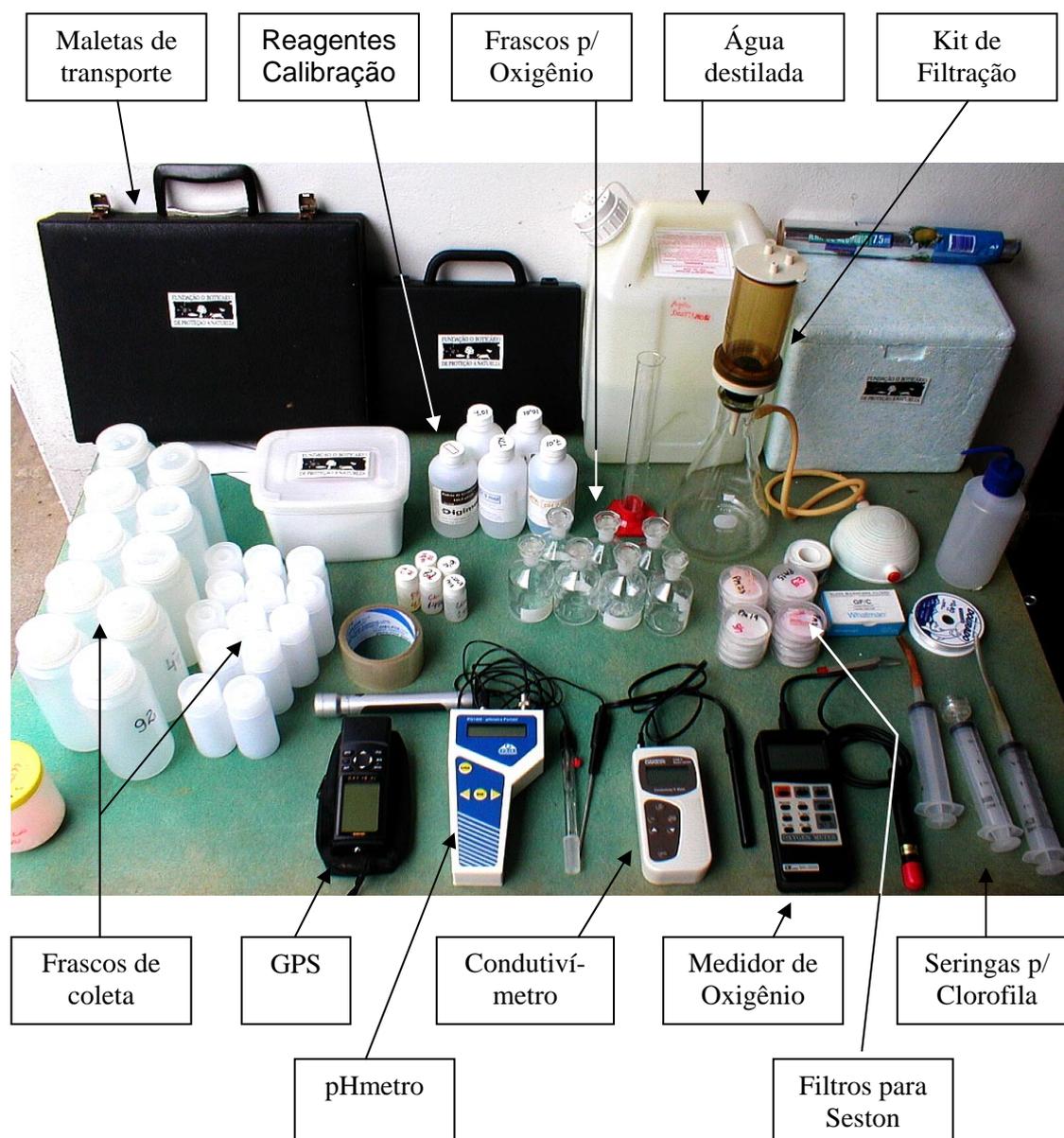


Figura 12 – Kit de análise de água completo

O desenvolvimento do kit de análise de água foi realizado a partir dos equipamentos científicos tradicionais para coleta, filtração e análise físico-química da água, de acordo com as metodologias descritas em CETESB (1988). Algumas modificações foram adotadas tendo em vista a obtenção de um equipamento de fácil transporte, podendo ser usado tanto para a pesquisa científica quanto para atividades didáticas (capítulo III). O material foi adquirido através de projeto vinculado à Sociedade Fritz Muller de Ciências Naturais, patrocinado pela Fundação O Boticário de Proteção à Natureza.

4.3 - Amostragem e respectivos métodos de análise:

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: Período chuvoso, compreendendo as coletas de Janeiro, Fevereiro e Março; e período seco com as coletas de julho, agosto e Setembro de 2003.

Em cada ponto de coleta foram realizadas amostragens de água segundo 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, Temperatura da água, Oxigênio Dissolvido e Condutividade. As amostras de água foram transportadas sob refrigeração até o laboratório, onde foram filtradas em filtros de microfibras de vidro 0,45 μm , e posteriormente congeladas aguardando as análises químicas.



Figura 13 – Coleta de água, filtração e medidas de campo (Rio Marumbi, ponto 6M – fevereiro de 2003).

Nos mesmos pontos de coleta foram realizadas amostragens de sedimentos de fundo para o levantamento da comunidade de macroinvertebrados bentônicos. As coletas foram realizadas através de amostrador do tipo “surber”, com malha de 500 μm . O material biológico foi fixado em formol a 5%, condicionado em sacos plásticos e levado para laboratório para triagem, com passagem final por peneira de 500 μm , contagem, identificação em lupa estereoscópica e posterior conservação em álcool 70 %.

Os macroinvertebrados bentônicos foram separados em Unidades Taxonômicas Operacionais (UTO), de acordo com o grupamento de alimentação funcional, (Cummins, 2002) para posterior interpretação segundo o Conceito de Continuidade Fluvial (Vannote et al., 1980), a exemplo do trabalho de Baptista et al., 1998. A correlação dos dados bióticos com as variáveis físico-químicas e com as características fisiográficas das bacias foi feita mediante Análise de Correspondência Canônica (Asensio, 1989). Os resultados relativos aos macroinvertebrados bentônicos serão analisados em outro trabalho (Pagliosa & Marques, 2004, *em preparação*) e não fazem parte desta tese.



Figura 14 – Coleta de macroinvertebrados bentônicos (Rio Marumbi, ponto 2M, Fevereiro de 2003).

Em campo, foram analisadas as seguintes variáveis: temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$); condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$), pH e oxigênio dissolvido ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$), através de instrumentos de medição, conforme metodologia descrita em CETESB, 1988.

As amostras de água coletadas foram filtradas ao final da coleta em filtros de microfibras de vidro, e analisadas no laboratório de Biogeoquímica do Centro de Estudos do Mar (Universidade Federal do Paraná), sendo verificadas as seguintes variáveis com seus respectivos métodos: oxigênio dissolvido pelo método de Winkler (mg/l); demanda bioquímica de oxigênio (mg/l); fosfato inorgânico dissolvido ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$), nitrato ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$), nitrito ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$), amônio ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$), silicato reativo ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$), nitrogênio e fósforo totais ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) segundo Grasshoff

(1983); material em suspensão total (mg.L^{-1}) e clorofila – a ($\mu\text{g.L}^{-1}$) por espectrofluorescência segundo Strickland & Parsons (1972).

A maioria das análises realizadas neste trabalho está em rotina no Laboratório de Biogeoquímica do Centro de Estudos do Mar (UFPR) para amostras de água do mar e das baías, mas algumas adaptações dos métodos foram realizadas para as análises de água de rio, principalmente em relação à diluição das amostras.

4.4 – Análise e integração dos resultados

As variáveis físicas e químicas da água foram interpretadas individualmente segundo seu significado ecológico, para estabelecer a correlação com as unidades de paisagem. Os resultados para cada variável estão apresentados no item 5, com os respectivos comentários e a discussão dos resultados.

Para definir o zoneamento limnológico das bacias, foi utilizada análise multivariada de componentes principais (Underwood, 1997), buscando a identificação de trechos dos rios estudados que apresentam comportamento relativamente homogêneo das variáveis. Os resultados são apresentados no item 6.0.

5.0 – Resultados: análise física e química da água

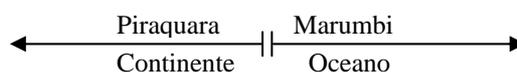
Com o objetivo de analisar a variação longitudinal e temporal das variáveis descritoras do ambiente aquático, optamos por apresentar todos os resultados obtidos na forma de gráficos (figuras 15 a 25), representando cada variável em função dos pontos de coleta conforme o mapa da figura 4. A variação temporal é representada por três sequências de dados:

Período Chuvoso (◆): Média dos valores obtidos nas coletas de janeiro, fevereiro e março.

Período Seco (■): Média dos valores obtidos nas coletas de junho, agosto e setembro.

Anual (▲): Média global anual e desvio padrão das amostragens por ponto de coleta. O desvio padrão representado abrange também os desvios dos períodos seco e chuvoso.

A divisão dos gráficos através das setas indica o divisor de águas das vertentes da serra, bem como a direção dos rios Piraquara e Marumbi:



5.1 – Temperatura da água

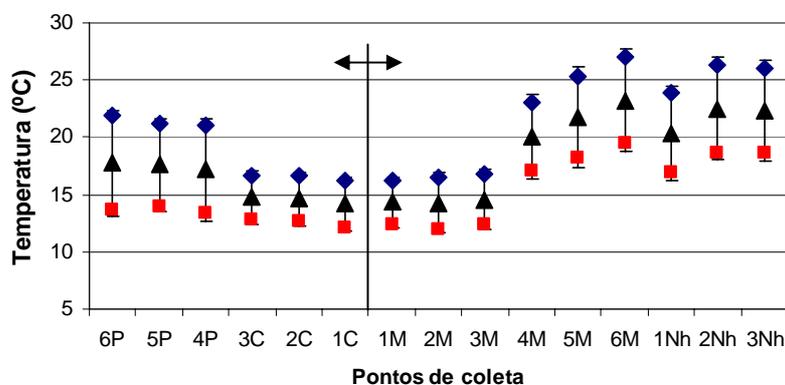


Figura 15 - Temperatura da água por ponto de coleta (°C)
 Período Chuvoso (◆); Período Seco (■); Média anual (▲)
 Rios: P = Piraquara; C = Caiguava; M = Marumbi; Nh = Nhundiaquara.

Observamos um comportamento climático com dois períodos bem distintos de temperatura (figura 15): os meses de novembro a março, mais quentes, e os meses de abril a setembro, mais frios. O regime climático coincidiu com as coletas, fato que pode ser confirmado pelas diferenças marcantes entre os dois períodos na temperatura da água. Nas vertentes da serra, com o ambiente lótico bastante protegido da insolação pela vegetação, a temperatura tende a ser mais baixa e também mais estável durante os períodos (médias entre 10 e 13°C no inverno e entre 16 e 19°C no verão). Nas porções mais baixas das duas bacias, onde o leito dos rios está mais exposto à insolação direta, a temperatura da água sofre maior variação nictemeral, sendo maiores também as diferenças de temperatura entre as estações do ano.

5.2 – pH

O pH de águas naturais é influenciado por vários fatores, podendo ser considerado como uma medida da capacidade de tamponamento do corpo d'água, indicando o balanço entre carbonatos, bicarbonatos e ácidos carbônicos. Payne (1986), citado por Sé (1992), afirma que em rios que drenam áreas de rochas ígneas geologicamente antigas (como é o caso da bacia estudada) ou solos bastante lixiviados como os tropicais, há poucos minerais alcalinos dissolvidos na água e portanto o pH não sofre efeito tampão do sistema, sendo passível de grandes flutuações pela entrada de poluentes e pelo efeito de atividades antrópicas da bacia.

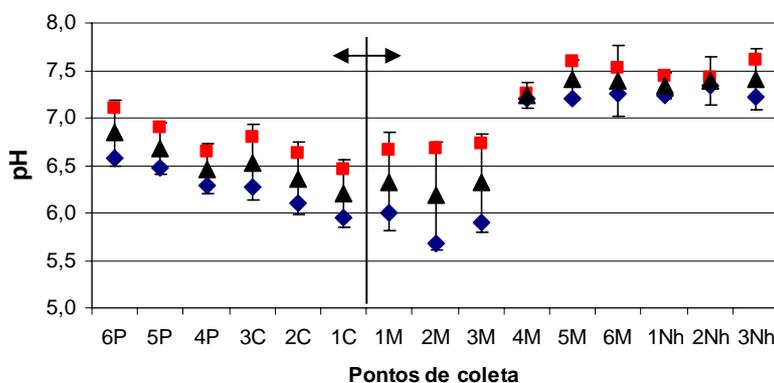


Figura 16 - pH da água em cada ponto de coleta
 Período Chuvoso (◆); Período Seco (■); Média anual (▲)
 Rios: P = Piraquara; C = Caiguava; M = Marumbi; Nh = Nhundiaquara.

Os valores de pH ligeiramente mais baixos encontrados nos pontos 1C a 3C e 1M a 3M provavelmente são devidos aos teores de ácidos húmicos e fúlvicos decorrentes do processo de lixiviação da serrapilheira em ambientes florestados (Lima, 1986). Nesta mesma região podemos distinguir valores ligeiramente mais ácidos no período chuvoso, e dois fatores podem ser responsáveis por este comportamento: o maior aporte de matéria orgânica e a acidez da água da chuva. A porção final do rio Marumbi (a partir do ponto 4M) e os pontos do rio Nhundiaquara apresentaram pH ligeiramente alcalino, sem distinção sazonal e sem a ocorrência de picos que denotassem alguma fonte externa, levando a crer que o fator que determina esta condição é a constituição geológica da bacia, rica em minerais alcalinos. Não foram observadas diferenças nos pontos que sofrem a interferência dos efluentes urbanos, mostrando a capacidade de tamponamento dos corpos d'água.

5.3 – Condutividade

A capacidade que a água apresenta de conduzir a corrente elétrica, denominada condutividade, é uma variável que indica a carga iônica da amostra, sendo diretamente influenciada pelo conteúdo mineral e pelo teor de sólidos dissolvidos na água (Lima, 1986; Esteves, 1988). A existência de picos de condutividade em um determinado ponto do rio em relação a outros pontos pode indicar claramente uma fonte pontual de poluição (Chapman & Kimstach, citado por Barroso, 1994), como é o caso de efluentes domésticos ou poluição industrial. Níveis mais altos de condutividade em um trecho podem ser forte indicativo de atividades agrícolas não conservacionistas.

Os valores de condutividade observados a seguir (figura 17) apresentam um contínuo crescente ao longo do eixo nascente-foz, nas duas bacias, acompanhando o aumento da área de drenagem e a quantidade de materiais em suspensão. Não se verificaram diferenças significativas entre os períodos seco e chuvoso. Nos pontos 6M, 2Nh e 3Nh, verificam-se os valores mais altos, clara influência dos efluentes urbanos da cidade de Morretes.

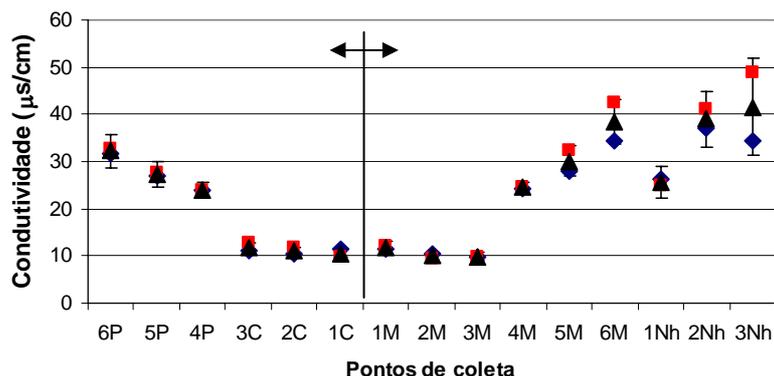


Figura 17 - Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$) por ponto de coleta.
 Período Chuvoso (\blacklozenge); Período Seco (\blacksquare); Média anual (\blacktriangle)
 Rios: P = Piraquara; C = Caiguava; M = Marumbi; Nh = Nhundiaquara.

5.4 – Material Particulado em Suspensão (Seston)

A definição de “material particulado em suspensão” neste trabalho refere-se a partículas orgânicas e inorgânicas transportadas pela água com um diâmetro maior que $0,45 \mu\text{m}$ (diâmetro dos poros do filtro de microfibras de vidro normalmente utilizado para esta medida), sendo que as partículas de diâmetro inferior são consideradas “material dissolvido”.

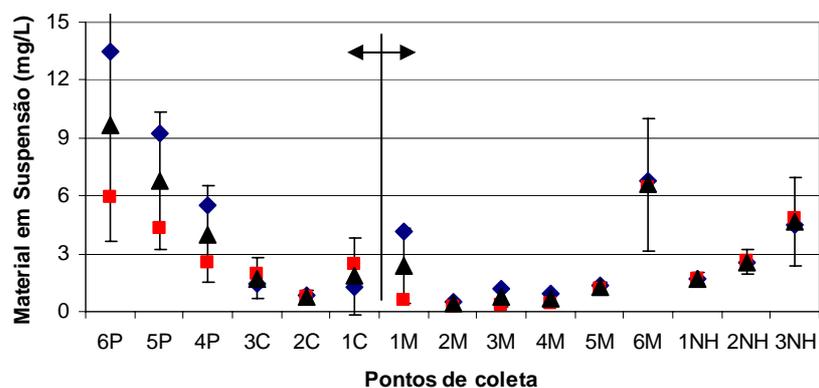


Figura 18 - Material Particulado em Suspensão (mg/L) por ponto de coleta.
 Período Chuvoso (\blacklozenge); Período Seco (\blacksquare); Média anual (\blacktriangle)
 Rios: P = Piraquara; C = Caiguava; M = Marumbi; Nh = Nhundiaquara.

Os resultados mostraram um contínuo crescente desta variável conforme o aumento da área de drenagem ao longo das bacias, destacando a diferença dos pontos 4P a 6P, provavelmente devida à entrada do rio Piraquara

na bacia sedimentar do primeiro planalto paranaense, onde se verifica maior aporte de sedimentos finos. Outro ponto de destaque é o 6M, evidenciando certo grau de degradação das margens na região urbana de morretes.

Quanto à variabilidade temporal, verificamos os níveis mais altos de sólidos em suspensão durante o período chuvoso, principalmente entre os pontos 4P a 6P (curso médio do rio Piraquara). O fato é comumente observado em rios tropicais, sendo atribuído ao maior volume de água que chega ao canal principal (Taniguchi, 1998). Esta variabilidade temporal não é verificada nos pontos localizados em ambas as vertentes da serra, em que a cobertura vegetal confere maior estabilidade e resistência à erosão.

Os valores de Seston encontrados podem ser considerados baixos em comparação a outros trabalhos realizados em rios tropicais, como os citados por Barroso (1994), que relata níveis médios de 70,7 mg/l (mínimo 14,4 e máximo de 234,2 mg/l no período de cheia). Este fato provavelmente é um reflexo das boas condições de preservação da vegetação ciliar nestas bacias.

5.5 – Oxigênio Dissolvido

O grau de aerobiose ou anaerobiose do ambiente aquático tem forte influência em sua própria composição química, devido às reações de oxirredução envolvendo vários elementos na água. Sua dinâmica pode determinar a composição das comunidades lólicas, pela necessidade desse elemento para todas as formas de vida com metabolismo aeróbio (Esteves, 1988). A concentração de oxigênio dissolvido depende principalmente dos seguintes fatores: a) grau de saturação (equilíbrio com o oxigênio atmosférico) que é inversamente proporcional à temperatura da água; b) nível de turbulência da água, que promove maior reaeração por bolhas de ar; c) processos de oxidação de substâncias inorgânicas; d) processos fotossintéticos que liberam oxigênio para a coluna d'água; e) quantidade de matéria orgânica dissolvida e particulada presente, que diminui a concentração de oxigênio por oxidação bioquímica e respiração dos organismos decompositores; f) excesso de material em suspensão, reduzindo a luminosidade necessária à fotossíntese.

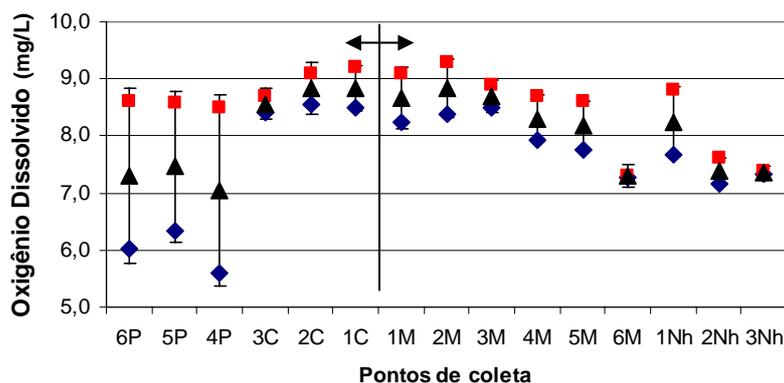


Figura 19 - Oxigênio Dissolvido por ponto de coleta.

Período Chuvoso (◆); Período Seco (■); Média anual (▲)
Rios: P = Piraquara; C = Caiguava; M = Marumbi; Nh = Nhundiaquara.

Esta variável foi a que apresentou as maiores diferenças sazonais entre as concentrações observadas nos períodos seco e chuvoso, certamente em função da temperatura da água (figura 15), que influi no grau de saturação de oxigênio. Os níveis demonstram um ambiente bem oxigenado ao longo de todo o percurso em virtude da velocidade da corrente. Os menores valores encontrados nos pontos 4P a 6P durante o período chuvoso pode ser atribuída à alta temperatura aliada à baixa velocidade da corrente neste trecho, em que o Rio Piraquara já adentrou a bacia sedimentar, com padrão meândrico de drenagem; a quantidade de sólidos em suspensão e a decomposição da matéria orgânica nas zonas de deposição também podem contribuir para este padrão. Na bacia litorânea, os pontos que apresentaram os menores valores de oxigênio dissolvido foram 6M, 2Nh e 3Nh, evidenciando o consumo de oxigênio devido ao aporte de matéria orgânica das áreas urbanas de Morretes.

5.6 – Demanda Bioquímica de Oxigênio

Esta variável representa uma forma de avaliação indireta da quantidade de matéria orgânica bioquimicamente degradável que está disponível na coluna d'água. A leitura é obtida através da medida da quantidade de oxigênio requerida para a oxidação da matéria orgânica em um determinado intervalo de tempo (geralmente 5 dias), em condições de incubação a uma temperatura

estável (20°C) e sob proteção da luz. Os valores de DBO_5 podem fornecer informações sobre os processos de nitrificação e respiração planctônica, dependendo das condições experimentais. Diferenças acentuadas dessa variável em determinados pontos de um rio podem indicar fontes pontuais de poluição orgânica, como os esgotos domésticos, por exemplo.

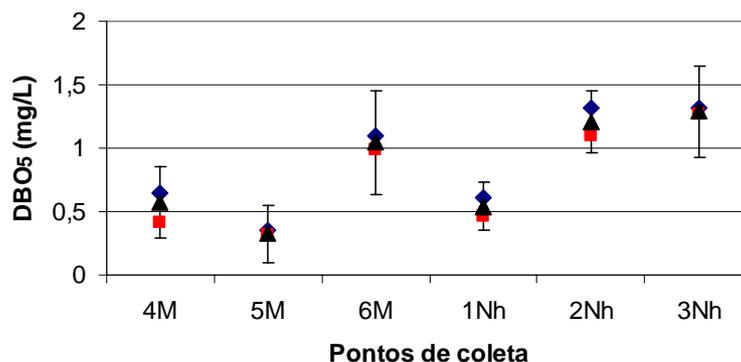


Figura 20 - Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_5) por ponto de coleta. Período Chuvoso (◆); Período Seco (■); Média anual (▲)
Rios: M = Marumbi; Nh = Nhundiaquara.

A análise de DBO_5 deve ser feita através da incubação da amostra imediatamente depois de coletada, por isso não foi possível realizar esta análise nos trechos altos da serra do mar, pois não haveriam condições adequadas de transporte dos frascos de vidro nem tempo hábil para a incubação. Entretanto, em trabalho anterior (Marques *et al.*, 2003) os níveis de DBO_5 encontrados no alto da serra foram praticamente nulos.

Os baixos valores de DBO_5 verificados denotam o pequeno aporte de material orgânico alóctone ao longo das bacias, sendo que os rios poderiam ser enquadrados nas classes Especial 2, segundo os padrões da resolução nº 20 do CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente), cujo valor máximo é de 3 mg/L. Os valores mais altos encontrados nos pontos 6M, 2Nh e 3Nh demonstram uma clara influência do aporte de efluentes urbanos.

5.7 - Nutrientes

O termo **nutriente** é uma denominação genérica dada a uma série de substâncias minerais consideradas fundamentais na constituição e na manutenção das funções orgânicas dos seres vivos. O estudo da dinâmica dos

fluxos de nutrientes nos ecossistemas, também chamada ciclagem de nutrientes ou ciclagem mineral, é uma das principais formas de descrever a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas, ajudando a esclarecer os elos de interdependência entre as formas de vida, e destas com o meio físico de suporte. A complexidade desta rede de relações fornece objeto para uma vida inteira de pesquisas, mesmo em bacias pequenas como as estudadas.

Este trabalho não pretende se aprofundar nestas questões que fugiriam aos seus objetivos, mas apresentar uma discussão a partir da determinação da concentração de nutrientes rotineiros na descrição de ecossistemas aquáticos, buscando uma abordagem em função das teorias para ecossistemas lóticos, levando sempre em conta a limitação da tentativa de descrever tal complexidade através de apenas algumas variáveis. São apresentados para esta discussão os dados relativos à concentração de silicato, fósforo (total e inorgânico dissolvido) e nitrogênio (total e suas frações inorgânicas dissolvidas: amônio, nitrito e nitrato), e uma medida indireta da produção autotrófica do sistema, o teor de clorofila-a em suspensão.

a) Silicato reativo – Si(OH)_4

Os silicatos são substâncias muito abundantes na litosfera, tendo como principal fonte para os ambientes aquáticos as rochas ígneas, e sua concentração em águas naturais é fortemente influenciada pelas características geológicas da bacia. São de grande importância para a constituição física de alguns grupos de algas, especialmente as diatomáceas e silicoflagelados (Wetzel & Likens, 1979), e portanto para a produtividade geral do sistema. O silício é encontrado em várias formas químicas, sendo a mais comumente identificada e monitorada a de silicato reativo ou ortossilicato.

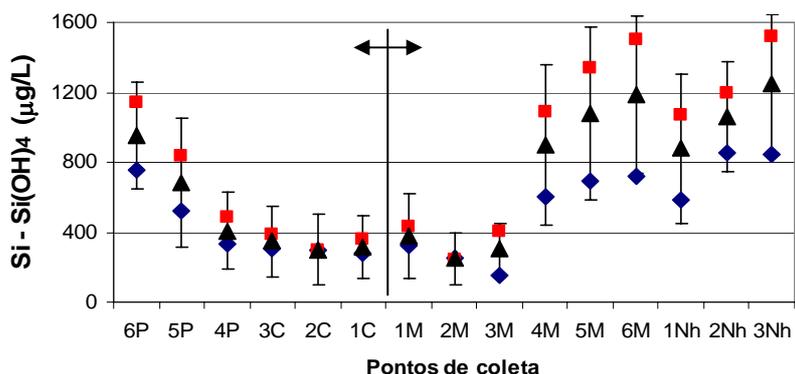


Figura 21 - Silicato Reativo – Si(OH)₄ (µg.L⁻¹) por ponto de coleta. Período Chuvoso (◆); Período Seco (■); Média anual (▲)
Rios: P = Piraquara; C = Caiguava; M = Marumbi; Nh = Nhundiaquara.

A exemplo do ocorrido com outras variáveis, constatamos também um aumento contínuo na concentração de silicato conforme o aumento da área de drenagem. Mozeto & Albuquerque (1997) não identificaram flutuações sazonais na concentração deste nutriente no rio Mogi-Guaçu (SP), que manteve-se constante durante o ciclo sazonal, mas neste estudo observamos uma tendência de aumento durante o período seco. Sendo estas bacias de pequena ordem e pouca interferência antrópica, podemos supor que a quantidade deste mineral liberada para o sistema seja uniforme ao longo do ano, e a diferença sazonal de concentração pode ser atribuída a uma maior diluição no período chuvoso. Na planície litorânea, a maior quantidade de silicato pode estar sendo influenciada pela leve alcalinidade verificada nestes pontos (figura 16) que pode influir sobre o processo de adsorção do silicato.

b) Fósforo

Este nutriente pode ser encontrado em águas naturais na forma dissolvida ou particulada, sendo que ambas são constituídas por frações orgânicas e inorgânicas. As formas inorgânicas dissolvidas de fosfatos (H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , e PO_4^{3-}), denominadas de fósforo reativo dissolvido são prontamente disponíveis para a assimilação pelos vegetais, e, portanto, para a cadeia trófica em ecossistemas aquáticos, sendo convertidas na fração orgânica do fósforo (FISRGW, 1999). Este balanço entre suas formas orgânicas e inorgânicas, que

sofre contínuas transformações ao longo do ecossistema lótico, tem uma forte influência sobre o metabolismo do ecossistema aquático.

O ciclo natural do fósforo na natureza é caracterizado por um fluxo quase unidirecional dos continentes para os oceanos, tendo os rios como principal meio de transporte, diferindo por exemplo dos ciclos do carbono, nitrogênio e oxigênio, que apresentam maior complexidade. A fonte natural de fósforo para o ecossistema aquático é a intemperização e lixiviação de solos e rochas antigas e o seu transporte rio abaixo ocorre em três compartimentos distintos: dissolvido na água, adsorvido às partículas do material em suspensão ou incorporado à biota aquática, e sofre influência das características físicas da bacia. Áreas alagáveis ou represas, por exemplo, são consideradas retardadoras desse transporte, através da deposição em seus sedimentos (Sé, 1992; Newbold, 1980).

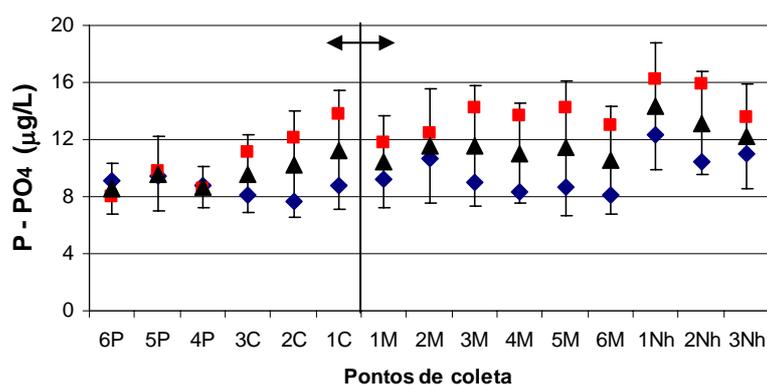


Figura 22 - Fosfato – PO₄ (µg.L⁻¹) por ponto de coleta.
 Período Chuvoso (◆); Período Seco (■); Média anual (▲)
 Rios: P = Piraquara; C = Caiguava; M = Marumbi; Nh = Nhundiaquara.

A concentração das formas desse nutriente pode sofrer forte influência das atividades humanas na bacia hidrográfica, principalmente através dos resíduos de efluentes domésticos e utilização de fertilizantes, produzindo variações que podem ser facilmente detectadas pela verificação de “picos” de concentração em determinados trechos do rio, o que o qualifica como um bom indicador de fontes pontuais de poluição. Os resultados não apresentam variações pronunciadas de fósforo ou fosfato reativo que possam ser relacionadas a fontes poluidoras substanciais nesta bacia.

As características geológicas da bacia parecem produzir uma pequena exportação de fósforo, o que aponta para a possibilidade deste nutriente atuar como um fator limitante no sistema. Observa-se uma leve tendência de aumento em sua concentração no período seco, provavelmente pela menor diluição. No trecho do rio Piraquara a jusante da represa (4P a 6P), foi detectada uma descontinuidade (diminuição) dos valores que pode ser atribuída à adsorção do fósforo ao material sedimentado na represa, bem como à retenção pela produção autotrófica neste ambiente.

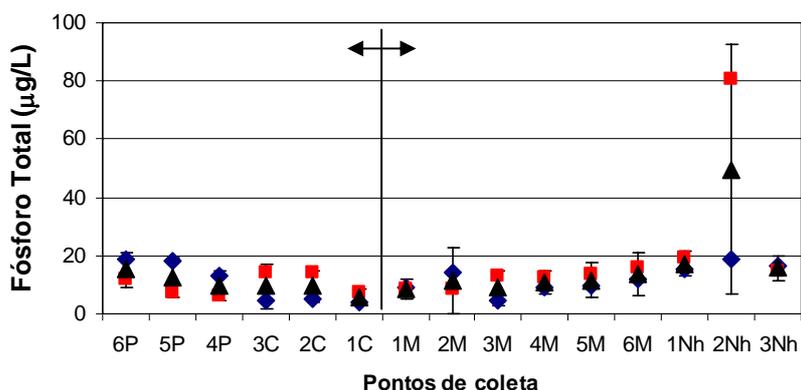


Figura 23 - Fósforo total ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) por ponto de coleta.

Período Chuvoso (◆); Período Seco (■); Média anual (▲)
Rios: P = Piraquara; C = Caiguava; M = Marumbi; Nh = Nhundiaquara.

Os valores de fósforo total seguem os mesmos padrões que os de fosfato, observando-se leve gradiente positivo no sentido nascente-foz. Nesta variável foi detectada a principal evidência de poluição por esgoto doméstico, exatamente no ponto 2Nh (rio Nhundiaquara logo a jusante da cidade de Morretes). Este pico de fósforo total é bastante acentuado no período seco, em que a menor quantidade de água propicia maior concentração do poluente. Justamente no período seco podemos notar grande proliferação de algas filamentosas neste trecho do rio, chegando a cobrir completamente o substrato nos locais de menor correnteza. Este fenômeno pode ser correlacionado à disponibilidade de fósforo, nutriente essencial ao crescimento algal (ver discussão sobre clorofila, figuras 29 e 30).

Esta variável pode ser considerada como uma das mais importantes para o controle em um programa de monitoramento da qualidade de água em Morretes, podendo também fornecer parâmetro para avaliação da eficácia do sistema de tratamento de esgoto que está sendo implantado na cidade.

c) Nitrogênio

Juntamente com o fósforo, as formas em que o nitrogênio pode ser encontrado no ambiente aquático são os principais elementos necessários ao desenvolvimento da biota aquática. Quando estes nutrientes estão limitados ou acima dos padrões normais, por motivos naturais ou não, o desenvolvimento vegetal é amplamente influenciado, e este é um fator de grande importância para o manejo do ecossistema.

O nitrogênio pode ser encontrado no ecossistema aquático sob diversas formas – nitrogênio gasoso dissolvido (N_2), amônia e íon amônio (NH_3 e NH_4^+), nitrito (NO_2^-), nitrato (NO_3^-), e como nitrogênio orgânico nas fases dissolvida ou particulada, associado a material orgânico vivo ou morto (ex.: na constituição de proteínas). As formas mais importante do nitrogênio do ponto de vista dos impactos sobre a qualidade das águas são os íons amônio, nitrito e nitrato, por serem prontamente disponíveis para a assimilação pelos organismos aquáticos, enquanto as formas particuladas ou orgânicas devem ser transformadas pelos processos de ciclagem para formas mais utilizáveis (FISRWG, 1999)

A forma de nitrito (NO_2^-) é muito difícil de ser detectada em águas naturais por ser muito instável, sendo rapidamente transformada em nitrato (NO_3^-), conforme a disponibilidade de oxigênio no meio. Entretanto, tem grande importância em termos de monitoramento, podendo indicar fontes pontuais de poluição como esgotos domésticos e industriais e uso de fertilizantes.

Geralmente a forma de nitrato (NO_3^-) é predominante entre as formas inorgânicas do nitrogênio estando muitas vezes diretamente associada aos valores de oxigênio dissolvido, que influi decisivamente em seu ciclo determinando taxas de nitrificação e desnitrificação (Taniguchi, 1998). O nitrato é uma forma do nitrogênio bastante móvel e facilmente transportada pela água. As maiores fontes de nitrato para o ecossistema aquático são o escoamento superficial da água das chuvas, os processos de lixiviação em ambientes florestados e os processos de nitrificação no lençol freático.

A forma amoniacal (NH_3 e NH_4^+) do nitrogênio em águas naturais ocorre geralmente em baixas concentrações. As principais fontes de amônio estão associadas aos processos de decomposição de algas e macrófitas aquáticas

em condições naturais, e à decomposição de material orgânico proveniente de fontes poluidoras, sendo um bom indicativo de poluição pontual em rios.

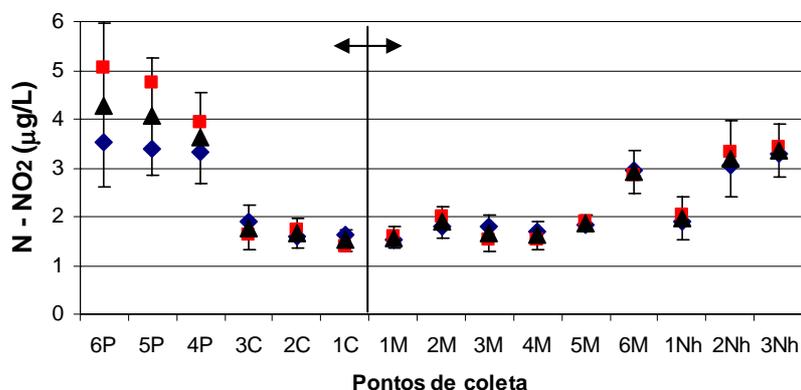


Figura 24 - Nitrito – NO₂⁻ (µg.L⁻¹) por ponto de coleta.

Período Chuvoso (◆); Período Seco (■); Média anual (▲)
Rios: P = Piraquara; C = Caiguava; M = Marumbi; Nh = Nhundiaquara.

Os valores observados para o nitrito (faixa de 1 a 5 µg.L⁻¹) situam-se próximos aos limites de detecção do método utilizado, sendo que não houve variação significativa em nenhum ponto do rio, o que denunciaria fontes pontuais de poluição. Observa-se um contínuo crescente nos pontos 4P a 6P, provavelmente por influência das várzeas, e uma leve tendência de menor concentração deste nutriente no período chuvoso, provavelmente em decorrência de sua diluição. Nos pontos 6M, 2Nh e 3Nh encontramos uma leve tendência ao aumento de concentração, nos dois períodos sazonais, mesmo comportamento verificado para DBO₅, condutividade e amônio, certamente em consequência do aporte de efluentes urbanos.

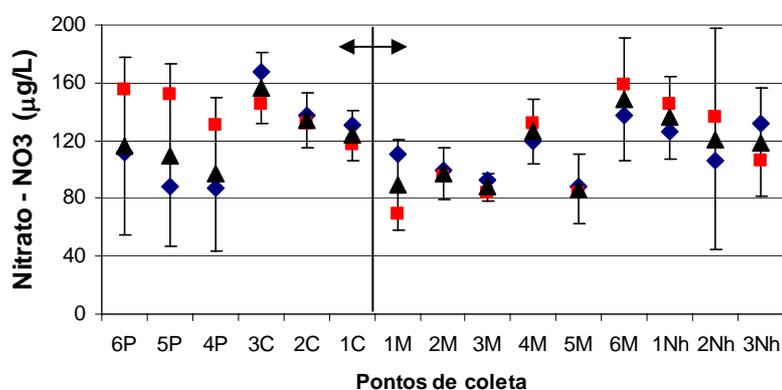


Figura 25 - Nitrato – NO₃ (µg.L⁻¹) por ponto de coleta.

Período Chuvoso (◆); Período Seco (■); Média anual (▲)
Rios: P = Piraquara; C = Caiguava; M = Marumbi; Nh = Nhundiaquara.

