

CONCEITOS DE BACIAS HIDROGRÁFICAS



TEORIAS E APLICAÇÕES

Editores

Alexandre Schiavetti

Antonio F. M. Camargo

**ed
it's**
Editora da UESC

CONCEITOS DE BACIAS HIDROGRÁFICAS
TEORIAS E APLICAÇÕES

CONCEITOS DE BACIAS HIDROGRÁFICAS TEORIAS E APLICAÇÕES

Editores

Alexandre Schiavetti
Antonio F. M. Camargo

© 2002 by ALEXANDRE SCHIAVETTI E ANTONIO CAMARGO

Direitos desta edição reservados à
EDITUS - EDITORA DA UESC
Universidade Estadual de Santa Cruz
Rodovia Ilhéus/Itabuna, km 16 - 45650-000 Ilhéus, Bahia, Brasil
Tel.: (073) 680-5028 - Fax (073) 689-1126
<http://www.uesc.br> e-mail: editus@uesc.br

GOVERNO DO ESTADO DA BAHIA
CÉSAR BORGES - GOVERNADOR

SECRETARIA DE EDUCAÇÃO
ERALDO TINOCO MELO - SECRETÁRIO

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE SANTA CRUZ
RENÉE ALBAGLI NOGUEIRA - REITORA
MARGARIDA CORDEIRO FAHEL - VICE-REITORA

DIRETORA DA EDITUS
MARIA LUIZA NORA

PROJETO GRÁFICO E CAPA
ADRIANO LEMOS

FOTO DA CAPA

CONSELHO EDITORIAL:

DÁRIO AHNERT
DORIVAL DE FREITAS
ERONILDA MARIA GÓIS DE CARVALHO
FRANCOLINO NETO
JANE KÁTIA BADARÓ VOISIN
LURDES BERTOL ROCHA
MARIA DA CONCEIÇÃO FILGUEIRAS DE ARAÚJO
MARIA LAURA OLIVEIRA GOMES
MOEMA BADARÓ CARTIBANI MIDLEJ
PATRÍCIA DA COSTA PINA
PAULO DOS SANTOS TERRA
REINALDO DA SILVA GRAMACHO
ROSANA LOPES
RUY LORDÃO NETO

EQUIPE EDITUS

DIRETOR DE POLÍTICA EDITORIAL: JORGE MORENO; **REVISÃO:** MARIA LUIZA NORA
E DORIVAL FREITAS; **SUPERVISÃO DE PRODUÇÃO:** MARIA SCHAUN; **COORD. DE**
DIAGRAMAÇÃO: ADRIANO LEMOS; **DESIGN GRÁFICO:** ALENCAR JÚNIOR.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C744 Conceitos de bacias hidrográficas : teorias e aplicações /
 Editores Alexandre Schiavetti, Antonio F. M. Camar-
 go. - Ilhéus, Ba : Editus, 2002.
 293p. : il.

Bibliografia : p. 261-291

ISBN: 85-7455-053-1

1. Bacias hidrográficas. I. Schiavetti, Alexandre.
II. Camargo, Antonio Fernando Monteiro.

CDD 551.48

Agradecimentos

Em um material tão vasto e amplo sempre há diversas pessoas e Instituições a quem devemos agradecer. Porém, dificilmente poderemos discorrer aqui um agradecimento especial a cada um, portanto gostaríamos de agradecer a todos que ajudaram e acreditaram que este trabalho era possível.

Mesmo assim seria impossível não agradecer, pelo compromisso e a seriedade, aos autores dos capítulos, que acreditaram na idéia e em nós Editores. Gostaríamos, também de agradecer pela ajuda logística e financeira da Pró-reitoria de Pesquisa e Pós-graduação da Universidade Estadual de Santa Cruz.

Duas pessoas foram de igual valia para este trabalho, pois o estímulo do Prof. Dr. Max de Menezes, mostrando que é possível fazer um trabalho sério e em colaboração, bem como a paciência e compreensão da Prof^a Maria Eugênia Bruck de Moraes quanto ao tempo da dedicação à editoração e aos problemas inerentes a uma trabalho deste porte, fizeram possível sua conclusão.

Finalmente gostaríamos de agradecer a Editus, pelos ensinamentos na arte da editoração, paciência e presteza nos trabalhos, sem os quais este material teria ficado somente na idéia.

MUITO OBRIGADO!!!!!!

Os Editores

Sumário

Apresentação	11
Prefácio	13

USO DE CONCEITOS DE BACIAS HIDROGRÁFICAS

PARTE 1

CAPÍTULO 1

A Utilização do Conceito de Bacia Hidrográfica para a Conservação dos Recursos Naturais

José Salatiel Rodrigues PIRÉS, José Eduardo dos SANTOS,

Marcos Estevan DEL PRETTE..... 17

CAPÍTULO 2

Parâmetros Físicos para Gerenciamento de Bacias Hidrográficas

Reinaldo LORANDI & Cláudio Jorge CANÇADO..... 37

CAPÍTULO 3

Interrelações Entre Clima e Vazão

Neylor Alvez Rego CALASANS, Maria do Carmo Tavares LEVY, e Maurício MOREAU..... 67

CAPÍTULO 4

Aplicações de Sistemas de Informação Geográfica em Ecologia e Manejo de Bacias Hidrográficas

Fernando Gertum BECKER..... 91

CAPÍTULO 5

Utilização do Conceito de Bacia Hidrográfica para Capacitação de Educadores

Paulo Henrique Peira RUFFINO & Sílvia Aparecida dos SANTOS..... 111

CAPÍTULO 6

Potencialidades do Uso Educativo do Conceito de Bacia Hidrográfica em Programas de Educação Ambiental

Haydée Torres de OLIVEIRA..... 125

APLICAÇÕES DE CONCEITOS DE BACIAS HIDROGRÁFICAS
PARTE 2

CAPÍTULO 7

Caracterização Sócio-ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira Sul da Bahia, Brasil

Alexandre SCHIAVETTI, Ana Cristina SCHILLING & Haydée Torres de OLIVEIRA..... 141

CAPÍTULO 8

Análise do Risco de Erosão em Microbacias Hidrográficas: estudo de caso das Bacias Hidrográficas dos rios Salomé e Areia, Sul da Bahia

Quintino Reis de ARAÚJO, Marcelo Henrique Siqueira ARAÚJO & Joélia Oliveira SAMPAIO 163

CAPÍTULO 9

Uso do Índice de Integridade Biótica no Gerenciamento de Bacia Hidrográfica

Maurício CETRA..... 179

CAPÍTULO 10

Caracterização Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Piauí (SE)

Marcelo F. Landim de SOUZA & Erminda C. Guerreiro COUTO 193

CAPÍTULO 11

Análise Integrada de Bacias de Drenagem Utilizando Sistemas de Informações Geográficas e Biogeoquímica de Águas Superficiais: A Bacia do Rio Piracicaba (São Paulo)

Maria Victoria Ramos Ballester; Alex Vladimir Krusche; Luiz Antonio Martinelli; Epaminondas Ferraz; Reynaldo Luiz Victoria; Marcelo Correia Bernardes; Jean Pierre Ometto; Carlos Eduardo Pellegrino Cerri; Andre Marcondes Andrade Toledo; Plinio Camargo & Fabiana Cristina Fracassi..... 219

CAPÍTULO 12

Ecologia da Bacia Hidrográfica do Rio Itanhaém

Antonio Fernando Monteiro Camargo, Lucio Alberto Pereira & Alexandre de Mattos Martins Pereira 239

Referências Bibliográficas 257

Lista de Autores 287

Apresentação

A construção de estratégias de convivência harmoniosa do homem com a natureza, que possibilitem satisfazer os anseios de crescimento econômico com justiça social, é o grande desafio com que se deparam os profissionais que atuam na área do desenvolvimento.

O modelo atual de desenvolvimento tem se mostrado inadequado para satisfazer às demandas de uma população que cresce exponencialmente. No Brasil, por mais que se entenda que a situação atual não é das piores, as estatísticas recentes mostram claramente a mesma tendência mundial de crescente deterioração da qualidade de vida, motivada, em última análise, pela elitização do acesso à riqueza, à propriedade, à capacitação intelectual e à participação na definição dos destinos da população como um todo.

Para reverter a atual tendência, não basta mudar políticos; é preciso, isto sim, mudar políticas, cuja formulação só será possível a partir da construção de novas estratégias de desenvolvimento.

Todo desenvolvimento, seja qual for o modelo adotado, tem obrigatoriamente a sua base na exploração dos recursos naturais, mesmo que esses recursos estejam localizados além das fronteiras do país considerado. Nesse aspecto, como todos sabemos, o nosso País é privilegiado, não apenas pela sua extensão territorial, mas pela riqueza e diversidade de características naturais que o fazem detentor de uma base potencial de desenvolvimento que não encontra similar em outra nação.

Cabe, portanto, aos pesquisadores, conceber estratégias de utilização desses recursos naturais da forma a mais proveitosa e menos degradadora possível. Isso passa por duas tarefas imensas, de importância fundamental: a) recuperar, quando possível, os recursos naturais degradados por uso inadequado; b) desenvolver estratégias de uso dos recursos naturais, de forma a otimizar o seu aproveitamento sem comprometer o seu potencial de utilização futura.

A complexidade dessas duas tarefas exige um tratamento regionalizado a partir de algum critério lógico, de modo a se trabalhar em unidades ambientais homogêneas para viabilizar o espaço de pesquisa.