Foi observado um comportamento bastante peculiar para a variável nitrato (figura 25), com altos valores encontrados nas nascentes das bacias (pontos 1C a 3C e 1M a 3M). Uma explicação possível decorre dos processos de lixiviação da floresta atlântica que se desenvolve nesta vertente da Serra do Mar, que por sua vez atua como barreira orográfica para as massas de ar carregadas de umidade e nutrientes, originados do “spray” oceânico (Vicentini et al., 1993). Como foi visto na descrição da área, este pode ser o principal fator que contribui para a ocorrência de uma vegetação tão exuberante em um solo pobre.

Por outro lado, a alta oxigenação nestes trecho inicial também deve concorrer para a predominância da forma de nitrato sobre as outras formas do nitrogênio, evidenciando a rapidez do processo de nitrificação propiciado pelas condições do local. Taniguchi (1998) afirma que a disponibilidade de oxigênio dissolvido influi decisivamente sobre a concentração de nitratos, determinando as taxas de nitrificação e desnitrificação.

Ao longo das bacias observa-se a diminuição dos teores de nitrato, em níveis comparáveis aos encontrados por Afonso, 1993. Dois fatores podem estar influenciando sobre este resultado: o primeiro está relacionado à capacidade de retenção de nitratos observada na zona ripária, como demonstram os estudos de Haycock et al. (1993), Daniels & Gillian (1996) e, principalmente, Hill (1996), que atribui esta capacidade aos processos de desnitrificação bacteriana nos solos úmidos e de absorção de nitratos pela teia de raízes que filtra a água percolada nestas regiões. Como foi mencionado, estas bacias possuem uma vegetação ripária contínua e relativamente bem preservada em todo o percurso, possivelmente fazendo com que as águas que entram no curso possuam menores quantidades deste nutriente, explicando a concentração encontrada nas nascentes. Outro fator pode ser a assimilação de nitrato pela biota aquática, transformando-o em nitrogênio orgânico.

Merece destaque também a diferença significativa nas médias de nitratos entre os trechos da vertente oceânica e continental, sendo maiores nesta última.

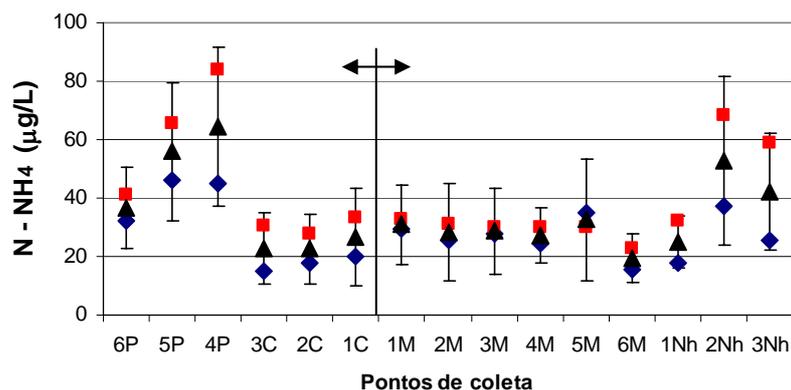


Figura 26 - Amônio – NH₄ (µg.L⁻¹) por ponto de coleta.
 Período Chuvoso (◆); Período Seco (■); Média anual (▲)
 Rios: P = Piraquara; C = Caiguava; M = Marumbi; Nh = Nhundiaquara.

Para a variável amônio, foi registrado um pico de concentração nos pontos a jusante da represa de Piraquara, decrescendo rapidamente até o final da bacia, onde volta a níveis próximos aos iniciais. O fato denota uma clara consequência do efluente da represa de Piraquara, evidenciando os processos de decomposição que ocorrem no ambiente lântico. Este aporte de amônio a partir da represa vai sendo gradativamente diminuído, evidenciando a capacidade de absorção do nutriente pela biota aquática. Smith et al. (1995) descrevem o processo de nitrificação pela ação de bactérias *Nitrosomonas*, transformando o amônio em nitrito (NO₂), sendo este rapidamente oxidado para nitrato (NO₃) pela ação de *Nitrobacter*. A partir da represa, observa-se também as maiores diferenças sazonais de concentração de (NH₄), acentuadamente maiores no período seco. Este fato pode ser explicado pelo regime hídrico imposto no manejo da represa, que neste caso atua como reguladora de vazão na bacia. Assim, nos períodos secos a água da represa é liberada, podendo sua vazão ser inclusive superior à do rio Piraquara em certos momentos, o que faz com que os seus efeitos sejam mais pronunciados nesta época.

Outro pico de concentração foi detectado no ponto 2Nh, a jusante da cidade de Morretes, evidenciando fontes de poluição por esgoto doméstico. Não foram detectadas diferenças entre as vertentes continental e oceânica.

A discussão do balanço das formas de nitrogênio ao longo do ecossistema lótico é fundamental para a compreensão de seu funcionamento, uma vez que este é um dos mais importantes nutrientes para a produtividade do sistema. A figura 27 apresenta os resultados relativos à concentração de nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) que é a soma dos valores das formas inorgânicas encontradas ($NID = [NO_2] + [NO_3] + [NH_4]$); a figura 28 mostra a concentração de nitrogênio total (NT), uma medida que representa todas as formas orgânicas e inorgânicas, dissolvidas ou em suspensão.

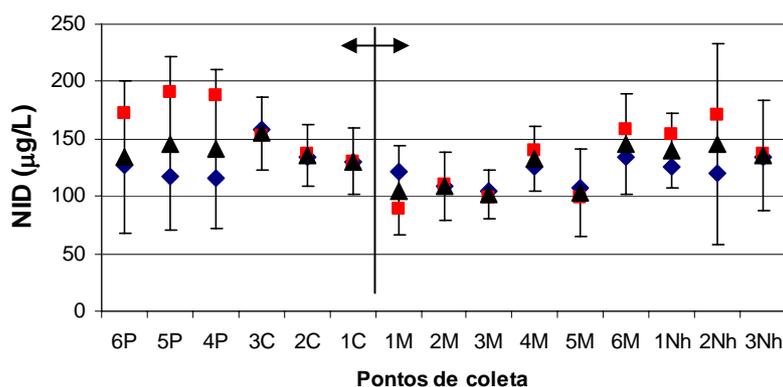


Figura 27 – Nitrogênio Inorgânico Dissolvido - NID ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) por ponto de coleta. Período Chuvoso (◆); Período Seco (■); Média anual (▲)
Rios: P = Piraquara; C = Caiguava; M = Marumbi; Nh = Nhundiaquara.

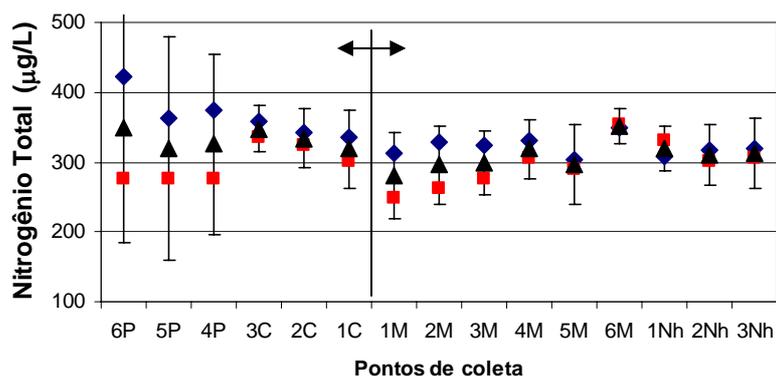


Figura 28 - Nitrogênio Total ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) por ponto de coleta. Período Chuvoso (◆); Período Seco (■); Média anual (▲)
Rios: P = Piraquara; C = Caiguava; M = Marumbi; Nh = Nhundiaquara.

De modo geral, a concentração de nitrogênio total nos valores observados entre 250 e 500 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (figura 28) pode ser considerada normal para rios de pequena ordem em bacias florestadas, se comparada às médias globais descritas por Meybeck (1993) para nitratos, amônia e nitrogênio orgânico dissolvido. O valor médio de encontrado no trecho médio do rio é comparável aos resultados obtidos pelo monitoramento realizado por SUDERHSA (1996).

Quanto à variação sazonal, a figura 27 demonstra a existência de uma tendência de aumento do nitrogênio inorgânico dissolvido no período seco, possivelmente em função de dois fatores: a) maiores concentrações decorrentes do menor volume de água e b) menor consumo de nitrogênio pelos organismos aquáticos (no inverno, temos baixa atividade biológica em função da temperatura). Este comportamento reflete logicamente as variações encontradas para NO_3 e NH_4 , que são as maiores frações do NID.

Também podemos considerar que nos períodos de inverno, que nesta região é bem acentuado com a ocorrência de geadas severas frequentes e temperaturas não raramente inferiores a 0°C na vertente continental, a vegetação encontra-se visivelmente retraída, o que pode ocasionar menor aporte de nutrientes ao rio. Neste caso, verificamos que a maior parte do nitrogênio disponível está sob forma inorgânica dissolvida. No período chuvoso, (mais quente), verificamos que o Nitrogênio total apresenta maiores concentrações, indicando que nesta época a maior fração de Nitrogênio deve corresponder ao nitrogênio orgânico, proveniente tanto do maior aporte de matéria orgânica quanto aos processos de assimilação pela biota aquática.

Mulholland (1992) relata a importância que os pulsos sazonais podem ter sobre o aporte de nutrientes a partir dos detritos terrestres e sobre as condições de equilíbrio e transporte de N e P em rios de pequena ordem. Neste estudo, a maior variação entre os períodos seco e chuvoso foi verificada no trecho que compreende os pontos 4P e 6P, a jusante da represa de Piraquara, podendo ser atribuída à menor proteção da floresta ciliar.

5.8 – Clorofila - α

A medida do teor de pigmentos fotossintetizantes totais, denominados genericamente de clorofila - α , podem ser tomados como uma medida indireta da biomassa algal em suspensão ou da produtividade primária do ecossistema. Embora as variáveis analisadas neste trabalho sejam insuficientes para uma descrição mais apurada do metabolismo do ecossistema aquático, algumas inferências podem ser elaboradas a partir dos resultados obtidos para clorofila- α , nitrogênio e fósforo. Neste trabalho, as medidas de clorofila- α foram tomadas apenas para os pontos situados na planície litorânea. No trabalho anterior (Marques et al. 2003) realizado no rio Piraquara, os pontos situados na vertente da serra (antes da represa de Piraquara) mostraram valores nulos de clorofila- α , evidenciando um trecho das bacias predominantemente heterotrófico, e por isso neste trabalho não foram realizadas as medidas desta variável.

Segundo FISRGW (1999), células do fitoplâncton contém entre 0,5 a 2 μg de fósforo e 7 a 10 μg de nitrogênio por μg de clorofila, e a partir desta relação aceita-se que o crescimento de algas é maximizado quando a relação N/P se apresenta em torno de 10 a 20. Esta faixa é também considerada por Reynolds (1984) como a proporção ideal de suprimento de N e P para as algas. A partir dessa relação, quando um destes nutrientes está em uma quantidade insuficiente, fazendo com que a relação N/P seja alterada, dizemos que este nutriente é o fator limitante. A relação N/P é tomada a partir das formas inorgânicas dissolvidas na água (respectivamente NID e PO_4 , medidas em $\mu\text{mol.L}^{-1}$), formas que estão disponíveis para a assimilação pelas algas.

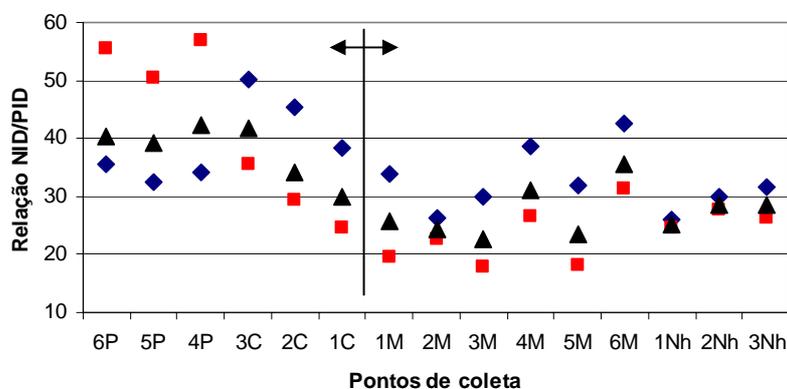


Figura 29 - Relação NID/PID em cada ponto de coleta.

Período Chuvoso (◆); Período Seco (■); Média anual (▲)
Rios: P = Piraquara; C = Caiguava; M = Marumbi; Nh = Nhundiaquara.

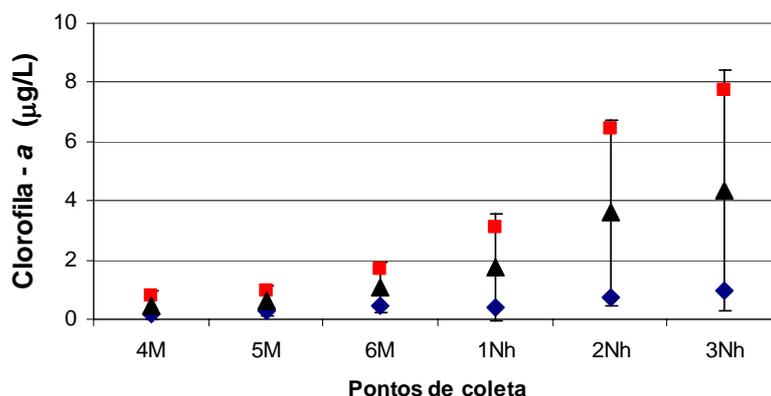


Figura 30 – Concentração de Clorofila-a ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) em cada ponto de coleta. Período Chuvoso (◆); Período Seco (■); Média anual (▲)
Rios: M = Marumbi; Nh = Nhundiaquara.

Nos pontos situados no rio Nhundiaquara verificamos um forte gradiente de clorofila-a ocorrendo no período seco, em que o ambiente lótico está mais estável quanto aos níveis de vazão, indicando um processo de alta produtividade algal. Nestes mesmos pontos, durante o inverno, observamos a ocorrência de um gênero de alga filamentosa recobrando praticamente todo o substrato do rio, dando um aspecto esverdeado ao leito e à própria água amostrada. Conversando com moradores do local, vários deles afirmam que o fenômeno é recente (cerca de cinco anos), nunca havia sido observado antes, e coincide com uma baixa produtividade de peixes, o que nos leva a concluir que o fenômeno pode estar associado ao aumento no aporte de esgotos.

Neste trecho, verificamos também que a relação N/P também se aproxima da faixa considerada ideal para o crescimento das algas, certamente em virtude do aporte de fósforo nas áreas urbanizadas, levando a concluir que o rio pode estar sofrendo um processo de eutrofização, que deverá ser melhor estudado. O fenômeno não foi observado no período chuvoso, provavelmente em função do volume de água. Durante as chuvas de verão são comuns as enxurradas (localmente chamadas “cabeça d’água”), que devem “lavar” periodicamente o leito do rio, não permitindo a fixação destas algas.

6.0 – Ordenação espacial a partir de variáveis limnológicas.

A partir da conclusão das análises de laboratório, a Análise multivariada de Componentes Principais foi utilizada para elaborar o zoneamento longitudinal das bacias hidrográficas, condensando a informação essencial obtida através das variáveis limnológicas em dois componentes principais, permitindo a demonstração gráfica das variações espaciais, conforme realizado em Marques (2000). Foram descritos os gradientes ambientais ao longo do curso da bacia, sendo possível delimitar trechos de comportamento relativamente homogêneo, conforme postulado pela teoria de Dinâmica de Manchas (Patchy Dynamics Concept - Pringle, 1995).

Assim, a análise foi realizada inicialmente a partir de uma matriz contendo 9 variáveis (Si(OH)_4 ; PO_4 ; NH_4 ; $^{\circ}\text{C}$; Cond; pH; OD; NID; Material em suspensão) em função dos quinze pontos de coleta, em dois tempos amostrais (médias dos períodos chuvoso e seco, respectivamente). Estas nove variáveis foram selecionadas através de uma matriz de similaridade, que permitiu verificar, dentre as dezesseis variáveis utilizadas, quais possuíam alto grau de covariância. Identificada a covariância entre duas ou mais variáveis, foi escolhida para esta análise a que possuía maior variação, pois o objetivo é justamente delimitar trechos dos rios, identificando quais as variáveis mais importantes nessa delimitação.

O agrupamento das médias dos períodos sazonais foi realizado buscando uma melhor visualização dos dados e a identificação exata dos trechos do rio que possuem comportamento homogêneo ao longo do ano. Cada ponto plotado no gráfico (figura 31) a seguir representa a média de todas as amostras coletadas em cada ponto de coleta, durante o período seco (s) e chuvoso (c). Exemplo: 6Ms = Médias do ponto 6M nas três coletas do período seco.

Para permitir uma melhor visualização dos dados e possibilitar a delimitação de trechos de comportamento limnológico homogêneo, a análise foi repetida a partir de uma matriz contendo as médias anuais (todas as coletas) por ponto de coleta, resultando em um gráfico-síntese (figura 31) desta ordenação espacial dos pontos de coleta.

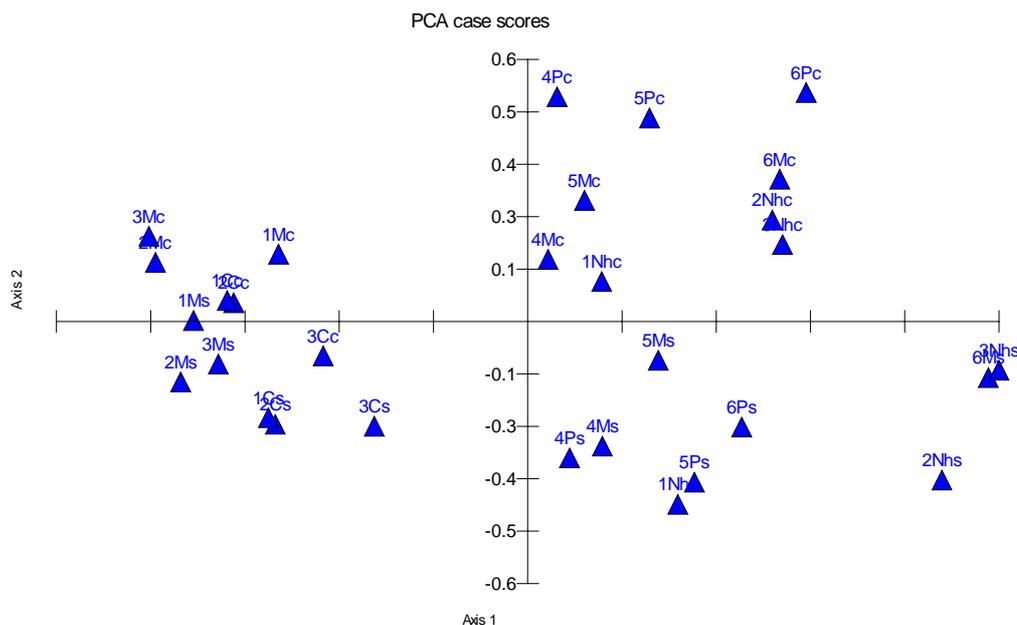


Figura 31 - Ordenação espacial dos pontos de coleta (médias dos períodos seco e chuvoso) através de análise de componentes principais com 9 variáveis x 15 casos (pontos de coleta). O gráfico demonstra 73,28% da variabilidade total em 2 eixos (eixo 1 = 51,76%; eixo 2 = 21,52%)

Tabela 1: Autovalores das variáveis analisadas para os dois primeiros componentes principais e suas respectivas porcentagens de variância:

Autovalores		
	Eixo 1	Eixo 2
Autovalor	5,073	2,117
% da variação	51,76	21,52
% var. cumulativa	51,76	73,28
Pêso das Variáveis		
	Eixo 1	Eixo 2
Si(OH) ₄	0,445	-0,191
NO ₃	0,157	-0,320
PO ₄	0,099	-0,359
NH ₄	0,195	-0,207
T°C	0,288	0,426
Cond	0,504	0,032
pH	0,402	-0,193
OD	-0,302	-0,478
NID	0,228	-0,380
Seston	0,297	0,312

Na análise de componentes principais cabe ao pesquisador a escolha das variáveis ou da combinação de variáveis que melhor explicam o fenômeno em estudo (Rizzi & Guiera, 1996), podendo ser determinadas arbitrariamente as denominações dadas a cada componente, de acordo com a situação em que foi aplicada a análise. Como a hipótese inicial do trabalho é a de que existe um gradiente espacial das características ao longo da bacia, e que este gradiente se apresenta diferenciado segundo a variação sazonal do regime climático, podemos estabelecer que:

1) Os pontos relativos às regiões das vertentes da serra estão agrupados nos quadrantes à esquerda e os demais estão à direita. A constatação leva a estabelecer que o gradiente altitudinal (direção nascente-foz) dos pontos de coleta pode ser associado ao componente principal 1, sendo que as variáveis que mais contribuem para esta distinção são: oxigênio dissolvido (negativamente) e fósforo total, pH, Condutividade e Silicato (positivamente), como pode ser constatado através dos maiores autovalores apresentados.

2) Os pontos de coleta do período chuvoso estão nos quadrantes superiores (exceto 3Cc), enquanto os pontos de coleta do período seco estão nos quadrantes inferiores, mostrando que as variáveis associadas ao eixo 2 são as que possuem maior variação sazonal. As variáveis mais associadas a este eixo são: Oxigênio dissolvido, Temperatura, Material em suspensão (seston); os nutrientes nitrogenados e fosfatados também apresentaram alto grau de associação. Analisando os gráficos das variáveis individualmente, verificamos que estas são as que realmente apresentam maiores diferenças entre as médias dos períodos sazonais.

3) Verificamos que o agrupamento dos pontos segue o mesmo padrão de disposição no gráfico nos dois períodos amostrais, sugerindo que, além da distinção sazonal, podemos ter uma distinção espacial bem acentuada entre os trechos das bacias, como podemos observar no gráfico seguinte (figura 32), em que são utilizadas as médias anuais das variáveis por ponto de coleta.

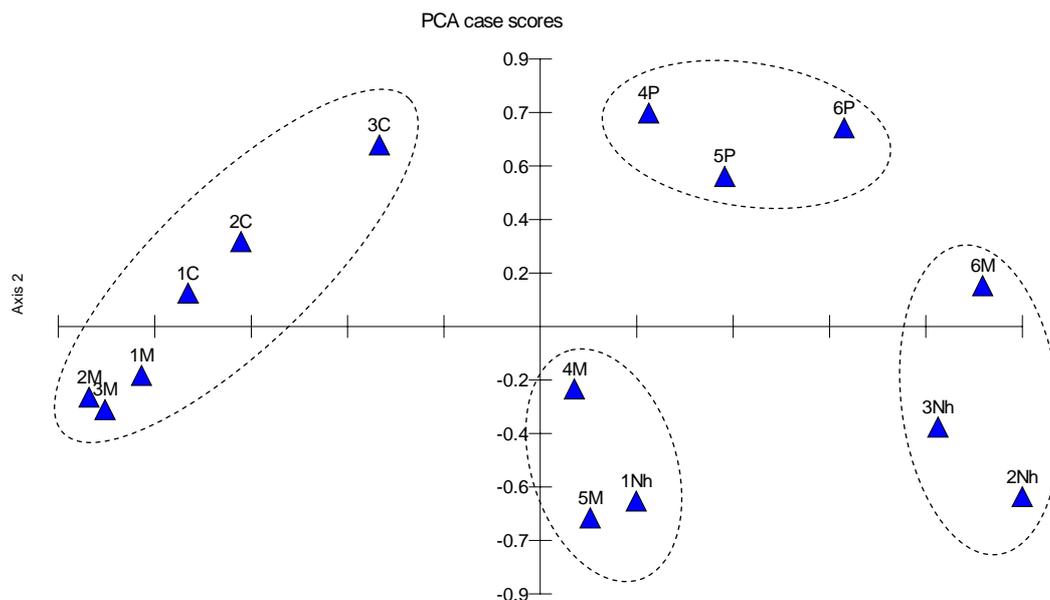


Figura 32 - Ordenação espacial dos pontos de coleta (médias anuais) através de análise de componentes principais com 9 variáveis x 15 casos (pontos de coleta). O gráfico demonstra 79,88% da variabilidade total em 2 eixos (eixo 1 = 56,36%; eixo 2 = 23,52%). As linhas pontilhadas indicam a formação dos agrupamentos dos pontos de coleta.

Tabela 2 – Autovalores das variáveis analisadas para os dois primeiros componentes principais e suas respectivas percentagens de variância

Autovalores		
	Eixo 1	Eixo 2
Autovalor	5,073	2,117
% da variação	56,365	23,522
% var. cumulativa	56,365	79,886
Pêso das Variáveis		
	Eixo 1	Eixo 2
Si(OH)4	0,412	0,198
PO4	0,065	0,589
NH4	0,180	-0,390
T°C	0,410	0,238
Cond	0,440	0,027
pH	0,388	0,307
OD	-0,389	0,299
NID	0,237	-0,202
Seston	0,271	-0,424

O gráfico-síntese da figura 32 demonstra a delimitação de quatro agrupamentos de pontos, delimitando trechos diferentes das bacias que apresentam gradientes ambientais homogêneos, definindo a ordenação das bacias da seguinte maneira:

Região 1: Bacia do rio Piraquara, a jusante da Represa de Piraquara.

Verificamos que os pontos (4P, 5P e 6P) formam um agrupamento bem definido, sendo o trecho que apresenta as maiores distinções entre os períodos seco e chuvoso, provavelmente em função da velocidade da corrente (o rio já apresenta o padrão meândrico típico da bacia sedimentar), e da maior amplitude térmica. A maioria das variáveis sofre influência da represa de Piraquara, que determina variações principalmente nas concentrações de material em suspensão, amônia, nitrito, fosfato e silicato.

Região 2: Vertentes continental e oceânica da Serra do Marumbi, acima da

cota aproximada de 1.000m. A Influência marcante do relevo (alta declividade), da vegetação (tendo como cobertura vegetal predominante as Florestas Ombrófila Densa e Mista, com alto grau de preservação) determinaram uma região que segue exatamente o previsto pela teoria de Contínuo Fluvial (Vannote et al, 1980) para rios de primeira e segunda ordem, em bacias florestadas. Suas principais características são a alta oxigenação, pouco material em suspensão e baixos teores de nutrientes (exceto o Nitrogênio, principalmente na forma de NO_3). Seria possível separar este grupo em dois outros, relativos as duas vertentes da serra (pontos 1C a 3C e pontos 1M a 3M), mas a distinção destes grupos seria definida por apenas uma variável (NO_3); portanto, consideramos homogêneo o comportamento das variáveis nestas duas vertentes.

Região 3: Vertente oceânica da Serra, abaixo da cota de 300 m até a cidade

de Morretes. (pontos 4M, 5M e 1Nh). Observamos gradientes crescentes para as variáveis silicato e condutividade (provável influência do aumento da drenagem em solo litólico), pH e Temperatura (a amplitude térmica regional é bem maior e a largura do rio já permite a insolação direta do

corpo d'água). Interessante notar que as características do ponto 1Nh são bem próximas às dos pontos 4M e 5M, mostrando a validade de comparação entre bacias adjacentes que possuem características fisiográficas semelhantes embora com diferentes áreas de drenagem, o que pode ser bastante útil para programas de monitoramento.

Região 4: Trecho final da bacia do Marumbi e do Nhundiaquara, sob influência de áreas urbanizadas de Morretes (pontos 6M, 2Nh e 3Nh). Todas as variações observadas neste trecho em relação à região 3 podem ser atribuídos à influência da área urbana: a impermeabilização do solo na área urbanizada aumenta o carreamento de partículas aos corpos d'água; os efluentes domésticos alteram a concentração de nutrientes e determinam novo comportamento do ecossistema lótico, certamente influenciando também a Baía de Antonina. Este é o trecho mais crítico do ponto de vista da poluição do sistema, e os resultados obtidos poderão ser úteis para a avaliação do sistema de coleta de esgoto que está sendo implantado. Ressaltamos a importância de ações urgentes de saneamento e Educação Ambiental neste trecho: o ponto 6M, um dos mais poluídos da bacia, é um local tradicionalmente utilizado pelos moradores de Morretes para banho, mesmo com a existência de uma placa de advertência sobre os perigos da contaminação das águas no local.

7 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

A escala espacial de abordagem adotada (da ordem de 10^3 m) mostrou-se bastante adequada para os propósitos deste trabalho, sendo distribuídos 15 pontos ao longo de aproximadamente 50 km de extensão do curso principal das bacias, cada ponto representando entre 2,5 e 4 km de extensão. Uma escala menor (10^2 m) teria que ser adotada para estudar a influência dos meandros ou da mata ciliar sobre a qualidade da água, por exemplo, segundo Allan (1997).

Os resultados parciais obtidos mostram a aplicabilidade das previsões fornecidas pelas teorias ecológicas, principalmente em relação ao conceito de

Contínuo Fluvial (Vannote et. al., 1980; Baptista, 1998), que prevê os ajustes da biota aquática conforme as características fisiográficas rio abaixo; e de Dinâmica de manchas (Pringle, 1995; Townsend, 1989), mostrando que as bacias hidrográficas podem ser interpretadas como um mosaico de distintos trechos de comportamento limnológico homogêneo. Delimitando estes trechos, segundo o conceito de Descontinuidade serial (Sabater et al., 1989; Stanford et al., 1988), encontramos os seguintes fatores de descontinuidade: para o rio Piraquara, são marcantes os efeitos do efluente da represa de Piraquara; para o rio Marumbi, temos a grande declividade da encosta da serra, entre os pontos 3M e 4M, influenciando todo o trecho seguinte; e para o rio Nhundiaquara verificamos a forte influência da área urbana sobre a qualidade da água a jusante.

Deve-se considerar a pequena ordem de drenagem e o fato de que estas bacias estão em ambientes relativamente bem preservados, contendo mata ciliar na maior parte dos percursos (exceto ao redor da cidade de Morretes). Este fato faz com que as condições sejam aproximadas das condições experimentais sob as quais muitos dos trabalhos foram elaborados para a fundamentação de tais teorias, principalmente no hemisfério norte. Entretanto, não se pode afirmar que este seja um padrão para o gerenciamento de outras bacias em diferentes condições (rios de maior ordem ou em outras condições climáticas, por exemplo). De qualquer forma, os procedimentos adotados neste trabalho aplicados a outras regiões certamente poderiam responder a esta questão, determinando a forma e as teorias com as quais o ecossistema pode ser interpretado e gerenciado.

A Influência marcante do relevo (alta declividade), da vegetação (tendo como cobertura vegetal predominante a Florestas Ombrófila Densa e Mista, com alto grau de preservação) determinaram as seguintes características gerais: alta oxigenação e capacidade de transporte de partículas grandes em consequência da velocidade da corrente, pouco material em suspensão, baixos teores de nutrientes (exceto o Nitrogênio, principalmente na forma de NO₃). Merece destaque o fato de que a maioria das variáveis segue um gradiente crescente ou decrescente bem marcado, sendo que as condições gerais permaneceram aproximadamente estáveis ao longo do ano (os mesmos padrões de variação são encontrados no verão e no inverno, sendo diferentes

as concentrações, como consequência da quantidade de água). As variações sazonais foram bem menores em relação ao encontrado em outros trabalhos, denotando a proteção que as condições de preservação da vegetação conferem aos cursos d'água.

Quanto às diferenças entre as vertentes da Serra, verificamos que estas são mais pronunciadas em função do gradiente altitudinal e das características fisiográficas (as características dos rios da planície litorânea são sensivelmente diferentes dos rios do planalto) do que propriamente por fatores decorrentes da diferença climática. Embora tenhamos verificado a grande diferença pluviométrica entre as vertentes (pontos 1C a 3C e 1M a 3M) em pontos de mesma altitude, não foram constatadas grandes diferenciações na maioria das variáveis analisadas (exceto o nitrato).

8 - Referências Bibliográficas

- ALLAN, J.D.; ERICKSON, D.L. and FAY, J. 1997. The influence of catchment land use on stream integrity across multiple spatial scales. **Freshwater Biology** 37: 149-161, 1997
- AFONSO, A.A.O. 1993. **Aporte, retenção e decomposição da serapilheira de mata galeria e características físicas, químicas e hidrológicas em duas seções do córrego Itauna (Itatinga – SP)**, Bacia do Alto Paranapanema. Dissertação de Mestrado. São Carlos, Escola de Engenharia da Universidade de São Paulo.
- ASENSIO, L.J. 1989. **Técnicas de análisis de datos multidimensionales**. Madrid, Espanha.
- BAPTISTA, D. F., DORVILLÉ, L. F. M., BUSS, D. AND NESSIAMIAN, J. L. 2001. Spatial and temporal organization of aquatic insects assemblages in the longitudinal gradient of a tropical river. **Rev. Brasil. Biol.**, 61(2): 295-304
- BARROSO, G. F. 1994. Sistema de avaliação de habitats aquáticos. Estudo de Caso: Estação Ecológica de Jataí, Luiz Antônio, SP. Dissertação de mestrado. Programa de Pós – graduação em Ecologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de São Carlos. São Carlos – SP.
- BIGARELLA, J. J. 1978. **A Serra do Mar e a orção oriental do Estado do Paraná – Contribuição à Geografia, Geologia e Ecologia regional**. Curitiba, SEPLAN/ADEAL. 248 pp.
- CETESB, São Paulo. 1988. **Guia de coleta e preservação de amostras de água** / Coord. Edmundo Garcia Agudo (et al.). São Paulo: CETESB.
- CUMMINS, K.W. & MERRIT, R. 2003. Usando Grupos de Alimentação Funcional de Invertebrados para avaliar a Qualidade ecológica de Córregos e Rios. Curitiba, Secretaria de Estado de Meio Ambiente/Pró-Atlântica/KFW. Relatório técnico.
- DANIELS, R. B. & GILLIAM, J. W. 1996. Sediment and chemical load reduction by grass and riparian filters. **Soil Science Soc. Am. J.** 60: 246-251.
- ESTEVES, F.A. 1998. Limnologia. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.
- FISRWG – Federal Interagency Stream Restoration Working Group. 1998. **Stream Corridor Restoration: Principles, processes and practices**. Disponível na Internet: www.usda.gov/stream_restoration. acessado em 12/06/2004.
- FRISSEL, C. A., LISS, W. J., WARREN, C. E. & HURLEY, M. D. 1986. A hierarchical framework for stream habitat classification: streams in a watershed context. **Environmental Management** 10: 199-214.

- GRASSHOFF, K. 1983. **Methods of Seawater Analysis**. Ed., Verlag. Chemie. Weinheim: 117-181.
- HAYCOCK, N. E.; PINAY, G. & WALKER, C. 1993. Nitrogen retention in river corridors: European perspective. **Ambio**, **22(6)**: 340-346.
- HILL, A. R. 1996. Nitrate removal in stream riparian zones. **J. Environmental Quality**, **25**: 743-755.
- ITCF PARANÁ. 1987. **Planos Global e Específico de Gerenciamento da Área Especial de Interesse Turístico do Marumbi**. Curitiba, ITCF. 110p.
- LIMA, W. P. 1986. **Princípios de Hidrologia Florestal para o Manejo de Bacias Hidrográficas**. Piracicaba, Departamento de Silvicultura da ESALQ/USP. Apostila
- LOWRANCE, R. 1992. Groundwater nitrate and denitrification in a coastal plain riparian forest. **J. Environmental Quality** **21**: 401-405.
- MAIER, M. H. 1978. Considerações sobre características limnológicas de ambientes lóticos. São Paulo, **Boletim do Instituto de Pesca** **5**: 75-90.
- MARQUES, P.H.C. 2000. **Estudo Limnológico do Rio Piraquara (Piraquara – PR): Variação espacial e temporal das características físicas e químicas e ordenação espacial da bacia hidrográfica**. Dissertação de mestrado. São Carlos: PPG-ERN Universidade Federal de São Carlos. 100pp.
- MARQUES, P.H.C.; OLIVEIRA, H. T. & MACHADO, E. 2003. Limnological Study of Piraquara River (Upper Iguazu Basin): Spatiotemporal Variation of Physical and Chemical Variables and Watershed Zoning. **Brazilian Archives of Biology and Technology** **46 (3)**: 383-394.
- MARQUES, P.H.C. 2003 **Estudo ecológico de rios das vertentes oriental e ocidental da serra do mar no paraná e zoneamento limnológico de suas bacias hidrográficas – projeto 055420021**. Relatório Técnico. Curitiba: Sociedade Fritz Müller de Ciências Naturais / Fundação “O Boticário”. 28pp.
- MERRITT, R. W. and K. W. Cummins. 1996. **Trophic relations of macroinvertebrates**, pp. 453-474. In: Hauer, F. R. and G. A. Lamberti (eds.) *Methods in stream ecology*. Academic Press, NY, USA
- MEYBECK, M. 1993. **C, N, P and S in rivers: from sources to global inputs**. In WOLLAST, R. MACKENZIE, F. T. & CHOU, L. (Eds). *Interactions of C, N, P and S biogeochemical cycles and global change*. NATO ASI SERIES, series 1: Global Environmental Change, vol. 4 Berlin Heidelberg, Springer-Verlag.
- MEYER, J. L. 1980. Dynamics of phosphorus and organic matter during leaf decomposition in a forest stream. **Oikos**, **34**: 44-53.
- MINSHALL, G.W. 1983. Stream ecosystem theory: a global perspective. **J. N. Am. Benthol. Soc.** **7(1)**: 263-288
- MINSHALL, G.W., K.W. CUMMINS, R.C. PETERSEN, C.E. CUSHING, D.A. BRUNS, J.R. SEDELL, AND R.L. VANNOTE. 1985. Developments in stream ecosystem theory. **Can.J. Fish. Aquat. Sci.** **42**:1045-1055.
- MIRANDA, E.E. DE & COUTINHO, A.C. (coord.). 2004. **Brasil visto do espaço**. Campinas, Embrapa Monitoramento por Satélite, 2004. Disponível na Internet em <http://www.cdbrasil.cnpm.embrapa.br>
- MOZETO, A.A.; ALBUQUERQUE, A.L. 1997. Biogeochemical properties at the Jataí Ecological Station wetlands (Moji-Guaçu river, São Paulo, SP). **Ciência e cultura** **49(1/2)**: 25-33.
- MULHOLLAND, P. J. 1992. Regulation of nutrient concentrations in a temperate forest stream: Roles of upland, riparian, and instream processes. **Limnology and Oceanography**, **37(7)**: 1512-1526.
- NEWBOLD, J. D., MULHOLLAND, P. J., ELWOOD, J. W. and O'NEILL, R. V. 1982. Organic carbon spiralling in stream ecosystems. **Oikos** **38**: 266-272.
- PARANÁ – Secretaria de Estado do Meio Ambiente. 1995. **Fotocarta do Parque estadual do Marumbi a partir de imagens Landsat TM-5**. Curitiba, SEMA/IAP, 1995. Mapa.
- PARANACIDADE. 2004. **Base de dados On-line dos municípios paranaenses**. Disponível na Internet <www.paranacidade.pr.gov.br> , acessado em 20/06/2003.

- PIRAQUARA - Prefeitura Municipal de. 1999. **Plano Diretor do Município de Piraquara**. Piraquara: Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Agricultura.
- PRINGLE, C.M et alii. (1995). Patch dynamics in lotic systems: the stream as a mosaic. **J. N. Am. Benthol. Soc.** **7**, 503-524
- RIZZI, N. E. & GUIERA, F. M. 1996. Análise de tipologias de ocupação da bacia hidrográfica do rio Iraí. Curitiba, UFPR. **Agrárias, Curitiba** **15(2)**, 33-49.
- SABATER, F., ARMENGOL, J. & SABATER, S. (1989). Measuring discontinuities in the Ter river. **Regulated Rivers: Res. Manag.** **3**, 133-142.
- SÉ, J. A. 1992. **O Rio do Monjolinho e sua bacia hidrográfica com o integradores de sistemas ecológicos**. Um conjunto de informações para o início de um processo de pesquisas ecológicas, de educação, planejamento e gerenciamento ambientais a longo prazo. Dissertação de mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos. 381p.
- SMITH, R. V.; FOY, R. H.; LENNOX, S. D.; JORDAN, C.; BURNS, L. C.; COOPER, J. E.; STEVENS, R. J. 1995. Occurrence of nitrite in the Lough Neagh river system. *J. Environmental Quality* **24**:952-959.
- STANFORD, J. A., HAUER, F. R. & WARD, J. W. (1988) Serial discontinuity in a large river system. **Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie** **23**: 1114-1118.
- STRICKLAND, J. D. H & PARSON, T. 1972. **A practical handbook of seawater analysis**. 2 (Bulletin, 122) Ottawa, Fisheries Research, Board of Can. 172p.
- SUDERHSA - Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do Paraná. 1997. **Qualidade das Águas Interiores do Estado do Paraná**. Relatório. Curitiba: SUDERHSA, 230p.
- TANIGUCHI, G. M. **Variação Espacial e Temporal de Características Limnológicas abióticas no Gradiente Litorâneo Limnético da Lagoa do Diogo, Planície de Inundação do Rio Mogi-Guaçu – SP**. São Carlos, 1998. (Dissertação de Mestrado). Ufscar.
- TOWNSEND, C. R. 1989. The patchy dynamics concept of stream community ecology. **Journal of the North American Benthological Society** **8**: 36-50.
- TOWNSEND, C.R.; ARBUCKLE, C.J.; SCARSBROOK, M.R. 1997. The relationship between land use and physicochemistry, food resources and macroinvertebrate communities in tributaries of the Taieri River, New Zealand: a hierarchically scale approach. **Freshwater Biology** **37**: 177-191.
- TROPMAIR, H. **Biogeografia e meio ambiente**. 3.^a ed., Rio Claro, Graff Set, 1989
- TUNDISI, J. G. 1999. **Limnologia no século XXI: perspectivas e desafios**. São Carlos: Instituto Internacional de Ecologia. 24 p.
- UNDERWOOD, A.J. 1997. **Experiments in ecology: their logical design and interpretation using analysis of variance**. Cambridge University press, UK.
- VANNOTE, R.L.; MINSHALL, G.W.; CUMMINS, K.W.; SEDELL, J. R. and CUSHING, C.E. 1980. The River Continuum Concept. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences** **37**: 130-137.
- VICENTINI, A; TRAMUJAS, A. & BONATTO, F. (1991) **Proposta de Plano de Manejo do Parque Estadual dos Mananciais da Serra**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná. Monografia do curso de Engenharia Florestal.
- WARD, J. V. 1989. The four-dimensional nature of lotic ecosystems. **J. N. Am. Benthol. Soc.** **8(1)**: 2-8.
- WARD, J. V. 1994. **The structure and dynamics of lotic ecosystems**. In MARGALEF, R. (Editor). 1994 *Limnology Now: A Paradigm for Planetary Problems*. Elsevier Science B. V., 1994.
- WETZEL V. A. & LIKENS, G. E. 1979. **Limnological Analysis**. Philadelphia: W. B. Saunders. 375p.

Capítulo II

Unidades de Paisagem e Zoneamento das bacias hidrográficas da Serra do Mar a partir de variáveis limnológicas: ferramentas para o planejamento e para a Educação Ambiental

1 – Introdução

1.1 - Bacias Hidrográficas como unidades de estudo

A partir de trabalhos como os de Bormann & Likens (1967) e do clássico “The stream and its valley”, de H.B.N. Hynes (1975), começam a se consolidar as idéias de que as características dos ecossistemas aquáticos são resultantes das paisagens contidas nas Bacias Hidrográficas (BH). Nas últimas três décadas, com os avanços no campo da Ecologia e com a tomada de consciência sobre a “crise da água”, o conceito de Bacia Hidrográfica vem se ampliando, chegando a adquirir uma importância análoga ao de Ecossistema, como uma unidade prática natural tanto para o estudo quanto para a gestão ambiental (Pires et al., 2003).

No Brasil, vários autores contemporâneos (citamos como exemplo os trabalhos das coletâneas de Schiavetti & Camargo, 2002 e Brigante & Espíndola, 2003) defendem idéias de que as atividades de gestão e conservação de recursos hídricos e recuperação de ecossistemas aquáticos devem desenvolver uma visão sistêmica e integrada tanto dos processos biogeofísicos quanto sociais em uma bacia hidrográfica. Assim, a abordagem de questões ambientais a partir do conceito de BH tem estimulado a adoção de posturas minimamente interdisciplinares por parte de pesquisadores de várias áreas. A própria legislação brasileira, através da Política Nacional de Recursos Hídricos (instituída pela lei nº 9.433 de 1997), recomenda a utilização de uma abordagem integrada das questões ambientais em uma bacia de drenagem, estimulando o surgimento de projetos onde o conceito de BH é o elo de ligação entre profissionais, estudantes e técnicos de diferentes áreas de formação, em várias instâncias da sociedade.

Do ponto de vista da Educação Ambiental, Oliveira (2002) mostra que a adoção do conceito de Bacia Hidrográfica é de fato integrador, contribuindo para a superação da convicção de que a fragmentação do conhecimento, fruto da parcelização da realidade em disciplinas ou campos do saber, seja essencial ou mesmo a única forma de aprendizagem. A autora cita diversas experiências nacionais e internacionais no campo educacional que se multiplicaram a partir do final da década de 1980, em trabalhos que vão desde o estudo do meio a partir de conceitos ecológicos (enfatizando os aspectos físicos e biológicos do ambiente), passando pelo desenvolvimento de materiais e métodos didáticos até trabalhos mais recentes, nos campos teóricos da Percepção Ambiental e das Representações Sociais.

Dentre as inúmeras conceituações possíveis para BH, procuramos adotar uma que fornece uma visão mais abrangente, para além da definição estritamente hidrológica de “área de drenagem”, encontrada em Rocha *et. al.* (2000): “sistema biofísico e sócio-econômico, integrado e interdependente, contemplando atividades agrícolas e industriais, comunicação, serviços, facilidades recreacionais, formações vegetais, nascentes, córregos e riachos, lagoas e represas, incluindo todos os habitats e unidades de paisagem, cujos limites são estabelecidos topograficamente pelos divisores de água”. Partindo deste conceito, a forma de abordagem para o estudo das bacias hidrográficas considerou a pentadimensionalidade dos ecossistemas lóticos, conforme a fundamentação apresentada no item 3.3.2 deste capítulo.

1.2 – Problema

Na perspectiva integradora da utilização do conceito de BH retomamos os problemas expostos no item 2.0 da introdução (p. 8 - 9), relativos à falta de conhecimento e de internalização de conceitos por parte do público em geral sobre os processos de degradação das bacias hidrográficas, bem como à dificuldade de se realizar a **extensão** do conhecimento científico. Procuramos contribuir neste contexto através da utilização de uma metodologia de estudo de bacias hidrográficas a partir de uma área relativamente recente que é a Ecologia de Paisagem. Alguns elementos tradicionais desta área, como a definição de Unidades de Paisagem e o zoneamento das bacias hidrográficas,

foram empregados nas duas bacias estudadas no capítulo anterior, com a intenção de construir caminhos possíveis para a integração dos conceitos ecológicos (especificamente do campo da Ecologia de Rios), dos resultados da pesquisa limnológica realizada nestas bacias (apresentadas no capítulo I) e das experiências didáticas realizadas em escolas (descritas no capítulo III). No contexto geral da tese, este capítulo procura atender os objetivos 2 e 3 (p. 10). Novamente destacamos a adoção de uma postura interdisciplinar, conforme explicitado no item 4.2 da Introdução.

O trabalho foi conduzido da seguinte forma: inicialmente apresentamos uma breve fundamentação teórica abordando os conceitos mais utilizados no campo da Ecologia da Paisagem e da Ecologia de Rios (item 3); em seguida apresentamos os materiais e métodos empregados no estudo das paisagens contidas nas bacias hidrográficas em questão (item 4), e os resultados deste trabalho são os mapas de unidades da paisagem; finalmente, apresentamos o zoneamento das bacias a partir das características dos ecossistemas lóticos descritas no capítulo 1.

A aplicação da metodologia e os resultados obtidos são discutidos em duas linhas: as possibilidades e vantagens do método para o planejamento e monitoramento de bacias no contexto da área estudada; e a utilização dos levantamentos relativos às unidades de paisagem e ao zoneamento como base para o planejamento de atividades de Educação Ambiental, em vários níveis do ensino, como ferramenta didática para facilitar a compreensão dos ecossistemas e dos problemas ambientais nas bacias da Serra do Mar.

2 – Objetivos

- Identificar e caracterizar as unidades de paisagem e seus biótopos ao longo das bacias dos rios Piraquara e Marumbi
- Definir o zoneamento das bacias hidrográficas dos rios Piraquara e Marumbi com base nas características limnológicas dos rios estudados;
- Discutir os limites e possibilidades destes métodos para subsidiar trabalhos de monitoramento, conservação e Educação Ambiental

- Avaliar a metodologia utilizada como uma ferramenta didática para facilitar a compreensão do funcionamento dos ecossistemas lóticos, das principais teorias ecológicas e das relações entre qualidade da água e impactos antrópicos.

3 – Fundamentação teórica

3.1 – Ecologia da Paisagem

Segundo o dicionário Aurélio, paisagem é definida como “um espaço de terreno que se abrange num lance de vista”. Metzger (2001) mostra que a palavra “paisagem” possui conotações diversas, conforme o contexto e a pessoa que a usa. Mas, apesar da diversidade de conceitos e interpretações, a noção de espaço aberto, de espaço “vivenciado” ou de espaço de inter-relação do ser humano com o seu ambiente está imbuída na maioria destas definições.

A utilização do conceito de paisagem adquire um importante papel na abordagem das interações humanas e seus relacionamentos com o espaço biofísico, sendo a sua avaliação primordial para a preservação dos valores ambientais e estético-culturais. Prevê, portanto, uma abordagem sistêmica, ao articular escalas locais e regionais. O caráter multifacetado do conceito tem servido à sua utilização por várias disciplinas (Geografia, Ecologia, Arquitetura paisagística, entre outras) e sido alvo de um vasto conjunto de métodos e técnicas de avaliação, desde os exclusivamente técnicos e descritivos, aos que levam em conta as opiniões e percepções do público que interage com a paisagem em questão. Muitas das ações efetuadas neste campo pretendem identificar valores e fragilidades de espaços concretos, como informações úteis às ações de planejamento e monitoramento, bem como orientar a transformação futura dos lugares, a partir da criação de possíveis cenários paisagísticos, preferencialmente moderados pela participação combinada dos técnicos e do público.

Selman & Doar (1992), citados por Mello (1998) analisam que, ao contrário de outros ramos da Ecologia, na Ecologia da Paisagem os fatores antrópicos estão explicitamente incluídos, reconhecendo a grande influência potencial do ser humano na estrutura e função da paisagem. Ela combina o

estudo da Ecologia Humana (alimento, água, saúde, abrigo, combustível e coesão cultural) com a saúde biofísica (produtividade vegetal, biodiversidade sobrevivência das espécies, ciclos de nutrientes, disponibilidade de água, etc.). Portanto, segundo Naveh & Lieberman (1995) a Ecologia da Paisagem permite lidar com as interações entre cultura e paisagem de um modo abrangente e integrador, superando a abordagem das ciências puramente naturais, adotando também as humanísticas.

Metzger (2001) mostra que a Ecologia da Paisagem abrange atualmente duas linhas de abordagem: “uma geográfica, que privilegia o estudo da influência do ser humano sobre a paisagem e a gestão do território; e a outra ecológica, que enfatiza a importância do contexto espacial sobre os processos ecológicos, e a importância destas relações em termos de conservação biológica.” Neste trabalho, de certa forma, foram consideradas as duas abordagens. Os resultados do estudo das paisagens realizado nas bacias hidrográficas, identificando suas unidades estruturais naturais, são discutidos do ponto de vista de sua importância para as ações de conservação, monitoramento e recuperação, caracterizando a abordagem “ecológica”; por outro lado, ao discutir as possibilidades de utilização dos métodos e resultados em Educação Ambiental, nos aproximamos mais da abordagem “geográfica”, pois a preocupação está em encontrar formas de melhorar a compreensão tanto dos processos ecológicos quanto antrópicos na bacia hidrográfica, estimulando a percepção ambiental e a visão crítica dos educandos.

Uma das formas mais utilizadas de se estudar paisagens é a utilização dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), que são ferramentas computacionais para o gerenciamento, armazenamento e processamento de dados espaciais georreferenciados. Becker (2002), discutindo a aplicabilidade dos SIGs na Ecologia e no manejo de BH's, mostra que as principais vantagens são relacionadas à suas capacidades de armazenar, manipular e visualizar uma grande quantidade de dados em um contexto espacializado; integrar estes dados com modelos ecossistêmicos e hidrológicos; gerar dados derivados para outras análises; apresentar formas de consulta e visualização de resultados que facilitam a comunicação entre profissionais de diversas formações, bem como entre estes, a comunidade e os poderes públicos. Entretanto, apesar de já termos no Brasil vários grupos de pesquisadores e

técnicos de instituições públicas e privadas que vêm utilizando os SIGs para uma gama variada de aplicações, estes sistemas ainda são bastante caros e dependem de técnicos altamente especializados, tornando difícil o emprego destas metodologias em programas de Educação Ambiental.

Neste estudo não foram utilizados os SIGs, que poderiam fornecer resultados muito mais precisos, em função da limitação de tempo, recursos e da própria formação. Tendo os objetivos propostos, as metodologias mais simples de mapeamento utilizadas mostraram-se razoavelmente eficazes, estando ao alcance de um público maior, o que é uma vantagem em termos de Educação Ambiental. Por outro lado, durante a fase de levantamento de material cartográfico e confecção dos mapas, tivemos a oportunidade de contato com vários profissionais dos SIG's, e todos sempre se mostraram bastante abertos em relação à utilização de tais ferramentas em linhas de trabalho como esta que ora apresentamos.

Os elementos da Ecologia da Paisagem, principalmente os métodos de descrição e definição das unidades de paisagem, podem ser de grande utilidade para a compreensão dos processos ecológicos e humanos em uma bacia hidrográfica, favorecendo o entendimento da dimensão espacial e das interrelações entre os componentes das paisagens, bem como a interação entre estes componentes e a qualidade do ambiente aquático.

Encerrando esta breve fundamentação teórica, temos a seguir um pequeno glossário de termos usualmente utilizados em ecologia de paisagens, transcrito do trabalho de Metzger (id. *ibid.* p.7-8):

Borda. Área de transição entre duas unidades da paisagem.

Conectividade. Capacidade da paisagem (ou das unidades da paisagem) de facilitar os fluxos biológicos. A conectividade depende da proximidade dos elementos de habitat, da densidade de corredores e “stepping stones”, e da permeabilidade da matriz.

Corredores. Áreas homogêneas (numa determinada escala) de uma unidade da paisagem, que se distinguem das unidades vizinhas e que apresentam disposição espacial linear. Em estudos de fragmentação, considera-se corredor apenas os elementos lineares que ligam dois fragmentos anteriormente conectados.

Elemento da paisagem. Trata-se de cada mancha, corredor ou área da matriz. Uma unidade da paisagem pode apresentar vários elementos numa paisagem. Por exemplo, uma unidade “mata” pode ter vários fragmentos e alguns corredores.

Escala de percepção. Escala espacial e temporal na qual cada espécie percebe a paisagem em função de suas características ecológicas (tamanho de território, especificidade do habitat, capacidade de locomoção, etc.).

Escala espacial. É definida por características de extensão (tamanho) e resolução (unidade mínima de representação espacial). Os mapas variam de escalas pontuais e finas (mapas detalhados, com alta resolução e, em geral, extensão reduzida) para escalas globais e grosseiras (mapas com poucos detalhes, com baixa resolução e em geral com ampla extensão).

Fragmento. Uma mancha originada por fragmentação, i.e. por sub-divisão, promovida pelo homem, de uma unidade que inicialmente apresentava-se sob forma contínua, como uma matriz.

Manchas. Áreas homogêneas (numa determinada escala) de uma unidade da paisagem, que se distinguem das unidades vizinhas e têm extensões espaciais reduzidas e não-lineares.

Matriz. Unidade da paisagem que controla a dinâmica da paisagem (Forman 1995). Em geral essa unidade pode ser reconhecida por recobrir a maior parte da paisagem (i.e., sendo a unidade dominante em termos de recobrimento espacial), ou por ter um maior grau de conexão de sua área (i.e., um menor grau de fragmentação). Numa segunda definição, particularmente usada em estudos de fragmentação, a matriz é entendida como o conjunto de unidades de não-habitat para uma determinada comunidade ou espécie estudada.

Mosaico. Uma paisagem que apresenta uma estrutura contendo mancha, corredores e matriz (pelo menos dois desses elementos).

Paisagem. Mosaico heterogêneo formado por unidades interativas, sendo esta heterogeneidade existente para pelo menos um fator, segundo um observador e numa determinada escala de observação. Uma paisagem

pode se apresentar sob forma de mosaico, contendo manchas, corredores e matriz, ou sob forma de gradiente.

Sistema fractal. Sistema que mantém suas características/propriedades em diferentes escalas.

Stepping stone. (em português, “pontos de ligação” ou “trampolins ecológicos”). Pequenas áreas de habitat dispersas pela matriz que podem, para algumas espécies, facilitar os fluxos entre manchas.

Unidade da paisagem. Cada tipo de componente da paisagem (unidades de recobrimento e uso do território, ecossistemas, tipos de vegetação, por exemplo). (Obs.: Na abordagem geográfica, a unidade da paisagem é em geral definida como um espaço de terreno com características hidrogeomorfológicas e história de modificação humana semelhantes. De certa forma, a “unidade da paisagem” da abordagem geográfica pode ser considerada como uma “paisagem” dentro da abordagem ecológica, pois ela é composta por um mosaico com diferentes usos e coberturas.).

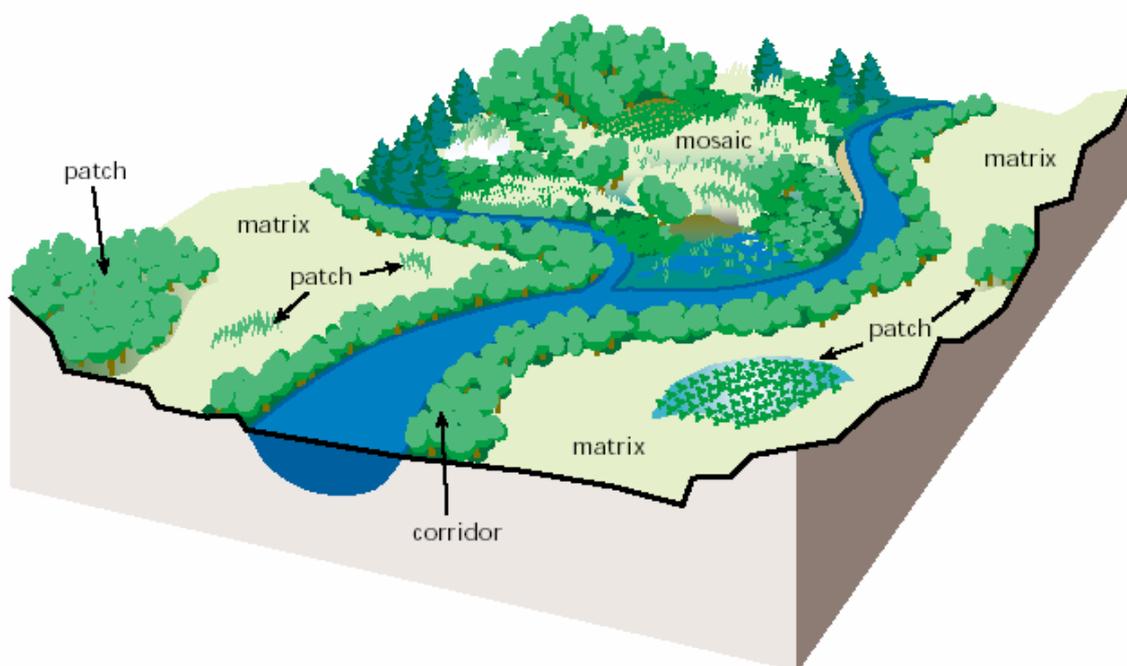


Figura 1 - As paisagens em uma bacia podem ser descritas em termos de matrizes, manchas (patches), corredores e mosaicos. Fonte: FISRWG, 1998.

3.2 – Unidades de paisagem

No estudo integrado de bacias hidrográficas normalmente são utilizadas delimitações de unidades de paisagem contidas na bacia em questão, sendo que as características ecológicas dos corpos d'água são investigadas e interpretadas em função das características fisiográficas das respectivas unidades de paisagem. Além da definição proposta por Metzger no glossário acima, este trabalho adota como base conceitual a definição de **unidade de paisagem** segundo Monteiro (1995): “Entidade espacial determinada segundo o ‘nível de resolução do pesquisador’, a partir dos objetivos centrais da análise, sempre resultando da interação dinâmica entre os meios de suporte.” Assim, as unidades de paisagem ao longo das microbacias podem ser definidas pela identificação, delimitação e caracterização de biótopos mediante dados secundários e mapas existentes para a região, conforme os objetivos delineados para a pesquisa.

Neste trabalho, foram adotados os critérios de caracterização das unidades de paisagem propostos por Troppmair (1989):

- **geoambientais**: área, altitudes, geomorfologia e pedologia;
- **ecossistêmicos**: ecossistemas existentes, formações vegetais e grau de interferência antrópica;
- **bióticos-populacionais**: listagens de flora e fauna, espécies ameaçadas ou em vias de extinção;
- **gerenciamento**, manejo e proteção: uso do solo, ameaças e pressões aos biótopos, medidas de preservação e recuperação,
- **Para o rio, especificamente**: padrão de drenagem, declividade, largura da zona ripária, qualidade das margens, cobertura vegetal do canal, sinuosidade (número de meandros/Km), existência de áreas de inundação.

Cada unidade de paisagem pode ser também classificada quanto ao grau de interferência humana (hemeorobia), segundo quatro classes (JALAS, 1965 *apud* TROPMAIR, 1989):

- **Ahemeorobio:** geobiocenoses naturais ou de pequena interferência antrópica como mata tropical, mata galeria;
- **Oligohemeorobio:** geobiocenoses mais naturais do que artificiais, como cerrados e campos sujos sujeitas a queimadas ou pastoreio.
- **Mesohemeorobio:** geobiocenoses mais artificiais do que naturais, como pastagens plantadas.
- **Euhemeorobio:** geobiocenoses artificiais como campos de culturas agrícolas, sistemas urbanos.

3.3 – Ecologia de Rios

3.3.1 – O rio como sistema ecológico:

Os rios são considerados ecossistemas abertos (Hynes, 1975), de alta complexidade, podendo ser ilustrados pela metáfora de que a análise dos estados ecológicos de suas águas representa fotografias atualizadas dos processos ecológicos que ocorrem na bacia hidrográfica, inclusive aqueles que são devidos aos modos de utilização humana do solo e da água (Margalef, 1986, *apud* Sé, 1992). Buscando uma visão abrangente dos ecossistemas lóticos, devemos considerá-los como sistemas ecológicos que desempenham certas funções em uma unidade maior que é a bacia hidrográfica, identificando as principais interações entre os diversos componentes deste sistema bem como a sua estrutura hierárquica.

A figura seguinte apresenta um resumo de seis funções básicas desempenhadas pelos ecossistemas lóticos, como base para a discussão:

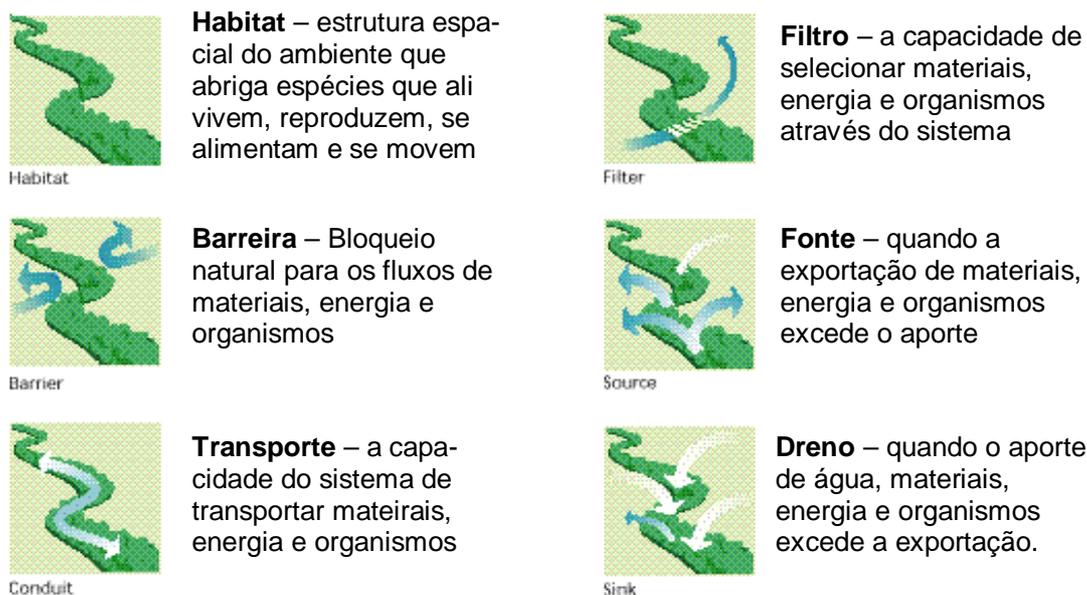


Figura 2 - Funções ecológicas básicas dos ecossistemas lóticos. Traduzido de FISRWG (1998).

A identificação e a caracterização destas funções ecológicas devem ser efetuadas a partir de várias escalas espaciais, desde o nível dos microhabitats - que podem ser delimitados espacialmente por manchas localizadas de detritos vegetais, areia fina ou cascalho encontrados em trechos de corredeira ou remanso, por exemplo - até escalas que abrangem a bacia hidrográfica como um todo. Pode ser evidenciada uma organização hierárquica destes microhabitats em unidades espaciais maiores como as corredeiras e remansos, que por sua vez formam trechos do rio com características homogêneas e assim por diante. Portanto, a análise dos efeitos da modificação das paisagens na integridade do ecossistema aquático é inteiramente dependente da escala de abordagem que se utiliza (Allan *et al.*, 1997).

Efeitos do sombreamento ou da diversidade de habitats sobre as comunidades lóticas, por exemplo, devem ser estudados em escalas locais (como um trecho de remanso, por exemplo), enquanto efeitos do aporte de matéria orgânica ou da vegetação ripária devem ser estudados ao longo de segmentos maiores (da ordem de alguns quilômetros); fenômenos como retenção de sedimentos e nutrientes ou efeitos do regime hidrológico e climático devem considerar a bacia como um todo. A figura 3 a seguir demonstra esta organização hierárquica do ecossistema:

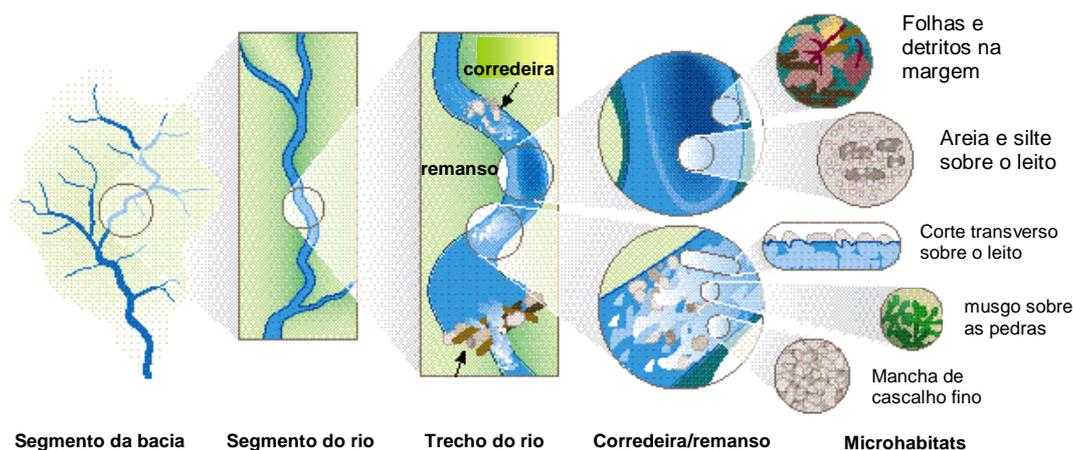


Figura 3: Organização hierárquica do sistema lótico e seus habitats. A escala espacial é apropriada para rios de segunda ou terceira ordem. A partir de FISRWG, 1998 e ALLAN, 1997.

3.3.2 – A natureza pentadimensional dos ecossistemas lóticos

Do ponto de vista ecológico, a natureza heterogênea e hierárquica dos ecossistemas lóticos pode ser expressa pela análise das interações a partir de quatro dimensões: lateral, longitudinal, vertical e temporal (Fig. 3). Esta estrutura tetradimensional é baseada nas interações dinâmicas que ocorrem dentro e através dos limites do canal do rio, ao longo de diferentes escalas temporais e espaciais (Ward, 1994). O modelo desenvolvido por Frissel *et al.* (1986), baseado na hierarquia espacial dos habitats (dos microhabitats até as bacias hidrográficas) e sua persistência ao longo dos ciclos temporais é uma forma usual de dimensionar e planejar o estudo de ecossistemas lóticos.

A dimensão longitudinal é caracterizada pelos processos interativos que ocorrem entre as regiões rio acima e rio abaixo, ao longo do eixo nascente-foz. Muitos ecólogos tem dedicado bastante atenção a esta dimensão, e nela estão pautadas algumas das principais teorias e modelos para ecossistemas lóticos, como os conceitos de contínuo fluvial (*river continuum concept*), de dinâmica dos trechos do rio (*patchy dynamics concept*), de espiralamento de nutrientes (*Nutrient spiralling concept*) e de descontinuidade serial.

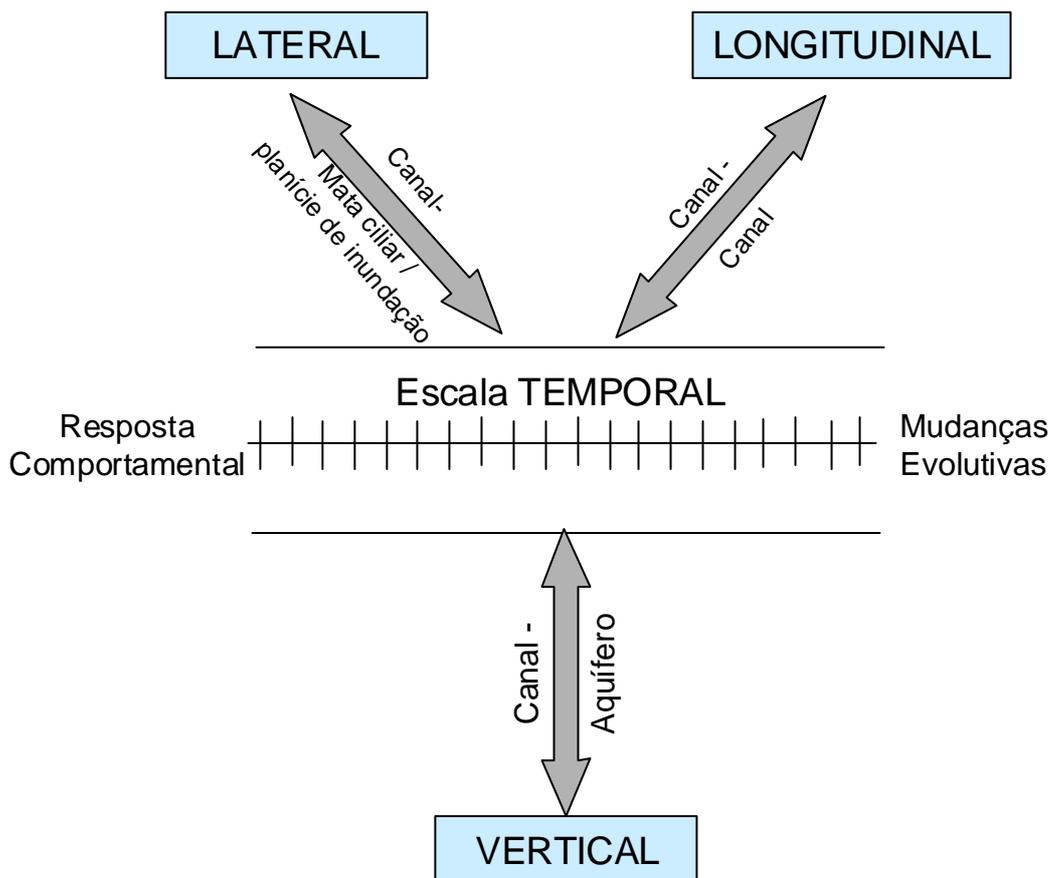


Figura 4 - Representação da natureza **tetradimensional** dos ecossistemas lóticos a partir de J. V. Ward (1989 e 1994).

A dimensão lateral enfoca a interface entre os sistemas terrestres e aquáticos, incluindo as interações e fluxos de material, energia e organismos entre o corpo d'água e os sistemas terrestres adjacentes, como a planície de inundação ou a vegetação ripária. Esta dimensão contempla o estudo, por exemplo, das influências climáticas e pluviométricas sobre o regime hídrico em cada bacia, da regulação dos aportes de substâncias químicas, nutrientes e sedimentos, e em resumo, a influência das características fisiográficas e de uso do solo sobre a qualidade dos ecossistemas aquáticos.

A terceira dimensão, vertical, trata das interações entre as porções superficiais e subsuperficiais do ecossistema aquático, mais precisamente as interações entre o corpo d'água e o aquífero subterrâneo, que são variáveis ao longo do rio de acordo com as características da bacia. É de grande importância a denominada zona Hiporréica (sob o leito do rio), bastante

estudada pelos especialistas em bentos, que constitui a interface física entre o canal e o lençol freático. Entretanto, a quantificação dos possíveis fluxos entre estes elementos é bastante difícil e ainda não se conhecem totalmente as interações entre eles. (Minshall, 1983; Ward, 1989, 1992 e 1994).

Estas três primeiras dimensões citadas são estudadas e interpretadas a partir de várias escalas temporais hierárquicas, tais como ciclos sazonais, ciclos vitais, ciclos de uso do solo nas bacias ou eras geológicas e evolutivas, conforme o nível de resolução do pesquisador. Isto configura a quarta dimensão dos ecossistemas lóticos: dimensão temporal. Esta dimensão é necessária para a compreensão das respostas do sistema a possíveis distúrbios, que podem produzir efeitos em escalas temporais diferentes (de semanas a centenas de anos) para as características físicas do ambiente e para as comunidades existentes.

Somando a estas quatro dimensões, que possuem um caráter estritamente ecológico, Boon (1992, citado por Barbosa e Espíndola, 2003) propõe um quinto componente, denominado *dimensão conceitual humana*, como variável de controle do sistema rio. Esta dimensão está ligada à percepção e aos aspectos culturais das comunidades que interagem com a bacia hidrográfica, determinando todas as ações de estudo, manejo e utilização do recurso hídrico. A quinta dimensão caracteriza portanto uma abordagem holística dos ecossistemas lóticos, considerando que a atividade humana, que sempre utilizou a energia hídrica para grande parte de suas atividades e é responsável pela degradação dos sistemas, deve ser incorporada à abordagem utilizada para o estudo da Bacia Hidrográfica.

3.3.3 – O Conceito de Contínuo Fluvial (CCF)

O conceito de contínuo fluvial, desenvolvido por ecólogos norte-americanos (Vannote *et al.*, 1980, Minshall *et al.*, 1983) fornece uma abordagem teórica sobre a variação longitudinal dos ecossistemas lóticos, que apresentam gradientes espaciais de recursos ao longo dos quais a biota está previsivelmente estruturada. O conceito está fundamentado no modelo físico dos ecossistemas lóticos proposto por Strahler em 1953, considerando três regiões distintas (Fig. 4) em função da ordem de drenagem da seguinte forma:

a) Na região das cabeceiras (geralmente com rios de 1.^a a 3.^a ordem), cujo sombreamento proporcionado pela vegetação terrestre e condições de correnteza determinam ambientes de baixa produtividade primária, a principal fonte de energia para as comunidades existentes é proveniente do aporte de material orgânico particulado grosseiro (folhas, galhos e outros detritos vegetais). Este fato determina um predomínio faunístico de organismos bentônicos trituradores e cortadores nestas regiões.

b) O trecho médio do rio, também denominado zona de transferência, (rios de 4.^a a 6.^a ordem), geralmente apresenta a cobertura vegetal do canal reduzida. A combinação de luz, nutrientes, matéria orgânica particulada fina e manchas de substrato mais fino determina ambientes mais propícios ao desenvolvimento de plantas aquáticas enraizadas e do perifíton associado às rochas, troncos e vegetais submersos. Embora a matéria orgânica alóctone (principalmente a serrapilheira) ainda seja a principal fonte de energia no trecho médio do rio, a abundância de organismos trituradores e cortadores declina, sendo as comunidades gradativamente dominadas por raspadores e coletores, que possuem maior capacidade de aproveitamento de recursos, principalmente o material orgânico particulado fino processado nas regiões a montante.

c) Nos trechos finais, denominados de zonas de deposição (rios a partir de 7.^a ordem), os detritos finos e o plâncton são as principais fontes de matéria orgânica. Entretanto, a dificuldade de penetração de luz no sistema decorrente dos aumentos de profundidade e turbidez e a escassez de substratos estáveis (em virtude dos sedimentos mais finos) limitam a produção de plantas aquáticas enraizadas e do perifíton a elas associado. A fauna bentônica passa a ser dominada por organismos filtradores/coletores.

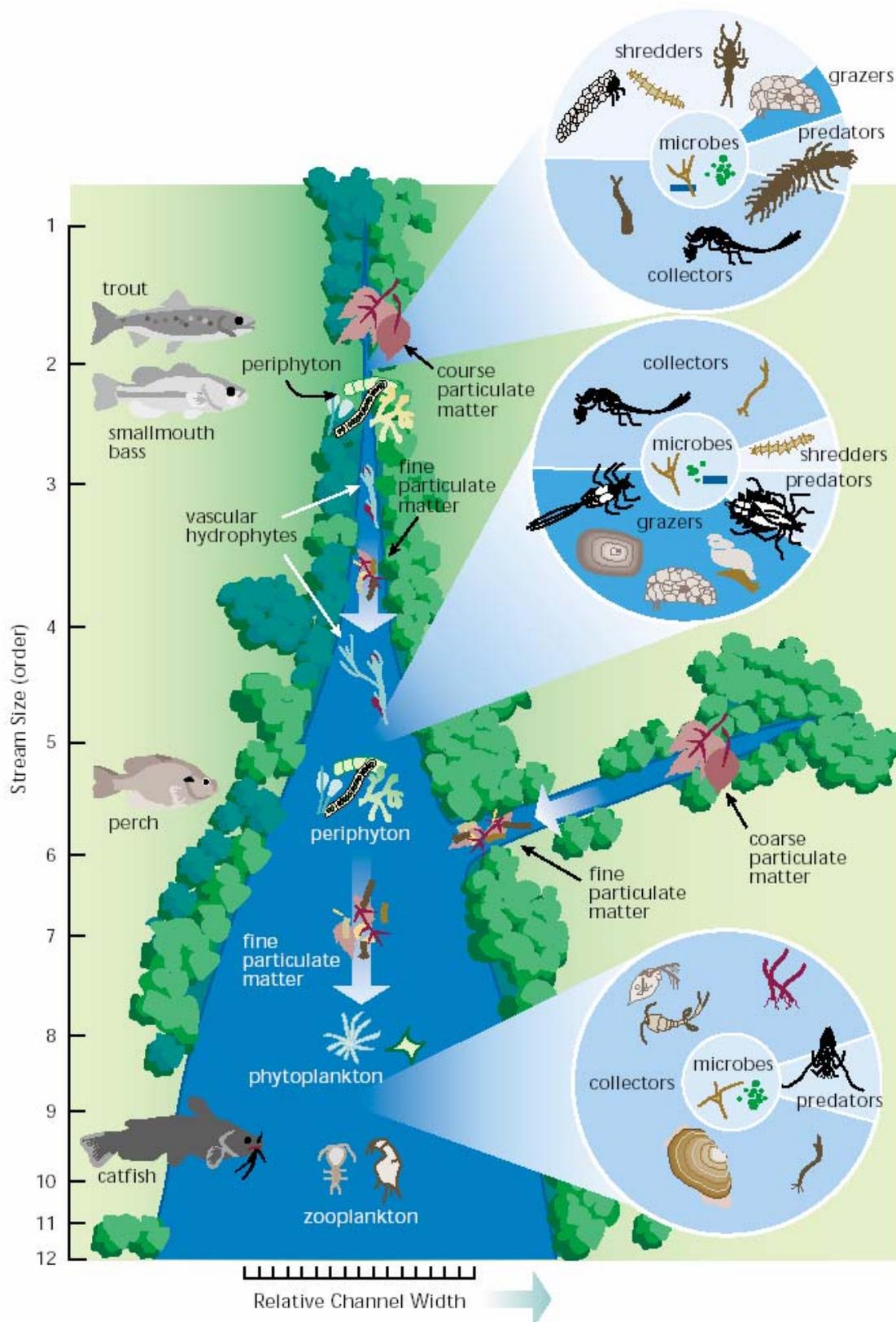


Figura 5: Representação esquemática do Conceito de Contínuo Fluvial, estabelecendo relações entre o tamanho do rio e as mudanças progressivas nos atributos estruturais e funcionais das comunidades. Fonte: Vannote *et al.*, 1980, modificado por FISRWG, 1998.