Atualmente, há um consenso muito bem fundamentado no meio científico de que a bacia hidrográfica é a unidade ambiental mais adequada para o tratamento dos componentes e da dinâmica das interações concernentes ao planejamento e à gestão do desenvolvimento,

especialmente no âmbito regional.

A adoção das bacias hidrográficas como unidade de estudo traz consigo, implicitamente, o compromisso da abordagem interdisciplinar e do trabalho em equipe, duas premissas básicas, essenciais para atingir o almejado desenvolvimento sustentável.

É exatamente nesse aspecto que a obra ora levada a público pela Editus representa uma contribuição oportuna e de grande relevância. É relevante porque reúne a experiência de vários autores que oferecem, de forma didática e, ao mesmo tempo, primando pela qualidade científica, os elementos teóricos, conceituais e instrumentais básicos para o exercício da ciência do desenvolvimento, ilustrados com exemplos locais criteriosamente selecionados para essa finalidade. É oportuna, porque a temática abordada não poderia ser mais atual, e surge exatamente no momento em que ocorre uma verdadeira corrida contra o tempo no sentido de construir um novo paradigma de desenvolvimento.

Em todos os capítulos, e no conjunto da obra, é evidenciada a constante preocupação dos autores com o tratamento integrado, interdisciplinar, das complexas relações envolvidas no processo dinâmico do desenvolvimento regional, utilizando a bacia hidrográfica como unidade ambiental de pesquisa.

Trata-se, portanto, de publicação de destacado valor científico e didático, que se incorpora ao acervo bibliográfico básico de referência de pesquisadores, docentes e estudantes que se dedicam às ciências ambientais com a ênfase que lhes é devida nos tempos atuais. Para nós, do Programa Regional de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA), particularmente do Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente da UESC, "**O conceito de bacias hidrográficas: teoria e aplicações**" assume importância ainda maior, pois coincide com o esforço de induzir as pesquisas das dissertações em temas do desenvolvimento regional diretamente relacionados com as principais bacias hidrográficas do Sudeste da Bahia.

MAX DE MENEZES

Coordenador

Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente

PRODEMA - Universidade Estadual de Santa Cruz

Prefácio

A Política Nacional de Recursos Hídricos é o documento norteador para a gestão das Bacias Hidrográficas no Brasil desde que foi apresentada, no final da década de 90. Entretanto, diversos trabalhos utilizando os conceitos de Bacias Hidrográficas já estavam sendo desenvolvidos antes deste documento.

A Universidade Federal de São Carlos, através do Programa de Pós-graduação em Ecologia e Recursos Naturais, iniciou, no final dos anos 80, um projeto que tinha por objetivo compreender a estrutura e a dinâmica das lagoas marginais do Rio Mogi-Guaçu. Com o início dos trabalhos, ficou claro que a necessidade de estudos com a visão completa da bacia hidrográfica era essencial para responder às questões levantadas. Atualmente diversos trabalhos nesta Instituição têm como unidade de estudo a Bacia Hidrográfica.

Outras Instituições também iniciaram trabalhos com Bacias Hidrográficas no final dos anos 80. O Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada da USP/São Carlos tem trabalhado com a atualização de professores da rede de ensino, utilizando o conceito de Bacias Hidrográficas como eixo temático. O Centro de Divulgação Cultural e Científica (CDCC) da USP/São Carlos também iniciou seus trabalhos com este enfoque neste período.

A área de pesquisa agrícola utiliza o conceito de Bacias Hidrográficas para o planejamento de suas atividades, podendo-se destacar os trabalhos desenvolvidos pela Universidade Federal de Viçosa. Pesquisas de longa duração em Hidrologia Florestal, tendo as Bacias Hidrográficas experimentais como unidade de estudo, vêm sendo realizadas há décadas pelo Instituto Florestal na região de Cunha (Serra da Mantiqueira - SP).

Em 1990, foi iniciado um projeto de pesquisa, intitulado "Estudos Limnológicos em Ecossistemas Lóticos do Litoral Sul Paulista", financiado pelo CNPq e sob a coordenação do Prof. Antonio F.M. Camargo, da UNESP/Rio Claro. Inicialmente o projeto foi desenvolvido com um enfoque exclusivamente limnológico, com o objetivo de caracterizar os diferentes ambientes aquáticos. No entanto, em pouco tempo, os

estudos passaram a ter, também, como objetivo a análise das interações dos ambientes aquáticos com o ambiente terrestre e a unidade espacial de estudo passou a ser a bacia hidrográfica.

Este projeto foi o “start” inicial para o ingresso dos editores em uma área de atuação mais ampla do que a ecologia aquática que é a ecologia de bacias hidrográficas. Outros grupos também iniciaram, na mesma época, estudos com este enfoque, o que possibilitou a elaboração deste livro.

Este material pretende mostrar ao público que está iniciando sua formação acadêmica, bem como, para aqueles que estão na área técnica, uma pequena parcela dos trabalhos que estão sendo, ou que podem ser realizados, com o tema **BACIAS HIDROGRÁFICAS**.

Os Editores

USO DE CONCEITOS DE BACIAS HIDROGRÁFICAS

P A R T E I

A Utilização do Conceito de Bacia Hidrográfica para a Conservação dos Recursos Naturais

José Salatiel Rodrigues PIRES; José Eduardo dos SANTOS & Marcos Estevan DEL PRETTE

O conceito de Bacia Hidrográfica (**BH**) tem sido cada vez mais expandido e utilizado como unidade de gestão da paisagem na área de planejamento ambiental. Na perspectiva de um estudo hidrológico, o conceito de **BH** envolve explicitamente o conjunto de terras drenadas por um corpo d'água principal e seus afluentes e representa a unidade mais apropriada para o estudo qualitativo e quantitativo do recurso água e dos fluxos de sedimentos e nutrientes. Embora tecnicamente o conceito implícito no termo seja preciso, podem existir variações no foco principal, conforme a percepção dos técnicos que o utilizam em seus estudos.

Do ponto de vista do planejador direcionado à conservação dos recursos naturais, o conceito tem sido ampliado, com uma abrangência além dos aspectos hidrológicos, envolvendo o conhecimento da estrutura biofísica da **BH**, bem como das mudanças nos padrões de uso da terra e suas implicações ambientais. Neste sentido, vários autores ressaltam a importância do uso do conceito de **BH** como análogo ao de **Ecosistema**, como uma unidade prática, seja para estudo como para o gerenciamento ambiental (BORMANN & LIKENS, 1967; O'SULLIVAN, 1979; ODUM, 1985; 1993; POLLETE, 1993; LIMA, 1994; PIRES & SANTOS, 1995; ROCHA et al., 2000).

Um ecossistema é definido como uma unidade espacialmente explícita que inclui todos os componentes bióticos e abióticos dentro de suas fronteiras (LIKENS 1992). Embora, em sua origem, o termo tenha sido atribuído a TANSLEY (1935), conceitos subjacentes associados à organização hierárquica de indivíduos, populações e comunidades e conexões funcionais entre a biota e o ambiente abiótico estão implícitos em importantes trabalhos anteriores (Möbius, 1877; Forbes, 1887;

Cowles, 1898 in: GOLLEY, 1993).

A utilização da **BH** como unidade de planejamento e gerenciamento ambiental não é recente; há muito tempo os hidrólogos têm reconhecido as ligações entre as características físicas de uma **BH** e a quantidade de água que chega aos corpos hídricos. Por outro lado, os limnólogos têm considerado que as características do corpo d'água refletem as características de sua bacia de drenagem. Neste sentido, as abordagens de planejamento e gerenciamento ambiental utilizando a **BH** como unidade de estudo têm evoluído bastante, desde que as mesmas apresentam características biogeofísicas que denotam sistemas ecológicos e hidrológicos relativamente coesos (DASMANN et al., 1973).

O processo de gerenciamento e planejamento ambiental de **BH** foi inicialmente direcionado à solução de problemas relacionados ao recurso água, priorizando o controle de inundações, ou a irrigação, ou a navegação, ou o abastecimento público e industrial (FORBES & HODGE, 1971). Com o aumento da demanda sobre os recursos hídricos e da experiência dos técnicos envolvidos na administração dos mesmos, foi verificada a necessidade de incorporar na abordagem inicial os aspectos relacionados aos usos múltiplos da água, na perspectiva de atender uma estrutura do tipo multi-usuário, que competem pelo mesmo recurso. Esta abordagem buscou solucionar conflitos entre os usuários e dimensionar a qualidade e a quantidade do recurso que cabe a cada um e as suas responsabilidades sobre o mesmo. Isso porque as implicações sobre o uso dos recursos hídricos provêm de uma série de fatores naturais, econômicos, sociais e políticos, sendo o recurso "água" tão somente o ponto de convergência de um complexo sistema ambiental.