De acordo com esta teoria, os sistemas biológicos estariam ajustados às condições hidráulicas e geomorfológicas da bacia, sendo que as comunidades a jusante teriam forte dependência de materiais e energia não aproveitados a montante, e se estruturariam a fim de minimizar a perda de energia e maximizar a eficiência. O conceito de Contínuo fluvial é amplamente aplicado em função de seu poder explanatório, e tem sido alvo de constantes complementações e críticas, tais como:

a) A zonação longitudinal, descrevendo três trechos típicos com interdependência crescente, é frequentemente criticada por apresentar um padrão raramente encontrado na natureza, em que a grande maioria dos rios não passa de terceira ordem sem que hajam claras interferências antrópicas, o que interfere nas previsões do conceito (Bretschko, 1995);

b) Para a ecologia de ecossistemas lóticos a importância do regime hidráulico e variáveis a ele relacionadas é ainda uma questão aberta, não sendo adequadamente coberta pelo CCF;

c) A teoria foi desenvolvida em pequenos rios de clima temperado, e a sua extrapolação para os rios em geral, mesmo sendo elaborada com uma perspectiva geomorfológica da bacia hidrográfica, não leva em consideração a maior heterogeneidade dos sistemas tropicais, excluindo as influências das amplas áreas periodicamente inundadas e a influência dos pulsos de inundação (Junk *et al.*, 1989, citado por Sé, 1992).

d) A classificação da fauna aquática em grupos funcionais proposta pelo CCF (organismos coletores, raspadores, filtradores, cortadores e trituradores) é bastante criticada pelos especialistas em fauna bentônica a partir do ponto de vista prático, pois muitas vezes um mesmo organismo pode apresentar dietas diversificadas e variadas de acordo com as condições do ambiente.

Estas críticas ao conceito de contínuo fluvial deram origem a novas teorias que o complementam, dentre as quais são destacados a seguir os conceitos de dinâmica de manchas ao longo do rio, espiralamento de nutrientes e descontinuidades seriais.

3.3.4 – O conceito de dinâmica de manchas ao longo do rio (*Patchy Dynamics Concept*)

Este conceito complementa a idéia básica do contínuo fluvial através da verificação de que as três estruturas básicas propostas pelo CCF para os ecossistemas fluviais, que são baseadas na relação metabólica entre taxas de Produção (P) e Respiração (R) no sistema (zona das cabeceiras: $P/R < 1$; zona de transferência: $P/R > 1$; zona de deposição: $P/R < 1$), muitas vezes não estão localizadas espacialmente exatamente de acordo com a ordem do rio, mas se revezam ao longo de todo o curso do rio. Por exemplo, em rios de cabeceira em que o modelo prevê taxas $P/R < 1$, podem ser encontrados pequenos trechos em que as condições físicas (p. ex. um represamento parcial originado por um afloramento rochoso) propiciam um intenso crescimento do perifíton, ocorrendo em conjunto com as biocenoses típicas descritas pelo CCF para estes rios de pequena ordem (Bretschko, op. cit.).

Assim, a caracterização de um trecho do rio pode ser feita através da identificação de qual dos três sistemas do CCF é dominante para esta região, passando a ser considerada, dessa forma, a heterogeneidade espacial natural de habitats em um rio.

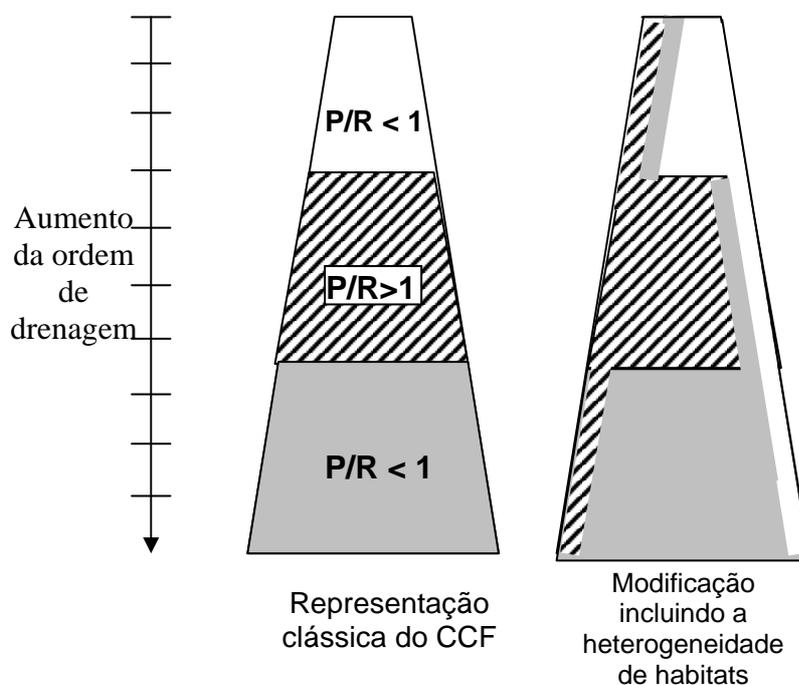


Figura 6 – Esquema da contribuição do conceito de dinâmica de manchas ao contínuo fluvial. P/R representa a taxa metabólica (Produção/Respiração) prevista nos conceitos teóricos. A partir de Bretschko (1995).

Com base nestas idéias, os trabalhos de Pringle et al. (1985) e Townsend (1989) formalizaram o denominado *patchy dynamics concept*, considerando também o regime hídrico e a heterogeneidade de paisagens que um rio atravessa, concluindo que o ecossistema lótico deve ser interpretado como um mosaico formado por várias unidades (manchas) de características próprias, com fortes relações de interdependência com as regiões a montante e a jusante. Branco & Necchi JR (1997) consideraram que esta abordagem sobre as particularidades de cada trecho e a compilação de dados provenientes de diferentes tipos de estudo (geomorfológicos, hidráulicos ou biológicos, por exemplo) podem fornecer um maior poder de previsão dos fenômenos que ocorrem nos corpos d'água.

3.3.5 – Descontinuidades seriais.

Ampliando a abrangência da interpretação ecológica do ecossistemas lóticos temos o conceito de descontinuidades seriais, que fornece um modelo conceitual para o estudo de alterações nos gradientes do contínuo fluvial provocadas por fatores naturais (ex: uma cachoeira) ou antrópicos (ex: barragens ou efluentes poluidores) que de alguma maneira produzem uma interrupção nas interações longitudinais do rio. A regulação dos rios por barragens é um forte exemplo do rompimento antropogênico da continuidade dos ecossistemas. (Stanford *et al.*, 1988)

Sabater *et al.* (1989) apresentaram grande contribuição ao conceito, estudando o rompimento das continuidades e do equilíbrio dinâmico do sistema ocasionado pelos lançamentos de esgotos domésticos e represamentos no rio Ter, na Espanha. Os fatores de descontinuidade serial determinam um novo comportamento no trecho seguinte do rio, sendo observados novos gradientes. A magnitude das descontinuidades podem ser medidas, por exemplo, pela distância em quilômetros em que as suas influências podem ser identificadas rio abaixo, ou pela distância necessária para que o ecossistema volte a ter características semelhantes às encontradas nas regiões anteriores ao distúrbio.

4 – As paisagens nas bacias hidrográficas estudadas

4.1 – Descrição da vegetação

Podem ser encontrados na bacia do rio Piraquara quatro aspectos fitofisionômicos distintos: A Floresta Ombrófila Densa (F.O.D.) Montana, Floresta Ombrófila Mista com suas variantes Montana e Aluvial, os Campos e as Várzeas. Na bacia do rio Marumbi encontramos a Floresta Ombrófila Densa Alto-Montana e Campos de Altitude no alto da Serra do Mar. Descendo a encosta em direção ao mar temos a seqüência de formações seguindo o gradiente altitudinal: F.O.D. Montana, F. O. D. Sub-montana e F. O. D das Terras Baixas. Segue uma descrição sucinta de cada uma destas formações:

4.1.1 – Várzeas

Em pequenos trechos ao longo do rio Piraquara e, destacadamente, na porção final de seu curso encontramos amplas várzeas bem desenvolvidas. Trata-se de uma variação dos campos edáficos encontrada nas regiões mais baixas e mais sujeitas à inundação, ladeando o rio e adentrando os campos, sobre um solo higrófilo com alto teor de matéria orgânica formando uma espécie de turfa. As várzeas também podem atuar como reguladoras dos fluxos hídricos dos rios.



Figura 7 - Várzea na bacia do Piraquara (rod. João Jacomel), ambiente que sofre grande pressão pela ocupação irregular, embora a placa alerte para a importância da preservação das áreas de manancial.

Segundo Ziller (op cit.) os seguintes gêneros dominam esta formação: *Rhynchospora*, *Xyris* e algumas outras *Eriocaulaceae*, *Vernonia*, *Paepalanthus*, *Senecio*, *Sisyrinchium*, *Cyperus*, *Polygala*, *Desmodium*, *Baccharis*, *Ludwigia* e, destacadamente, uma espécie espinhenta da família *Apiaceae*. Esta formação é típica da região e vem sendo constantemente ameaçada principalmente pela ocupação clandestina, embora abrigue algumas espécies em extinção como a Corticeira (*Erythrina crista-galli*) e uma nova espécie de ave recém descrita, o macuquinho-da-várzea *Scytalopus iraiensis sp. nov.*, (Bornschein et al, 1998).

4.1.2 – Campos Edáficos

Segundo Vicentini et al. (1993), a existência de campos naturais nesta região pode ser explicada pela hipótese das flutuações climáticas ocorridas durante o quaternário, tendo o clima evoluído de frio/seco para quente/úmido. Registros fósseis comprovam a existência primitiva de estepes geladas, gradativamente colonizadas pela Floresta Ombrófila Mista a partir dos capões e matas de galeria. A formação recebe a denominação de Campo Edáfico por apresentar como principal fator limitante ao desenvolvimento da vegetação o solo orgânico formado pelos depósitos de várzea do Holoceno, típicos da formação Guabirotuba.



Figura 8 - Aspecto do campo edáfico (estrada da Roseira). Ao fundo, faixa de mata ciliar do Rio Piraquara

Os campos são formados por um pequeno número de espécies seletivas e exclusivas, principalmente Poáceas e Ciperáceas características, apresentando certa uniformidade fitofisionômica em função da sua utilização como pastagem (Klein & Hatschbach, 1962). Destacam-se nesta formação os gêneros *Eleocharis*, *Rhynchospora*, *Cyperus*, *Desmodium*, *Polygala* e *Baccharis* e espécies ameaçadas de extinção como *Baccharis illinita*.

4.1.3 – Floresta Ombrófila Mista Aluvial

Trata-se de uma variante da floresta Ombrófila Mista que se desenvolve sobre os solos aluviais ao longo dos cursos d'água da bacia, formando as florestas de galeria. Esta formação é observada a partir da Represa de Piraquara, apresentando-se contínua e relativamente bem preservada em comparação aos outros rios da Bacia do Alto Iguaçu, sendo poucos os locais onde encontra-se devastada. Este fato certamente contribui para a boa qualidade ambiental do Rio Piraquara.

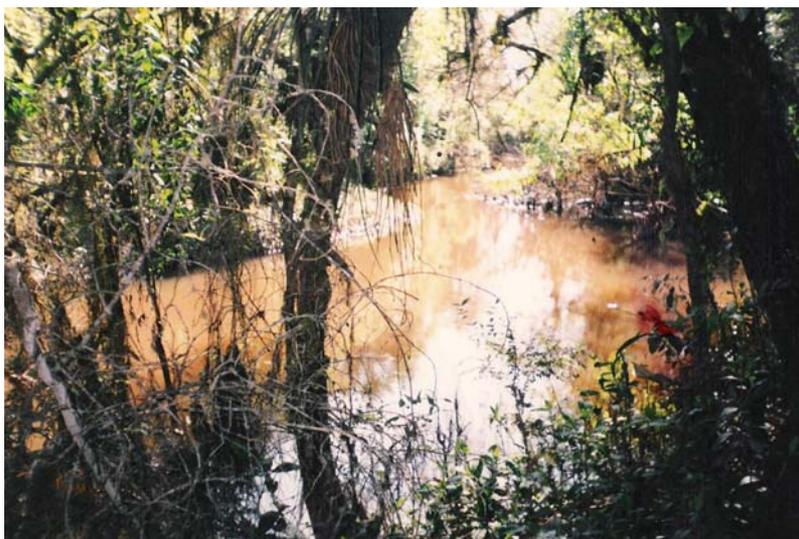


Figura 9 - Mata de galeria (Floresta Ombrófila Mista Aluvial) no rio Piraquara (ponto de coleta 5P)

Ziller (1993) descreve as florestas de galeria do Rio Iraí, em uma área distante cerca de 8 Km, certamente muito semelhantes às do Rio Piraquara. A formação é bastante aberta nas áreas sujeitas à inundação, sendo dominantes nesta o branquilha (*Sebastiania commersoniana* e *S. brasiliensis*), e bastante abundantes o ingá (*Inga virescens*), miguel-pintado (*Matayba eleagnoides*), bugreiro (*Lithraea brasiliensis*), guamirim e o cambuí (*Myrcia sp.* e *Myrcia*

selloi), caúna (*Ilex theezans*), tarumã (*Vitex megapotamica*), aroeira (*Schinus therebinthifolius*), capororoca (*Rapanea parvifolia*). As Bromeliaceae são bastante abundantes em virtude da umidade. Nas áreas mais altas, de inundações menos frequentes e acesso dificultado, encontramos uma vegetação de maior porte e com um segundo extrato superior com algumas árvores emergentes como o jerivá (*Syagrus romanzoffianum*), tarumã (*Vitex megapotamica*), guamirim-cascudo (*Myrcia Sp.*), açoita-cavalo (*Luehea divaricata*) e raros exemplares de corticeira (*Erythrina falcata*) (Ziller, op.cit.).

4.1.4 – Floresta Ombrófila Mista Montana

Estas florestas, peculiares do planalto do sul do Brasil, têm sua fisionomia acentuadamente marcada pelo pinheiro do Paraná *Araucaria angustifolia*, que lhe confere a denominação popular de Mata das Araucárias. Segundo Ziller (1993), a formação apresentava primitivamente associações entre um pequeno número de lauráceas, destacadamente as Imbuías e canelas (*Ocotea porosa*, *O. pretiosa* e *O. puberula*), cedro (*Cedrela sp.*), pinheiro-bravo (*Podocarpus lamberti*), açoita-cavalo (*Luehea divaricata*), guavirova (*Campomanesia xanthocarpa*), tarumã (*Vitex megapotamica*), araçá (*Psidium sp.*), aroeira (*Schinus therebinthifolius*), capororoca (*Rapanea ferruginea*), entre outras.



Figura 10 - Aspecto de campo natural e floresta Ombrófila Mista Montana. Ao fundo, a Serra do Marumbi (morro do Canal). Foto próxima ao ponto 4P.

Klein & Hatschbach em 1962 já chamavam a atenção para a destruição desses ambientes pela exploração principalmente das madeiras de lei, infelizmente reduzindo esta belíssima formação a alguns remanescentes em diversos estágios sucessionais nesta bacia. Merecem destaque os capões de *Araucaria angustifolia*, ainda existentes entre os campos naturais da bacia, sendo considerados como possíveis focos colonizadores dos campos do planalto. Os capões apresentam forma tipicamente arredondada, tendo as araucárias em sua porção central formando um extrato superior bastante uniforme, e apresentam em sua periferia principalmente associações de pinho bravo e aroeiras.

4.1.5 – Floresta Ombrófila Densa Montana

A Floresta Ombrófila Densa Montana abrange cerca de 31% da bacia, destacadamente na sua porção leste, na vertente da Serra do Mar. Pode ser caracterizada em sua maior parte por grandes árvores de alturas entre 25 e 30 metros, perenifoliadas e densamente dispostas, portando brotos foliares desprovidos de proteção à seca e às baixas temperaturas (Veloso, 1991). Sua notável diversidade e exuberância deve-se aos fatores climáticos já citados, sendo que as espécies de caráter heliófilo do extrato superior acabam por oferecer ambiente variado a inúmeras formas de vida abaixo do dossel (Vicentini et al., 1993). Acima da cota aproximada dos 1.200 metros s.n.m. são encontrados as variantes da Floresta Ombrófila Densa Alto-Montana e os refúgios ecológicos (matas nebulares e campos de altitude).

A formação, entretanto, revela-se bastante frágil às perturbações sendo que, ao sofrer um corte raso, o aparecimento de um estágio sucessional próximo ao original somente deverá ocorrer após um período de 80 a 120 anos. Encontra-se atualmente bem preservada na área dos Mananciais da Serra e nas encostas com altitudes superiores a 1.100 metros. Nas áreas do entorno são encontrados distintos estágios sucessionais, destacadamente em segunda e terceira fase. Em algumas regiões a formação encontra elementos da Floresta de Ombrófila Mista, caracterizando áreas de tensão ecológica ou ecótonos.

4.1.6 - Floresta Ombrófila Densa Alto-Montana e Campos de Altitude:

Esta formação pode ser encontrada acima das cotas de 1000 - 1200m, sendo caracterizada pela presença quase constante de massas úmidas de ar que ultrapassam a barreira natural da Serra do Mar, e pelos solos rasos de baixa fertilidade que impossibilitam o desenvolvimento da exuberante vegetação arbórea montana, representada pela presença de árvores de baixo porte, sendo comumente denominada de “Floresta Nebular”. Nas porções mais elevadas existem porções de escarpas desnudas, com o afloramento do material de origem e onde se formam solos rasos e erodidos, ocorrendo a formação dos campos de altitude.

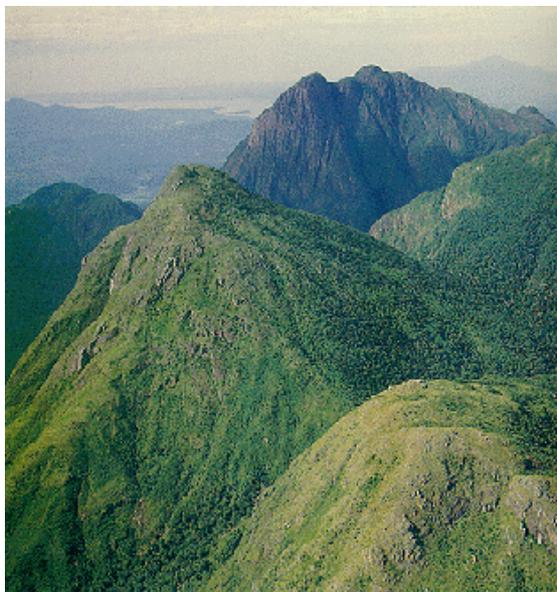


Figura 11 - Campos de Altitude e floresta nebulosa no alto da Serra do Marumbi. Ao fundo, a baía de Paranaguá

4.1.7 – Floresta Ombrófila Densa na vertente Oceânica (Bacia do Rio Marumbi):

Localizada na planície litorânea e nas encostas da Serra do Mar, cobria originalmente uma área de 3% do total de florestas do Estado. Caracteriza-se por uma alta pluviosidade, com médias anuais entre 1700-3000 mm/ano, e por temperaturas que variam entre 14° e 21°C, com geadas ocasionais na planície litorânea (IAPAR 1978). Apesar de ser considerada a mesma formação em

toda a bacia do Rio Marumbi, apresenta diferenças significativas na estrutura e composição florística nos diferentes níveis altitudinais:

- de 500-600 a 1000-1200 m – Floresta Ombrófila Densa Montana: onde ocorrem as elevações das massas úmidas advindas do oceano, sendo caracterizada por altos índices de umidade relativa do ar e declividade mais acentuada, resultando em solos relativamente mais pobres e lixiviados.
- de 50 a 500-600 m - Floresta Ombrófila Densa Sub-Montana: com influência climática de características tropicais, geralmente sobre solos coluvionais;
- de 0 a 50 m – Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas: localizada na planície formada pela deposição de sedimentos no período quaternário, apresenta forte influência edáfica;

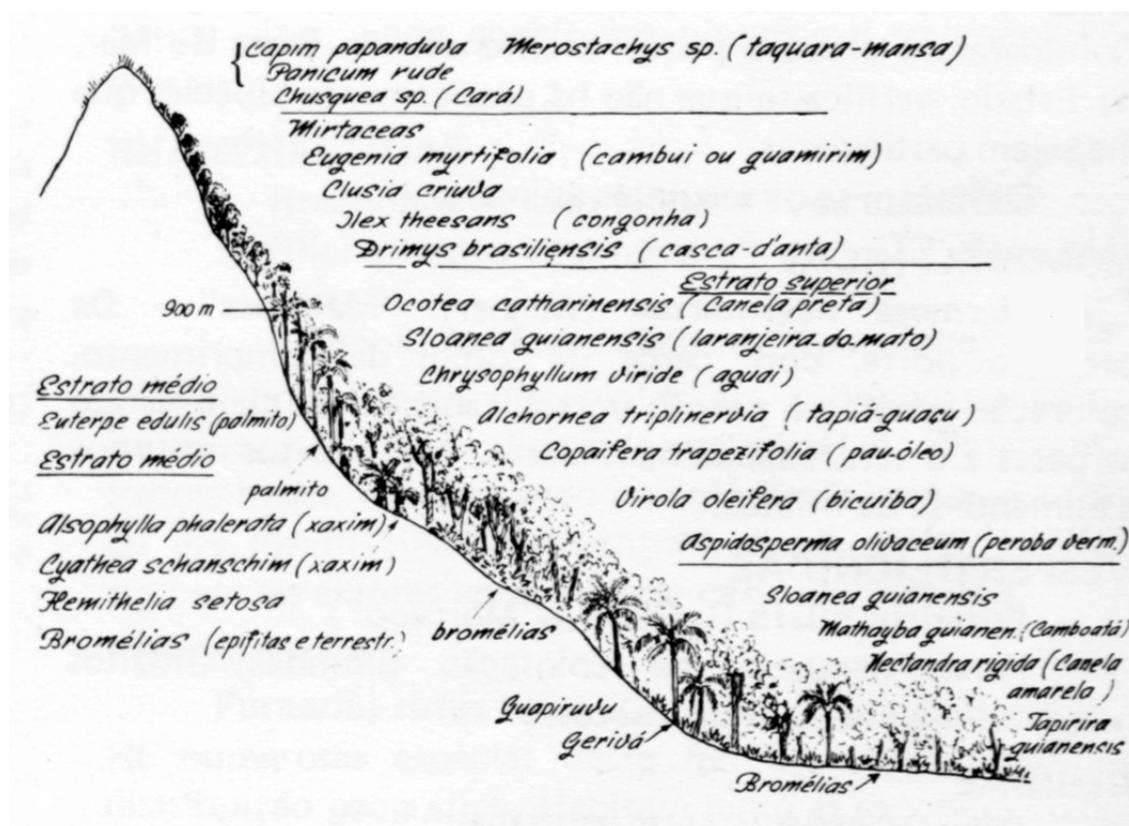


Figura 12 - Diagrama esquemático da distribuição da vegetação na encosta atlântica da Serra do Mar. Fonte: Bigarella, 1978 – Baseado em informações de R. M. Klein.

4.2 - Geomorfologia

O estado do Paraná, essencialmente uma região de planaltos, é parte integrante do grande planalto meridional do Brasil. A Serra do Mar constitui a zona limítrofe entre o planalto meridional e a planície costeira. Além de representar um degrau (escarpa), forma serras marginais descontínuas que se elevam de 500 a 1000 m acima do nível do planalto. A serra marginal de borda do planalto apresenta-se mais escarpada do lado Atlântico, sendo dotada de taludes íngremes e vertentes vigorosas tanto em relação ao primeiro planalto quanto em relação à zona pré-Serra do Mar e planície costeira atlântica (Bigarella *et al.* 1978).

Na Serra do Mar e região litorânea ocorrem rochas de elevado grau de cristalinidade, representadas principalmente por migmatitos que pertencem ao Pré-Cambriano Superior. Da degradação do complexo cristalino é formado o solo, frequentemente do tipo Litólicos Álicos, nas encostas, e Podzólico Vermelho Amarelo (Pva), de textura argilosa, na região da planície quaternária (Bigarella 1989).

Maciço do Marumbi - O Maciço do Marumbi apresenta altitude variante de 50 – 1547 m acima do nível do Mar, possuindo em sua área de abrangência o Parque Estadual do Pico Marumbi, no município de Morretes, PR, com coordenadas aproximadas de 25°26'-25°31'S e 48°58'-48°53'W. A área do PEPM compreende uma porção considerável da Serra do Mar paranaense, constituindo parte da zona limítrofe entre o primeiro planalto paranaense (vertente Oeste) e a planície costeira (vertente Leste) do Estado. Além de representar um degrau (escarpa), forma serras marginais descontínuas que se elevam de 318 a 1564 m acima do nível do mar. A serra marginal de borda do planalto apresenta-se mais escarpada do lado Atlântico, sendo dotada de taludes íngremes e vertentes vigorosas tanto em relação ao primeiro planalto quanto em relação à zona pré-Serra do Mar e planície costeira atlântica (Bigarella *et al.* 1978; Maack 1981).

Geologicamente é composta principalmente por granitos e migmatitos homogêneos com sua gênese associada aos ciclos tectônico-orogênicos do Pré-cambriano superior, que orientaram as principais direções em que se dispõe o conjunto morfo-estrutural nesta porção da Serra do Mar (Maack 1981;

Roderjan & Kuniyoshi 1987). Da degradação do complexo cristalino é formado o solo, freqüentemente do tipo Litólico Álico, nas encostas, e Podzólico Vermelho Amarelo (Pva), de textura argilosa, na região da planície quaternária (Bigarella 1989).

4.3 – Histórico de ocupação e demografia

Nesta região são encontrados registros dos movimentos que fizeram parte do que pode ser chamado de berço da comunidade Paranaense; talvez menos enquanto espaço de fixação dos primeiro colonizadores e mais enquanto rota daqueles que, oriundos da faixa litorânea e dos movimentos das províncias de então (principalmente Minas Gerais e São Paulo), deixaram suas marcas em uma considerável faixa de terras e ambientes que significam um elo entre a planície litorânea, os contrafortes da Serra do Mar e a paisagem típica do primeiro Planalto Paranaense.

A fundação de Morretes data de 1721, quando o Ouvidor Rafael Pires Pardiniho determinou que a Câmara Municipal de Paranaguá demarcasse 300 braças em quadra no local onde seria a futura povoação de Morretes, para, em 31 de outubro de 1733 a mesma Câmara determinar a demarcação das terras. Pela Lei Provincial nº 16, de 01 de março de 1841, foi elevada à categoria de Município, sendo desmembrado de Antonina e instalado solenemente a 05 de julho de 1841 (PARANACIDADE., 2000). Do outro lado da Serra do Mar, exatamente no centro da bacia do Piraquara, encontramos a Colônia de Santa Maria do Novo Tirol, fundada por cerca de 350 imigrantes italianos e tirolezes em 1878 e existente até hoje, podendo ser considerado o primeiro núcleo populacional na bacia. Em 1885 foi criada por lei provincial a “Freguesia de Piraquara”, onde hoje é a sede do município, sendo elevada à categoria de município em 1890, recebendo foros de cidade em 1935 (PIRAQUARA, 1999).

A região metropolitana de Curitiba é uma das que apresenta maior crescimento demográfico do país, sendo que os migrantes correspondem hoje a 54,1% da população. O crescimento na região de Piraquara pode ser considerado bastante recente. O censo do IBGE de 1980 apontava uma população de 60.920 habitantes, tendo aumentado apenas 405 habitantes em toda a década de 1970 (Vicentini, op. cit.). O crescimento acentuado foi

verificado a partir de meados da década de 1980 com a expansão urbana da região metropolitana, que originou a emancipação de parte seu território dando origem ao município de Pinhais em 1989. A população estimada de Piraquara em 2000 é de 78.921 habitantes, sendo 37.743 na zona urbana, que conta com uma taxa anual de crescimento de 7.74%; e 41.178 habitantes na zona rural, com taxa anual de crescimento de 15,25% (PARANACIDADE, 2000).

4.4 – Uso do solo

A bacia do rio Piraquara é uma das que sofre menor interferência antrópica na Bacia do Alto Rio Iguaçu, sendo que sua variabilidade paisagística é determinada pelas formações vegetais (Rizzi & Guiera, 1996). A região apresenta poucos aglomerados urbanos e possui uma atividade agrícola pouco desenvolvida em virtude da baixa fertilidade dos solos. Grande parte das propriedades existentes são pequenos sítios e casas de campo, alguns haras e pequenas lavouras de subsistência. A atividade agrícola predominante é pastoril, aproveitando os campos naturais existentes, que dão origem a pastagens diversificadas, de boa qualidade nutricional. As atividades mineradoras são restritas a algumas pedreiras e saibreiras, muitas das quais já desativadas. A maior parte dos efluentes urbanos da cidade de Piraquara é drenada pela bacia do rio Iraizinho e os efluentes de alguns bairros do município de São José dos Pinhais é drenada pelo rio Itaqui, deixando a bacia do Rio Piraquara em uma posição privilegiada em termos de saneamento, e portanto estratégica para ações de monitoramento da bacia do Alto Iguaçu. Neste momento está sendo construída a barragem Piraquara II, que irá inundar todo o trecho médio desta bacia.

A bacia do Rio Marumbi também possui um alto grau de preservação, principalmente em função da alta declividade e dos solo litólicos na encosta da serra. Abaixo da cota aproximada de 150 m *s.n.m.* iniciam-se os primeiros sinais de atividades agrícolas, destacando pequenas lavouras de banana e cana. No trecho final da bacia, o rio Marumbi sofre intensa influência da área urbana do município de Morretes.

4.5 – Elaboração dos mapas

Os mapas utilizados neste trabalho (figura 04 do cap. I e figuras 14 e 15 a seguir) foram elaborados a partir de seis cartas topográficas do mapeamento da região sul do Brasil em escala 1:25.000 (Ministério da Defesa, 2002) digitalizadas em formato “.tif”, conforme a referência e articulação abaixo:

Piraquara MI-2842-4-SE	Serra do Marumbi MI-2843-3-SO	Morretes MI-2843-3-SE
São José dos Pinhais MI-2857-2-NE	Rio Marumbi MI-2858-1-NO	Rio Sagrado MI-2858-1-NE

Figura 13 - Articulação das cartas topográficas utilizadas

As cartas digitalizadas foram “cortadas e coladas” através de um programa de computação gráfica (Adobe Photoshop 7.0), obtendo um mapa básico abrangendo toda a área de estudo. Em seguida, os elementos cartográficos foram separados por coloração, obtendo assim o mapa hidrográfico básico (figura 4 do capítulo I), contendo a hidrografia e alguns pontos de referência (malha urbana, estradas e ferrovia).

Sobre este mapa foram desenhados manualmente os limites das bacias, os pontos de coleta, outros pontos de referência e o destaque dos cursos principais das bacias dos rios Piraquara, Marumbi e Nhundiaquara. A partir deste mapa básico, foi obtido pelo mesmo processo o mapa hipsométrico (figura 14). O mapa de unidades de paisagem (figura 15) e o mapa de zoneamento a partir das características limnológicas (figura 17) foram desenhados sobre o mapa base, conforme os critérios descritos a seguir.

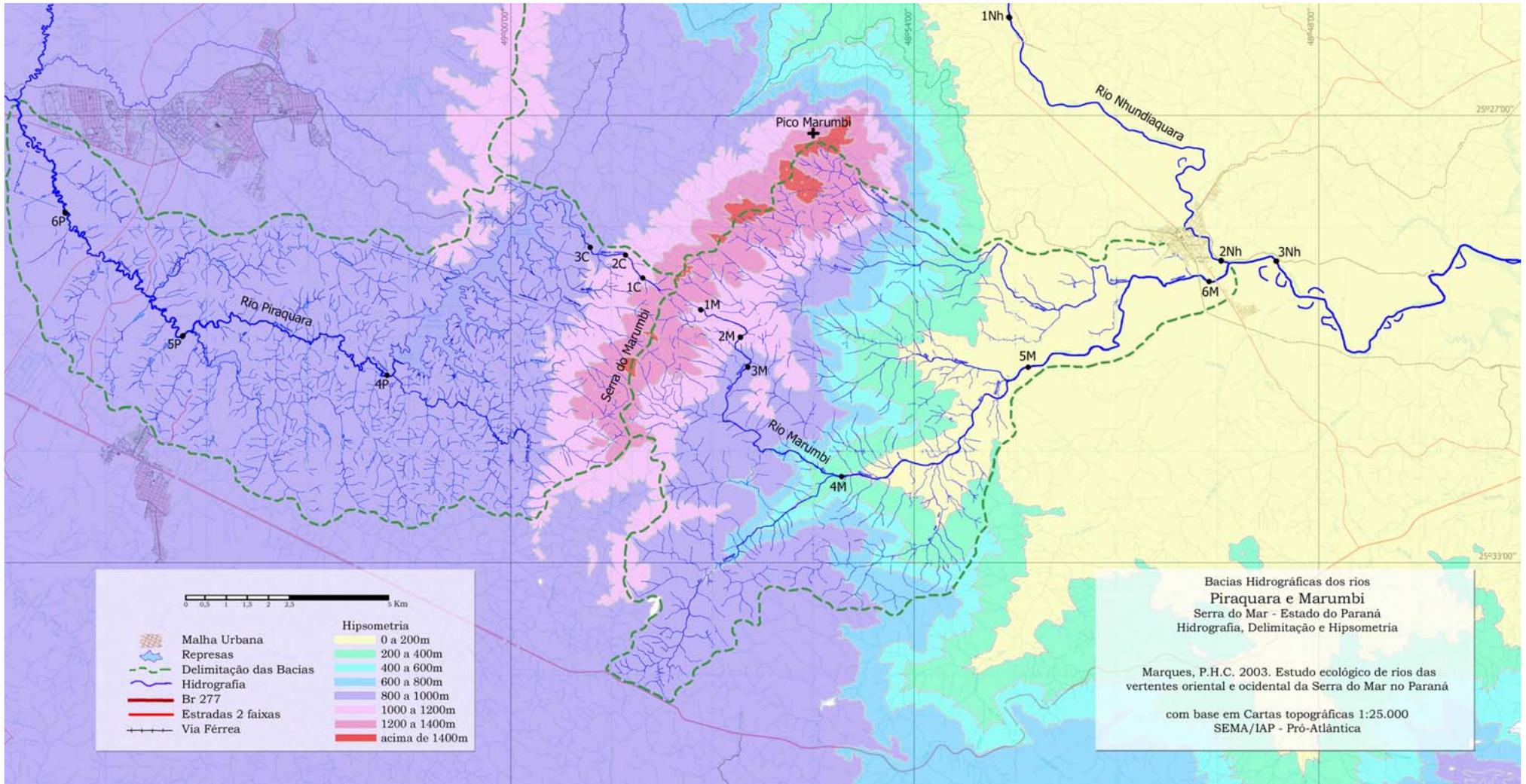


Figura 14 – Mapa hipsométrico das bacias dos rios Piraquara e Marumbi

4.6 – Definição das unidades de paisagem

A definição de unidades de paisagem procurou obter um zoneamento das bacias estudadas, identificando compartimentos com características similares ou padrões espaciais homogêneos. Com a finalidade de correlacionar as características limnológicas das bacias em estudo com suas características fisiográficas, as bacias foram divididas em unidades de paisagem relativamente homogêneas quanto aos critérios geologia, pedologia, vegetação, uso do solo e padrão de drenagem, conforme proposta de Troppmair, 1989.

Os levantamentos relativos às unidades paisagísticas das bacias dos rios Marumbi e Nhundiaquara (vertente oriental) e rios Caiguava e Piraquara (vertente ocidental) foram realizados através de cartas topográficas em escala 1:25.000, fotografias aéreas 1:25.000 em levantamento aerofotogramétrico de 1996 e fotocarta Landsat 1:50000, sendo que a determinação das unidades foi conferida em campo. A partir destas análises foram elaborados os mapa de unidades de paisagem e o mapa hipsométrico, apresentados nas figuras seguintes, fornecendo os subsídios para a correlação das características limnológicas com as características fisiográficas da bacia em cada trecho analisado. Foram caracterizadas 7 unidades de paisagem distintas, sendo 3 na vertente continental e 4 na vertente oceânica. A descrição a seguir mostra um resumo das características fisiográficas de cada unidade.

A – Várzeas (mesohemiorbio):

Porção final da bacia do Piraquara, onde se verifica padrão meândrico com ocorrência de lagoas marginais e áreas alagadas. Nesta área encontramos a mata ciliar (F.O.M. Aluvial) com extrato superior desenvolvido. O embasamento geológico é formado por depósitos sedimentares do quaternário recente, de composição argilo-arenosa. O solo predominante é do tipo hidromórfico gleizado, sendo que nas várzeas propriamente ditas ocorre o solo orgânico turfoso, com o lençol freático bastante próximo à superfície. Neste trecho tem início a influência urbana da Região metropolitana de Curitiba, sendo encontrados vários loteamentos irregulares.

B – Piraquara: (mesohemiorobio)

Compreende todo o trecho médio do rio Piraquara, entre a represa de Piraquara e o início das várzeas. A região caracteriza-se pelos campos edáficos entremeados de capões de *Araucária* e *Podocarpus*, remanescentes da F.O.M. Montana, com a ocorrência de mata ciliar diferenciada, aberta, sem sub-bosque, contínua em todo o percurso. Encontramos os solos do tipo Latossolo Vermelho-amarelo Álico, de textura argilosa, e Podzólico vermelho-amarelo álico, além dos solos hidromórficos ao longo do canal. Estas formações de solo e vegetação desenvolveram-se sobre os depósitos cenozóicos relacionados à Formação Guabirotuba (Plio-pleistoceno), composta de siltitos, argilitos, arcósios e conglomerados.

As principais atividades antrópicas são pequenas lavouras de milho e hortaliças, algumas pastagens e haras, bem como sítios de recreação. Exatamente neste Neste trecho está sendo construída a barragem Piraquara II, integrando o sistema de abastecimento de água da RMC.

C – Vertente continental (Oligohemiorobio):

Compreende o trecho de cabeceira da Bacia do Piraquara, representada pelo rio Caguava. Coberta pela Floresta Ombrófila Densa Montana e Altomontana, observam-se alguns elementos caracterizando ecótono com a Floresta Ombrófila Mista. Já não possui evidente diferenciação da mata ciliar. Os solos predominantes neste trecho são os solos Litólico álico e o cambissolo álico-argiloso, com afloramentos rochosos. A estrutura geológica é o Maciço do Marumbi, basicamente formado por granitos e migmatitos, de origem pré-cambriana e cambriana, cortados por diques de diabásio. Na região próxima à represa de Piraquara (Caguava) são encontradas algumas pedreiras desativadas e sítios de recreação.

D – Vertente Oceânica: (Ahemiorobio)

Porção inicial da Bacia do Rio Marumbi, das nascentes até a cota aproximada de 900 m. No percurso do rio amostrado, apresenta as mesmas características de vegetação, solo e geologia da vertente continental, sem os elementos da Floresta Ombrófila Mista. Todo este trecho está compreendido pelo Parque Estadual do Pico do Marumbi.

E – Encosta da Serra: (Ahemeorobio)

Trecho do Rio Marumbi de altíssima declividade (muitas vezes ultrapassando 40° de inclinação), entre as cotas aproximadas de 900 até 250 m sobre o nível do mar. É o trecho mais visível da Serra do Marumbi a partir da Cidade de Morretes. Os rios apresentam várias corredeiras e cachoeiras do tipo “véu de noiva”. Não foram realizadas amostragens neste trecho em virtude da dificuldade de acesso.

F – Planície Litorânea: (Meso/Euhemeorobio)

Porção final da bacia do rio Marumbi, abaixo da cota de 250 m. O rio adentra a planície litorânea, embora a declividade ainda favoreça as corredeiras. Notam-se as primeiras diferenciações na mata ciliar a partir do ponto 5M, bem como os efeitos da urbanização do município de Morretes. A porção final da bacia, no entorno da cidade de Morretes, pode ser considerada uma paisagem de grau euhemeorobio.

G – Rio Nhundiaquara: (Meso/Euhemeorobio)

Os pontos 1NH a 3NH (Rio Nhundiaquara), fora da bacia do Marumbi, foram incluídos para a comparação com os pontos 4M a 6M do rio Marumbi, fornecendo parâmetros para a aferição do plano de monitoramento e também para avaliar a influência do rio Marumbi sobre a qualidade da água do rio Nhundiaquara.

A definição destas unidades de paisagem e suas características fisiográficas, apresentadas no mapa a seguir (figura 15) foi feita com base em Klein & Hatschbach (1962); Maack (1981); Vicentini et. al. (1993); Veloso (1991); Ziller (1993); Piraquara (1999); Angulo (1992); Bigarella (1978 e 1989) e aerofotogrametria de 1996. Todos os dados foram conferidos durante o trabalho de campo descrito no capítulo 1. A figura 16 mostra alguns aspectos da paisagem ao longo das bacias.

* Cada região foi representada por pelo menos três pontos de coleta no estudo apresentado no capítulo I, exceto a região E, pela dificuldade de acesso ao local.

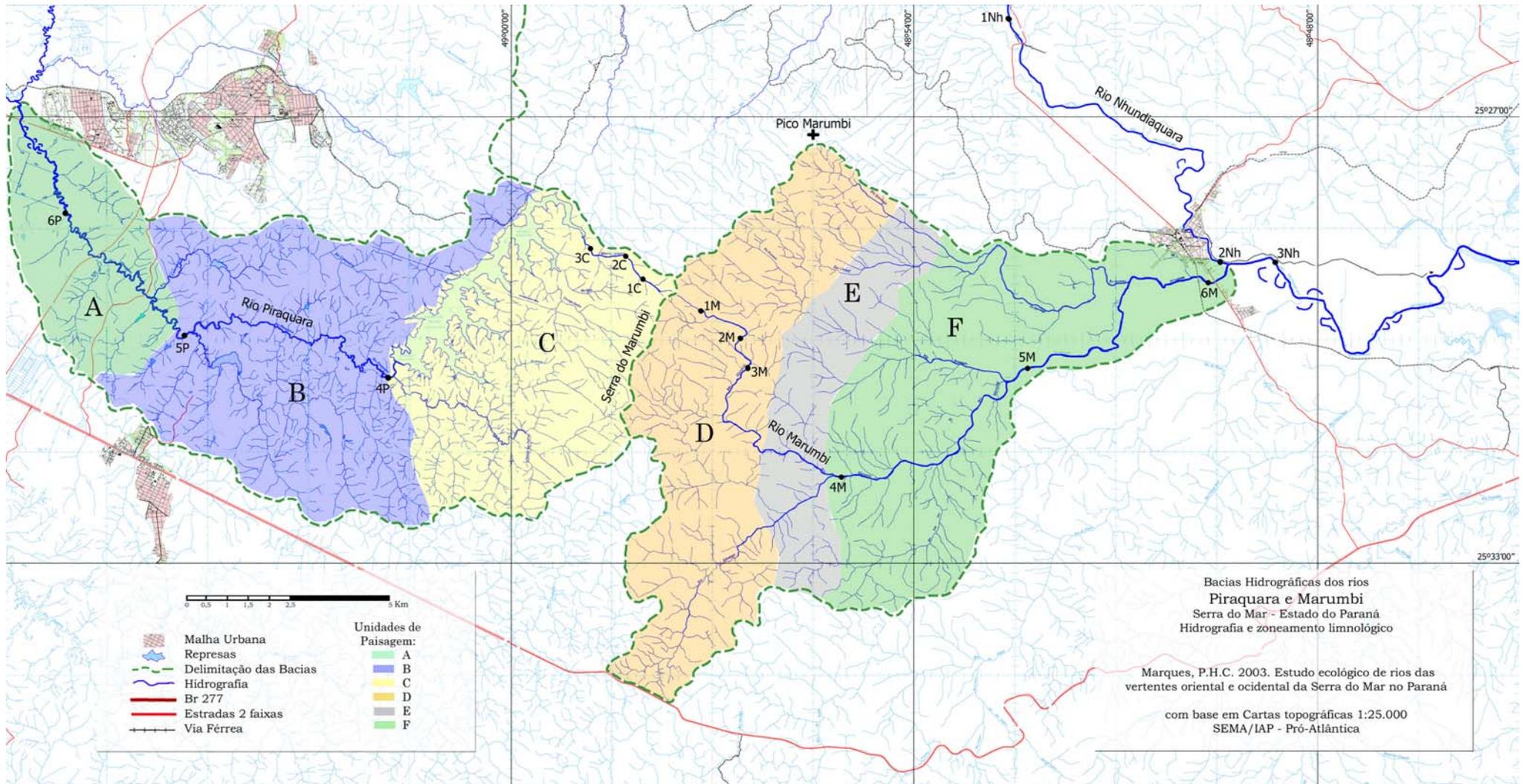


Figura 15 – Mapa das unidades de paisagem definidas nas bacias dos rios Piraquara e Marumbi.

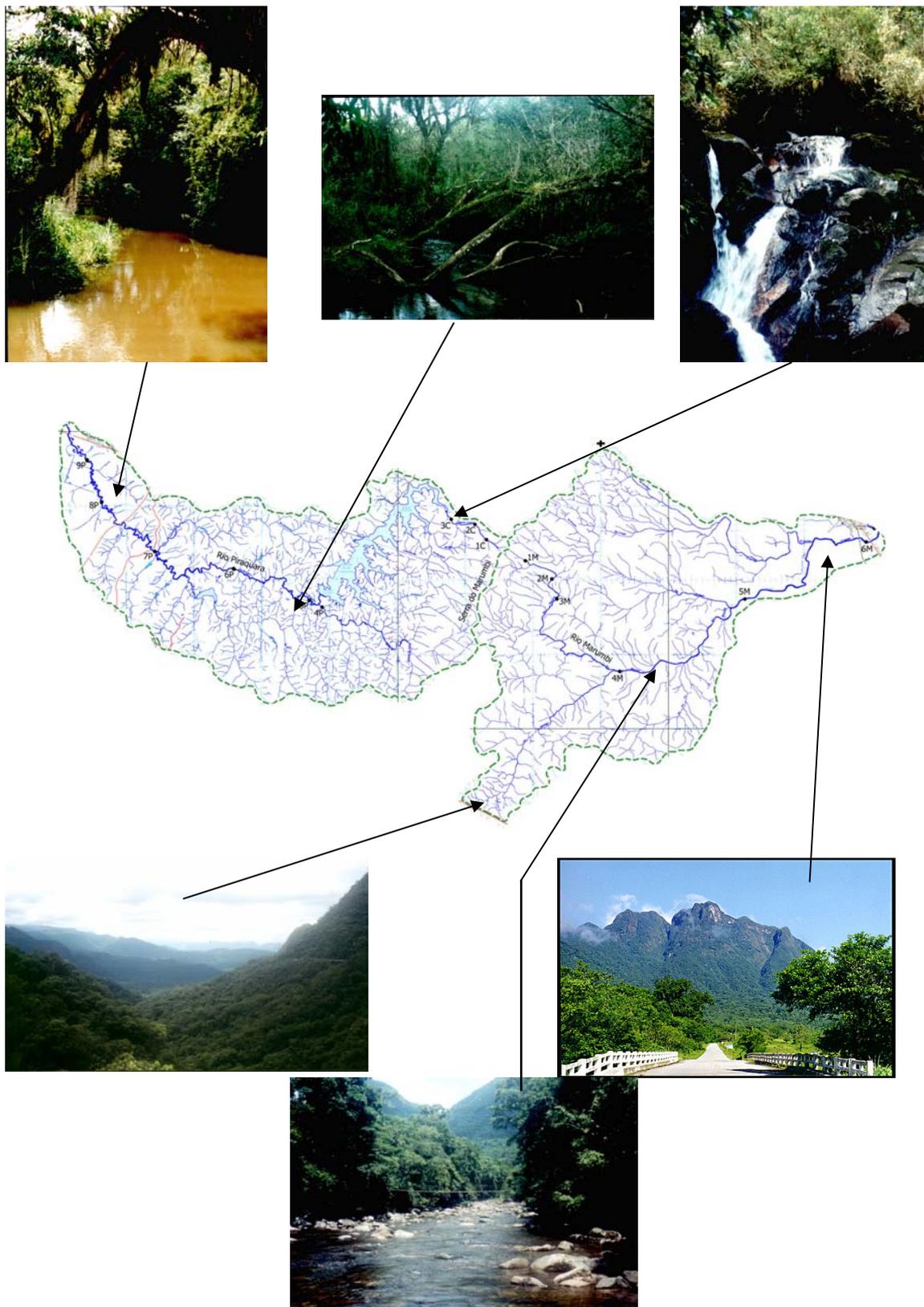


Figura 16 – Aspectos dos rios e das paisagens ao longo das bacias dos rios Piraquara e Marumbi.

5 – Zoneamento das bacias a partir das variáveis limnológicas:

5.1 – Ordenação espacial de bacias hidrográficas

A definição das regiões de uma bacia hidrográfica cujas características ecológicas dos rios são relativamente homogêneas é bastante usual em trabalhos no campo da Ecologia de Rios. No Brasil, podemos encontrar vários trabalhos como os de Sé (1992) Rios & Calijuri (1995); Baptista et al. (2001); Souza & Tundisi (2000); Branco & Necchi Jr. (1997), entre outros, em que são analisadas as possíveis correlações entre as características físicas, químicas e biológicas das águas dos rios e as características fisiográficas da bacia ou os impactos antrópicos. Na maioria destes trabalhos, as bacias hidrográficas são divididas em trechos distintos conforme a afinidade das características limnológicas avaliadas e grande parte das discussões é realizada tendo em vista a explicação desta variabilidade, ou a comparação do comportamento limnológico entre trechos distintos de uma bacia, sob influência de diferentes elementos da paisagem. Esta linha de trabalho pode ser sintetizada pela seguinte questão: Como as características limnológicas de um rio respondem às diferentes características do mosaico de paisagens pelo qual atravessa em seu percurso na bacia hidrográfica?

O comportamento limnológico de um rio pode ser caracterizado a partir de inúmeras variáveis físicas, químicas e biológicas, de natureza qualitativa ou quantitativa, que podem ser avaliadas através diferentes metodologias. Estas variáveis podem ser analisadas individualmente, em função de seu significado ecológico para o ecossistema, ou em grupos, buscando identificar possíveis covariâncias ou as influências de uma determinada variável sobre as demais (por exemplo: a temperatura da água influenciando sobre a saturação de oxigênio dissolvido). Segundo o conceito de Dinâmica de Manchas (*Patchy Dynamics Concept* - Pringle, 1995), a existência de gradientes definidos ao longo do curso de uma bacia torna possível delimitar manchas de comportamento relativamente homogêneo dentro do mosaico da bacia hidrográfica (o termo “manchas” pode ser empregado ao ecossistema lótico com a mesma conotação da definição proposta pela Ecologia da Paisagem, como uma “área homogênea dentro de uma determinada escala” – ver glossário no item 3.1).

5.2 – Elaboração do Zoneamento

Para elaborar o para o zoneamento longitudinal das bacias hidrográficas, identificando as manchas de comportamento homogêneo, normalmente se utilizam métodos estatísticos de análise multivariada. A Análise de Componentes Principais mostra-se eficiente, condensando a informação essencial obtida através das variáveis limnológicas em dois componentes principais, permitindo a demonstração gráfica das variações espacial e temporal, como foi apresentado no capítulo 1. Os resultados destas análises (figuras 31 e 32, p. 60) mostraram o agrupamento em quatro regiões de comportamento limnológico distinto, e a partir destes resultados foi desenhado o mapa de zoneamento limnológico da figura a seguir (figura 17).

O estabelecimento da conformação espacial de cada região da bacia representada pelo grupo de pontos que formam uma unidade homogênea foi feita da seguinte maneira: a partir do trecho do rio delimitado pelos pontos de coleta, o traçado do zoneamento é feito em direção às bordas da bacia, seguindo a cota do terreno ou alguma característica fisiográfica peculiar, como por exemplo a represa, que delimita as regiões 1 e 2, ou a encosta da Serra, que separa as regiões 2 e 3.

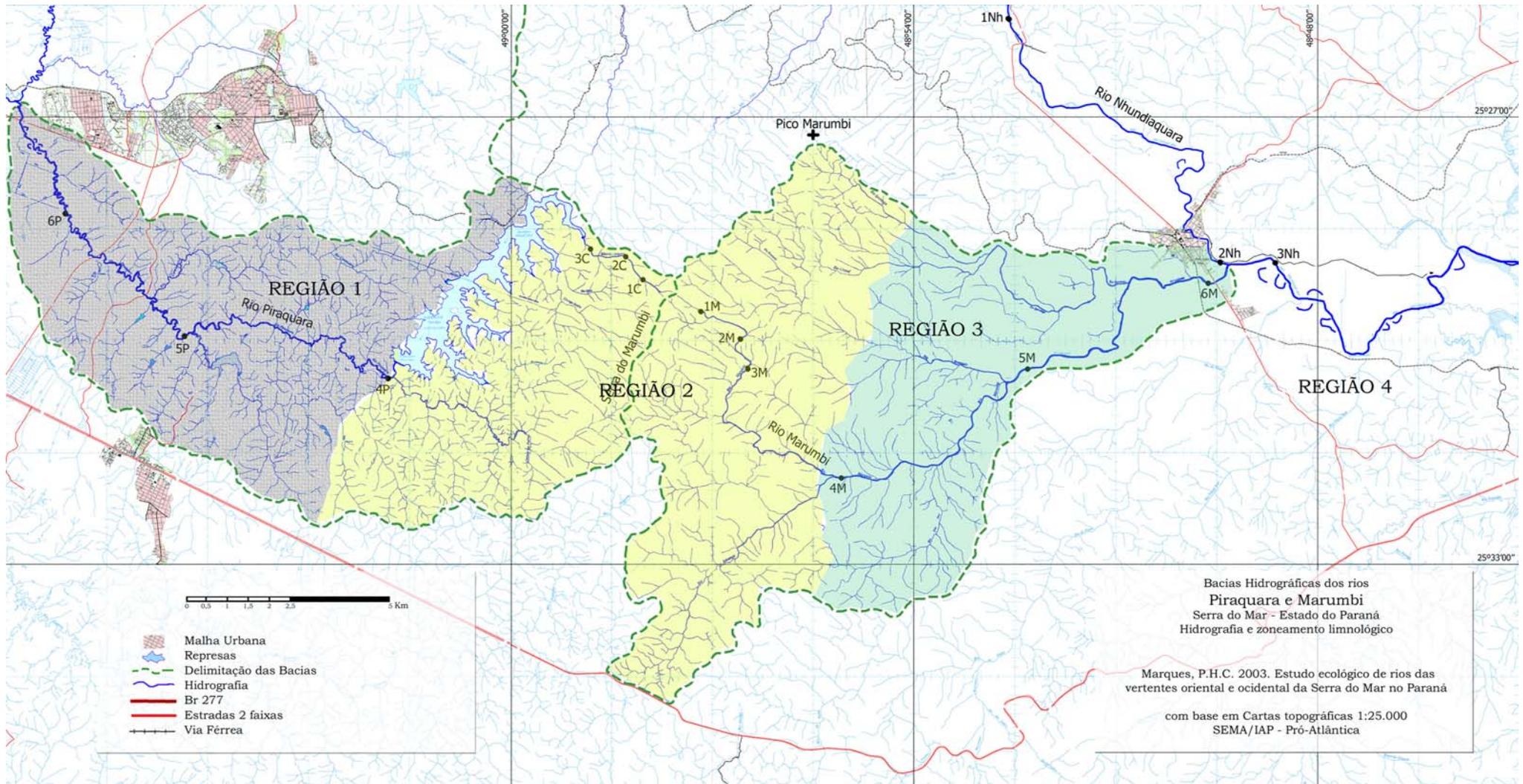


Figura 17 – Zoneamento limnológico das Bacias Hidrográficas. Foram estabelecidas quatro regiões de comportamento limnológico homogêneo

Através da comparação entre o mapa de unidades de paisagem (figura 15) e o mapa de zoneamento limnológico (figura 17), podemos identificar três fatores de descontinuidade serial, segundo as definições de Stanford et. al. (1988) e Sabater et. al. (1989), agindo sobre os ecossistemas lóticos e delimitando os diferentes trechos das bacias estudadas:

- a) Na bacia do Rio Piraquara, temos a represa de piraquara (entre os pontos 3C e 4P) como principal fator de descontinuidade, com influência sobre as variáveis silicato, material em suspensão, fosfato, amônio e clorofila. Os mesmos resultados foram encontrados no trabalho anterior (Marques, 2000).
- b) Na bacia do Marumbi, a alta declividade da encosta da serra entre os pontos 3M (aproximadamente 1000 m) e 4M (aproximadamente 230 m) provocou diferenças em praticamente todas as variáveis, mostrando um comportamento limnológico diferenciado entre os trechos no alto da serra e a planície litorânea.
- c) Os efluentes urbanos da cidade de Morretes produziram uma clara quebra da continuidade, fazendo com que as características dos pontos 6M, 2Nh e 3Nh estejam sob forte influência do aporte de poluentes.

Outros fatores de descontinuidade eram esperados em função de análise das características fisiográficas na bacia do rio Piraquara, mas não se confirmaram. São eles:

- Os rios Butiatuva e Campinalva, dois principais afluentes que chegam ao Rio Piraquara a montante dos pontos de coleta 5P e 6P, respectivamente, não produziram alterações detectáveis através das medidas realizadas.
- A transição do padrão dendrítico para o padrão meândrico de drenagem motivada pela entrada na Bacia Sedimentar de Curitiba, a partir do ponto de coleta 5P, também não produziu variações significativas, provavelmente por não ter causado grande alteração sobre a velocidade da corrente. Esta alteração provavelmente só se manifestaria em trechos mais a jusante (em uma escala de abordagem maior do que a bacia do Piraquara)

6.0 - Discussão e considerações finais

6.1 - Importância do Zoneamento Limnológico

No trabalho anterior realizado na bacia do Rio Piraquara (Marques *et al.*, 2003) foi elaborada uma proposta de zoneamento da bacia a partir das características limnológicas encontradas, permitindo um maior conhecimento das respostas do ecossistema lótico às características da paisagem. O trabalho demonstrou que a comparação entre as variáveis limnológicas de manchas análogas em rios distintos da mesma região pode ser bastante útil na identificação de problemas ambientais, fornecendo subsídios para o planejamento ambiental da bacia. Neste trabalho, além da ampliação da área de estudo abrangendo a vertente oceânica da Serra do Mar, pudemos revalidar as conclusões quanto à ordenação espacial da bacia do Rio Piraquara.

Este rio assume uma importância estratégica por ser a bacia hidrográfica mais preservada no contexto das onze bacias que formam a bacia do Alto Iguaçu, que atualmente responde pelo abastecimento de água de cerca de 2 milhões de habitantes da Região Metropolitana de Curitiba. As características limnológicas descritas neste trabalho podem servir como base para ações de monitoramento e recuperação dos outros rios da bacia do Alto Iguaçu, já sujeitos a grande pressão antrópica e degradação de seus ecossistemas naturais. O trabalho adquire uma importância ainda maior tendo em vista que todo o trecho médio do rio Piraquara será inundado no próximo ano (2005) pela Barragem de Piraquara II, fazendo desaparecer alguns dos últimos remanescentes das paisagens aqui descritas. Depois do enchimento desta barragem, não existirão mais rios com as características descritas neste trabalho em toda a bacia do Alto Iguaçu, ou seja: passamos do estágio em que existiriam possibilidades de **prevenção** de problemas ambientais para um estágio em que devemos realizar ações de **recuperação** dos rios, e este trabalho significa um retrato de como **eram** os ecossistemas aquáticos em seu estado natural, antes dos impactos da urbanização.



Figura 18 – Em frente ao canteiro de obras da represa Piraquara II, a placa parece ter a intenção de justificar o impacto ambiental.

Na vertente litorânea, um dos resultados importantes encontrados foi o agrupamento das características do ponto 1Nh (Rio Nhundiaquara) e dos pontos 4M e 5M (rio Marumbi) como demonstrado no item 6 do capítulo 1. Este fato comprova a possibilidade de comparação entre bacias adjacentes que possuem características fisiográficas semelhantes, pois estes pontos, embora em bacias diferentes, estão em regiões de mesma altitude, formação vegetal e características geomorfológicas. Concluímos que a definição de um zoneamento limnológico nos outros rios da bacia litorânea poderá ser feito de maneira eficaz com menor esforço amostral, uma vez que este trabalho permitiu um melhor conhecimento das respostas dos ecossistemas lóticos às variações da paisagem.

Espera-se, com este trabalho, contribuir para um efetivo programa de monitoramento biológico dos mananciais de abastecimento da Região Metropolitana de Curitiba e do Litoral, abrangendo a tríade das características físico-químicas, dos macroinvertebrados bioindicadores e dos testes de toxicidade.

6.2 – Importância do estudo das paisagens:

Para a realização deste estudo, os elementos da Ecologia da Paisagem e a definição de unidades de paisagem tiveram uma especial importância, permitindo enfocar a problemática em uma perspectiva espacial integradora. As

características dos rios, os elementos fisiográficos e os ecossistemas presentes foram estudados segundo um ponto de vista que abrange a interação das populações humanas com os ambientes, auxiliando na compreensão da realidade e na abordagem do espaço das bacias hidrográficas estudadas. Podemos concordar com a afirmação de que “o modo como as configurações espaciais apresentam-se aos nossos olhos é resultante de processos de interação entre a conformação física do terreno e as atividades humanas, gerando um espaço socialmente produzido” (Mello, 1998).

O conceito de Unidade de Paisagem, bem como a definição prática de tais unidades em uma determinada área de estudo, podem ser carregadas de subjetividade, dependendo do ponto de vista e dos interesses do pesquisador ou dos grupos beneficiários do trabalho de pesquisa. Neste caso, os interesses podem ser expressos pelos problemas que foram definidos na introdução (p. 9), principalmente em relação à extensão dos resultados da pesquisa ecológica realizada (capítulo 1).

As Unidades de Paisagem podem ser definidas de várias formas, e procuramos selecionar critérios que atendessem os objetivos iniciais, ou seja, a partir de elementos que tivessem relação com a qualidade das águas e com a conservação dos recursos hídricos, segundo as principais teorias ecológicas. Se a análise tivesse partido de outros interesses, provavelmente outros critérios seriam selecionados, e a delimitação das unidades poderia ter sido bastante diferente (por exemplo, se o interesse fosse o de estudar o potencial agrícola das bacias, ou a exploração “sustentável” dos recursos minerais)

Atendendo aos objetivos propostos para este capítulo, discorreremos a seguir sobre as vantagens e potencialidades do uso dos métodos empregados:

a) para a interpretação ecológica do sistema lótico:

A delimitação das unidades de paisagem pode favorecer a compreensão de conceitos ecológicos como o do contínuo fluvial ou da dinâmica de manchas homogêneas ao longo das bacias. Analisando cada unidade de paisagem é possível avaliar, por exemplo, que tipo de material (orgânico e inorgânico) pode estar sendo fornecido para o leito do rio em uma determinada região, bem como quais os fatores geológicos, pedológicos ou vegetacionais podem ser

responsáveis por determinada quantidade de material em suspensão ou característica química da água. Estes fatores são determinantes das características das comunidades planctônica e bentônica que ali se estabelecem, nos níveis básicos da cadeia alimentar, moldando de certa forma toda a estrutura do ecossistema lótico.

Comparando unidades distintas, também é possível inferir sobre a possível existência de fatores de descontinuidade serial, conforme exposto na página 106: todos os fatores analisados foram decorrentes do estudo das paisagens, e a influência destes fatores não necessariamente foi detectada nas análises limnológicas (por exemplo, acreditava-se que a mudança do padrão dendrítico para meândrico pudesse produzir efeitos sobre a qualidade da água, fato que não foi confirmado).

Os estudos ecológicos de bacias hidrográficas tem utilizado elementos do estudo da paisagem de forma cada vez mais rigorosa e abrangente, principalmente na últimas duas décadas, como podemos perceber em trabalhos como os de Allan (1997), Frissel et. al. (1986), entre outros. Este fato já produz uma demanda pela reestruturação curricular dos cursos que formam profissionais para o trabalho com recursos hídricos.

b) para a Educação Ambiental:

Do ponto de vista da Educação Ambiental, as informações compiladas no estudo das paisagens podem fornecer uma importante base para a realização de vários tipos de ação ou pesquisa, como por exemplo os trabalhos na área da Percepção Ambiental. Mello (1998), estudando as paisagens de uma extensa área de banhados no Rio Grande do Sul, definiu unidades de paisagem do ponto de vista da conservação destes sistemas naturais, e estudou a diferença de percepção, atitudes e valores que cada unidade de paisagem produzia em diferentes instâncias (população local, relatos históricos de viajantes, publicações e relatórios técnicos voltados para a questão ambiental, tomadores de decisão, a legislação ambiental). Maroti (2000), estudando as relações entre uma unidade de conservação e as populações do entorno, encontrou formas de descrever a percepção das paisagens locais através da metodologia dos mapas mentais, e conseguiu realizar uma

reconstituição histórica da evolução das paisagens na região através de narrativas orais de antigos moradores, elaborando mapas da região em diferentes épocas. Estes dois trabalhos são exemplos de como a Ecologia da Paisagem, pelo seu caráter interdisciplinar, tanto pode alimentar-se de outras áreas do conhecimento quanto fornecer subsídios para trabalhos em outras áreas, e a percepção ambiental é uma delas, como podemos verificar em trabalhos como os de Oliveira (2001), Ferreira (2000), Del Rio & Oliveira (2000), Serpa (2001) entre vários outros. Todos estes autores salientam a importância deste tipo de estudo como subsídio para programas de Educação Ambiental, e é neste sentido que as potencialidades e limites encontrados neste trabalho pretendem contribuir.

Outra vantagem que o estudo das unidades de paisagem trouxe no contexto geral desta tese foi a reunião de informações que geralmente estão dispersas em várias fontes, de diferentes áreas do conhecimento e localizadas em diversas locais. Não existem fontes de informação tais como livros didáticos ou manuais que tragam descrições dos ambientes, tanto terrestres quanto fluviais, para esta área de estudo. Os dados sobre geomorfologia, por exemplo, foram retirados de teses e trabalhos no campo da geologia; a caracterização da vegetação das bacias foi realizada a partir de teses e trabalhos publicados em periódicos das áreas de botânica e engenharia florestal; os mapas foram conseguidos no órgão público ambiental (Instituto Ambiental do Paraná), e assim por diante. Esta compilação de informações é usual em qualquer trabalho de Ecologia, mas a sistematização aqui proposta teve uma relevância maior ao estabelecer uma base regional de dados e informações que pudesse subsidiar programas de Educação Ambiental baseado em exemplos locais (conforme o objetivo nº 2, p. 10).

No capítulo seguinte, esta discussão será retomada a partir das experiências práticas de utilização do estudo das paisagens nos programas de intervenção realizados em escolas.

6.0 - Referências Bibliográficas

- ALLAN, J.D.; ERICKSON, D.L. AND FAY, J. 1997. The influence of catchment land use on stream integrity across multiple spatial scales. **Freshwater Biology** **37**: 149-161.
- ALMEIDA, R. D. 2001. **Do desenho ao mapa: iniciação cartográfica na escola**. São Paulo, Contexto, 2001.
- ANGULO, R. J. 1992. **Geologia da Planície Costeira do estado do Paraná**. Tese de doutoramento. São Paulo, Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, 1992.
- BAPTISTA, D. F., DORVILLÉ, L. F. M., BUSS, D. and NESSIAMIAN, J. L. 2001. Spatial and temporal organization of aquatic insects assemblages in the longitudinal gradient of a tropical river. **Rev. Brasil. Biol.**, **61(2)**: 295-304
- BARBOSA, D. S & ESPÍNDOLA, E. L. G. 2003. **Algumas teorias ecológicas aplicadas a sistemas lóticos**. In: Brigante, J & Espíndola, E.L.G. (2003) *Limnologia Fluvial – Um estudo no Rio Mogi-Guaçu*. São Carlos: Ed. Rima. 278p.
- BECKER, F. G. 2002. **Aplicações de Sistemas de Informação Geográfica em Ecologia e Manejo de Bacias Hidrográficas**. In Schiavetti, A. & Camargo, A. F. M. *Conceitos de Bacias Hidrográficas*. Ilhéus, BA: Editus, 2002. 293p.: il.
- BIGARELLA, J. J. 1978. **A Serra do Mar e a orção oriental do Estado do Paraná – Contribuição à Geografia, Geologia e Ecologia regional**. Curitiba, SEPLAN/ADEAL. 248 pp.
- BRANCO, L.H.Z. & NECCHI JR.,O. 1997. Variação longitudinal de parâmetros físicos e químicos em três rios pertencentes a diferentes bacias de drenagem na região noroeste do estado de São Paulo. **Acta Limnologica Brasiliensia** **9**:165-177.
- BRETSCHKO, G. 1995. River/land ecotones: Scales and patterns. **Hydrobiologia** **303**: 83-91.
- BRIGANTE, J. & ESPÍNDOLA, E.L.G. 2003. **Limnologia Fluvial: um estudo no rio Mogi-guaçu**. São Carlos: Rima, 2003.
- BORMANN, F.H. & LIKENS, G.E. 1967. Nutrient Cycling. **Science**, **155(3461)**: 4424-529.
- BORNSCHEIN, M.R., REINERT, B.L. e PICHORIM, M. 1998.. Descrição, ecologia e conservação de um novo *Scytalopus* (Rhinocryptidae) do sul do Brasil, com comentários sobre a morfologia da família. **Ararajuba** **6(1)**: 3-36.
- DEL RIO, V. & OLIVEIRA. 2000. Percepção Ambiental: a Experiência Brasileira.
- FERREIRA, M. A. V. 2002. **Análise dos processos de degradação do Rio Pardo associado a ocupação no município de São José do Rio Pardo-SP**: Subsídios para programas de Educação Ambiental. Dissertação de Mestrado. São Carlos: PPGSEA/USP.
- FISRWG – Federal Interagency Stream Restoration Working Group. 1998. **Stream Corridor Restoration: Principles, processes and practices**. Disponível na Internet: www.usda.gov/stream_restoration.
- FORMAN, R.T.T. 1995. **Land Mosaics: the ecology of landscapes and regions**. Cambridge: Cambridge University Press, 1995
- FRISSEL, C. A., Liss, W. J., Warren, C. E. & Hurley, M. D. 1986. A hierarchical framework for stream habitat classification: viewing streams in a watershed context. **Environmental Management** **10**: 199-214.
- GALDEAN, N, CALLISTO, M. AND BARBOSA, F. A. R. 2001. Biodiversity assessment of benthic macroinvertebrates in altitudinal lotic ecosystems of Serra do Cipó (MG, Brazil). **Rev. Brasil. Biol.**, **61(2)**: 239-248
- HYNES, H. B. N. 1975. The stream and its valley. **Verh. Internat. Verein. Limnol.** **19**: 1-15.
- KLEIN, R.M., DOUBECK, R. & BIGARELLA, J. J. 1962. Planta fitogeográfica dos arredores da cidade de Curitiba – estado do Paraná. Boletim da Universidade do Paraná - **Geografia Física**, v.4
- KLEIN, R. M. & HATSCHBACH, G. 1962. Fitofisionomia e notas sobre a vegetação para acompanhar a planta fitogeográfica de Curitiba e arredores (Paraná). Boletim da Universidade do Paraná - **Geografia Física**, v.4 , 1-30. Curitiba- Paraná.

- MAACK, R. 1981. **Geografia Física do Estado do Paraná**. 2ed. Rio de Janeiro: J. Olympio, Curitiba: Secretaria da Cultura e do Esporte. 450p.
- MAROTI, P. S. 2002. **Educação e Interpretação Ambiental junto à comunidade do entorno de uma unidade de conservação**. Tese de Doutorado. São Carlos: PPG-ERN - Universidade Federal de São Carlos.
- MARQUES, P.H.C. 2000. **Estudo Limnológico do Rio Piraquara (Piraquara – PR): Variação espacial e temporal das características físicas e químicas e ordenação espacial da bacia hidrográfica**. Dissertação de mestrado. São Carlos: PPG-ERN Universidade Federal de São Carlos. 100pp.
- MARQUES, P.H.C.; Oliveira, H. T. & Machado, E. 2003. Limnological Study of Piraquara River (Upper Iguazu Basin): Spatiotemporal Variation of Physical and Chemical Variables and Watershed Zoning. **Brazilian Archives of Biology and Technology** **46 (3)**: 383-394.
- MELLO, L. P. 1998. **Percepção da paisagem e conservação ambiental no Banhado Grande do rio Gravataí (RS)**. Tese de Doutorado. São Paulo: Departamento de Geografia da FFLCH / Universidade de São Paulo.
- METZGER, J. P. 2001. O que é Ecologia de Paisagens? **Biota Neotropica** **1(1)** 1-9. Disponível na Internet: <http://www.biotaneotropica.org.br>.
- MINISTÉRIO DA DEFESA – Departamento do Serviço geográfico. Mapeamento da Região Sul do Brasil em escala 1:25.000. Brasília, DSG/MD, 2002.
- MINSHALL, G.W. 1983. Stream ecosystem theory: a global perspective. **J. N. Am. Benthol. Soc.** **7(1)**: 263-288
- MONTEIRO, C. A. F. 1995. **Geossistema: A história de uma procura**. Campinas, Ed do Autor, Anexo 15. 1995. 44p.
- NAVEH, Z. & LIEBERMAN, A. 1984. **Landscape Ecology: Theory and application**. New York, Springer-Verlag, 1984. 2nd ed. 356 p. il.
- OLIVEIRA, H. T. 2002. **Potencialidades do uso educativo do conceito de Bacia Hidrográfica em programas de Educação Ambiental**. In Schiavetti, A. & Camargo, A. F. M. **Conceitos de Bacias Hidrográficas**. Ilhéus, BA: Editus, 2002. 293p.: il.
- OLIVEIRA, L. 2001. Percepção do meio ambiente e Geografia. **OLAM - Ciênc. & Tec.** **1(2)**: 14 - 28
- PARANACIDADE. 2004. **Base de dados On-line dos municípios paranaenses**. Disponível na Internet <www.paranacidade.pr.gov.br> , acessado em 20/06/2003.
- PIRAQUARA, Prefeitura Municipal de. 1999. **Plano Diretor do Município de Piraquara**. Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Agricultura de Piraquara-PR.
- PIRES, J.S., SANTOS, J. E. & DEL PRETTE, M. E. 2002. **A utilização do Conceito de Bacia Hidrográfica para a conservação dos Recursos Naturais**. In Schiavetti, A. & Camargo, A. F. M. **Conceitos de Bacias Hidrográficas**. Ilhéus, BA: Editus, 2002. 293p.: il.
- PRINGLE, C.M., NAIMAN, R.J., BRETSCSKO, G., KARR,J., OSWOOD, M., WEBSTER, J., WELCOMME, R. & WINTERBOURN, M.J. 1995. Patch dynamics in lotic systems: the stream as a mosaic. **J. N. Am. Benthol. Soc.** **7**, 503-524
- RIZZI, N. E. & GUIERA, F. M. 1996. Análise de tipologias de ocupação da bacia hidrográfica do rio Iraí. Curitiba, UFPR. **Agrárias, Curitiba** **15(2)**, 33-49.
- ROCHA, O., PIRES, J. S. & SANTOS, J.E. 2000. **A bacia Hidrográfica como unidade de estudo e planejamento**. Cap. 1:1-16, in: Espíndola, E. L. G (Org.). **A Bacia Hidrográfica do Rio Monjolinho**. São Carlos, Rima, 2000.
- RIOS, L. & CALIJURI, M. C. 1995. A bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão: uma proposta de ordenação das sub-bacias através de variáveis limnológicas. **Acta Limnológica Brasiliensia** **7**: 151-161.
- SABATER, F., ARMENGOL, J. & SABATER, S. 1989. Measuring discontinuities in the Ter river. **Regulated Rivers: Res. Manag.** **3**, 133-142.
- SANTOS, S. A. M. DOS. (1998). **Bacia hidrográfica e qualidade da água: as experiências de uma década de programas em Educação Ambiental desenvolvidos no CRHEA/CDCC-USP**. Dissertação (mestrado). São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, 1988.

- SCHIAVETTI, A. & CAMARGO, A. F. M. 2002. **Conceitos de Bacias Hidrográficas**. Ilhéus, BA: Editus, 2002. 293p.: il.
- SÉ, J. A. S. 1992. **O Rio do Monjolinho e sua bacia hidrográfica com o integradores de sistemas ecológicos**. Um conjunto de informações para o início de um processo de pesquisas ecológicas, de educação, planejamento e gerenciamento ambientais a longo prazo. Dissertação de mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 381p.
- SERPA, A. 2001. Percepção e Fenomenologia: em busca de um método humanístico para estudos e intervenções do/no lugar. **OLAM - Ciênc. & Tec.** 1(2): 29 – 61.
- SOUZA, A. D. G. de. and TUNDISI, J. G. 2000. Hidrogeochemical comparative study of the Jaú and Jacaré-guaçu river watersheds, São Paulo, Brazil. **Rev. Brasil. Biol.**, 60(4): 563-570
- STANFORD, J. A., HAUER, F. R. & WARD, J. W. 1988. Serial discontinuity in a large river system. **Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie** 23: 1114-1118.
- TOWNSEND, C. R. 1989. The patchy dynamics concept of stream community ecology. **Journal of the North American Benthological Society** 8: 36-50.
- TROPMAIR, H. **Biogeografia e meio ambiente**. 3.^a ed., Rio Claro, Graff Set, 1989
- VANNOTE, R.L.; MINSHALL, G.W.; CUMMINS, K.W.; SEDELL, J. R. AND CUSHING, C.E. 1980. The River Continuum Concept. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences** 37: 130-137.
- VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. 1991. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1991. 123p.
- VICENTINI, A.; TRAMUJAS, A. P. & BONATTO, F. 1991. **Proposta de Plano de Manejo do Parque Estadual dos Mananciais da Serra**. Monografia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná.
- WARD, J.V. 1992. **River Ecosystems**. In Encyclopedia of Earth System Science, Volume 4. 1992. New York, Academic Press. Inc.
- _____. 1989. The four-dimensional nature of lotic ecosystems. **J. N. Am Benthol. Soc.** 8(1): 2-8.
- _____. 1994. **The structure and dynamics of lotic ecosystems**. In MARGALEF, R. (Editor). *Limnology Now: A Paradigm for Planetary Problems*. Elsevier Science B. V., 1994.
- ZILLER, S. R. **As formações vegetais da área de influência do futuro reservatório do Rio Iraí – Piraquara/Quatro Barras – PR**. Curitiba: GTZ/PIAB. 1993.