Apesar do enfoque desta abordagem contemplar somente o recurso hídrico, sem atentar para o uso dos outros recursos ambientais da **BH** que também influenciam quantitativa e qualitativamente o ciclo hidrológico (PIRES, 1995), novos paradigmas e métodos têm direcionado os estudos e as formas de gerenciamento ambiental aplicados ao estudo e manejo de **BH**, incorporando os conceitos do Rio Contínuo (VANOTE et al., 1980); do Pulso de Inundação (JUNK et al., 1989); da Teoria do Espiralamento de Nutrientes (ELWOOD et al., 1983; 1985); da Hipótese da Perturbação Intermediária (CONNELL, 1978) e dos conceitos relacionados à Ecologia da Paisagem (HANSSON et al.,

1995). Entre as metodologias voltadas à gestão de **BH** estão aquelas que empregam o uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) e a análise de imagens orbitais para auxiliar na determinação de medidas de manejo ambiental. Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) têm sido muito utilizados devido a sua flexibilidade e disponibilidade, consistindo de sistemas computadorizados que permitem sobrepor diversas informações espaciais da **BH**. A informação é armazenada digitalmente e apresentada visual ou graficamente, permitindo a comparação e a correlação entre informações. A utilização dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) para o gerenciamento ambiental de **BH** envolve muitas outras atividades, além da elaboração e manutenção de um banco de dados geocodificados, de onde são retiradas as diversas informações estatísticas sobre características da unidade de estudo (tipos de solos, usos da terra, hidrologia, vegetação etc.). Este banco de dados georeferenciados auxilia a elaboração de modelos para entendimento da paisagem sob o ponto de vista ecológico e ambiental; na previsão dos riscos associados à qualidade dos componentes ambientais água, solos, ar, biodiversidade (PIRES, 1995); no mapeamento dos fluxos de energia, materiais e informação; na determinação das áreas fonte e de recepção de poluentes; na determinação de sítios de acumulação de substâncias antropogênicas; na análise das respostas às mudanças na estrutura ambiental etc. O uso de métodos associados aos SIGs oferece ainda a possibilidade de executar modelagem para prever padrões espaciais de processos ecológicos, com relação a possíveis cenários decorrentes do tipo de ocupação/uso dos recursos naturais; possibilita também auxiliar os tomadores de decisão na definição de diretrizes a respeito de usos da terra em uma **BH**.

A Bacia Hidrográfica como Unidade de Análise e Gerenciamento Ambiental

Apesar das reconhecidas vantagens do uso da **BH** como unidade de análise e gerenciamento da paisagem para o estudo de processos ecológicos ou manejo de alguns dos seus componentes, deve ser ressaltado que muitas vezes esta unidade não é apropriada para estudos da dinâmica trófica, envolvendo o deslocamento animal na paisagem, como os grandes vertebrados herbívoros ou carnívoros terrestres.

Nestes casos, tem sido recomendado o uso da paisagem regional que inclui mais de uma unidade de estudo (**BH**) ou regiões biogeográficas. Da mesma forma, muitas análises sócio-econômicas devem considerar as inúmeras bases de dados que extrapolam a **BH**, tais como os distritos, os municípios, as redes de cidades, os fluxos econômicos e as dinâmicas populacionais.

Estas considerações determinam a necessidade da distinção entre “unidade de análise” e “unidade de gerenciamento”. O primeiro conceito é eminentemente técnico-científico; o segundo, eminentemente político-administrativo. Gerir uma **BH** não significa submeter ou restringir a análise apenas às determinações da realidade interna à dinâmica da mesma. Há uma multiplicidade de relações internas e externas à **BH** que deve ser computada na análise, sem que isso implique em contradição com o recorte adotado para gestão. Deste equívoco provêm amplas discussões e demandas que tentam reduzir todo tipo de base de dados e análise exclusivamente à **BH**.

Neste contexto, a adoção da **BH** como unidade de gerenciamento representa uma estratégia cuja perspectiva mais ampla consiste em agregar valor à busca pelo Desenvolvimento Sustentável. Focar o estudo na unidade de gestão não significa unificar as unidades de análise específicas a cada disciplina científica. A utilização do conceito de **BH** como unidade de estudo e gerenciamento, direcionada à conservação dos recursos naturais, deve estar agregada ao conceito Desenvolvimento Sustentável, na perspectiva de atingir três metas básicas: (a) o desenvolvimento econômico; (b) a equidade social, econômica e ambiental, e (c) a sustentabilidade ambiental. Estes objetivos refletem a interdependência entre o desenvolvimento social e econômico a longo prazo e a proteção ambiental, mostrando a preocupação com o processo de degradação ambiental e a capacidade de manter as funções ambientais presentes em uma **BH**, além da necessidade de gerenciar os processos de desenvolvimento e proteção ambiental. O Desenvolvimento Sustentável é uma meta a longo prazo para a humanidade, que apenas estará consolidada quando a conservação com desenvolvimento for uma regra para todos.

Em síntese, o uso da **BH** como unidade de gerenciamento da paisagem é mais eficaz porque: (i) no âmbito local, é mais factível a aplicação de uma abordagem que compatibilize o desenvolvimento econômico e social com a proteção dos ecossistemas naturais, consi-

derando as interdependências com as esferas globais; (ii) o gerenciamento da **BH** permite a democratização das decisões, congregando as autoridades, os planejadores e os usuários (privados e públicos) bem como os representantes da comunidade (associações sócio-profissionais, de proteção ambiental, de moradores etc.), e (iii) permite a obtenção do equilíbrio financeiro pela combinação dos investimentos públicos (geralmente fragmentários e insuficientes, pois o custo das medidas para conservação dos recursos hídricos é alto) e a aplicação dos princípios usuário-pagador e poluidor-pagador, segundo os quais os usuários pagam taxas proporcionais aos usos, estabelecendo-se, assim, diversas categorias de usuários.

A adoção do conceito de **BH** para a conservação de recursos naturais está relacionada à possibilidade de avaliar, em uma determinada área geográfica, o seu potencial de desenvolvimento e a sua produtividade biológica, determinando as melhores formas de aproveitamento dos mesmos, com o mínimo impacto ambiental. Na prática, a utilização do conceito de **BH** consiste na determinação de um espaço físico funcional, sobre o qual devem ser desenvolvidos mecanismos de gerenciamento ambiental na perspectiva do desenvolvimento ambientalmente sustentável (utilização - conservação de recursos naturais). Neste sentido, as abordagens metodológicas utilizadas para estudar e gerenciar o espaço físico, compreendido pela **BH**, devem estar relacionadas às teorias e modelos que possam explicar, prever e organizar adequadamente as informações úteis ao processo de gestão ambiental.

Em uma abordagem destinada à tomada de decisão sobre o uso do espaço ou dos recursos naturais, o ator ou o grupo de atores que propõe uma ação, na maioria das vezes, não realiza um exercício de avaliação dos seus impactos, não compara alternativas, não avalia potenciais, não elabora cenários, não faz simulações. Simplesmente inicia sua ação e a realiza dentro de sua concepção particular para auferir lucros financeiros ou eleitoreiros, ou satisfação pessoal. Ainda que atenda aos procedimentos de licenciamento determinados pelo governo, raras são as vezes em que uma ação ou empreendimento deixa de ser realizado, em decorrência das falhas nos processos de avaliação necessários à obtenção da licença.

As ações de gestão ambiental direcionadas à conservação dos recursos naturais em **BH** devem ser realizadas ou mediadas pelo Poder Público. É de responsabilidade do Estado, em seus diferentes

níveis hierárquicos, decidir sobre as formas de uso do espaço e dos recursos naturais de um território. O uso da terra e dos seus recursos naturais deve ser observado como o capital primário de uma nação. Neste sentido, é obrigatório que sejam consideradas as características do ambiente para o desenvolvimento adequado e sustentável de uma determinada área sob planejamento. Esta premissa tem sido considerada a razão lógica e ecológica para assegurar o uso sustentável dos recursos naturais em países como a Inglaterra, França, Costa Rica, Austrália e EUA, que utilizam modelos espaciais de gerenciamento.

Abordagens Metodológicas

Uma série de abordagens metodológicas desenvolvidas para a análise dos recursos naturais e planejamento da paisagem tem sido utilizada para a conservação de **BH**. NAVEH & LIEBERMAN (1993) e FORMAN (1995) discutem com detalhes várias metodologias que servem para este propósito.

Na concepção deste trabalho, a abordagem metodológica para auxiliar a gestão de **BH** deve contemplar a fundamentação teórica da ecologia da paisagem, em que tomada de decisão do uso do espaço ou dos recursos naturais de uma área qualquer envolve necessariamente: (i) o conhecimento da estrutura ambiental; (ii) a compreensão de sua dinâmica (processos); (iii) a avaliação dos seus potenciais e limitações atuais; (iv) a simulação das respostas ambientais frente às ações propostas; (v) a comparação entre alternativas de outras possíveis ações, incluindo a não-ação; (vi) a determinação dos impactos associados a cada uma delas, e finalmente, (vi) a tomada de decisão sobre as formas de uso e conservação da área sob planejamento (STEINITZ, 1990a,b; 1991).

A definição de modelos apropriados para cada uma destas tarefas (Tabela1) auxilia na organização das informações e na coordenação das etapas a serem realizadas para gestão da **BH**.

Os sistemas de gestão de **BH** devem ter um suporte técnico-científico baseado no conhecimento da estrutura ambiental e na compreensão dos processos e fatores que intervêm sobre a unidade de gerenciamento. A formulação destes modelos conceituais permite coordenar a obtenção de informações e organizar as ações de Gestão

Ambiental e Econômico-social da área sob intervenção. Neste contexto, o zoneamento da **BH** consiste em uma etapa fundamental de planejamento para instrumentalizar e tornar operacionais as ações de manejo e conservação no âmbito da mesma. Somente o zoneamento, concebido como um instrumento técnico de produção e sistematização de informações e de negociação de uso do território, pode proporcionar à gestão da **BH** as condições mais adequadas de contextualizar a área de estudo em um conjunto de outras unidades maiores, de espacializar e correlacionar os dados disponíveis, de mostrar a interconexão entre as intervenções em uma área específica e o sistema ambiental, e de apresentar as alternativas e os respectivos custos aos usuários.

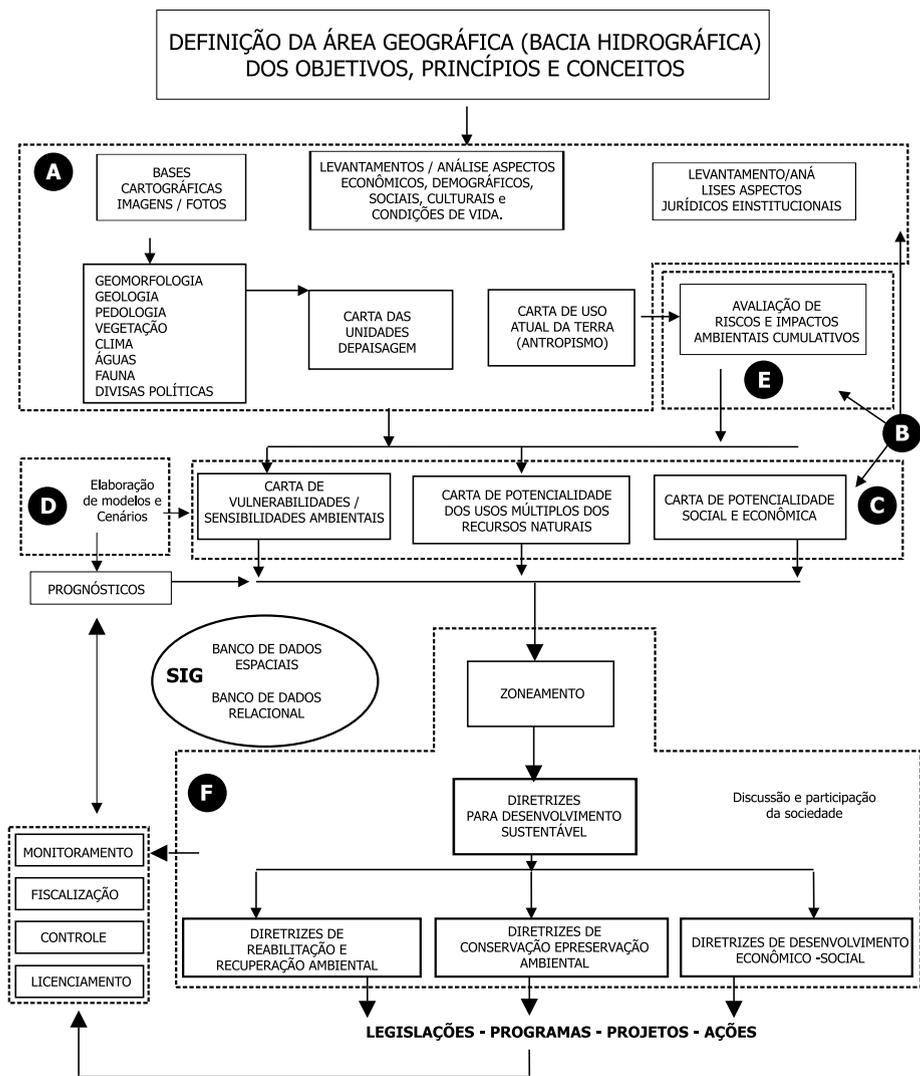
A Figura 1 apresenta um fluxograma, demonstrando como estes modelos auxiliam na organização do fluxo de informações, com relação às questões (Tabela1) que deverão ser respondidas para a execução das etapas necessárias à gestão da **BH**.

O modelo de representação (A) auxilia a descrever a estrutura ambiental da unidade, definindo os tipos de levantamento que devem ser executados e as formas de representação da mesma, incluindo os aspectos biofísicos, sócio-culturais e econômicos. O modelo de processos (B) instiga a pesquisa a respeito do funcionamento do sistema, procurando explicar como ocorrem os fluxos de energia e materiais na **BH** em relação à sua estrutura ambiental. É importante para a definição das cartas temáticas que auxiliarão na tomada de decisão sobre o uso do sistema e dos impactos resultantes dos diferentes usos da terra. Com base nestes modelos (A e B), todo o sistema deverá ser avaliado (modelo de avaliação C), e determinadas as áreas com potencial de uso sustentável, e aquelas cuja sensibilidade / vulnerabilidade ambiental induz a necessidade da proteção ou de esquemas específicos de uso da terra, visando a conservação dos recursos naturais. É importante ainda elaborar prognósticos e cenários (Modelo D), com e sem a implementação das medidas de manejo ambiental, que estão sendo propostas para a **BH**. Nesse sentido, devem ser executados estudos prognosticando possíveis mudanças ambientais, conforme os diferentes usos da terra que obedecem ou não às determinações preconizadas nas cartas de potencialidades e vulnerabilidades ambientais. Estes últimos modelos (B e C) deverão ser fundamentais para alimentar com informações o modelo de avaliação de impactos ambientais (modelo E), permitindo verificar quais tipos de ações são as causas de alterações da **BH** e pre-

Tabela 1 - Tipos de modelos conceituais elaborados para auxiliar no gerenciamento de Bacias Hidrográficas (BH) (modificado de STEINIZ, 1990).

QUESTÃO	MODELO	O QUE MEDIR?		ONDE CHEGAR?
Como a BH pode ser descrita?	MODELO DE REPRESENTAÇÃO (A)	Estrutura ambiental.	Solos, relevo, hidrografia, qualidade da água, biodiversidade, efeito de borda, grau de fragmentação, sistemas sócio-cultural e econômico, etc.	Representação: Qual a melhor forma de apresentação? Qual a qualidade? Que elementos e atributos são constituintes da BH? Sua forma, textura, cor, tipo, ponto, linha, polígono, classificação: natural, antrópica, / matriz, patch, corredor, município, estado, país. Como podem ser representadas: fotos, mapas, imagens, músicas, textos – relatórios? Qual a percepção da população sobre a área da BH?
Como funciona a BH?	MODELO DE PROCESSOS (B)	Relações entre a estrutura e o função do sistema.	Processos de erosão, sedimentação, troca de materiais, nutrientes, organismos	Processos : Qual a compreensão efetiva da dinâmica da BH ? Em que nível (regional, local)? Quão bem ela é percebida e usada? Como podem ser descritas estas relações? Existem modelos e análises sobre os processos? Quão complexo e preciso necessita ser o modelo (ou pode ser)? Isto demandará muitos esforços? Quais são os dados e informações que poderão subsidiá-lo? Estes existem ou necessitam ser coletados? (é uma área bastante conhecida para a compreensão dos processos que ali ocorrem? Pode-se presumir que os processos ocorrendo são estáveis no tempo e espaço? Apesar de variações culturais? Como a BH é moldada pelas forças que a formam: como a economia, política, legislação, cultura, sociedade?
A BH está funcionando bem?	MODELO DE AVALIAÇÃO (C)	Como avaliar se o sistema está funcionando bem?	Julgamentos métricos - estética (beleza), diversidade de habitats, saúde pública, satisfação do usuário, custos, fluxo de nutrientes, etc.	Avaliação: Como podem ser assinalados os diferentes valores para os diferentes elementos da BH? Quais são os critérios que podem ser determinados para avaliar se a BH ou os elementos da BH são ecologicamente importantes, ou saudáveis, agradáveis, economicamente caros, turisticamente importantes, potencialmente utilizáveis, etc.

QUESTÃO	MODELO	O QUE MEDIR?		ONDE CHEGAR?
<p>Como a BH pode ser alterada? Que tipo de ações, onde e como?</p>	<p>MODELO DE MUDANÇAS (VARIACÕES) (D)</p> <p>Como a BH pode ser alterada se prevalecerem as tendências atuais de uso? Como a BH pode ser alterada caso seja implementado algum tipo de uso dos recursos naturais?</p>	<p>Como a BH pode ser alterada se prevalecerem as tendências atuais de uso? Como a BH pode ser alterada caso seja implementado algum tipo de uso dos recursos naturais?</p>	<p>Determinação de modelos - seqüência de uso do solo no tempo e sua projeção para o futuro (que % e onde deverão ser estabelecidos tais tipos de uso do solo), e modelo de projeção de algum tipo de uso da terra pré concebido (onde deve ser implementado tal tipo de uso da terra de forma sustentável).</p>	<p>O que poderia acontecer caso não sejam determinadas formas adequadas de intervenção? Como podem ser retiradas informações através do estudo do passado (mudanças de uso do solo ou sucessão de ecossistemas) e prognosticar tendências futuras? Como podem ser verificadas marcas da seleção e adaptação? Como podem ser determinados os usos adequados e inadequados para uma área? Está sendo realmente previsto o que deverá acontecer? Com que precisão? São necessárias mais informações? Quais? Sobre o quê? Como segui-las?</p>
<p>Quais tipos de ações são previstas como causas de alterações da BH?</p>	<p>MODELO DE IMPACTOS (E)</p> <p>Uso do modelo de processos para avaliar problemas (impactos) relacionados a mudança de estrutura da BH, devido a certos usos da terra.</p>	<p>Quais processos serão impactados positiva e negativamente? Onde? Como? Quando? Em que magnitude?</p>	<p>Quais processos serão impactados positiva e negativamente? Onde? Como? Quando? Em que magnitude?</p>	<p>Como o impacto pode ser medido? Por qual variável? Como podem ser melhoradas as formas de medir? Existem informações suficientes para avaliar adequadamente o impacto? Quais são as alterações realmente importantes? Quais são suas causas e conseqüências?</p>
<p>Como a BH pode ser alterada (manejada)?</p>	<p>MODELO DE DECISÕES (F)</p> <p>Com que base decidir entre as alternativas de alterar ou conservar diferentes parcelas do espaço de uma BH.</p>	<p>Existem avaliações comparativas de alteração (usos da terra)? Existem avaliações comparativas entre estas alternativas para que possamos tomar decisões? Existem áreas específicas que podem ser alteradas dentro da BH com um bom aproveitamento de recursos naturais e mínimo de impacto ambiental?</p>	<p>Existem alternativas entre os tipos de alteração (usos da terra)? Existem avaliações comparativas entre estas alternativas para que possamos tomar decisões? Existem áreas específicas que podem ser alteradas dentro da BH com um bom aproveitamento de recursos naturais e mínimo de impacto ambiental?</p>	<p>Existem alternativas? Como saber quais são as melhores alternativas? Como saber se entre elas foi selecionada a mais certa? O que indica isto? As alternativas consideram as gerações futuras e a sustentabilidade do sistema? Consideram a manutenção da biodiversidade e dos processos essenciais? Quais são os critérios para a tomada de decisão? (custos, riscos, sustentabilidade ecológica, eficiência energética, saúde, equidade social). A decisão do zoneamento é baseada no melhor conhecimento atual do sistema? Foi baseada em uma visão local, regional ou nacional? Podem ser determinadas diretrizes básicas para o uso dos recursos naturais na BH? Onde e como utilizar?</p>