Capítulo III

Experiências de Educação Ambiental em Bacias hidrográficas e sua integração curricular em diferentes níveis do ensino.

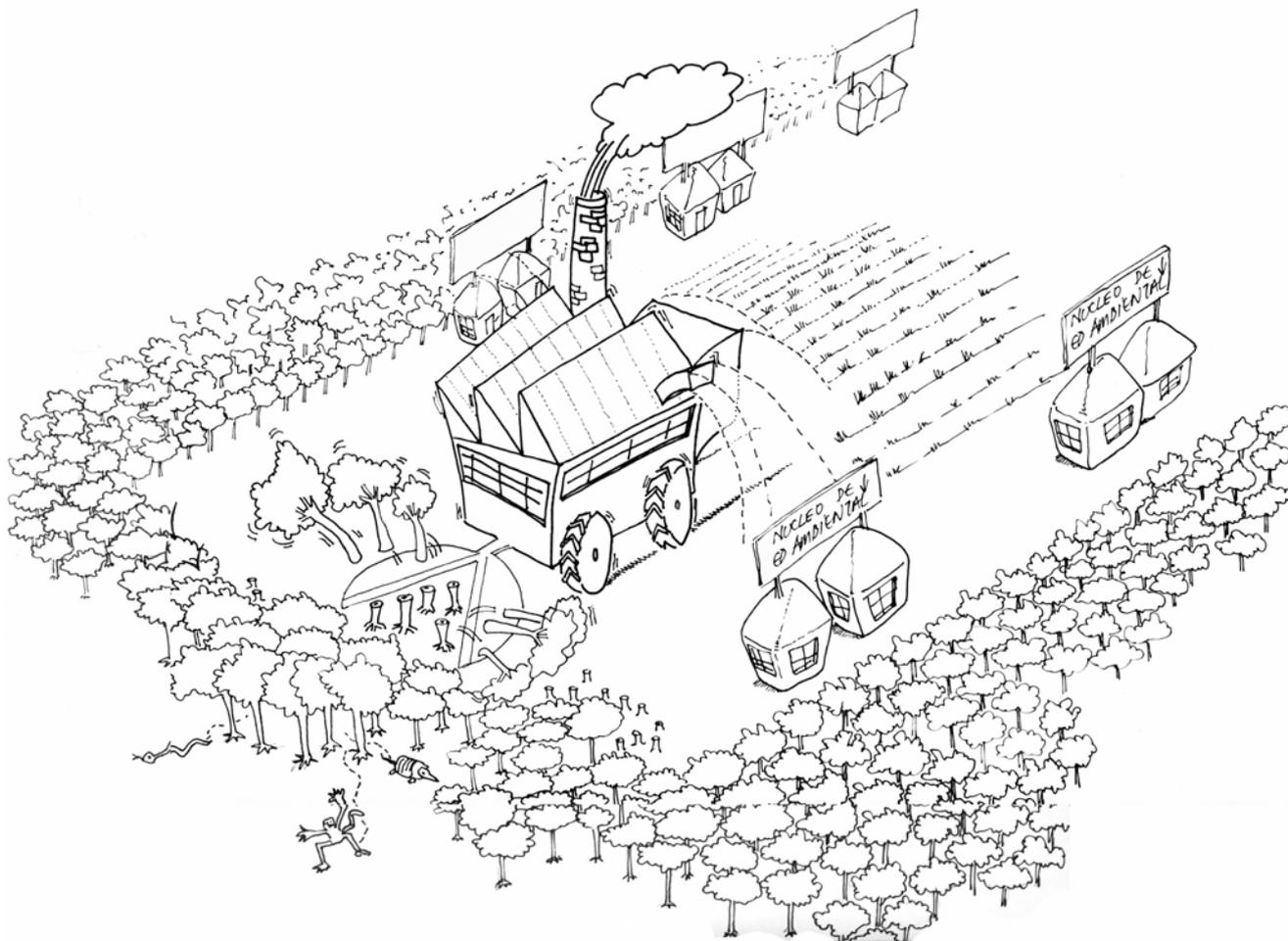


Figura 1 – Desenho de Paulo S. Maroti (Teó), educador e artista, sobre a idéia de Educação Ambiental como “medida compensatória” aos impactos ambientais.

1 – Introdução

O desenho de abertura deste capítulo levanta a discussão de uma situação que vem se tornando cada vez mais comum: A Educação Ambiental vista como uma “medida compensatória” aos impactos ambientais de uma região, como se fosse um paliativo aos “inevitáveis” problemas do desenvolvimento. Passados quase trinta anos da Conferência de Tbilisi, em 1977, considerada como um marco do movimento internacional da Educação Ambiental, e não obstante todo o esforço teórico e prático de um número crescente de pessoas que dedicam sua atividade profissional à EA, assistimos a um quadro de tendências cada vez mais contrário à própria ideologia da Educação Ambiental, com seus compromissos de transformação social para um futuro sustentável. A Educação Ambiental, assim como várias outras correntes de pensamento, também foi absorvida pela hegemonia das chamadas “leis de mercado” (assim como a contracultura gerou o “*new hippie*”, o samba gerou o “pagode chique”, o blues gerou o “*rock enlatado*”, etc.). Está hoje incorporada ao marketing empresarial, ao discurso político, a uma infindável gama de novos produtos “ambientalmente corretos”, e multiplicam-se os cursos de Educação Ambiental oferecidos por instituições privadas como um produto a mais na formação profissional, tendo em vista a “demanda do mercado”.

Ilustrando esta questão, e também a título de justificativa e cenário para o trabalho relatado neste capítulo, me permito a narrativa de uma situação ocorrida em um dos raros momentos em que vários setores da sociedade se reúnem para pensar o planejamento ambiental, e que tem uma especial importância para esta tese por afetar diretamente a área estudada. Trata-se da audiência pública para discussão do Estudo e Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA) elaborado para a construção da represa de Piraquara II, que irá inundar todo o trecho médio da bacia do rio Piraquara, com o objetivo de ampliar a capacidade de reserva de água para o abastecimento da capital paranaense (vide a discussão ao final do cap. II, p. 108). Resumidamente, apresento aqui uma síntese das posições dos principais grupos de atores sociais presentes, personagens com interesses diretos pela questão ambiental regional, nesta reunião ocorrida no auditório do Foro Municipal de Piraquara no

início de 2002. Após a apresentação do Relatório pelos técnicos da empresa de consultoria que realizou o EIA/RIMA, abrem-se as discussões a partir de inscrições previamente realizadas, e foram estes os principais grupos que se pronunciaram:

- **Vereadores**, representando o poder municipal, questionaram insistentemente sobre “qual a compensação (financeira, evidentemente) que o município terá por abrigar mais uma unidade de conservação motivada pela represa, e também por fornecer água para outros municípios”. Na ótica deste grupo, a unidade de conservação é um entrave ao “desenvolvimento”, ao impor restrições, por exemplo, à instalação de atividades industriais na bacia.
- **Técnicos**, de áreas ligadas à questão ambiental, discutiram qual a melhor forma de “aproveitamento” dos recursos na fase pré-enchimento; se deveriam ou não extrair a areia das várzeas, remover a vegetação, “resgatar” a fauna, “monitorar” o ambiente com modernas tecnologias, e assim por diante.
- **Técnicos** ligados à empresa pública de saneamento, assegurando a importância do reservatório (vide foto da figura 18, cap.II, p.109), bem como a sua qualidade ambiental, procurando afastar a hipótese de eutrofização ou proliferação de algas tóxicas (*Microcystis sp.*) que tinha ocorrido no ano anterior no reservatório do Iraí (bacia adjacente à do Piraquara, a menos de dez quilômetros de distância).
- **Ambientalistas** questionaram sobre a aplicação dos recursos de compensação ambiental previstos na legislação, claramente preocupados com a **quantidade** de projetos de Conservação ou “Educação Ambiental” que poderiam ser financiados pelos construtores da represa, atingindo quais públicos específicos.

Sem entrar no mérito da questão do abastecimento de água, em nenhum momento dos debates foi possível notar questões que dissessem respeito ao **planejamento ambiental** que seria ideal para a região metropolitana de Curitiba, ou como lidar com o **excedente populacional** excluído, que é o principal problema sócio-ambiental da área de mananciais, ou outras questões deste tipo. Encerrando a reunião, o promotor estadual do

meio ambiente faz anotar no processo todas as questões, reclamações e recomendações e aprova o relatório, sendo essa a sua função naquele momento.

Analisando a situação acima descrita, encontramos em Paula Brügger (1998) uma reflexão bastante apropriada para compreender as atitudes dos grupos envolvidos. A autora descreve o processo de reificação (ou “coisificação”) da natureza na visão da civilização ocidental:

“A reificação também está presente na questão ambiental. Apesar do aparente consenso de que tal questão abrange um todo dinâmico que inclui aspectos históricos, culturais, sociais, econômicos, éticos, estéticos e outros, o conceito de meio ambiente continua reduzido, no pensamento dominante, às suas dimensões naturais e técnicas. (...) Esse modo de pensar valoriza mais o aspecto operacional-descritivo (‘como fazer’ e ‘o que poderá acontecer’) que a discussão dos ‘porquês’ da implantação e aprovação de determinados projetos”. Brügger (1998).

Este exemplo da audiência pública ilustra, de certo modo, questões que não são exclusivas desta região, mais sim um reflexo de toda uma conjuntura de crise ambiental mundial, como tentamos descrever na introdução desta tese. Reforça também o compromisso que assumimos de vivenciar a extensão do conhecimento gerado nos estudos ecológicos nas Bacias da Serra do Mar.

Por outro lado a Educação Ambiental, aos poucos, vai fornecendo respostas para esta crise a partir de várias iniciativas, executadas principalmente tendo em vista a formação das novas gerações. A EA nutre-se da esperança de que estas gerações possam um dia chegar a uma reunião como aquela e mudar o rumo das discussões, colocando a questão ambiental na fase do **planejamento** e da **prevenção**, e não apenas na fase de compensação ou remediamento, pois geralmente quando se apresenta um EIA/RIMA para a discussão pela sociedade, tudo já está planejado pelos tomadores de decisão.

Dentre as várias possibilidades que a EA oferece, a via escolhida para abordar a questão foi vivenciar alguns processos de intervenção e pesquisa atingindo o público de professores e alunos de escolas públicas da região, a partir das oportunidades que foram surgindo ao longo do período deste doutorado, e tais experiências estão relatadas nos capítulos III e IV. A intenção

é a de contribuir para o fortalecimento da EA no ensino formal, sabendo que este público não é o único nem o mais importante, mas o que está mais próximo da nossa área de formação e atuação profissional.

2 – Delimitação do trabalho

Partindo do conceito de Bacia hidrográfica como unidade natural de estudo e planejamento ambiental, este trabalho teve o objetivo de desenvolver e vivenciar um protocolo de atividades em Educação Ambiental para Bacias hidrográficas, como base para o estabelecimento de um programa de monitoramento participativo para a Bacia Hidrográfica do Alto Iguaçu. O protocolo envolveu a pesquisa e a adequação de metodologias de Estudo do Meio, a partir de várias experiências anteriores, e a utilização de um Kit de análise de água, montado a partir dos mesmos equipamentos científicos utilizados no trabalho do cap. I.

Os protocolos de trabalho e o Kit de análise de água foram testados e avaliados em um programa de intervenções envolvendo alunos do município Pinhais – PR, em reuniões ocorridas ao longo do período letivo de 2003, constituindo a principal atividade desenvolvida. Paralelamente, o protocolo de atividades foi adaptado e aplicado também com alunos de cursos de graduação em biologia de duas universidades paranaenses, durante a realização de cursos Ecologia de Rios ministrados durante as respectivas “semanas da Biologia”, e em algumas atividades com grupos de professores de escolas públicas, possibilitando a sua avaliação em outros níveis de ensino.

O trabalho relatado neste capítulo não se configura como uma pesquisa científica, que parte de perguntas específicas e procura as respostas que façam avançar o conhecimento científico da humanidade, mas pode ser considerado como um trabalho de extensão e desenvolvimento. Tem como objetivo principal contribuir para a construção de caminhos no âmbito da Metodologia do Ensino e da Educação Ambiental no ensino formal, na convicção de que as instituições escolares, mesmo sofrendo as mais diversas pressões e carências, ainda podem ser um pólo de transformação da

sociedade, principalmente se começarem a lidar com os problemas locais das comunidades onde estão inseridas.

Assim, o capítulo foi organizado da seguinte maneira: inicialmente, apresentamos uma breve fundamentação (Item 3) em que são descritas experiências antecedentes, autores e fontes de informação que influenciaram e forneceram a base teórica para o desenvolvimento das atividades. Em seguida, em forma de narrativa, são apresentadas no item 4 as principais atividades desenvolvidas com os alunos do Colégio Estadual Arnaldo Busato, localizado em Pinhais (Região Metropolitana de Curitiba), aproximadamente a meio caminho entre a bacia do Piraquara e o centro de Curitiba, ou seja, no “centro dos acontecimentos” que motivaram esta tese. No Item 5 são citadas as experiências com outros grupos (alunos de graduação e professores) e ao final, uma breve discussão procura avaliar os limites e possibilidades das atividades e dos métodos aplicados.

3 – Fundamentação teórica

3.1 – Clubes de Ciências, Letras e Artes

Inspirado nos Clubes UNESCO de Ciências que se desenvolveram no Brasil a partir da década de 1960, com os objetivos centrados na Educação Científica básica (UNESCO, 1979; Rodriguez, 1972), o movimento dos Clubes de Ciências teve um grande impulso nas décadas de 1970 e 1980, juntamente com a organização das Feiras Nacionais de Ciências (CECIRS, 1995). Quem teve a oportunidade de desenvolver essa rica experiência ou quem ainda o faz, sabe da importância que ela representa para a formação cultural de jovens cientistas, futuros professores ou simplesmente amantes de ciências.

As atividades em um Clube de Ciências não são estáticas, lineares ou previsíveis como um simples estudo dirigido ou “aula prática”. Seus resultados, ao contrário, são pessoais, frutos únicos de uma efetiva interação individual do aluno com o conhecimento recém adquirido e sua aplicação imediata em situações novas. Estas situações propostas estão fundamentadas nos princípios da ação educativa tetradimensional onde se procura integrar

cognição, habilidades, atitudes e sensibilidade, na formação do **cidadão cientificamente educado** (Marques, 2002).

A forma de organização do trabalho em um Clube de Ciências se dá, geralmente, através de projetos com temas específicos. Vários autores da área educacional, como Segura (2001), observam que a organização do trabalho escolar por meio de projetos pode ser um caminho tanto para integrar conteúdos quanto para conjugar interesses pessoais e coletivos.

“... a natureza do projeto como forma de organização do trabalho na escola é sob todos os ângulos enriquecedor porque, além de ter como premissa a valorização dos recursos humanos envolvidos (a melhoria da auto-estima, inclusive), ele articula metas, propõe estratégias, cria possibilidades de inserção da escola na comunidade e de cruzamento do conhecimento com a realidade numa dinâmica criativa.” Segura, op. cit. p.58.

Vale observar que o caráter lúdico e libertário das atividades em um projeto dessa natureza é fundamental, nada devendo ser imposto. Os projetos desenvolvidos em um Clube de Ciências também não devem ser considerados como atividades extracurriculares, pois entendemos que tudo o que uma escola possa propor ou sugerir faz parte da sua concepção de **currículo**.

No Clube de Ciências, alunos e professores “olham à sua volta”. A realidade cotidiana e as situações enfrentadas pelos cidadãos podem ser analisadas em conjunto, buscando nas várias áreas das ciências naturais e humanas as explicações e conceitos que possam contribuir para o desenvolvimento participativo de propostas de solução dos problemas.

O objetivo mais importante é o desenvolvimento da postura inquiridora, pressuposto básico da formação científica, tendo como base a curiosidade das crianças ou adolescentes, e a capacidade de estabelecer relações. Com esse “espírito científico” alicerçado esperamos **contribuir** para a implantação de **institutos escolares regulares** (os Clubes de Ciências formais), que garantam a **produção científica estudantil** com possibilidades de intercâmbio com os demais clubes estudantis, participação em Feiras de Ciências, divulgação da produção através de jornais, dentre outras atividades de um clube estudantil. Vale lembrar as inúmeras possibilidades de comunicação e intercâmbio criadas

pela popularização da internet, que estão cada vez mais disponíveis nas escolas públicas e particulares.

São exemplos de atividades desenvolvidas em Clubes de Ciências:

- atividades de pesquisa de campo (excursões, visitas, coletas, etc.);
- atividades sócio-interativas (entrevistas, produção coletiva de textos, cartilhas, jornalzinho, etc.);
- atividades de pesquisa social junto à comunidade próxima (enquetes, levantamentos, etc.);
- atividades artísticas: livre expressão ou manifestação, painéis decorativos e informativos, dança, música e dramatização;
- atividades lúdicas: jogos, brincadeiras e outras.
- Montagem e manutenção de biblioteca, museu, maquetes, exposições;
- práticas experienciais sugeridas (como complemento ou extensão do conteúdo);
- Montagem e manutenção de laboratório de ciências, de matemática, de geografia, oficinas de produção de texto, estufas, hortas e jardins;
- Organização de eventos como Feiras de Ciências, Letras e Artes.
- Outras atividades cooperativas.

Em todas estas atividades a tônica dos trabalhos é (como consequência), interdisciplinar. No Clube de Ciências, Letras e Artes, por exemplo, muitos participantes evidenciam superações com projetos cuja implementação mostra-se **indisciplinar**, ou seja, não se reconhecem nos passos operacionais do planejamento e da execução dos trabalhos, onde começa e onde termina o conhecimento adquirido nessa ou naquela disciplina curricular.

3.2 – Expedições Científicas Estudantis

Inspiradas nas grandes Expedições Científicas realizadas no passado em nosso país (Langsdorff, Spix e Martius, Saint-Hilaire, entre outros), e nas **aulas-passeio** propostas pela Pedagogia Freinet (Sampaio, 1989), as

Expedições Científicas Estudantis (Marques, 1994) como recurso metodológico do ensino das Ciências Naturais visam resgatar a visão naturalista no trato das questões ambientais e promover a iniciação científica.

Diferenciando-se do tradicional excursionismo ou das aulas de campo, em que a mesma dinâmica tradicional da sala de aula é adotada (aula expositiva), os grupos de alunos organizam-se em torno de temas ou problemas ambientais específicos da região, e saem a campo devidamente instrumentalizados e motivados a observar, analisar e coletar dados através de fichas de observação e coleta, desenvolvendo atitudes e habilidades científicas. O resultado esperado em cada expedição é um estudo abrangente do local escolhido, revelando problemas e gerando temas para trabalho posterior.

O título da proposta foi escolhido com o intuito de se trabalhar o real significado do que chamamos **fazer ciência**, e de desfazer o mito em torno deste ato. O cientista, *latu sensu*, é aquele que especula e procura respostas. Todos nós podemos sê-lo, desde que mantenhamos vivo o espírito científico, que nada mais é do que o constante estado de alerta ao novo, ao inusitado, a tudo aquilo que nunca antes nos tinha ocorrido à mente. O recurso das Expedições Científicas deve ser fortemente comprometido com uma concepção curricular de trabalho, funcionando até mesmo como momento de culminância das atividades de um período e fornecendo subsídios para o período posterior.

As atividades em uma expedição científica devem ser cuidadosamente preparadas, utilizando-se os mais variados métodos, técnicas e equipamentos para o estudo do meio. Existe atualmente uma vasta literatura que pode auxiliar no preparo de tais expedições, nos mais variados níveis do ensino, e dentre elas destacamos Durrel (1982); Herman et al. (1992); Pujol & Nadal (1983); Daubois (1974); Carin & Sund (1967); Habben (1973); UNESCO (1981 e 1988); Domingos et. al. (1982); Masetto (1992), entre outros. Na Internet, com um pouco de paciência, se descobrem inúmeros sítios que também oferecem idéias de práticas e experiências pedagógicas, muitas delas voltadas especificamente para trilhas ou bacias hidrográficas.

3.3 – as Aulas-passeio da Pedagogia Freinet

A linha de pensamento pedagógico de Célestin Freinet, também denominada Escola Moderna, sempre foi um marco referencial para muitos professores que se propõem a trabalhos em que o tema principal é o ambiente e a vida das pessoas nas comunidades onde estão as escolas. Fundamentada em quatro eixos principais, a **cooperação**, a **afetividade**, a **documentação** e a **comunicação**, esta linha de pensamento pode ser considerada uma inimiga da racionalidade conservadora e, também por esse motivo, próxima aos ideais essencialmente transformadores e libertários da Educação Ambiental.

Neste trabalho, o caráter cooperativo e crítico das idéias da Escola Moderna foram uma forte influência, tendo em vista as condições sociais e ambientais encontradas na periferia da metrópole. Em sua história de vida, Freinet sempre primou pelo desenvolvimento de técnicas e métodos educativos, o que faz com que alguns (poucos) educadores atuais o considerem erroneamente como “tecnicista”, talvez por nunca o terem lido.

Dentre as *técnicas Freinet*, a aula passeio é de especial interesse, podendo ser definida como uma atividade realizada a partir de um planejamento existente, ou de um emergente centro de interesse dos estudantes (mas, sempre a partir de um plano estruturado co-participativamente), tendo em vista o estudo dos diferentes ambientes (naturais e sociais), em suas múltiplas relações (Sampaio, 1989). Um pequeno relato histórico ajuda a compreender o contexto em que esta técnica surgiu:

“...Em 1924, (Freinet) percebe que a Escola Nova, então em franca ascensão em toda a Europa, se prestava mais às instituições bem amparadas, bem instaladas, ricas em materiais de ensino. Porém, este não era o seu caso em Bar-Sur-Loup, onde além da pobreza, lutava para atender as individualidades e personalidades com que lidava, o que impunha, também, um rompimento radical a Escolástica. Assim, naquele ano Freinet começa a utilizar as *Aulas-Passeio*, diariamente. No retorno à sala de aula, os principais acontecimentos eram anotados no quadro negro e nos cadernos: insetos encontrados; ninhos de pássaros achados; formações geológicas percorridas; tipos de plantas e os ambientes onde cresciam, assim como as visitas ao ateliê do tecelão, ou à oficina do ferreiro e do marceneiro. Tudo era trabalhado, dando um outro sentido ao saber acumulado, à teoria a ser estudada.” LUZ, 2001.

Os ideais que nortearam estas e outras “técnicas” da Pedagogia Freinet podem ser considerados universais, ao pensarem a escola, ou melhor, a atividade educativa (incluindo a Educação Ambiental) como caminho especialmente importante para lidar com realidades como a que encontramos na periferia da metrópole que avança sobre os mananciais da Serra do Mar.

3.4 – As fichas de observação e coleta

Estes recursos metodológicos são de especial importância para os objetivos propostos inicialmente, principalmente por representarem uma forma sistematizada e rigorosa de realizar o estudo das paisagens e dos rios, adequando e utilizando os mesmos conceitos e métodos de estudo descritos no capítulo II. Para concretizar o objetivo de estender este estudo à escola pública, foram desenvolvidas duas fichas de observação e coleta, de forma participativa com os alunos, a partir das duas contribuições seguintes:

Para o desenvolvimento deste recurso, recorro à experiência do prof. Gastão O. F. da Luz, meu orientador na época de estagiário bolsista do Centro de Ciências do Paraná (1986 a 1988), depois professor no curso de graduação em Ciências Biológicas. Para aulas de campo da disciplina de Botânica, com base nas idéias do botânico Ralph G. Hertel, o autor desenvolveu as “ficha de coleta botânica” da qual reproduzo aqui a explicação formulada:

“As fichas de coleta usuais nas atividades de campo, no geral são apresentadas com pouquíssimos campos a serem preenchidos pelo operador, principalmente no que se refere à caracterização ambiental. O modelo que aqui apresento, tem-se revelado compatível com trabalhos fitológicos, ecológicos, mesológicos, ..., da Escola Básica aos Cursos de Pós-Graduação. Desnecessário dizer que, (1) não se tem o menor interesse em memorizações nominativas ou conceituais, mas sim que o sujeito aprenda a operar com o material, procurando perceber o universo de relações existentes na natureza; (2) os fundamentos teóricos são adequados ao nível de ensino e às características do estudante, de modo que são evitados desgastes no processo ensino-aprendizagem, em termos de fixação de conteúdos, procurando-se fazer com que cada um aplique os conceitos em atividades concretas; (3) o tempo de trabalho com a ficha aqui apresentada, deve ser compatível com a velocidade de cada um, tendo como parâmetro a qualidade das informações coletadas e a fidedignidade dos registros.” (LUZ, 1994)

Neste trabalho construímos e utilizamos as fichas de observação e coleta para rios conforme a proposta metodológica deste trabalho citado.

A outra fonte, igualmente importante, é o trabalho de Callisto et al (2002), publicado na revista **acta limnológica**, que propõe a aplicação de um protocolo de avaliação rápida da diversidade de habitats em atividades de ensino e pesquisa, a partir da adaptação de modelos de outros países aos ecossistemas lóticos brasileiros. Os autores testaram e avaliaram as fichas de avaliação com diferentes grupos de alunos de graduação e pós-graduação, com e sem treinamento prévio em Ecologia de Rios, e puderam comprovar a sua eficácia como ferramenta didática para o estudo do meio.

A “ficha de avaliação da diversidade e qualidade de habitats aquáticos” utilizada neste trabalho (anexo II) foi adaptada com poucas modificações e simplificações, do trabalho de Callisto et. al. (op. cit.), em conjunto com os alunos durante as atividades realizadas, e produziu excelentes resultados, mostrando que sua utilização é válida e bastante eficaz para o ensino médio, e, acredito, também para o ensino fundamental.

A outra ficha utilizada, denominada “ficha de observação e descrição de rios” (Anexo I), foi por mim desenvolvida a partir dos elementos de descrição das unidades de paisagens relatados no Capítulo II e das metodologias de estudo do meio encontradas em Troppmair (1988).

Estas fichas, a partir da experiência de aplicação que tive a oportunidade de vivenciar, se revelaram realmente muito úteis para a compreensão dos processos ecológicos e antrópicos nas bacias hidrográficas estudadas.

3.5 – Pesquisas e experiências antecedentes

Além das experiências com os Clubes e Feiras de Ciências, elaboração de materiais didáticos, Expedições científicas e aulas-passeio, algumas experiências que tive contato tiveram grande influência no trabalho ora apresentado. Em maior ou menor grau, todas elas tem relação com Educação Ambiental, Ecologia da Paisagem, Ecologia de Bacias Hidrográficas e Percepção Ambiental:

- As experiências do grupo BAHIR – Bacias Hidrográficas de Ibaté e Região, relatadas na tese de doutorado de João A. S. Sé (1999), que demonstraram a efetividade de um programa de Educação Ambiental, desenvolvido nas bacias dos rios Monjolinho e Chibarro (São Carlos e

Ibaté – SP), integrando as informações e experiências cotidianas de um público regional com as informações científicas e ecológicas geradas pelas universidades locais. O grupo, formado por crianças da região e alguns professores, através de estratégias participativas de estudo do meio, procurou soluções para os problemas ambientais das bacias hidrográficas da região;

- O trabalho de Paulo S. Maroti (2002) com as populações do entorno de uma unidade de conservação (Estação Ecológica do Jataí – Luiz Antônio), utilizando diversas metodologias (mapas mentais, História Oral, visitas, estudo do meio, construção de um centro de visitantes), mostra várias possibilidades de trabalho com alunos e professores em torno da questão ambiental;
- Lorétti Mello, com seu trabalho integrando Percepção e Ecologia da Paisagem (Mello, 1998), demonstra como os Banhados do Rio Gravataí, paisagem típica do Rio Grande do Sul que vem sofrendo degradação substancial de suas paisagens, são percebidos de maneiras distintas, variando desde a apreciação da paisagem ampla pelo gaúcho dos pampas, a avaliação afetiva feita pelos moradores da região, até os pontos de vista de técnicos de instituições públicas, da legislação ambiental e dos artigos de uma publicação agrícola.
- As experiências do Centro de Divulgação Científica e Cultural da USP – São Carlos, relatadas no trabalho de Santos (1998) e Tundisi (1988) que desenvolvem desde 1986 o “sistema de Atualização de Professores de Ciências e Geográfica com a Utilização da Bacia Hidrográfica como Unidade de Estudo”.
- Os cursos de atualização e pós-graduação oferecidos pela equipe do CRHEA – Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada da USP – São Carlos, relatados em Matheus & Sé (2003), que são uma grande contribuição para o desenvolvimento de uma abordagem holística e sistêmica de bacia hidrográfica.

Além destes estudos citados, tive oportunidade ao longo destes quatro anos de estudar autores da área da Percepção Ambiental. As pesquisas em percepção ambiental situam-se num aspecto típico das relações e interações

entre sociedade e ambiente, considerando a compreensão do meio ambiente, individual ou coletiva, como um dos fatores determinantes que caracterizam aquele ambiente, através de escolhas e dos comportamentos. Tuan (1980 e 1983) nos coloca que é possível investigar qual é a percepção que as pessoas têm do seu meio ambiente; como a cultura e a experiência afetam essa percepção, quais são as atitudes em relação ao meio ambiente; e qual é o papel que a percepção ambiental desempenha no arranjo espacial do meio ambiente e na modificação das paisagens. Este é um campo de pesquisa interdisciplinar ainda em formação, e o autor sugeriu cinco tipos principais de pesquisas que podem ser feitas sobre atitudes e valores ambientais:

a- como os seres humanos, em geral, percebem e estruturam o seu mundo. São procurados traços humanos fundamentais;

b- Percepção e atitude ambientais como uma dimensão da cultura ou da interação entre cultura e meio ambiente. Pessoas analfabetas e comunidades pequenas são examinadas em algum detalhe e numa abordagem holística;

c- Tentativas para inferir atitudes e valores ambientais com o auxílio de pesquisas, questionários e testes psicológicos;

d- Mudanças na avaliação ambiental como parte de um estudo da história das idéias ou da história da cultura;

e- O significado e a história de ambientes como a cidade, o subúrbio, o campo e os ambientes selvagens. (Tuan, 1980)

Embora o estudo da Topofilia fosse uma das idéias iniciais do meu projeto de tese, as oportunidades e os caminhos que se apresentaram acabaram por não permitir o seu desenvolvimento, mas as idéias o tempo todo estiveram presentes e ajudaram a interpretar muitos dos resultados, não apenas no trabalho de Educação Ambiental.

4 – Narrativa do trabalho no Colégio Estadual Arnaldo Busato – Pinhais (PR)

Pinhais tem características conflitantes: é ligada histórica e afetivamente a um resto de santuário ecológico do planeta (Floresta Atlântica) e, paradoxalmente, carrega o estigma de periferia da grande metrópole, com todos os problemas sociais que isto representa. A clientela da escola pública em Pinhais reflete este estigma de todo o município de periferia metropolitana; não tem identidade cultural com o município, pois ele é formado por migrantes de todas as regiões e classes sociais - especialmente a mais carente - que vem à capital em busca de melhoria da qualidade de vida, se instala em Pinhais, e exerce suas atividades de trabalho em Curitiba.

Entretanto, o Colégio Estadual Deputado Arnaldo Faivro Busato, no centro do município, possui um histórico de projetos curriculares alternativos para a prática pedagógica desde a década de 1980. Entre estes projetos, se destacaram o Clube de Ciências, Letras e Artes, a Biblioteca Dinâmica, a Biblioteca de Trabalho do Clube de Ciências, a Sala de Educação Artística, o Laboratório de Ciências, a Sala de Projeções e se estruturaram projetos para criação de espaços denominados: sala de jogos, laboratório de matemática, laboratório de geografia, quadra poliesportiva, escritório modelo, estufa para plantas tóxicas medicinais, entre outros.

Tais espaços foram equipados com trabalho comunitário de alunos, professores e colaboradores, com a fabricação e venda de produtos de limpeza, com rifas, arrecadação e venda de plástico, jornais, garrafas e outros materiais recicláveis, com a renda de festas, entre outras.

Cabe ressaltar aqui que a minha relação com esta escola não é recente, e isto certamente teve influência no trabalho desenvolvido. Morando no bairro, freqüentei as atividades do Clube de Ciências, Letras e Artes deste colégio nos anos oitenta, tendo participado inclusive de feiras estaduais e nacionais de ciências com trabalhos desenvolvidos no Clube. De 1990 a 1993, já como aluno de graduação da Universidade Federal do Paraná, fui professor substituto no Col. Arnaldo Busato e posteriormente contratado em regime CLT, lecionando as disciplinas de Física, Biologia e Desenho Geométrico, durante três anos. Ali também desenvolvi minha monografia de graduação, com as

chamadas “Expedições Científicas Estudantis”. Depois de dez anos, retorno a esta escola para desenvolver este trabalho, e a encontro bastante modificada. Outra geração de professores e alunos, e conseqüentemente, outros projetos de trabalho são desenvolvidos atualmente, mas a recepção e o apoio a este projeto não poderia ter sido melhor. A direção da escola (Prof. José Leite), alguns professores (entre eles o José Anevan, meu antigo colega de Clube de Ciências) e os funcionários colocaram à nossa disposição tudo o que foi necessário, incluindo o espaço e equipamentos (projetores, vídeo, etc.). Este histórico não influenciou propriamente as atividades, pois acredito que poderiam ter sido desenvolvidas da mesma forma em qualquer outra escola, mas facilitou bastante o contato inicial e o relacionamento durante o trabalho, não sendo necessário um período maior de justificativa e negociação.

Este trabalho também contou com a participação de Michela Carboni, estagiária da disciplina de Prática de Ensino em Biologia da UFPR, que desenvolveu seu trabalho final de curso juntamente com este projeto, sob a orientação da Profa. Araci Asinelli da Luz (DTPEN/UFPr).

Segue aqui uma narrativa das atividades desenvolvidas, passo a passo, durante as quinze reuniões do grupo ao longo de 2003:

4.1 - Planejamento

A fase de planejamento consistiu basicamente da reunião de bibliografias, mapas e da preparação da atividade de sensibilização e dos encontros iniciais, além dos equipamentos seguintes que compuseram o que foi denominado mais tarde pelos alunos de “kit do naturalista”:

- Condutivímetro, pHmetro, termômetro, medidor de oxigênio dissolvido e Kit de filtração de material em suspensão (do material adquirido pelo projeto patrocinado para o estudo do cap. I);
- Trado para análise de solo e podão (emprestados do depto. de Botânica / UFPR);
- Lupas de mão, sacos plásticos, bandejas e pinças, frascos de vários tamanhos.

Os materiais acima, embora sejam de uso bastante específico, não são muito caros, podendo ser adquiridos facilmente através de projetos por qualquer escola. Os materiais a seguir foram construídos pelo próprio grupo ao longo das atividades:

- Clinômetro (teodolito rudimentar, para medir alturas, feito a partir de um transferidor, um pêndulo e um tubo de caneta para servir como “mira”)
- Correntômetro (medidor da velocidade da correnteza do rio, feito com carretilha, linha de soltar pipa marcada de 5 em 5 metros e bóia de isopor com peso amarrado).

4.2 - Atividade de sensibilização

A atividade de sensibilização consistiu em quatro palestras realizadas durante o horário da aula de Biologia do prof José Anevan, para turmas de 1º e 2º ano do ensino médio do Colégio. Os temas abordados foram qualidade da água, as formas de se estudar um rio e as características dos rios da região, com ampla utilização de fotos e mapas projetados em slides e transparências. Muitos dos alunos reconheciam os lugares em que as fotos foram tiradas, o que animou bastante a apresentação. Finalizando, era exposta a idéia de formar um grupo de alunos para realizar uma “pesquisa ecológica” na bacia do rio Iraí (próximo à escola) e do rio Piraquara, no qual os alunos poderiam vivenciar os métodos de estudo e participariam de uma “Expedição Científica” a ser organizada, com o itinerário que iria descer o Rio Piraquara a partir das suas nascentes (Mananciais da Serra) até chegar em Pinhais.

Desde o início foi deixado muito claro para os alunos e eles estavam sendo **convidados** a participar do trabalho (característica principal dos Clubes de Ciências), e que não seria exigida nenhuma forma de avaliação ou prova (nesta hora, os alunos aplaudiam animadamente), mas que a participação também não traria nenhuma vantagem em termos de nota final ou abono de faltas em nenhuma disciplina (nesta hora, vaiavam). Ao final, ficou combinado que o professor José Anevan anotaria as inscrições para a participação e avisaria posteriormente a data, horário e local da primeira reunião.

4.3 - Reuniões iniciais

As duas primeiras reuniões, marcadas na sexta feira à tarde, fora do horário normal de aula, foram bastante rápidas em função do clima chuvoso e frio de maio, mas bastante produtivas. Na primeira compareceram oito alunos, e na segunda onze. Mais tarde, o grupo se estabilizou em catorze alunos, que seguiram até o final, praticamente sem a ocorrência de faltas.

Nestas duas reuniões, tivemos conversas sobre as experiências anteriores do Clube de Ciências na escola, das quais alguns alunos tinham ouvido falar, mas não conheciam. Foram mostradas várias fotos das atividades e das excursões realizadas. Em seguida foram mostrados os equipamentos que poderiam ser utilizados, com rápidas explicações sobre o seu funcionamento e sua função.



Figura 1 – Primeira reunião. No início, o grupo ainda se portava como se estivesse assistindo aula.

Expliquei que a atividade não tinha nenhum planejamento prévio, e que tudo teria que ser planejado pelo próprio grupo, e então passamos a anotar todas as idéias que foram surgindo sobre o que fazer para estudar os rios. Aos poucos, o grupo foi compreendendo que a atividade não tinha a forma de organização de uma aula tradicional, e passaram a entender que eles eram os donos do trabalho. Também cuidei para que ficasse claro que a minha função era a de ajudar a organizar e disponibilizar os recursos, e que eles também estavam me ajudando no meu trabalho de pós graduação.

Na segunda reunião, conseguimos estabelecer já um cronograma de trabalho, e fomos todos à secretaria da escola para redigir um ofício solicitando um ônibus para a expedição, e o diretor providenciou uma ficha de autorização de participação, tanto para as atividades de sexta feira quanto para a expedição, para ser assinada pelos pais ou responsáveis, como é de praxe. Esta autorização também permitia a presença na escola fora do horário normal de aula (os problemas com a violência na região tinham levado a escola a adotar medidas de segurança, restringindo a entrada de estranhos e a permanência dos alunos fora do seu horário).

4.4 Estudo e treinamento com os equipamentos de análise de água

Para estas atividades, que tomaram duas reuniões inteiras, foram organizados experimentos baseados nas “unidades experimentais de ciências” e na “técnica da redescoberta” (Moraes, R., 1987). Consistiram de medidas de pH, condutividade e Oxigênio dissolvido, inicialmente tomadas em copos de água mineral, onde eram progressivamente adicionadas gotas de limão, pitadas de sal, pitadas de açúcar, etc, sendo anotados os resultados iniciais e finais apresentados pelos aparelhos.



Figura 2 – Treinamento com os equipamentos.

As grandes variações apresentadas nas medidas suscitaram grande curiosidade, pois os aparelhos eram bem sensíveis (duas gotas de limão faziam o pH baixar de 7,2 para 1,8; uma pitada de sal quase estoura a escala

do condutivímetro, passando de 58 para $1.400 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$; o açúcar “rouba” oxigênio da água). Os alunos decidiram experimentar uma série de outros elementos (poeira do pátio, terra do jardim, pó de tijolo, limalha de ferro, entre outros). O cuidado que tiveram com o manuseio dos equipamentos foi também exemplar, e tudo era anotado.