MODELOS (Tabela 1)

A DE REPRESENTAÇÃO

C DE AVALIAÇÃO

E DE IMPACTOS

B DE PROCESSOS

D DE MUDANÇAS

F DE DECISÕES

Figura 1 - Fluxograma demonstrando as etapas necessárias à gestão de uma bacia hidrográfica (Modificado de ROSS & DEL PRETE, 1997, 1998) e sua relação com os modelos relacionados na Tabela 1.

ver possíveis impactos e riscos ambientais frente à expansão destas ações ou implementação de novos empreendimentos. Finalmente, o modelo de decisões (F), com base em critérios técnico-científicos (modelos A,B,C,D,E), deverá definir como e onde a **BH** deverá ser manejada, estabelecendo um zoneamento ambiental e as diretrizes de usos, recuperação e preservação das diferentes parcelas do espaço do território sob planejamento. Estas diretrizes deverão orientar os demais instrumentos de gestão ambiental (fiscalização, controle, licenciamento, monitoramento), de acordo com a premissa básica de utilização sustentada dos recursos naturais da **BH**.

Além da visão espacial e temporal adequada da unidade de gerenciamento, o principal desafio para a gestão da **BH** é englobar todas as questões biofísicas e humanas que estão contidas na unidade ou são exteriores a ela e têm implicações significativas para a sua dinâmica, integrando as dimensões humanas, culturais, sócio-econômicas, estéticas, e outras que não são espacialmente definidas. A análise e incorporação de questões envolvendo os recursos hídricos, geológicos, pedológicos, biológicos, sociais, culturais, econômicos, estéticos, e muitos outros são os fatores essenciais que todos os planos, projetos e tipos de manejo e administração da **BH** deveriam abordar.

De forma genérica, uma **BH** pode ser subdividida em dois compartimentos interdependentes, caracterizados geomorfológicamente por uma região de terra firme (Compartimento TF) e uma de Planície (PL), onde pode ser encontrado o rio principal e as áreas alagáveis. As regiões planas de uma **BH**, representadas pelas áreas alagáveis, desempenham um importante papel ecológico no controle das inundações, regulando as enchentes e vazantes do rio principal. Em geral, as áreas alagáveis funcionam como um eficiente filtro biológico, garantindo a qualidade do recurso hídrico. Esta função na regulação da quantidade e qualidade da água do sistema é de extrema importância não somente para este compartimento, como também para toda a **BH**, sendo considerado um sistema estratégico para a sustentabilidade das atividades sociais e econômicas em termos regionais. Desta forma, a análise das questões ambientais mais importantes pode ser centrada nos efeitos das atividades antrópicas sobre estes compartimentos e sua repercussão em toda a **BH**.

Causas Gerais de Ameaças

As principais causas de ameaças à qualidade ambiental em uma **BH** estão relacionadas às atividades não sustentáveis, com fins de lucro imediato, que não computam os custos ambientais e sociais, repassando-os a terceiros. São gerados, assim, problemas ambientais diversos e interconectados que deverão resultar em sérios prejuízos econômicos e sociais para a **BH**. Deve ser ressaltada, entretanto, a necessidade de serem identificadas as causas imediatas, aquelas provenientes de ações localizadas na própria **BH**, e as causas mais distantes, mas não menos influentes, que provêm de ações externas à mesma, mas modificam a sua dinâmica interna.

Os impactos de maior ocorrência em **BH** estão associados aos problemas de erosão dos solos, sedimentação de canais navegáveis, enchentes, perda da qualidade da água e do pescado e aumento do risco de extinção de elementos da fauna e flora. Dentro deste contexto, o estabelecimento de medidas de controle e gerenciamento dos recursos naturais, através de um modelo de gestão integrado e eficiente para responder a essas questões ambientais, torna-se uma tarefa de extrema importância. Este modelo deve estar fundamentado em considerações relacionadas à gestão de bens comuns, como a água e a biota, que, embora presentes em propriedades particulares, a decisão sobre o uso, consumo e destruição dos mesmos não pode ser tomada unilateralmente, por afetar outros usuários. Esta gestão deve exprimir a preocupação em assegurar a renovação da base dos recursos naturais, num horizonte a longo prazo, com base no desenvolvimento de uma consciência ambiental de todos os atores sociais envolvidos que interagem com a **BH**. Os solos, a água e a biota da unidade de gerenciamento (**BH**), incluindo os compartimentos Planície e TF, são bens comuns e patrimônio da união, e, neste sentido, qualquer atividade potencialmente causadora de danos ambientais nos mesmos, deverá ser passível de controle. A legislação nacional e os tratados internacionais em relação ao uso da água, solos e da biodiversidade necessitam ser conhecidos, regulamentados, aplicados e respeitados em todos os níveis de governo, por meio de um sistema de gerenciamento ágil e dinâmico, na perspectiva de impedir quaisquer tendências de deterioração desses recursos naturais. A Tabela 2 sumariza as principais causas de ameaças para o desenvolvimento sustentável de uma **BH**.

Pesca

Tabela 2 – Tipo, grau, amplitude geográfica e causas das principais ameaças ambientais observadas em Bacias Hidrográficas.

TIPO DE AMEAÇA	GRAU DE AMEAÇA	AMPLITUDE GEOGRÁFICA	CAUSAS PRINCIPAIS
Perda de Biodiversidade (ecossistemas, espécies e genes)	Severo (nível genético principalmente) / Irreversível no caso de espécies em extinção.	Toda a bacia hidrográfica, incluindo as águas a jusante da mesma. Significado ecológico global tendo em vista a riqueza de espécies endêmicas nos trópicos, e a falta de conhecimento científico.	Desmatamento para fins agrícolas/pecuários em áreas de alta biodiversidade. Sobrepesca. Turismo desordenado. Metais pesados e outros produtos tóxicos derivados de atividades industriais e minerais; Outras substâncias tóxicas derivadas de biocidas utilizados na agricultura.
Perda de recursos alimentares (pescado).	Severo / iminente. Danos às populações de áreas ribeirinhas que serão afetadas em seu único meio de sobrevivência	Toda a bacia hidrográfica, incluindo as águas a jusante da mesma. Significado social e ecológico regional	Derivados de biocidas utilizados na agricultura. Comércio ilegal de animais ou produtos derivados. Crescimento desordenado da malha urbana. Falta de saneamento básico. Crescimento das áreas de cultivo com cultura tecnificada.
Poluição das águas por matéria orgânica, nutrientes, patógenos e contaminação por produtos tóxicos.	Severo / iminente (tendo em vista a expansão das atividades urbanas / industriais e agrícolas na bacia hidrográfica.	Toda a bacia hidrográfica, incluindo as águas a jusante da mesma. Significado social e ecológico regional.	Crescimento potencial de regiões específicas dentro da bacia hidrográfica após a implantação de infra-estrutura (estradas, sistemas de geração de energia). Expansão das atividades agrícolas e pecuárias – erosão dos solos na bacia hidrográfica.
Sedimentação precoce de habitats aquáticos e assoreamento de canais navegáveis.	Severo	Planícies (áreas alagáveis) e sistemas riverinos. Significado social e ecológico regional.	Destruição de matas galeria / e demais áreas naturais protetoras. Obras de engenharia que modificam a geomorfologia fluvial.

A produtividade pesqueira nos corpos d'água em uma bacia hidrográfica está relacionada à produtividade biológica nas áreas de alagamento, muito mais alta do que nos corpos d'água permanentes.