Em seguida, passamos a coletar amostras de água em diferentes locais da escola (caixa d'água, poça, calha, torneira, etc., anotando os resultados) Finalizando, foi lançado um desafio: o grupo deveria tentar encontrar em livros, ou na Internet qualquer explicação possível para os resultados, para que pudéssemos discutir no próximo encontro.

Na outra semana, apenas dois alunos tinham conseguido algum material, mas fomos até a biblioteca e resolvemos a questão em poucos minutos. Dois alunos falaram que nem imaginavam que pudesse existir este tipo de material na biblioteca. Elaboramos um resumo com os conceitos aprendidos. Em seguida, passamos à atividade sobre material em suspensão, que consistiu em treinar sobre a utilização do kit de filtração, de várias maneiras. Nesta altura, os participantes já tinham noções de que aquele treinamento era uma base do que iria acontecer no estudo dos rios e na “expedição científica”. Sabiam que as características dos rios tinham relação com vários fatores, mas ainda não tinham conceitos claros. Fiz a proposta de realizar uma aula sobre isso, e que esta seria a única “aula teórica” de todo o trabalho.

4.4 – Aula sobre Ecologia de Rios

Na semana seguinte, em que o clima chuvoso era propício para ficar dentro da sala, foi realizada a aula. Foram utilizadas as mesmas transparências e slides que tinham sido preparadas para um curso de Ecologia de Rios ministrado para os estudantes de graduação da UFPR. Foram abordados aspectos sobre mata ciliar, fontes de poluição, influência do solo, da geologia, da declividade do terreno, entre outros.

Foram também apresentadas amostras das coletas de macroinvertebrados bentônicos já realizadas em diferentes pontos no rio Piraquara (figura 3), bem como uma chave pictórica de identificação de “grupos

funcionais de alimentação” recém adquirida, a partir do trabalho que Cummins & Merrit (2003) tinham realizado recentemente na região. Os participantes puderam constatar que os diferentes “tipos” de macroinvertebrados ocorrem nos locais do rio que reúnem as condições ideais ao seu tipo de alimentação. Para eles, a conclusão pareceu bastante óbvia, e não entenderam muito bem quando eu disse que os especialistas ainda brigam muito para chegar a um consenso sobre este assunto.



Figura 3 – Exemplo de amostras de Macroinvertebrados bentônicos estudados na “aula teórica”.

4.5 - Estudo dos mapas e itinerário da expedição

Nesta atividade, desenhamos um mapa esquemático do itinerário a ser percorrido, baseado no mapa hidrográfico do Alto Iguaçu. Os pontos de parada foram definidos pelos próprios alunos, a partir do que conheciam sobre a região. Nesta discussão surgiram questões interessantes, como por exemplo: Será que o rio Palmital é mais “sujo” que o Atuba? Será que na Vila Maria Antonieta tem alteração na água do rio? E quando o rio passa pela várzea dos Bombeiros?

Nesta época, os mapas de unidades de paisagem (cap. II) ainda não tinham sido confeccionados, mas eu já tinha uma boa idéia dos trechos diferentes das bacias a partir de trabalhos anteriores. Embora não fosse o ideal, decidi interferir neste planejamento colocando a seguinte questão: se tínhamos apenas um dia para a expedição, poderíamos fazer no máximo seis a sete paradas, que deveriam demorar no máximo quarenta minutos cada uma.



Figura 4 - Discussão sobre a localização dos pontos de parada a partir da fotografia aérea e dos mapas.

Então era melhor que escolhêssemos pontos bem diferentes uns dos outros, para poder ter uma noção do maior número de ambientes possível. Esta acabou sendo a motivação para introduzir o estudo das paisagens, que ainda não tinha sido feito. Voltamos aos mapas e fotografias e, lembrando dos assuntos trabalhados na aula teórica, os pontos de parada foram planejados da seguinte maneira:

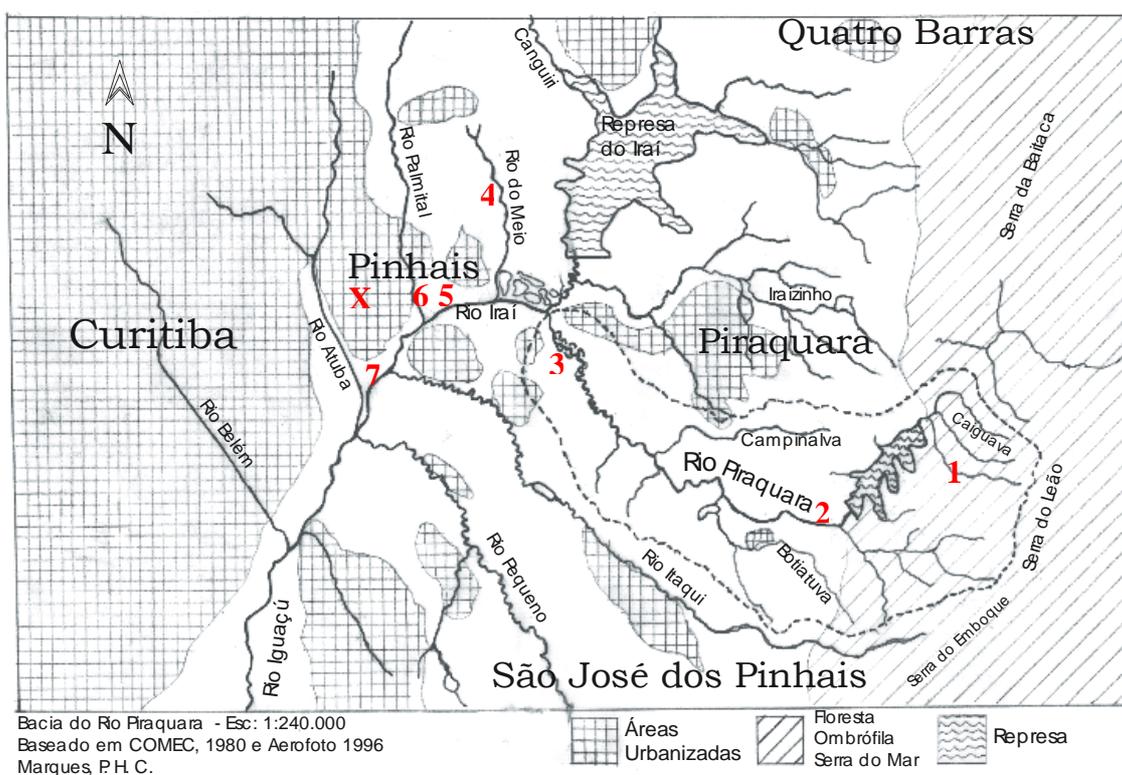


Figura 5 – Mapa da Bacia do alto Iguazu. Os números de 1 a 7 indicam a posição dos pontos de estudo escolhidos pelo grupo.

Ponto 1 – Mananciais da Serra (nascentes do rio Piraquara)

Ponto 2 – Trecho médio do rio Piraquara, a jusante da represa

Ponto 3 – Final do rio Piraquara (várzea dos Bombeiros)

Ponto 4 – Rio do Meio (o único rio que nasce e morre no município de Pinhais)

Ponto 5 – Rio Iraí, antes da Vila Maria Antonieta

Ponto 6 – Foz do Rio Palmital

Ponto 7 – Foz do Iraí a montante da principal captação de água de Curitiba.

Ponto X – Localização do Colégio Arnaldo Busato, em Pinhais

4.6 – Preparação das fichas de campo:

Nesta reunião, conversamos sobre o que iria acontecer durante a expedição. Iríamos realizar diversas medidas nos rios, e provavelmente encontraríamos diferenças entre os pontos de coleta nas diversas variáveis pesquisadas. Então, seria preciso, de alguma forma, encontrar um meio de descrever as características dos fatores que poderiam influenciar a qualidade das águas dos rios, de uma maneira que pudesse estabelecer critérios de comparação. Fizemos uma releitura do material da aula teórica, e foi proposta uma leitura do artigo de Callisto et. al., (2002) sobre o protocolo de avaliação rápida de habitats aquáticos. Apesar da linguagem técnica do artigo, o nível de entendimento pode ser considerado bom, e os alunos puderam compreender a importância da ficha de observação para poder comparar as características dos pontos de coleta. Então fizemos a adaptação da ficha para o que consideramos possível fazer com os recursos disponíveis, e o resultado é a ficha apresentada no anexo I (reparar que, nesta ficha, a classificação de qualidade de cada componente da paisagem proposta pelos alunos não é nada usual).

Na reunião seguinte, apresentei outro modelo de ficha (anexo II), que tinha sido desenvolvido durante um curso de Ecologia de Rios para que os alunos pudessem discutir, e o grupo decidiu utilizar as duas fichas.

4.7 – Preparação da Expedição

No final de setembro, duas semanas antes da data prevista para a expedição (esta data foi decidida pela disponibilidade do ônibus conseguido junto à Secretaria do Meio Ambiente de Pinhais), iniciamos os preparativos finais. A esta altura, os colegas já estavam sabendo, e o tempo todo vinham pedidos para participar do grupo, etc. Mas o próprio grupo decidiu que isto não seria possível. “se entrar gente nova, vamos ter que começar tudo de novo”.

Testamos todos os materiais e os aparelhos de medida, construímos o “clinômetro” e o Correntômetro, treinamos com o trado e o podão no terreno dos fundos da escola, providenciamos as fichas de autorização dos pais, etc.

Na sexta feira seguinte, véspera da expedição, os preparativos finais: quem ficaria responsável por cada equipamento, quem cuidaria das fichas, da câmera fotográfica emprestada, quais as roupas ideais para andar em campo, os cuidados no campo, o lanche, etc.

4.8 – A Expedição Científica “Alto Iguaçu”

O ônibus estava combinado para as sete e meia da manhã de sábado, mas teve aluno que chegou às seis e meia, tal a expectativa. O clima estava ótimo e o motorista autorizou a batucada no ônibus, pois “já estava acostumado com essa cambada”. Partimos ao som dos Racionais MC's, e em uma hora estávamos nos Mananciais da Serra.

Durante a expedição, tudo correu conforme o planejado, todas as fichas foram preenchidas e o que não estava previsto foi improvisado. Não poderia ser diferente, pois o compromisso assumido com o grupo era esse mesmo, e aquela expedição era apenas a culminância de todas as atividades do período. Eis algumas das fotos:



a) "Terror no busão"



b) chegada ao ponto 2



c) Ponto 2 – Rio Piraquara



d) Ponto 4 – Rio do Meio



e) ponto 3 - Várzea do Rio Piraquara



f) Ponto 2 - não adiantou pedir: eles caíram na água mesmo, estava calor.

Figura 6 - Fotografias das atividades durante a Expedição Alto Iguaçu



g) Ponto 5 – Medições



h) Ponto 6 – coleta de água



e) Ponto 7 – Filtração da amostra



f) ponto 7 – Final da expedição

Figura 6 (continuação) - Fotografias das atividades durante a Expedição Alto Iguaçu



Figura 7 – comparação visual dos filtros da água de diferentes pontos de coleta durante a expedição.

Na semana seguinte, todos os dados foram trabalhados em um grande cartaz, que continham fotos dos pontos, um resumo das descrições de cada área a partir das fichas de observação e coleta, os resultados das medidas em uma tabela. O cartaz foi fixado no pátio da cantina, e os alunos o apresentavam para os colegas como se fosse um painel de congresso.

Na última sexta-feira de atividades (final de outubro), fizemos uma reunião de avaliação, destacando os prós e contras, o que poderia ser melhorado numa próxima expedição e cada participante deu seu depoimento sobre o que tinha gostado e não gostado. Depois, claro, festinha de encerramento, com direito a bolo e som, até que a zeladora veio pedir para encerrar, pois já estava tarde e os alunos da noite já estavam chegando.

Concluindo, os resultados e as experiências vivenciadas pelo grupo nos deram a certeza de sua validade, apontando para a continuidade, com grupos cada vez maiores.

5.0 – Atividades em outros níveis de ensino

Durante o período desta tese, surgiram algumas oportunidades de avaliar as metodologias em outros contextos e outros níveis de ensino. As atividades principais ocorreram mediante o convite para ministrar dois cursos de extensão universitária de curta duração (20 horas) sobre o tema “Ecologia de Rios da Serra do mar” em 2003, para alunos de graduação em Ciências Biológicas da UFPR e da PUCpr, durante as respectivas “semanas da Biologia” (evento que envolve cursos e palestras, promovidos pelos centros acadêmicos dessas instituições).

Em ambos os cursos, com duração de uma semana, foram realizadas saídas de campo como atividade de culminância, exatamente no mesmo percurso realizado com os alunos de Pinhais, com os mesmos equipamentos, as mesmas fichas de observação e coleta, e os resultados obtidos foram também bastante próximos, tanto nos dados das medições quanto nas descrições das paisagens. Estes fatos reforçam a convicção da importância das atividades de campo em qualquer nível de ensino, especialmente quando o tema é ligado à questão ambiental.

Conversando com estes grupos de alunos, uma das principais queixas quanto aos seus cursos de graduação é a carência de atividades de campo. Durante a minha própria graduação em Ciências Biológicas na UFPR, tivemos apenas duas saídas de campo durante os quatro anos de curso: uma excursão ao afloramento de fósseis em Jaguariaíva (PR) na disciplina de paleontologia; e uma visita à fazenda da Embrapa, na disciplina de Botânica Econômica. Os programas curriculares dos cursos de graduação em Biologia realmente parecem não se preocupar com a questão.

Em outra oportunidade, pude aplicar estas metodologias como convidado em uma atividade promovida com professores de escola pública participantes de um projeto de Educação Ambiental desenvolvido pelo colega Paulo Maroti, em Itanhaém (SP). Apesar de ter sido uma atividade pontual, com a duração de apenas um dia, os resultados também foram bastante satisfatórios. Os professores, de diferentes disciplinas, consideraram bastante interessante o trabalho e se mostraram dispostos a desenvolver projetos neste sentido.



Figura 8 – Atividades com professores em Itanhaém - SP

Estas atividades realizadas, seus resultados, e as reflexões junto aos colegas professores e alunos nos levam a algumas questões (não às respostas): Porquê tais atividades e projetos, que sempre produzem bons resultados e são prazerosos aos participantes são tão raros nos sistemas educacionais? Faltariam justificativas? Faltam tempo e recursos às escolas? Faltam pessoas motivadas?

As questões não dizem respeito somente a projetos ou atividades relativas a bacias hidrográficas ou questões ambientais, mas a todas as infinitas possibilidades que o trabalho educacional pode oferecer. Respostas a estas questões são difíceis, demandam grande esforço de estudo e reflexão, mas uma conclusão é possível: só tem este tipo de questionamento quem tenta, quem vivencia algum tipo de experiência educacional alternativa, e infelizmente a grande maioria das ações na prática educativa não chega à fase da experimentação, não passa da crítica.

6.0 – Considerações finais.

É consenso afirmar que a prática educativa revela uma rede intrincada de interações entre pessoas, conteúdos, habilidades e reflexões, e que esta riqueza de relações constitui um dos maiores atrativos da nossa atividade profissional como educadores. Sabemos também da importância adquirida pelo Ensino Fundamental, particularmente o Ensino de Ciências, numa época em que o progresso científico e tecnológico atinge níveis fantásticos, modificando o cotidiano da maioria das pessoas, ao passo que, infelizmente, o acesso à totalidade das benesses produzidas por este progresso é restrito a poucas camadas da população mundial.

Apesar de todo o esforço de transformação no campo educacional, especialmente na Educação Ambiental, ainda predomina a idéia de que os problemas ambientais, sociais e de saúde produzidos pela sociedade moderna possam ser resolvidos pela própria tecnociência. Esta idéia, comprovadamente errônea, representa uma ameaça à nossa sobrevivência no planeta (Vide texto da Declaração de Veneza no anexo IV, ao final desta tese), mas ainda é reforçada pelo ensino tradicional.

Ensinar Ciências, conforme acreditamos nós e muitos dos colegas professores com quem tivemos oportunidade de interagir em cursos de formação continuada de educadores nos últimos anos, é estar comprometido com a construção de uma nova **visão de mundo**, principalmente através da desmistificação do '*fazer Ciência*' e da democratização do conhecimento acumulado. A busca de novas formas (e até mesmo a revisão de antigas formas de ensino) é necessária, pois o ensino tradicional, centrado nos conteúdos disciplinares, não tem fornecido respostas às expectativas dos alunos, dos professores ou da comunidade.

Quanto aos problemas sócio-ambientais da região dos mananciais, objeto principal de estudo desta tese, sabemos que a escala de abrangência deste trabalho é mínima, muito pouco pôde ser realizado em vista do tamanho dos problemas. Mas, aos poucos participantes certamente foi proporcionada, através da prática, a possibilidade de novas visões sobre a realidade em que vivemos nesta região.

Retomando os objetivos iniciais, foi possível tecer as seguintes considerações sobre as experiências vivenciadas:

1. As metodologias adotadas e as técnicas desenvolvidas se mostraram bastante eficazes no sentido de promover a extensão do conhecimento ecológico gerado no estudo anterior;
2. A utilização de elementos da Ecologia da Paisagem pode constituir uma excelente alternativa para a integração das atividades do ensino formal, em vários níveis, com as problemáticas ambientais locais, estimulando a interdisciplinaridade.
3. As atividades de estudo do meio podem ser de grande importância educativa, estimulando o desenvolvimento de valores cooperativos e afetivos entre os participantes tendo em vista a procura de soluções aos problemas ambientais locais.

Finalizando, mas não concluindo, verificamos a necessidade de que tais iniciativas sejam integradas de forma mais efetiva aos currículos escolares, seja sob forma de projetos, de temas geradores ou qualquer outra forma. Durante todo o processo vivenciado, foi possível estabelecer vínculos com conteúdos, atitudes e procedimentos de praticamente todas as áreas do conhecimento presentes na prática educativa. Da matemática à geografia, passando pelas artes, a comunicação, a Educação Física, a prevenção, todas as questões educacionais podem ser trabalhadas tendo em vista as realidades locais dos alunos, basta que haja interesse.

Neste sentido, no capítulo seguinte estão relatadas as experiências mais efetivas dentro de um sistema educacional como uma Secretaria de Educação.

7.0 Referências Bibliográficas

- BRÜGGER, P. 1998. Visões estreitas na Educação Ambiental. **Ciência Hoje** 24(141), 61-65.
- CALLISTO, M.; FERREIRA, W. R.; MORENO, P.; GOULART, M. & PETRUCIO, M. 2002. Aplicação de um protocolo de avaliação rápida da diversidade de habitats em atividades de ensino e pesquisa. **Acta Linnologica Brasiliensia** 14(1):91-98.
- CECIRS - Centro de Ciências do Rio Grande do Sul, 1995. **Forum Estadual de Debates sobre Clubes de Ciências**. v. I e II. Anais. Porto Alegre: SE/CECIRS, 1995. 2.ed.
- CARIN, A & SUND, R. B. **La enseñanza de las Ciencias por el descubrimiento**. Mexico: Uteha, 1967. 1ª ed. espanhola.
- CUMMINS, K.W. and MERRITT, R.W. 2003. **Usando grupos de alimentação funcional de invertebrados para avaliar a qualidade ecológica de córregos e rios**. Programa proteção da Floresta Atlântica - Convênio: Secretaria de Estado do Meio Ambiente/PR/Brasil e Kreditanstalt für Wiederaufbau/Frankfurt/ Alemanha. 14p. Relatório Técnico.
- DAUBOIS, Jeanne. **Ecologia na Escola**. Lisboa: Editorial Estampa, 1974.
- DIAS, G. F. 1994. **Atividades interdisciplinares de Educação Ambiental** - Manual do Professor. São Paulo: Global/Gaia, 1994.
- DOMINGOS, A. M.; NEVES, I. P.; GALHARDO, L. & DOMINGOS, J.J.D. 1983. **Ciências do Ambiente**. Livro do Professor. Lisboa: Calouste Gulbenkian, 1983.
- DURRELL, G. 1982. **O naturalista amador - um guia prático ao mundo da natureza**. São Paulo : Martins Fontes. 314 p.
- LUZ, G. O. F. da. 2001. **A formação de formadores em Educação Ambiental, nos cenários da " Região Metropolitana de Curitiba"**. Das resistências aos fatos. Curitiba, 2001. 279 f. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) - Universidade Federal do Paraná.
- _____. 1994. Ficha de coleta botânica: uma oportunidade à interdisciplinaridade. **Ágora**, Caçador/Mafra, 1(1):56-62, jan./jun., 1994.
- GLOBO - Editora Globo. 1992. **Guias práticos de ciências** - 1) Como a terra funciona 2) Como a natureza funciona. São Paulo, 63 p.
- HABBen, D. D. 1973 **Experimentos científicos elementares que realmente funcionam**. Mexico: Editorial Trillas, 1973.
- HERMAN, M. L.; J. F. PASSINEAU; A. L. SCHIMPF & P. TREUER. 1992. **Orientando a criança para amar a terra** - 186 atividades ao ar livre para pais e outros professores. São Paulo, 175 p.
- HENNIG, G. J. 1986. **Metodologia do Ensino de Ciências**. Porto Alegre, Mercado Aberto, 1986
- MAROTI, P.S. 2002. **Educação e Interpretação Ambiental junto à comunidade do entorno de uma unidade de conservação**. Tese (doutorado). São Carlos (SP): Programa de Pós-graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos.
- MARQUES, P. H. C. 1994. **Expedição Científica Estudantil**. Monografia de graduação. Curitiba: Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas da Universidade Federal do Paraná, 1994.
- MARQUES, P. H. C & MARQUES, H. 2002. **Momentos de Ciências**. Curitiba: Editora Base, 2002. (coleção didática em 4 volumes).
- MARQUES, H. 1987. **Projeto Centro de Ciências do Ambiente de Piraquara**. Piraquara: Convênio Pref. Mun. de Piraquara e Fundação "O Boticário" de Proteção à Natureza, 1987.
- MASETTO, M. 1992 **Aulas Vivas**. São Paulo: MG, 1992.
- MATHEUS, C.E. & SÉ, J.A.S. 2003. Educação Ambiental e Recursos Hídricos: uma abordagem holística e sistêmica de bacia hidrográfica. In: BARCELOS, Valdo & NOAL, Fernando. **Educação Ambiental e Cidadania: cenários brasileiros**. Santa Cruz do Sul: EDUNISC, 2003.

- MELLO, L. P. de. 1998. **Percepção da paisagem e conservação ambiental no Banhado Grande do Rio Gravataí (RS)**. Tese (doutorado). São Paulo: Departamento de Geografia da FFLCH/USP, 1998.
- MORAES, Roque (org.) **Unidades Experimentais de Ciências**. Porto Alegre: FDRH/PROCIRS, 1987.
- PUJOL, J. & NADAL, M. 1983. **El descubrimiento Del médio**. Cuadernos de naturaleza 3. Barcelona: Editorial Blume.
- RODRIGUEZ, J. J. 1972. **Como organizar y planificar um club científico**. Buenos Aires: Editorial Kapelusz, 1972.
- SAMPAIO, R. M. W. F. 1989. **Freinet. Evolução histórica e atualidades**. São Paulo: Scipione, 1989.
- SANTOS, S. A. M. 1998. **Bacia hidrográfica e qualidade da água: as experiências de uma década em programas de Educação Ambiental desenvolvidos no CRHEA/CDCC – USP**. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, USP. 1998.
- SÉ, J. A. S. (1999). **Educação Ambiental nas bacias hidrográficas do Rio Monjolinho e do Rio Chibarro: Ciência Educação e ação nos quotidianos de São Carlos e Ibaté (SP)**. Tese (doutorado). São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 254 p.
- SEGURA, D. S. B. (2001). **Educação Ambiental na escola pública: da curiosidade ingênua à consciência crítica**. São Paulo: Annablume/FAPESP. 214 p.
- TROPMAIR, H. 1988. **Metodologias Simples para pesquisar o Meio Ambiente**. Rio Claro: Graffset, 1988.
- TUAN, Y.F. 1980. **Topofilia**. São Paulo: Difel.
- TUAN, Y.F. 1983. **Espaço e lugar: a perspectiva da experiência**. São Paulo: Difel.
- TUNDISI, J. G. et al. 1988. A utilização do conceito de bacia hidrográfica como unidade para atualização de professores de ciências e geografia: o modelo Lobo(Broa), Brotas/Itirapina. *Limnologia e Manejo de Represas – Série Monografias em Limnologia*. Ed. J. G. Tundisi, EESC/USP/CRHEA/ACIESP, v. 1, p.311-355.
- UNESCO United Nations Organization for Education, Science and Culture. 1979. **Manuel des Clubs Unesco**. Paris: Division de la Promotion et de la diffusion de l'information de UNESCO, 1979. 107 p.
- _____. 1981 **Guide de l'UNESCO pour les professeurs de sciences**. Paris: Les Presses de l'UNESCO, 1981.
- _____. 1986. **A Ciência Diante dos Limites do Conhecimento: A Declaração de Veneza**. Veneza: UNESCO, 1986
- _____. 1988. **Improvisaciones en Ciencia - Manual para profesores**. Santiago do Chile: OREALC, 1988. 2.ed.

CAPÍTULO III - ANEXOS

- ANEXO I – Ficha de avaliação da diversidade e qualidade de habitats aquáticos (adaptada de Callisto et. al. 2002) p. 149
- ANEXO II – Ficha de observação e descrição dos rios p. 150

Ficha de avaliação da diversidade e qualidade de habitats aquáticos

Local: _____

Equipe: _____

Data: _____ Clima: _____

Componente do habitat	Beleza (5 pontos)	Meia – boca (3 pontos)	Palha (1 ponto)	Sua Nota:
1. Tipo de ocupação das margens (atividade principal)	Vegetação natural	Campo de pastagem/ agricultura/ reflorestamento	Urbanização com impermeabilização do terreno	
2. Erosão (estabilidade das margens)	Ausente	Sinais de erosão e áreas próximas ao rio	Erosão próxima ou nas margens, com assoreamento	
3. Alterações Antrópicas	Ausente	Alteração de origem doméstica (esgoto, lixo)	Alteração urbana ou industrial; canalização ou retificação	
4. Cobertura vegetal no leito do rio	Parcial	Total	Ausente	
5. Odor da água	Nenhum	Esgoto	Óleo ou químico	
6. Oleosidade	Ausente	moderada	Abundante	
7. Transparência	Transparente	Turva	Opaca ou colorida	
8. Tipo de Substrato	Pedra/cascalho Bem diversificado	Lama/areia (mais homogêneo)	Cimento/canalização	
9. Características da Mata ciliar	Bem desenvolvida e diferenciada da formação do entorno	Presente, mas com sinais de alteração	Ausente	
10. Largura da mata ciliar	Maior que 20 m	10 a 20 m	Ausente	
11. Alternância de trechos rápidos e lentos	Rápidos e lentos freqüentemente alternados	Predominância de trechos lentos	Apenas uma situação (rápida ou lenta)	
12. Presença de plantas aquáticas	Pequenas macrófitas e/ou musgos distribuídos pelo leito	Macrófitas ou algas filamentosas distribuídas; substrato com perifíton	Ausência de vegetação aquática ou grandes bancos de macrófitas	
13. Depósitos de sedimento	0 a 25% do leito coberto por lama	25 a 75% do leito coberto por lama	75 a 100% do leito coberto por lama	

TOTAL: _____

Ficha de Observação e Descrição de Rios

Equipe: _____

1) Local de observação: _____

2) Condições climáticas: _____

3) Descrição dos ecossistemas naturais:

() Floresta, () Mata, () Campo, () vegetação ciliar, () várzea, () capão

4) Topografia:

() Planície, () Encosta, () Várzea, () Sopé, () Banhado, () Barranco.

5) Tipo de solo:

() Arenoso, () Argiloso, () areno-argiloso, () humoso, () outro.

Textura: _____

Coloração: _____

6) Uso do solo:

() Reflorestamento, () Pastagem, () agricultura, () área urbanizada

Descrição: _____

7) Características do rio:

Sinuosidade (meandros): _____

Largura e descrição da mata ciliar: _____

Cobertura do canal: _____

Qualidade do substrato: _____

Áreas de Inundação: _____

8) Dados do rio:

pH: _____ Oxigênio Dissolvido: _____

Condutividade: _____ Cor da água: _____

Observação de fauna no sedimento: _____

Capítulo IV

Educação Ambiental e transversalidade: uma experiência de planejamento curricular com professores de escolas públicas da Região Metropolitana de Curitiba

1 - Introdução

A transversalidade tem sido um dos temas mais discutidos no campo da Educação Ambiental (EA) na última década, principalmente em estudos e projetos que pretendem sua inserção cada vez maior no ambiente do ensino formal, através das propostas curriculares em todos os níveis. Vários autores demonstram que as escolas estão gradualmente procurando incorporar esta forma educacional inovadora em suas concepções de currículo, mesmo assumindo que “os ideais educativos transformadores da Educação Ambiental se chocam com os propósitos tradicionais do ensino formal e seu papel acrítico na manutenção das condições sociais existentes” (Tilbury & Turner, 1997). Podemos afirmar que este choque com a ideologia curricular predominante tem raízes mais profundas, para além dos currículos formais: do ponto de vista dos professores, a adoção destes pressupostos entra em conflito com a sua própria formação escolar, com suas crenças e valores moldados pela concepção racionalista acadêmica (segundo a definição de Eisner & Wallance, 1974) do currículo tradicional.

As propostas de integração curricular da Educação Ambiental como tema transversal são analisadas de forma crítica por vários autores. A coletânea de artigos da revista *Tópicos en Educación Ambiental* (volume 2, nº 6) pode ser citada como um bom exemplo, trazendo análises de diversos pontos de vista, a partir de experiências em vários países. Gómez (2000) mostra que, especialmente nos países ibero-americanos, a incorporação da EA como uma dimensão transversal dos currículos escolares foi realizada a partir de diretrizes educacionais editadas pela autoridade educacional governamental. O autor também analisa que as respostas produzidas pela incorporação transversal da EA são bastante desiguais, tendo em vista os diferentes níveis de formação e de interesse por parte dos professores, bem

como os diferentes processos de implantação da proposta e de capacitação dos professores para desenvolvê-la.

Entretanto, não obstante as críticas mais diversas, muitos autores concordam que a idéia de transversalidade da EA na educação formal trouxe grandes avanços. Podemos observar vários autores e documentos oficiais dos sistemas educacionais de vários países defendendo a idéia de que a Educação Ambiental não deve ser considerada como uma disciplina autônoma nos currículos formais, mas como um rol de conhecimentos, habilidades e atitudes que possam ser incorporados pelos planejamentos curriculares da maneira mais interdisciplinar e transversal possível, reforçando assim as recomendações que já constavam na conferência de Tbilisi, em 1977.

Mayer (1998) sugere que, mediante a transversalidade da educação ambiental, “a imagem da escola e da aprendizagem se transforma: de uma escola que transmite conhecimentos elaborados em âmbitos externos em uma escola que constrói conhecimentos relevantes em âmbito local; de uma escola cujos objetivos estão vinculados quase exclusivamente aos conhecimentos a uma escola que quer incorporar os sentimentos, discutir os valores, inventar novos comportamentos; de uma escola estática que se modifica tardiamente segundo os estímulos da sociedade a uma escola que quer modificar a sociedade, e que não aceita um papel subalterno em relação a outras instituições”. Estas idéias esclarecem, de certa forma, o compromisso de transformação curricular que a transversalidade pressupõe, aproximando-a dos princípios de transformação de valores, conceitos e atitudes que a própria EA defende.

No Brasil, a exemplo de outros países latino-americanos, a autoridade educativa federal (Ministério da Educação) lançou a proposta de transversalidade da temática ambiental através de uma série de documentos intitulados PCN's - Parâmetros Curriculares Nacionais (MEC, 1997 e 1998), um conjunto de proposições que devem servir de base não apenas para a revisão e elaboração das políticas de currículo dos estados e municípios, mas também para orientação dos próprios investimentos no sistema educacional (Carvalho, 2000). Neste documento, a Educação Ambiental aparece como um dos seis temas transversais (juntamente com os temas ética, saúde, pluralidade cultural, trabalho e consumo), significando uma conquista importante na forma de

trabalhar a EA nas escolas, desde que os profissionais da área saibam tirar proveito das possibilidades abertas. Na mesma linha das diretrizes dos PCN's, foi aprovada pelo Congresso Nacional em 1999 a lei nº 9795, que instituiu a política nacional de Educação Ambiental, reafirmando a proposta de que a EA não deve constituir uma disciplina, mas integrar os currículos de diferentes áreas de forma transversal.

A proposta brasileira teve clara influência da lei básica de reforma educativa espanhola de 1990 (LOGSE) e foi alvo de intensos debates nos meios acadêmicos e escolares, sendo que as críticas mais comuns são dirigidas à manutenção de uma concepção positivista do conhecimento e às articulações políticas que influenciaram a forma de implantação destas diretrizes educacionais, descaracterizando uma proposta que representaria uma transformação muito mais radical no sistema educacional brasileiro (Reigota, 2000). Outras críticas sugerem que a operacionalização dos PCN's, que significam uma grande mudança no processo educativo, precisa levar em conta o hábito arraigado do professorado em lidar com o conhecimento de forma fragmentada e a própria organização do tempo de trabalho nas escolas.

Outros autores, como Segura (2000), analisam que os PCN's trazem uma contribuição significativa no sentido de mostrar que a organização de conteúdos em projetos, sob a perspectiva da transversalidade, favorece muito mais a abordagem interdisciplinar. Assim, as novas diretrizes curriculares são vistas como positivas no sentido de inserir os professores no debate ambiental, trazendo para o ambiente escolar questões como proteção ambiental, sustentabilidade, diversidade, entre outros, reconhecendo a devida importância que estes temas adquirem na sociedade brasileira atual, onde a maioria da população ressenete-se do padrão desigual de distribuição de renda e condições dignas de vida.

Neste cenário, apesar dos avanços, das inúmeras frentes de debate formadas, e de quase uma década de implantação dos PCN's, ainda carecemos de estudos publicados que avaliem experiências concretas de planejamento curricular que tenham utilizado o conceito de transversalidade. Neste sentido pretendemos relatar e discutir uma experiência de planejamento curricular realizada com aproximadamente 350 professores de escolas públicas de uma cidade de 2,6 milhões de habitantes frente à sua problemática

ambiental típica de uma metrópole regional, analisando-a desde uma perspectiva crítica do que seja transversalidade, com seus limites e possibilidades.

2 - Delimitação da pesquisa

O estudo foi realizado em escolas públicas da rede municipal de ensino, em cursos de formação continuada de docentes promovidos pela Secretaria Municipal de Educação, realizados durante o horário normal de trabalho dos(as) professores(as). A atividade inicial de sensibilização constituiu-se de duas conferências no início de 2001, atendendo a uma solicitação da Secretaria de Educação, atingindo cerca de 400 professores de diferentes níveis da rede municipal de ensino, onde foram abordados os temas conhecimento em rede, planejamento curricular e transversalidade. A partir destas palestras, foram realizadas intervenções em algumas escolas, mediante convite dos professores das próprias unidades escolares para uma consultoria autônoma, quando então foram aplicados os protocolos de atividades descritas a seguir, cujos produtos constituem o *corpus* da pesquisa. A temática abordada nestes encontros era: concepções de currículo, transversalidade, temas geradores e projetos em Educação Ambiental, com o objetivo de subsidiar o planejamento curricular do período e estimular a construção coletiva de projetos político-pedagógicos.

Os encontros com os professores foram realizados ao longo dos períodos letivos de 2001 a 2003, resultando no envolvimento de 350 professores de 21 escolas públicas da rede pública municipal de ensino (cerca de 13% do total de 162 escolas), sendo 14 escolas de 1º e 2º ciclos (7 a 10 anos), 3 escolas de 3º e 4º ciclos (11 a 14 anos) e 5 escolas de Ensino de Jovens e Adultos (ensino dedicado a pessoas que estão fora da idade escolar e voltam a estudar para concluir sua formação básica).

Em cada escola, atendendo um número variável de profissionais (entre 15 e 35 professores aproximadamente) foi desenvolvido o seguinte protocolo de trabalho:

- a) Introdução ao tema e fundamentação teórica, através de exposição dialogada com o apoio de recursos audiovisuais, com duração de

aproximadamente uma hora, sendo abordados os temas propostos e a problemática de cada escola.

- b) Após rápido intervalo, os professores eram subsidiados em relação à construção de *matrizes integradas de currículo* conforme a descrição a seguir;
- c) Após a construção da matriz, os professores eram orientados a examinar conjuntamente os resultados da matriz ou dos mapas conceituais produzidos, anotando possíveis caminhos metodológicos e temas de projetos a serem desenvolvidos.
- d) os participantes respondiam a um rápido questionário, com questões abertas referentes aos temas: 1) opinião sobre os temas e conceitos trabalhados: conhecimento em rede, transversalidade e temas geradores; 2) avaliação das matrizes enquanto ferramenta de planejamento e 3) perspectiva de trabalho a partir da experiência vivenciada.

A partir dos produtos gerados de modo participativo durante este trabalho de intervenção, foi delineada uma pesquisa que teve por finalidade: a) avaliar o grau de entendimento e incorporação da proposta de transversalidade da Educação Ambiental por parte dos professores; b) desenvolver e avaliar as matrizes integradas de currículo como instrumentos de planejamento; c) identificar as facilidades e dificuldades de implantação da Educação Ambiental no planejamento curricular de forma transversal, tendo em vista o contexto escolar atual.

Quanto à definição metodológica da pesquisa, este trabalho pode ser qualificado como pesquisa participante, modalidade de estudo associada a uma ação ou à resolução de um problema coletivo, em que pesquisador e participantes da situação pesquisada estão envolvidos cooperativamente (Rauen, 1999). Dentre as modalidades de pesquisa-ação, adotamos a pesquisa-ação de diagnóstico, conforme a definição proposta por Haguette (1997), a qual “visa elaborar planos de ação a partir de solicitações; o pesquisador entra em uma situação existente, realiza o diagnóstico e busca juntamente com os participantes um princípio viável de intervenção”.

3 - Matrizes integradas de planejamento curricular.

As matrizes integradas de planejamento curricular foram concebidas por Luz, G. (2001), com base em estudos relativos ao Conhecimento em Rede, principalmente a partir de autores como Machado (1996) e de Dabas & Najmanovitch (1995). Os autores, apoiados em amplo referencial teórico que envolve temas como complexidade e holística, apresentam a idéia de rede como uma metáfora para o conhecimento humano. Do ponto de vista educacional, a aprendizagem começa a ser possível quando ocorre a compreensão, sendo então legítimo traçar uma linha de trabalho com base em uma seqüência de pensamento pedagógico, que considere o fato de que (segundo Machado, *op. cit.* p. 138):

- compreender é apreender o significado de alguma coisa;
- apreender o significado de alguma coisa, é vê-la em suas múltiplas relações com outros acontecimentos ou objetos; logo, os significados constituem-se, pois, em feixes de relações;
- as relações entrecetem-se, articulam-se em teias ou redes, que são construídas social- e individualmente e em permanente estado de atualização;
- assim, em ambos os níveis – individual e social – a idéia de conhecer assemelha-se à de *enredar*.

A partir destas reflexões, foi idealizado um modo de representar a complexidade de conceitos, relações e métodos que estão em jogo durante o planejamento curricular escolar, e para isso recorreremos à metodologia dos mapas conceituais, na definição de Moreira & Buchweitz (1987): “Um mapa conceitual é a ilustração que se obtém pela implementação de uma técnica de análise que se utiliza para evidenciar a estrutura conceitual de uma fonte de conhecimentos. É um diagrama hierárquico indicando os conceitos e as relações entre esses conceitos”. O trabalho com mapas conceituais exige uma visão construtivista do conhecimento (Luz, *op. cit.*), e pode ser construído porque ocorre a compreensão dos significados, a qual se dá quando o sujeito percebe a natureza e a estrutura do material a ser apreendido (entende os fatos, compreende como estes estão organizados e como se relacionam). O

trabalho com os mapas conceituais tem como vantagem o fato de transmitir relações entre idéias em uma ou mais áreas do conhecimento e evidenciar, por meio de linhas, vetores ou palavras de ligação, o tipo de relação entre os conceitos em questão. Com base nestas definições, foi então desenvolvido o modelo de matriz descrito a seguir.

Do ponto de vista prático, as matrizes podem ser confeccionadas em papel, cartolina, ou em acetato (transparência) ou mesmo por editoração eletrônica. No círculo maior, além de servir de suporte para todo o conjunto, estão informações complementares (modo de articulação, significado de cada nível, autoria, objetivos, etc.). Os demais são recortados na margem externa da circunferência, sendo então sobrepostos ao maior e fixados em seus centros geométricos. Deste modo, os círculos menores giram uns sobre os outros e sobre a base, evidenciando aos professores e alunos que *tudo está ligado a tudo*. Como cada nível da matriz foi composto por diferentes grupos de professores dentro da mesma turma, o resultado final evidencia relações entre conceitos, atitudes, habilidades e características ambientais locais, que não poderiam ser visualizadas a partir dos planejamentos lineares tradicionais, que são fragmentados por área do conhecimento.

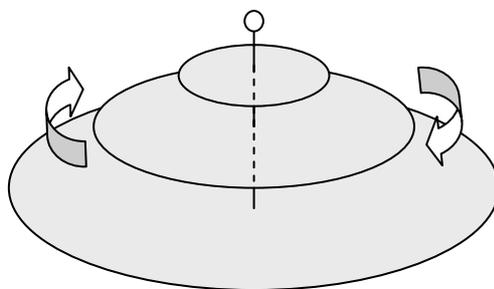


Figura 1) Representação esquemática da montagem das matrizes integradas de currículo.

A primeira matriz integrada (fig. 3), utilizada como exemplo para os professores, foi apresentada por Luz, G. (*Id. Ibid.*) em sua tese de doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento. A partir da experiência em cursos de formação de professores, o autor apresentou tais matrizes como ferramenta de planejamento com os seguintes objetivos:

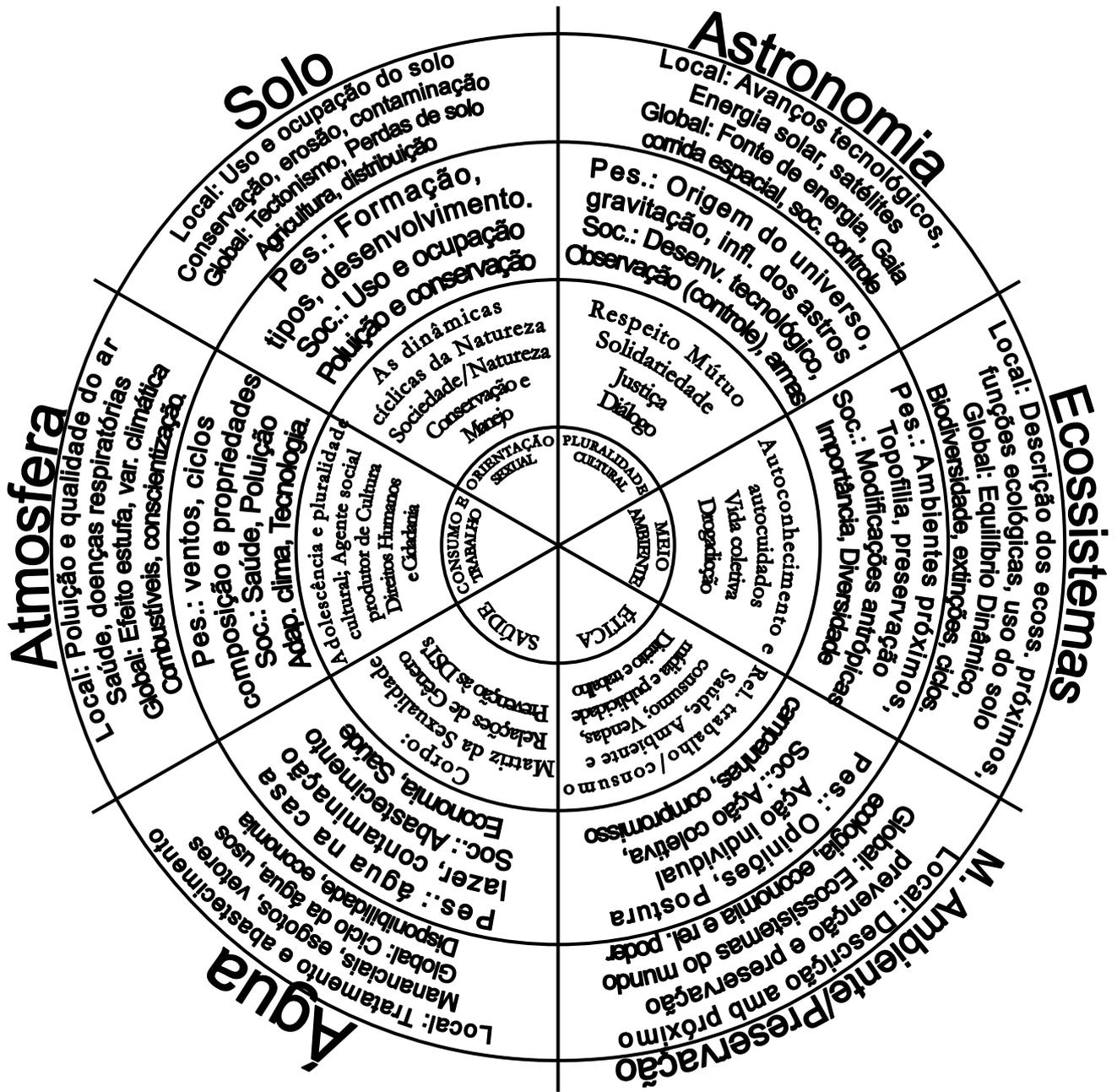
- a) descentralizar as disciplinas clássicas, quando da elaboração de planejamentos de ensino;
- b) dinamizar o processo de ensino-aprendizagem de modo interdisciplinar, a partir da necessidade de aprendizagem das pessoas;
- c) integrar os Temas Transversais com todas as disciplinas previstas em qualquer plano curricular, independentemente do tipo de curso, nível ou série;
- d) permitir a visualização de relações entre conceitos (dimensão cognitiva) e outras dimensões do ato educativo.

As outras matrizes (figuras 4 e 5) foram compostas a partir do trabalho com os professores, e estão aqui colocadas como exemplo da quantidade de informações e debates propiciados pela atividade. A figura 3 mostra uma matriz relativa ao tema específico “Meio Ambiente” no qual os professores definiram um nível relativo à expectativas pessoais dos alunos e expectativas comunitárias em relação aos temas sugeridos, e em outro nível cada tema está trabalhado segundo as perspectivas local e global. A matriz da figura 4 é relativa a um tema específico, no caso, a bacia hidrográfica, mostrando uma configuração um tanto diferenciada: a bacia hidrográfica na qual a escola está inserida, com suas características físicas, biológicas e sociais aparece centralizada na matriz, como se estivesse enredada pelas demais atividades, debates e conteúdos que constituem o currículo, indicando a construção de um projeto pedagógico direcionado ao tema.



Figura 2 – Exemplos de matrizes de planejamento feitas pelos professores participantes.

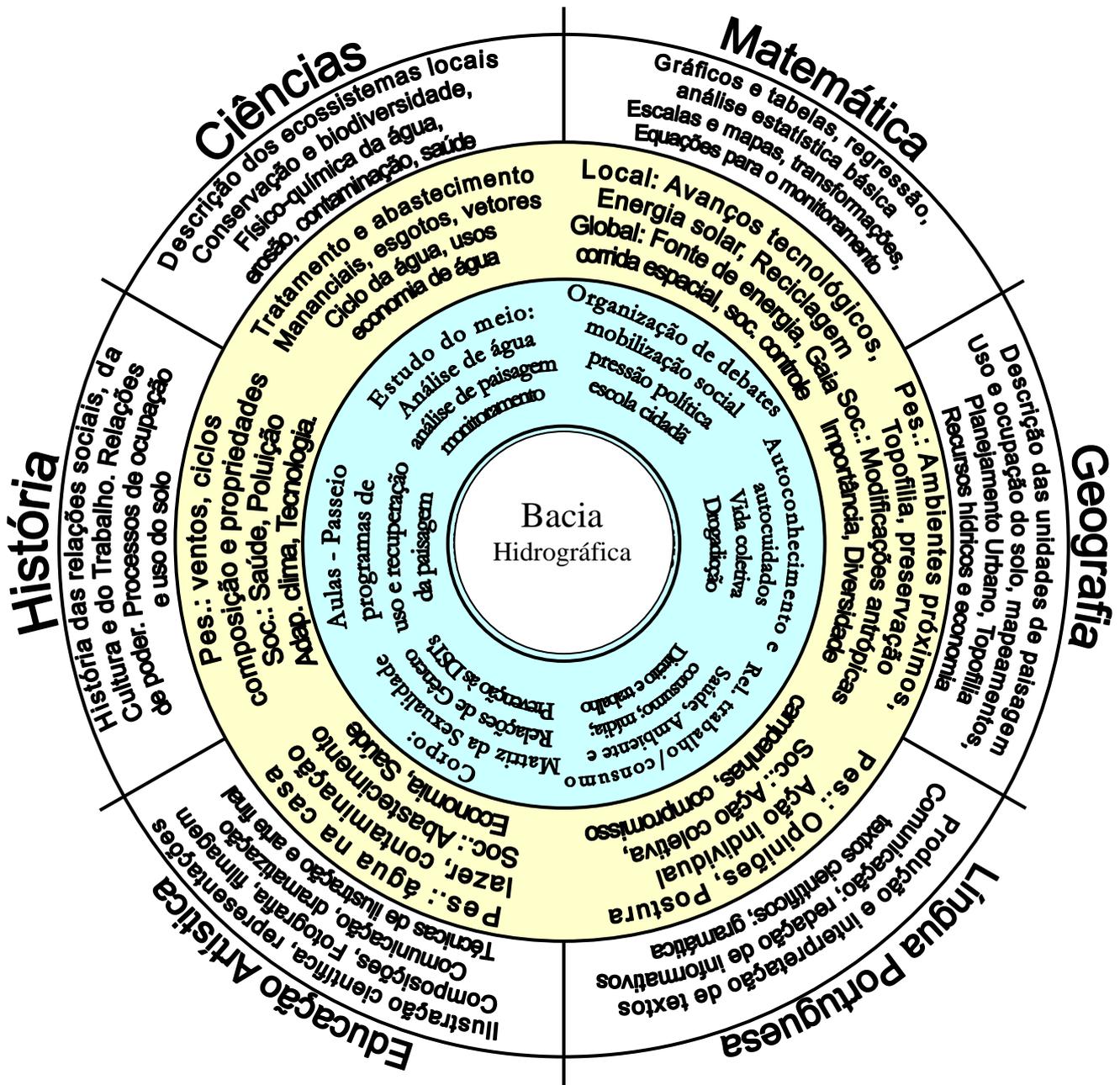
Matriz Integrada para Projetos Político-Pedagógicos
Tema: Meio Ambiente



Níveis: (do centro para a borda):
 1) e 2) Temas Transversais
 3) Expectativas: Pessoais e sócio-comunitárias
 4) Escalas espaciais de abordagem: local e global
 5) Temas geradores

Figura 4: Matriz Integrada para projetos político-pedagógicos.
 Autoria: Professores da Rede Municipal de Ensino Organização: P. H. C. Marques.

Matriz Integrada para Projetos Pedagógicos
Tema: Bacia Hidrográfica



- Níveis:
- 1) Temas gerador: Bacia Hidrográfica
 - 2) Metodologias e/ou Temas transversais
 - 3) Escalas de abordagem: local e global; Expectativas Pessoais e sócio-comunitárias
 - 4) unidades didáticas (não necessariamente disciplinares)

Figura 5: Matriz integrada de planejamento para o tema Bacia Hidrográfica
Autoria: Professores de Ciências (3.º e 4º ciclos) da Rede Municipal de Ensino
Organização: Paulo H. C. Marques

4 - Resultados e discussão

As atividades seguiram sempre o mesmo encaminhamento, mas as diferenças de ritmo e organização dos professores foram intencionalmente respeitadas, de modo que a quantidade de produtos gerados em cada encontro foi variável. Ao todo, foram produzidas 36 matrizes lineares (atendiam aos mesmos princípios, mas não montadas de forma circular), 22 mapas conceituais (tradicionais), 58 matrizes integradas e 74 avaliações escritas. Estes materiais foram colecionados, catalogados e analisados a partir de três metodologias distintas:

- análise das matrizes através da definição de categorias que procuraram responder aos objetivos propostos;
- comparação das categorias de análise obtidas a partir das matrizes com dados de análise documental realizada sobre as Diretrizes Curriculares da Secretaria Municipal da Educação (Curitiba, 2000) e sobre os PCN's (MEC, 1997 e 1998);
- avaliação do processo através de observação individual e entrevistas não diretas com os(as) professores(as) participantes ao longo da aplicação dos protocolos.

Categoria 1 – Organização dos conteúdos.

- 86% - conteúdos constantes do programa tradicional
- 14% - outros conteúdos

O fato de termos uma predominância dos conteúdos que constam do programa disciplinar tradicional evidencia que a forma de pensar o planejamento escolar ainda é altamente baseada na concepção disciplinar do conhecimento. Na prática, o planejamento curricular tradicional é realizado de modo reducionista, podendo ser exemplificado pela regra “distribuir a quantidade de conteúdos de cada disciplina ao longo do tempo disponível”. Sobre os conteúdos diferentes, observamos que apareciam principalmente temas influenciados pela mídia da época (clonagem de seres humanos,

alimentos transgênicos, aborto, Internet, etc.), com uma predominância de temas ligados ao meio ambiente. Em apenas duas matrizes apareciam, como conteúdos, questões ligadas à problemática ambiental local.

Passada quase uma década da implantação dos PCNs (MEC, 1997), a concepção disciplinar do conhecimento em que a grande maioria dos profissionais da educação foram formados ainda é um dos principais obstáculos à adoção dos temas transversais, bem como à adequação dos currículos formais com a realidade sócio-ambiental local. Observamos em várias ocasiões durante o processo os professores colocando em debate questões como “quais os conteúdos da Educação Ambiental?”; ou mesmo “em quais disciplinas os temas transversais se encaixam?”.

Categoria 2 – Diversidade de Metodologias de trabalho.

- 79% das metodologias de ensino citadas constavam das matrizes utilizadas como exemplo.
- 21% outras metodologias, sendo 17% consideradas metodologias tradicionais (tais como aulas expositivas, estudo dirigido, análises de texto ou de filmes) e 4% eram metodologias alternativas (gestalt, sugestopedia, psicodrama, entre outras).

O resultado mostrou que não há grande diversificação, evidenciando a carência de referenciais metodológicos por parte dos professores. Muitos dos métodos citados nas matrizes de exemplo nem sequer eram conhecidos, sendo que, durante a discussão das matrizes, uma das principais reivindicações dos professores era a realização de cursos de atualização específicos sobre metodologias de ensino. Por outro lado, pudemos fazer uma importante constatação de que os professores, ao analisarem suas matrizes, percebiam as metodologias como importantes elos de ligação entre os diferentes níveis das matrizes. Por exemplo, a organização de uma aula-passeio em torno da escola ou a construção de uma maquete poderiam fornecer subsídios para o trabalho em diferentes disciplinas, abordando também outras dimensões tais como ética

e relações sociais, favorecendo a compreensão do conceito de transversalidade.

Categoria 3 – Integração com a realidade local

- Apenas 12% das matrizes e 16% dos mapas conceituais apresentaram aspectos do bairro ou do cotidiano dos alunos

Embora houvesse uma preocupação de ressaltar a importância do contexto regional e da realidade local dos alunos durante a fundamentação do trabalho, verificamos que os professores não possuem o hábito de lidar com diagnósticos – condição indispensável para a transversalidade. Foi possível verificar a falta de conhecimento tanto dos aspectos físicos do ambiente quanto dos aspectos sociais da clientela das escolas. Dois aspectos podem ser considerados: o fato da maioria dos(as) professores(as) não residirem no bairro onde lecionam e a alta rotatividade verificada entre os(as) professores(as) dentro da rede municipal de ensino, fazendo com que, nas escolas situadas em bairros mais distantes, mais da metade deles não permanecem por mais de dois períodos letivos na mesma unidade escolar (observação de uma diretora de ensino da Rede Municipal). Este fato pode gerar dificuldades para a interação com os problemas sócio-ambientais locais e também para o estabelecimento de vínculos afetivos entre docentes e alunos.

Outra questão a ressaltar é a dificuldade de integração e acesso a dados e informações sócio-ambientais gerados por outros órgãos governamentais ou por estudos realizados nas universidades locais. Estas informações existem, mas estão dispersas, necessitando organização para que possam subsidiar as atividades de planejamento pedagógico.

Categoria 4 – Temas geradores

- 46% dos temas constavam nos exemplos
- 54% - Temas eleitos pelo grupo, sendo que 42% eram temas ligados a causas ambientais (água, áreas verdes, resíduos, poluição), e 12% - Outros temas, principalmente ligados à saúde individual (não comunitária)

Nesta categoria, verificamos que pode ter ocorrido interferência da abordagem teórica realizada inicialmente, bem como das matrizes utilizadas como exemplo: os assuntos anteriormente tratados apareceram em grande parte nas matrizes e nas discussões. Entretanto, nos temas eleitos pelos grupos, verificamos a predominância dos temas ambientais, mesmo em grupos em que a maioria dos participantes não leciona na área de ciências, mostrando que existe uma importante sensibilização para a temática. Em alguns grupos, os professores afirmaram também que estes temas despertam grande interesse nos alunos, o que pode ser considerado um aspecto positivo para a proposta.

Categoria 5 – Diferenças entre as regiões da cidade

Para esta categoria, adotamos o seguinte critério de distinção das regiões: a idade aproximada do loteamento do bairro – Antes e depois de 25 anos. A região metropolitana de Curitiba está vivendo um rápido processo de crescimento populacional e expansão da malha urbana, sendo que a sua população praticamente dobrou de tamanho ao longo das décadas de oitenta e noventa (Ultramari & Moura, 1994). Muitos dos bairros recentes são resultantes de processos de ocupação dos terrenos de forma não planejada, sendo que a implantação de serviços urbanos como saneamento e transporte se dá posteriormente ao processo de ocupação. Grande parte das famílias é originária de regiões agrícolas do interior do país, sofrendo ainda grandes dificuldades pela transição da cultura rural para o ambiente urbano. Observa-se como consequência a não-formação de identidade cultural nessas comunidades mais recentes, sendo que os poucos indícios de organização comunitária na região são demasiadamente sujeitas a influências político-eleitorais.

Apesar desta grande distinção verificada entre bairros recentes e antigos (ver fotografias a seguir) não houve diferenças significativas entre os planejamentos realizados. Nos bairros mais recentes, cuja infraestrutura ainda é bastante precária, observa-se uma tendência a citar questões ligadas ao saneamento, transporte, saúde e violência. Novamente se observa a

desconsideração da importância de se realizar diagnósticos, utilizando-os como base de trabalho; o planejamento curricular é mais comprometido com o programa formal a ser cumprido do que com a realidade local.



Figura 6 - Bairro periférico antigo já com boa infraestrutura urbana



Figura 7 - Bairro periférico recente (local situado a menos de 1 Km da foto anterior) mostrando a precariedade de condições, mesmo com os lotes já legalizados.



Figura 8 - Bairro periférico recente. O lençol freático alto, típico do ambiente que já foi várzea, acentua os problemas ligados ao saneamento.

Categoria 6 – Viabilidade dos temas transversais, temas geradores e projetos

- 38% consideram viável ou elogiam a proposta;
- 27% consideram viável, mas condicionam as suas ações à existência de estrutura e recurso;
- 15% Necessitam maior fundamentação e experiência antes de avaliar;
- 9% consideram inviável
- 11% não opinaram

Em primeira análise, constatamos que a maioria dos professores (65%) se manifestam favoravelmente às propostas de adotar a EA de forma transversal a partir do planejamento interdisciplinar. A mesma tendência foi observada no estudo realizado por Gómez (2000) na província de Valencia (Espanha), mostrando a grande aceitação que estas propostas estão tendo em vários níveis. Entretanto, um número significativo de professores condiciona a implantação destas reformas à existência de mais recursos nas escolas, e outros declaram sua necessidade de aprofundar as discussões e estudos. Destacamos a necessidade de, a curto prazo, empreender esforços para uma capacitação mais efetiva do professorado no sentido de integrar a EA de maneira mais clara às áreas do conhecimento, bem como de favorecer o planejamento curricular segundo a idéia de transversalidade.

Categoria 7 – Avaliação das matrizes (questionário aberto)

- 81% se declararam favoráveis: 44% ressaltam o seu valor como ferramenta de planejamento; 13% afirmam que as matrizes favorecem a interdisciplinaridade; 9% citaram a facilidade de “visualização” dos temas transversais, e 17% consideraram outros motivos.
- 12% são desfavoráveis: 9% apontam dificuldade de implementação dentro do sistema; 3% outros motivos (inclusive políticos) e ainda 2% se posicionaram como céticos a qualquer mudança educacional.
- 7% não opinaram.

A partir deste resultado consideramos que a matriz, na forma como foi planejada e conduzida, teve grande utilidade como uma ferramenta de planejamento curricular e deste modo foi entendida pelos participantes. Destacamos como principais vantagens o estímulo ao raciocínio e ao estabelecimento de relações entre conhecimentos e ações educativas em diferentes áreas, permitindo uma maior compreensão da complexidade dos processos de construção do conhecimento. Cabe ressaltar que sua intenção não é a de produzir um mapa estático, uma “nova fórmula de planejamento”, que seria então uma visão reducionista do processo e da própria transversalidade; mas de proporcionar maneiras de perceber e descrever o espaço das relações entre as dimensões pedagógicas em jogo durante a construção conjunta do planejamento. Neste caso, mais do que no produto final (as matrizes), o valor da atividade está no processo, nas múltiplas discussões, conceitos e argumentos revelados no momento em que os participantes colocam cada palavra chave na matriz, e nas novas relações que surgem ao girar o conjunto.

Categoria 8 – Avaliação das concepções e conceitos abordados (rede, transversalidade, temas geradores, projetos)

- 68% - Consideram interessante, viável. (38% ressaltam a “inovação”; 20% ressaltam a “praticidade”
- 18% - Consideram Interessante, porém ressaltam dificuldades da implementação
- 5% - Ceticismo, falta de estímulo
- 9% - sem opinião formada

A avaliação predominantemente favorável, tanto dos conceitos abordados quanto da ferramenta de planejamento utilizada (as matrizes), demonstra uma grande aceitação destes princípios, bem como uma grande disposição dos professores a trabalhar em projetos em Educação Ambiental. A adoção de projetos educacionais como forma de organização do trabalho na

escola pode ser um caminho tanto para integrar conteúdos numa leitura interdisciplinar da realidade como para contemplar interesses pessoais e coletivos da comunidade escolar. Machado (1995) vê na capacidade de elaborar projetos pedagógicos a possibilidade de aliar a criação individual e a imersão no imaginário coletivo, e sob esta ótica, o projeto representa “uma arquitetura de valores em busca da transformação da realidade”.

A experiência vivenciada durante os encontros com os professores pode demonstrar limites e potencialidades do trabalho com os temas transversais, e uma conclusão importante é a de que a temática ambiental e, principalmente, a problemática ambiental local, pode ser bastante útil na integração interdisciplinar através de projetos específicos.

Categoria 9 – Críticas e Sugestões

- Principais críticas: pouco tempo; muita Informação; falta de organização; mais material didático no curso (apostila)
- Principais sugestões: Acompanhamento de projetos gerados durante o planejamento; Cursos sobre metodologia do ensino; Mais tempo para o planejamento; Outras formas de avaliação da atividade docente e discente.

5.0 - Considerações Finais:

Embora a Educação Ambiental tenha sido incorporada nas diretrizes educacionais nacionais (em tese) como tema transversal, o planejamento curricular nas propostas oficiais e em grande parte das unidades escolares ainda mantém a centralidade disciplinar, numa concepção reducionista que limita-se à mera disposição dos conteúdos programáticos de cada disciplina ao longo do período letivo (Luz, 2001). Ainda há professores que colocam como principal obstáculo ao trabalho com os temas transversais “a falta de tempo” ou “a confusão no andamento dos conteúdos do programa”. Na ótica de Macedo (1999), para que os temas transversais funcionassem realmente como eixo integrador das diferentes áreas do currículo, e deste com a realidade social, seria necessária uma articulação entre cada área e os temas transversais. Não

se discute a importância que os temas transversais adquirem, principalmente por tratarem-se de questões urgentes na realidade brasileira, mas mantendo-os como não centralizados no currículo, terminam por diluir-se, perdendo seu significado. Neste contexto, conceitos complexos como desenvolvimento sustentável, acabam sendo tratados de maneira isolada, ficando demasiadamente sujeitos à influência do que se convencionou chamar “marketing ecológico”: desenvolve-se a idéia de que apenas a preservação de áreas verdes e os processos de redução/reutilização e reciclagem de lixo bastam para assegurar a sustentabilidade das comunidades humanas, quando se sabe que o desenvolvimento sustentável é intrinsecamente ligado ao modelo econômico de utilização dos recursos naturais. Para atingir este nível de reflexão, que perpassa todas as áreas do conhecimento, é necessário bem mais que a incorporação dos conceitos como “novos conteúdos programáticos”, o que reforça uma concepção equivocada da EA como uma modalidade educacional extra-curricular.

Outra constatação possível a partir da análise das matrizes e da observação dos debates durante as atividades é a existência de uma visão reducionista da EA: assim como o meio natural é reduzido às suas dimensões naturais e técnicas, a natureza é vista como recurso, num processo de reificação conforme descrito por Brugger (1997). A maioria das estratégias em EA apresentadas pelos professores reproduz estas visões deixando claro um certo empobrecimento conceitual decorrente do diálogo insuficiente entre as áreas do conhecimento. Citamos como exemplo uma abordagem que explique a contaminação de um rio através apenas da descrição da natureza do poluente, das características do ecossistema e da sensibilidade dos organismos à poluição. A explicação deveria começar antes, envolvendo outras questões: *Qual a percepção e o uso do ecossistema pela comunidade? Quais os interesses econômicos da minoria que polui? Quais os direitos da maioria que paga a conta?*

Podemos ainda destacar, a partir de observações ao longo do processo, a grande influência das concepções tradicionais de currículo, que reforçam idéias que hoje são consideradas altamente prejudiciais para a qualidade de vida humana, como nos coloca a Declaração de Veneza (UNESCO, 1986): verifica-se uma espécie de “fé cega” na ciência e na técnica como solução para

problemas ambientais, somada a uma crença na pretensa neutralidade dos cientistas e da Ciência como um todo.

Embora a temática ambiental seja atualmente bastante celebrada pela mídia, as iniciativas que pretendem a conscientização e o comprometimento de públicos-alvo específicos geralmente sofrem as conseqüências das racionalidades sociais e econômicas que dirigem os processos de exploração dos recursos naturais. Iniciativas geradas por organizações não governamentais geralmente possuem escala regional e não conseguem se articular em redes maiores, tendo alcance limitado; geralmente contam com financiamento por tempo restrito, findo o qual dificilmente se observa a continuidade das ações. As iniciativas governamentais esbarram na própria incapacidade de internalização pelo público-alvo, geralmente sofrem influências político-eleitoreiras e estão comprometidas com os curtos períodos da gestão pública, dificilmente conseguindo superar os períodos de transição política.

Neste cenário de crise sócio-ambiental, entretanto, a experiência realizada indicou claramente que existe entre o professorado um elevado nível de sensibilização e de interesse, tanto em relação à Educação Ambiental, quanto às transformações das diretrizes curriculares, que também devem significar melhores condições de trabalho. Concluimos apontando a necessidade de continuar estes processos de debate e experimentação, mesmo sabendo a dificuldade desta tarefa, pois a transformação curricular demanda o questionamento da nossa própria formação; certamente não será feita apenas pelas diretrizes curriculares oficiais, mas pelo esforço conjunto de todo o sistema educacional.

6.0 - Referências Bibliográficas

- BRÜGGER, P. (1999). Educação ou adestramento ambiental? Florianópolis: Letras Contemporâneas.
- COLE, A. L & KNOWLES, J. G. (1993). Teacher development partnership research: a focus on Methods and Issues. *American Educational Research Journal* 30(3), 473-495.
- CURITIBA. SECRETARIA MUNICIPAL DA EDUCAÇÃO. (2000) Diretrizes curriculares em discussão – A escola organizada em ciclos de Aprendizagem. Curitiba, SMed. 115p.
- DABAS, E. & NAJMANOVICH, D. (1995). Redes. Buenos Aires: Paidós
- EISNER, E & WALLANCE E. (1974). *Conflicting conceptions of currículum*. Berkeley: McCutrhan,
- GAUDIANO, E. G. (2000) Los desafios de la transversalidad en el currículum de la educación básica en Mexico. *Tópicos en Educación Ambiental* 2 (6), 63-69.
- GÓMEZ, J. G. (2000) Modelo, realidad y posibilidad de la transversalidad. El caso de Valencia, Espana. *Tópicos en Educación Ambiental* 2 (6), 53-62.
- HAGUETTE, T. (1997) Metodologias qualitativas na Sociologia. Petrópolis: Vozes.
- LUZ, G. O. F. DA. (2001). A formação de formadores em Educação Ambiental nos cenários da "Região Metropolitana de Curitiba": Das resistências aos fatos. Curitiba, Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) - Universidade Federal do Paraná. 279p.
- MACEDO, E. (1999) Parâmetros Curriculares Nacionais: a falácia de seus temas transversais. *In: Moreira, A. Org. Currículo: políticas e práticas*. Campinas, Papirus, p. 43-58
- MAYER, M. (1998). Educación Ambiental: de la acción a la investigación. *Enseñanza de las Ciencias* 16(2), 217-231.
- MACHADO, N. J. (1995). Epistemologia e Didática. São Paulo: Cortez.
- MEC – Ministério da Educação e do Desporto (1997). Parâmetros Curriculares Nacionais: Meio Ambiente e Saúde. Brasília, Ministério da Educação/Secretaria de ensino Fundamental.
- MEC – Ministério da Educação e do Desporto (1998). Parâmetros Curriculares Nacionais, terceiro e quarto ciclos: Apresentação dos Temas Transversais. Brasília, Ministério da Educação/Secretaria de ensino Fundamental.
- MOREIRA, M & BUCHWEITZ, B. (1987) Mapas Conceituais. São Paulo, Moraes.
- REIGOTA, M. (2000). La transversalidad en Brasil: Una banalización neoconservadora de una propuesta pedagógica radical. *Tópicos en Educación Ambiental* 2 (6), 19-26.
- SAUVÉ, LUCIE. (2000). Para construir um patrimônio de investigación em educación ambiental. *Tópicos em Educación Ambiental* 2(5), 51-69.
- SEGURA, D. S. B. (2001). Educação Ambiental na escola pública: da curiosidade ingênua à consciência crítica. São Paulo, Annablume; FAPESP. 214 p.
- TILBURY, D & TURNER, K (1997). “Environmental education in Europe: philosophy into practice”. *International Journal of Environmental Education and Information* 16(2), pp 2-14.
- UNESCO United Nations Organization for Education, Science and Culture (1986) A Declaração de Veneza: A Ciência Diante dos Limites do Conhecimento. Veneza: UNESCO/Fundação Giorgio Cini.

Considerações Finais

Durante a realização desta tese, tivemos a oportunidade de realizar trabalhos nas áreas de Ecologia de Rios (capítulo I), Ecologia da Paisagem e Planejamento Ambiental (capítulo II) e Educação Ambiental no ensino formal (Capítulos III e IV), numa tentativa de encontrar caminhos possíveis de pesquisa e extensão para responder aos problemas ambientais e sociais descritos na introdução (p. 9). Tratando-se de uma realidade complexa, podemos afirmar que estas linhas de trabalho são apenas algumas das várias possibilidades de abordagem, e certamente nenhuma delas pode responder, sozinha, aos desafios de se construir uma efetiva estratégia de gestão dos recursos hídricos, tanto em escala regional como global. Neste sentido, a postura interdisciplinar adotada e a proposta de articulação das áreas e trabalhos abrangidos (descrita nos itens 4.2 e 4.3, p. 14-17) foi fundamental para que os trabalhos pudessem ser realizados, dentro das oportunidades e limites encontrados em cada um deles.

Retomando os objetivos gerais da tese (p. 10), podemos considerá-los atingidos de forma satisfatória através dos relatos em cada um dos quatro capítulos, mesmo sabendo o quanto cada linha de trabalho poderia ter sido mais aprofundada, não fossem as tradicionais limitações de tempo e recurso. Segue aqui uma pequena reflexão sobre os resultados, as dificuldades, as possibilidades encontradas e as perspectivas de continuidade.

No trabalho de Ecologia de Rios (capítulo I), verificamos as possibilidades e limites para a realização de trabalhos de pesquisa básica em bacias hidrográficas, e também a grande carência deste tipo de trabalho no país, em comparação com outros países que já possuem sistemas nacionais de monitoramento e recuperação de bacias hidrográficas baseados em anos de pesquisa básica. Apesar de contarmos com vários pesquisadores competentes no país, os trabalhos ainda são concentrados em alguns poucos centros de pesquisa, ainda muito desarticulados entre si e também com os órgãos governamentais diretamente ligados à gestão dos recursos hídricos. Grande parte das nossas bacias hidrográficas, mesmo aquelas que respondem pelo abastecimento de água de grandes cidades, não possuem ainda estudos básicos de caracterização ambiental que possam fundamentar planos

concretos de monitoramento, conservação e recuperação; as teorias gerais para ecossistemas lóticos e ecologia de rios ainda necessitam de adaptação e validação para os ambientes brasileiros. Por outro lado, esta carência configura um campo de estudo e de trabalho bastante promissor.

No Capítulo II, a proposta de zoneamento limnológico de bacias hidrográficas procurou aliar elementos da Ecologia de Rios e da Ecologia da Paisagem, duas áreas relativamente recentes, cujos principais trabalhos foram desenvolvidos a partir da década de 1970. Embora o trabalho não tenha trazido grandes novidades em termos de metodologias ou conhecimentos, mostrou-se bastante eficaz como estratégia de ligação entre o conhecimento técnico-científico necessário para a gestão dos recursos hídricos e os diferentes públicos-alvo em uma bacia hidrográfica, subsidiando ações tanto na área do planejamento como da Educação Ambiental. Também nesta área podemos perceber uma grande carência de trabalhos.

Nos trabalhos realizados com alunos e professores (capítulos III e IV), pudemos reforçar a convicção sobre a importância da Educação em geral e, especificamente, da Educação Ambiental no ensino formal, para a formação de uma consciência crítica mais sólida sobre as questões ambientais. Se por um lado constatamos uma grande carência em termos de informação, materiais didáticos específicos, recursos diversos, verificamos também o grande potencial de interação entre instituições de pesquisa e escolas, para o estabelecimento de redes participativas de monitoramento e recuperação ambiental, conforme também têm demonstrado algumas outras experiências no país. Resta a esperança de que as instituições escolares e os profissionais da área voltem a ter o prestígio e o reconhecimento que o seu papel social merece.

Finalizando, chamo a atenção para um dos aspectos mais interessantes e ricos desta experiência, o que se refere ao contato estabelecido com pessoas e instituições tão distintas: professores e alunos de escolas públicas, técnicos da área ambiental, geólogos que trabalham com sistemas de informação geográfica, biólogos especialistas em biogeoquímica ou em invertebrados aquáticos, educadores ambientais, funcionários públicos de órgãos ligados a Educação ou Meio Ambiente, entre vários outros. Em todos estes grupos, por mais especializados que sejam, pude notar uma grande sensibilização para

com as questões que envolvem os recursos hídricos de maneira geral e também uma grande disposição para o trabalho em conjunto e para o diálogo interdisciplinar, superando os limites da formação individual. Parece que os ideais de Ciência e Educação preconizados pela Declaração de Veneza em 1986 (apresentada em anexo a seguir) já contam com grande aceitação, o que traz um certo otimismo para o enfrentamento das questões do nosso tempo, mesmo com a consciência de que a crise sócio-ambiental mundial ainda vai se agravar nos próximos anos.

Curitiba, Dezembro de 2004.

A DECLARAÇÃO DE VENEZA
“A CIÊNCIA DIANTE DOS LIMITES DO CONHECIMENTO:
O prólogo do nosso passado Cultural”

Trad. do Francês: Profa. Martha García G. de Sánchez.

Veneza, 07 de março de 1986

Os participantes do colóquio, animados por um espírito de abertura e de questionamento dos valores do nosso tempo, têm ficado de acordo nos seguintes pontos:

1 - nós somos testemunhas de uma importante revolução no domínio da Ciência, engendrada pela Ciência Fundamental (em particular, pela Física e pela Biologia), pela subversão que ela desperta na Lógica, na Epistemologia e também no Cotidiano, através das aplicações tecnológicas. Mas, ao mesmo tempo, nós constatamos a existência de uma importante defasagem entre a nossa visão de mundo que emerge do estudo dos sistemas naturais e os valores ainda predominantes na Filosofia, nas Ciências Humanas e na vida da sociedade moderna. Pois estes valores são fundamentados, em grande medida, sobre o determinismo mecanicista, o positivismo ou o niilismo. Nós sentimos essa distância como fortemente nociva e portadora de pesadas ameaças de destruição de nossa espécie;

2 - o conhecimento científico, por seu próprio movimento interno, tem chegado aos confins onde ele pode começar o diálogo com outras formas de conhecimento. Neste sentido, mesmo reconhecendo as diferentes tradições do mundo, permite pensar no advento de uma visão nova da humanidade, enxergar um novo racionalismo, que poderia conduzir a uma nova perspectiva metafísica;

3 - mesmo questionando todo projeto globalizador, bem como todo sistema fechado do pensamento, toda nova utopia, nós reconhecemos, ao mesmo tempo, a urgência de uma pesquisa verdadeiramente transdisciplinar dentro de um intercâmbio dinâmico entre as Ciências “Exatas”, as Ciências

“Humanas”, Arte e Tradição. Em certo sentido esta aproximação transdisciplinar se enquadra em nosso próprio cérebro pela interação dinâmica entre seus dois hemisférios. O estudo conjunto da natureza e o imaginário, do universo e do homem, poderia aprimorar a aproximação com o real, permitindo assim enfrentar problemas desta época;

4 - o ensino convencional da Ciência por uma apresentação linear dos conhecimentos, dissimula o rompimento da Ciência contemporânea e as visões ultrapassadas de mundo - nós reconhecemos a urgência da pesquisa de novos métodos de educação, que levarão em conta os avanços da Ciência que harmonizam agora com as grandes tradições culturais, cuja preservação e estudos aprofundados mostram-se fundamentais;

5 - os prejuízos de nossa época - o prejuízo da autodestruição da nossa espécie, o prejuízo informático, o prejuízo genético, etc. - esclarecem de uma forma, a responsabilidade social dos cientistas, ao mesmo tempo dentro da iniciativa e da aplicação da pesquisa. Se os cientistas não podem decidir a respeito da aplicação de suas próprias descobertas, eles não devem assistir, passivamente, à aplicação cega destas descobertas. Para nós, a abrangência dos prejuízos contemporâneos exige, por um lado, a informação rigorosa e permanente da opinião pública e, por outro, a criação de órgãos de orientação e até de decisão, de natureza pluri e transdisciplinar;

6 - nós expressamos a esperança de que a UNESCO venha a perseguir esta iniciativa, estimulando uma reflexão dirigida à universalidade e à transdisciplinaridade.

Nós agradecemos à UNESCO, que teve a iniciativa de organizar este encontro, conforme a sua vocação de universalidade. Agradecemos também à Fundação Giorgio Cini, por ter permitido a realização, num local ideal para o desenvolvimento deste forum.”