Os rios associados a sistemas planície de inundação possuem grande potencial para pesca, devido à grande quantidade de nutrientes e detritos exportados para esses sistemas hídricos, oferecendo uma fonte considerável de alimento para o zooplâncton, o bentos e peixes. Além disto, esses sistemas funcionam como área de abrigo, reprodução e alimentação de diversas espécies aquáticas, semi-aquáticas e terrestres, que ali se encontram devido à riqueza de alimento. As áreas de proteção, representadas pelas áreas alagáveis, constituem o habitat de indivíduos jovens de diversas espécies de peixes, que quando adultos irão povoar os sistemas riverinos. Em uma **BH** os rios funcionam como rotas de migração para os peixes, que podem assessar às áreas alagáveis para procriação e alimentação. A base da cadeia alimentar em **BH** com áreas alagáveis é, sem dúvida, a produção de peixes, que serve de alicerce para a riqueza da fauna que dela se aproveita, bem

como para a pesca artesanal, turística e industrial, além das áreas que se encontram à jusante desses sistemas. Além de sustentar as populações humanas ribeirinhas, tem sido considerado que o desenvolvimento do turismo e da pesca desportiva e industrial em uma **BH** serão comprometidos caso não sejam tomadas providências para a conservação e manutenção das condições naturais nos compartimento de planície e TF que a constituem.

As áreas alagáveis das **BH** constituem a maior reserva de peixes, tanto em número de espécies como em abundância. As principais causas das agressões sofridas pela ictiofauna estão relacionadas aos desmatamentos ao longo dos rios (matas de galeria) e em suas cabeceiras, com o uso de agrotóxicos e com as atividades urbanas e de mineração.

Entre as principais causas dos problemas ambientais relacionados à perda de biodiversidade e à diminuição da produtividade biológica nas **BH**, incluindo a de espécies de vertebrados aquáticos e terrestres, estão a pesca desordenada e predatória (sobrepesca), o turismo predatório, a caça ilegal, a destruição de habitats para fins agropecuários, de forma direta, e as alterações no regime hidrológico e contaminação de habitats que afetam os ecossistemas naturais. É urgente que estas questões ambientais sejam gerenciadas, na perspectiva do aproveitamento racional dos recursos naturais presentes na **BH** sem comprometer a sustentabilidade da mesma.

Substâncias Tóxicas - metais e pesticidas

Outra função muito importante das áreas alagáveis está relacionada com a reciclagem de produtos tóxicos e poluentes e retenção de sedimentos. Estes produtos, oriundos de atividades antrópicas realizadas na **BH**, são incorporados nos sedimentos e na vegetação e temporariamente imobilizados. Desta forma, áreas alagáveis podem apresentar acumulação de materiais de origem residual antrópica nos sedimentos, que são processados, decompostos e, muitas vezes, novamente disponibilizados como elementos lixiviados para a água circundante. Naturalmente, essa taxa de acumulação e liberação depende da taxa do fluxo de água através do sistema das condições limnológicas, e do tipo e concentração do elemento. Nesse sentido, deve ser evitada a disposição inadequada de material tóxico e poluente oriundo da agricultura, mineração, indústria e urbanização, desde que, quando incorporado à cadeia trófica ou livre nas águas, pode causar sérios problemas à saúde

das populações humanas residentes na **BH**.

As principais causas dos problemas ambientais relacionados à presença de materiais tóxicos em BH estão associadas às atividades de mineração; ao uso de agrotóxicos no cultivo agrícola de soja, arroz e cana de açúcar entre outras; com os produtos lixiviados de resíduos sólidos oriundos das áreas urbanas (lixo) e industriais (baterias, pilhas, solventes, combustíveis, isolantes térmicos etc). O aumento das áreas de cultivo agrícola extensivo em áreas anteriormente ocupadas com vegetação nativa, associado ao uso indiscriminado de pesticidas, tem aumentado a preocupação com a contaminação das cabeceiras dos corpos d'água e seu efeito sobre a qualidade do pescado e sobre a saúde das populações humanas residentes na **BH**.

Erosão dos solos e assoreamento de corpos d'água.

A retenção de sólidos (assoreamento) nas planícies inundáveis e nos rios associados também proporcionam grande preocupação. As modificações geomorfológicas da planície de inundação podem influenciar sua produtividade biológica, determinando uma mudança nos padrões de produtividade pesqueira de toda a **BH**, além de interferir no transporte fluvial e no padrão de cheias.

Parte da carga anormal de sedimento oriundo da região do Compartimento Terra Firme (CTF) pode ser a responsável pelo assoreamento precoce de certas áreas da planície de inundação. Este sedimento indica a perda dos solos superficiais, responsáveis pela produção agrícola no CTF, resultando, a médio prazo, no empobrecimento social e econômico de toda a **BH**, principalmente aquela cuja economia está baseada na agricultura. Invariavelmente, uma das principais causas da erosão do solo é a produção mecanizada em larga escala no Compartimento TF. Além disto, a erosão de solos e degradação de terras agriculturáveis provocam um aumento na pressão do uso dos sistemas naturais, por meio do desmatamento para fins agrícolas, agravando a perda da diversidade biológica. É fundamental a identificação de áreas prioritárias onde estes problemas ocorrem e, conseqüentemente, a tomada de medidas de controle e correção.

Os processos de sedimentação e mudanças no regime de cheias são ampliados devido ao problema da erosão dos solos. Estes processos são responsáveis pelas modificações do leito e alinhamento dos rios e, como consequência, provocam o aumento do período de

inundação das áreas ribeirinhas, além da maior frequência de inundação e erosão localizada em áreas urbanas devido à destruição de matas ciliares.

Os problemas decorrentes da erosão dos solos e do assoreamento estão relacionados com a abertura e uso inadequado de áreas voltadas à agricultura e à pecuária, incluindo a destruição de áreas de preservação permanente (matas de encosta e matas ciliares), além da ampliação de áreas de expansão urbana. Outra causa não menos importante, porém mais localizada, é a abertura de áreas para mineração.

Perda de Biodiversidade

A perda de biodiversidade contempla três problemas interconectados. O primeiro deles está relacionado à destruição e à fragmentação de habitats. A abertura de novas áreas para a agricultura e pecuária não considera os aspectos relativos à conservação da biodiversidade, envolvendo desmatamentos em áreas particularmente ricas em diversidade biológica ou consideradas como refúgio ou corredores da fauna e flora silvestre. Estas ações provocam um aumento nas taxas de extinção local de espécies importantes que, a médio e longo prazos, determinarão um desequilíbrio ambiental (aumento de espécies praga, por exemplo). Além disto, como a perda de espécies e de sua diversidade genética é proporcional à área desmatada, uma outra preocupação está relacionada com o estoque genético desconhecido das áreas de floresta desmatada, que tem sido eliminado sem que exista a chance de conhecer os seus constituintes.

A perda de espécies e material genético assume proporções alarmantes, devido à riqueza endêmica dos ecossistemas tropicais. Outro aspecto importante é a diminuição do fator de atração turística promovido pela fauna, diminuindo o potencial desta atividade em certas regiões de uma **BH**. É importante ressaltar que apenas 5% da biodiversidade mundial é conhecida e que a perda de espécies pode ser um fator negativo para o desenvolvimento humano sustentável (agrícola, pecuário, industrial, cultural), devido à perda do potencial de uso da maioria das espécies.

Um outro problema inclui a exploração excessiva da fauna e flora silvestre. Este aspecto pode ser observado principalmente em relação à pesca. A pesca excessiva ou sobrepesca tem sido a responsável pela redução nos estoques pesqueiros e na perda local de espécies impor-

tantes para a própria manutenção da biodiversidade. A pesca, tanto profissional como recreacional, pode ser considerada a principal fonte de renda para alguns municípios que dela vivem ou que atraem turistas devido à piscosidade de seus rios. Além dos aspectos relacionados à diminuição da oferta de alimento variado para as faunas terrestre e alada e para o ribeirinho, a diminuição de espécies de pescado pode repercutir em um impacto negativo pela perda de material genético, importantíssimo para o futuro desenvolvimento de sistemas de produção em cativeiro (aquacultura). Grande parte da população ribeirinha no Brasil vive da pesca e a diminuição do pescado ou de sua qualidade deverá afetar todo esse contingente humano.

O terceiro aspecto, não menos preocupante, está relacionado à caça e ao comércio ilegal de produtos (peles, penas) e de animais e plantas silvestres. O Brasil, como os demais países do terceiro mundo, desempenha o papel de exportador de matéria-prima, transferindo riquezas naturais para os países desenvolvidos, sendo considerado entre as nações que mais exportam produtos da fauna e flora silvestre. Algumas estimativas apontam o Brasil como responsável pelo movimento de uma porcentagem entre 10 a 15% do mercado mundial ilegal que comercializa espécies selvagens. Segundo relatórios da WWF, a sua condição como país periférico no cenário econômico mundial, somado à riqueza de sua biodiversidade, às dificuldades operacionais, à ineficiência dos órgãos governamentais e às péssimas condições de vida predominantes na maioria de sua população, contribuem para perpetuar e reforçar esta situação.

Uma outra questão ambiental potencial que merece destaque é o programa de implantação de hidrovias. Um aspecto extremamente importante relacionado a este programa consiste na dragagem de rios, previstos nos projetos hidroviários. Entre os possíveis impactos advindos desta atividade pode ser considerada a alteração do ciclo hidrológico, que poderá provocar impactos associados à possibilidade de ocorrência de inundações devido à alteração do controle hídrico natural, a retificação dos rios navegáveis e o aumento da velocidade das águas. Como conseqüência dos distúrbios no regime hídrico, pode ocorrer um aumento na incidência das enchentes à jusante da **BH**. Além disto, com o aumento da correnteza, os períodos de cheias podem ser reduzidos, afetando as áreas de alagamento, com prejuízos associados à destruição de ecossistemas e ao desaparecimento de atividades

econômicas, como a pesca. O impacto sobre o clima regional também pode ser significativo, embora difícil de ser avaliado com precisão. Um outro tipo de impacto possível está representado pela destruição de áreas da planície de inundação, consideradas importantes do ponto de vista ecológico, desde que o rio principal seria alterado para um maior declive, passando a atuar como um dreno, degradando áreas alagáveis e lagoas marginais, provocando a perda de riqueza genética da fauna e da flora e especialmente da pesca localizadas nestas áreas.

Outros efeitos adversos podem estar relacionados com o aumento do transporte através da hidrovia, com as obras de expansão portuária, com o aumento da contaminação e riscos de acidentes por cargas perigosas (pesticidas e outros produtos químicos). A entrada de frotas pesqueiras e frigoríficas em rios, cuja legislação de proteção à pesca (épocas de reprodução) e ao meio ambiente são frágeis e com fiscalização pouco eficiente, também são aspectos relevantes que devem ser entendidos e manejados.

Uma outra série de impactos ambientais adicionais certamente poderá ocorrer, com a expansão da área produtiva ao longo da hidrovia. Considerados como impactos indiretos, nem por isso menos preocupantes, as hidrovias irão estimular a expansão da fronteira agrícola nas margens dos rios, pela rentabilidade do transporte. Essa expansão da agricultura poderá estimular a ocorrência de desmatamentos e o uso de terras inadequadas para essa atividade.

A questão das hidrovias, no modelo que se pretende implantar, ainda não está clara e permanece polêmica. É necessário, entretanto, que seus impactos sejam discutidos com base na incorporação de novos dados e da geração de níveis atualizados de informação. É importante salientar que o princípio da prevenção (Agenda 21, Princípio 15) deve ser estabelecido, quando o conhecimento dos impactos sobre ecossistemas ainda é insuficiente.

O gerenciamento de todos estes problemas ambientais é basicamente dependente de estudos relacionados à avaliação dos fatores que têm causado a degradação ou o declínio dos recursos naturais, como também das atividades antrópicas associadas a riscos potenciais para estes recursos, auxiliando na formulação de propostas para o manejo sustentado dos mesmos. Estes estudos devem estar voltados à adoção de medidas de gerenciamento dos problemas ambientais, propondo novas metodologias de avaliação de impactos e estabelecer a capaci-

dade de renovação dos recursos naturais, associadas à melhoria das formas de manejo das diferentes atividades, na perspectiva de otimizar o uso e estabelecer os limites de exploração dos recursos naturais na Bacia Hidrográfica.

Parâmetros Físicos para Gerenciamento de Bacias Hidrográficas

Reinaldo LORANDI & Cláudio Jorge CANÇADO

Para enfrentar os problemas que envolvem os recursos hídricos, a Política Nacional dos Recursos Hídricos – Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997 – recomenda a utilização de uma abordagem integrada envolvendo a bacia de drenagem e o conceito de ecossistema, isto é, uma avaliação significativa de como ocorrem as relações entre meios bióticos e abióticos de uma bacia e seus recursos hídricos.

As abordagens de planejamento e gerenciamento que utilizam a bacia hidrográfica como unidade de trabalho têm evoluído bastante, pois as características biogeofísicas dessas bacias apresentam sistemas ecológicos e hidrológicos relativamente coesos.

Portanto, o planejamento e gerenciamento de bacias hidrográficas¹ devem: a) incorporar todos os recursos ambientais da área de drenagem e não apenas o hídrico; b) adotar uma abordagem de integração dos aspectos ambientais, sociais, econômicos e políticos, com ênfase nos primeiros e, c) incluir os objetivos de qualidade ambiental para utilização dos recursos, procurando aumentar a produtividade dos mesmos e, ao mesmo tempo, diminuir os impactos e riscos ambientais na bacia de drenagem. Nesse sentido, a viabilidade econômica e social de alternativas de um programa de desenvolvimento deveria contemplar as alternativas ambientais tais como conservação e proteção dos recursos hídricos, uso adequado dos solos, manutenção das matas marginais, utilização racional dos recursos naturais, entre outros, dentro do princípio da sustentabilidade adotado na Agenda 21.

O Zoneamento Ambiental constituído das etapas de Diagnóstico Ambiental e Prognóstico Ambiental consiste na divisão do território

¹ Segundo TUCCI (1993), bacia hidrográfica é a área total de superfície de terreno de captação natural da água precipitada, na qual um aquífero ou um sistema fluvial recolhe sua água.

estudado tendo como base a classificação ambiental dos parâmetros físicos associados e a conseqüente análise dos quadros ambientais atuais e futuros, no que diz respeito aos instrumentos de controle das atividades antrópicas e suas respectivas políticas públicas, observando-se a periodização do desenvolvimento industrial e sua reestruturação em prol da sustentabilidade ambiental.

O presente capítulo tem por objetivo analisar os parâmetros físicos que interferem no gerenciamento de Bacias Hidrográficas, visando uma abordagem integrada dos parâmetros físicos e suas conseqüências, propiciando um adequado planejamento das atividades antrópicas.

Parâmetros Físicos

Clima

Os processos atmosféricos se apresentam influentes em uma série de sucessões de estados ou de mudanças que ocorrem em outras partes do ambiente, principalmente na biosfera, hidrosfera e litosfera. Logo, os estudos climáticos são extremamente importantes em estudos de cunho ambiental, visto que os mesmos apresentam-se integrados à maioria dos fenômenos observados nos ecossistemas existentes e, particularmente, em bacias hidrográficas. Torna-se, assim, de grande relevância o entendimento dos conceitos de tempo e clima.

O tempo caracteriza-se como o estado médio da atmosfera em um espaço de tempo e em um determinado lugar. Já o clima se caracteriza por uma síntese em relação à variabilidade, condições extremas e as probabilidades de ocorrência de determinadas condições de tempo. Assim, considera-se o tempo e o clima como um resultado da ação de processos complexos sobre a atmosfera, os oceanos e os solos/rochas.

Os quatro domínios globais (a atmosfera, a hidrosfera, a litosfera e a biosfera) se apresentam não superpostos, mas trocam matéria e energia entre si. Conforme pode ser visto na Figura 1, o clima mostra-se influente em relação à vegetação, à fauna, ao solo, e às atividades antrópicas, sendo um fator limitante para estes.

Assim, cita-se a condição do clima na formação dos solos através do fenômeno do intemperismo e, também, nas forças externas que alteram e constroem a forma da superfície terrestre. Conseqüentemente, determina as mais diversas atividades antrópicas, a formação

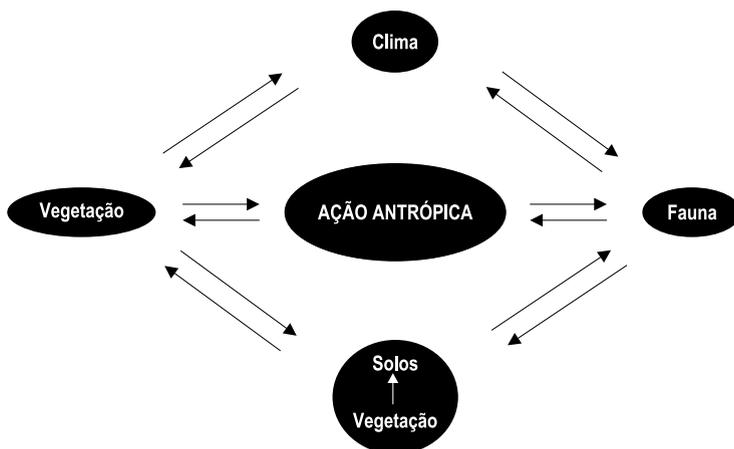


Figura 1 - A relação da climatologia com os estudos ambientais - adaptado de AYOADE (1998)

vegetacional e a fauna predominantes em cada região.

As condições climáticas próximas à superfície terrestre afetadas por elementos de paisagens naturais ou não, pela vegetação e pelas atividades antrópicas. Analisando-se os processos geomorfológicos, pedológicos e ecológicos, incluindo o relevo que eles originam, observa-se que sua assimilação em relação à sua gênese se reporta ao clima predominante atual e passado, sendo assim este significativamente importante para a evolução e estabilização dos ecossistemas.

Logo, uma alteração no clima acarreta uma mudança na circulação geral da atmosfera, sendo que a mesma envolve o restante do ciclo climático: a hidrosfera, a biosfera, a litosfera e a criosfera (camada de gelo). Dessa maneira, segundo AYOADE (1998), o clima se mostra dependente, principalmente, de dois fatores: a) da natureza dos componentes do ciclo climático e suas interações; b) da natureza das condições geofísicas exteriores ao ciclo climático e suas interações.

Na Figura 2, mostra-se a influência do clima na atmosfera, sendo os principais fatores relacionados ao clima: radiação solar, temperatura, velocidade e direção dos ventos, precipitação, umidade e camadas atmosféricas.

A incidência de radiação solar influi na distribuição das cidades e dos tipos de construção existentes. Em algumas áreas, deve-se favorecer a e, em outras, controlá-la para que sua intensidade seja redu-

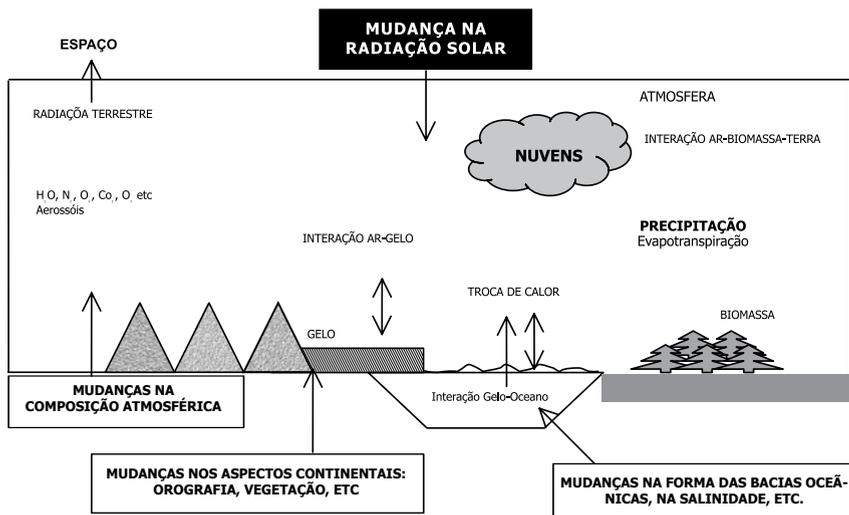


Figura 2 – O sistema climático mundial (adaptado de AYOADE, 1998)

zida e produza menos efeitos térmicos. Especificamente em cidades, a temperatura relaciona-se com áreas pavimentadas que absorvem mais calor (ou radiação solar) durante o dia e o expõem durante a noite, aumentando a temperatura. Analisando-se o escoamento sobre a pavimentação, observa-se que a água escoam com maior velocidade e, com isso, apresenta uma evaporação mais rápida e uma conseqüente diminuição do efeito de resfriamento da superfície provocado pela mesma.

Um problema que se torna cada vez mais comum nas cidades e está relacionado com a temperatura é o efeito de formação das “ilhas de calor” que corresponde a uma área em que a temperatura de superfície é maior que nas áreas circunvizinhas, propiciando a formação de um clima local. Esse efeito se dá devido à redução da evaporação, ao aumento da rugosidade e às propriedades térmicas das construções e dos materiais pavimentados existentes no local de ocorrência, causando a sensação térmica de áreas áridas ou desérticas.

As precipitações nas cidades geralmente são maiores que no campo, devido à grande concentração de atividades antrópicas que propiciam um maior número de núcleos de condensação no meio urbano. Entretanto, constata-se que a umidade relativa nas áreas urbanas se mostra menor que no campo.

Um impacto possível da grande verticalização sobre o clima, observado nas áreas submetidas a uma forte especulação imobiliária,

relaciona-se com sua atuação sobre a velocidade e a direção dos ventos, podendo dificultar a circulação e amenização do clima devido à geração de grandes barramentos artificiais.

Atualmente, observa-se uma grande ocorrência de inversões térmicas nas camadas de ar provocadas pela emissão e dispersão de poluentes atmosféricos resultantes da industrialização, as quais estão intimamente relacionadas à velocidade e direção dos ventos.

As Tabelas 1 e 2 demonstram as diferenças entre o meio urbano e rural advindas da urbanização.

Tabela 1 - Mudanças médias das características climáticas devido à urbanização

CARACTERÍSTICAS	COMPARAÇÃO COM MEIO RURAL
Radiação	
global	15 a 20% menor
ultravioleta (no inverno)	30% menor
ultravioleta (no verão)	5% menor
duração de exposição ao sol	5 a 15% menor
Temperatura	
média anual	0,5 a 1,0° C maior
média das mínimas no inverno	1 a 2° C maior
Contaminantes (poluentes atmosféricos)	
núcleos e partículas de condensação	10 vezes maior
misturas gasosas	5 a 25 vezes maior
Velocidade do Vento	
média anual	20 a 30 % menor
rajadas extremas	10 a 20 % menor
calmarias	5 a 20% menor
Precipitação	
total	5 a 10% maior
dias com menos de 5mm	10% maior
Nebulosidade	
cobertura	5 a 10% maior
nevoeiro (no inverno)	100% maior
nevoeiro (no verão)	30% maior
Umidade relativa	
no inverno	2% menor
no verão	8% menor

FONTE: Adaptado de LANDSBERG, H. E. (1970), citado em MOTA. (1999)

Tabela 2 – Comparação entre as características meteorológicas dos meios urbano e rural

Características	Valor no meio urbano em relação ao meio rural (em média)
Temperatura mínima diária	2,5°C mais alta
Umidade relativa (no verão)	8% menor
Movimento total do ar	25% menor
Radiação solar	15% menor
Precipitação total	10% maior
Cobertura de nuvens (todos os tipos)	10% maior
Frequência de nevoeiro (inverno)	100% maior

FONTE: LOWRY & BRUBEL, citados em PEAUVY, HOWE & TCHOBANOGLOUS (1985)

Por fim, os desmatamentos observados tanto na área rural quanto na urbana contribuem para a alteração das condições climáticas, visto que a vegetação auxilia no controle da temperatura e da umidade, além de contribuir para uma melhor ventilação.

Vê-se, de forma objetiva, que as alterações climáticas geradas por uma urbanização sem planejamento, controle e legislação pertinente apresentam-se visíveis e com impacto significativo sobre a qualidade de vida das populações urbanas.

Dessa forma, as alterações descritas anteriormente afetam diretamente o clima local e regional, especificamente as bacias hidrográficas. Estas alterações, inicialmente imperceptíveis, tornam-se, ano após ano, progressivamente perceptíveis, mudando sensivelmente as características climáticas anteriores. Entretanto, cabe salientar que as conseqüências maiores serão sentidas a longo prazo, pois poderão surgir problemas de cunho ambiental como enchentes, “ilhas de calor”, poluição hídrica acentuada, entre outros, causados pelas ações antrópicas não planejadas e descontroladas no âmbito das bacias hidrográficas.

Geomorfologia, Geologia e Pedologia

Dentre as múltiplas funções da água, destaca-se seu papel como agente modelador e transformador do relevo da superfície terrestre no que tange ao controle e ao comportamento mecânico das camadas de solos e rochas.

O estudo da geomorfologia, geologia e pedologia torna-se fundamental para a compreensão e determinação desta transformação.

Assim sendo, o solo apresenta-se como fator físico influente no gerenciamento de bacias hidrográficas, sendo que sua correta utilização e conservação é de suma importância nos processos que atuam sobre as mesmas. Observa-se, no entanto, que o solo, para o ser humano, caracteriza-se como um recurso inesgotável, pois o mesmo não se preocupa com o período necessário à sua recuperação, além de que, quando o maneja, o principal objetivo é atender às suas necessidades e raramente há uma preocupação com sua conservação.

Geomorfologia

Por serem capazes de modificar grandes extensões da superfície, os cursos d'água constituem-se no processo morfogenético mais atuante na esculturação da paisagem terrestre.

Dentre a grande quantidade de variáveis geomorfológicas que podem ser analisadas, destacam-se:

Morfometria. Utilizada com o objetivo de encontrar ligações entre parâmetros tradicionalmente descritivos de uma bacia e seus possíveis condicionamentos. Usada por geólogos e pedólogos, em estudos de zoneamento geotécnico e classificação de solos, respectivamente, a caracterização morfométrica apresenta as seguintes variáveis, sintetizadas por CHRISTOFOLETTI (1999) quando se estuda:

- uma bacia: área e perímetro, forma, amplitude altimétrica, comprimento, comprimento total dos canais, quantidade de rios, densidade de drenagem, densidade de rios, relação de bifurcação, índice de dissecação e índice de rugosidade;
- uma vertente: altura, comprimento, ângulo da declividade, largura, área ocupada, granulometria, rugosidade, espessura, densidade de sulcos ou ravinamentos, áreas ocupadas por matas ou tipos de uso do solo, altura média da vegetação, proporcionalidade de recobrimento, conteúdo de umidade do solo ou do manto decomposto, porosidade do solo ou manto decomposto e conteúdo orgânico do solo.

Hipsometria. A análise hipsométrica, associada a estimativas de escoamento superficial da água, pode ser utilizada, por exemplo, para identificar as áreas de maior produção relativa de sedimentos e no

estudo das perspectivas de assoreamento de reservatórios superficiais de uma bacia. Essa produção, está estritamente relacionada com os fenômenos de erosão que se produzem na configuração topográfica de uma área de drenagem.

Faz-se, portanto, necessário estabelecer parâmetros que possam ser utilizados na quantificação dos aspectos altitudinais de seu relevo e a estimativa de seu estágio de erosão.

O estudo deve ser executado no âmbito das principais sub-bacias e envolve: a) construção de curvas hipsométricas, a partir das quais são obtidas as seguintes variáveis: coeficiente de massividade, integral hipsométrica, altura média e coeficiente orográfico, área e amplitude hipsométrica; b) estimativa do escoamento superficial, através da fórmula $Es = R\% \cdot U \cdot A \cdot P$, onde R%: rendimento pluvial da bacia; A: dimensão da área da bacia, U: caracterização de seu relevo e P: índice médio de precipitação pluviométrica.

Na Tabela 3, é apresentado um exemplo de utilização da geomorfologia como ferramenta para identificação de segmentos de vale.

Geologia

Os fatores geológicos que influenciam na dinâmica de uma bacia de drenagem são representados, pelo tipo de substrato rochoso e por alguns dos processos exógenos e endógenos que se desenvolvem na crosta terrestre.

- Substrato rochoso: através da utilização de técnicas de sensoriamento remoto, é possível identificar o controle do substrato rochoso sobre os canais de drenagem. Esse controle pode ser visualizado através dos padrões de drenagem, onde se pode caracterizar cursos associados às camadas superficiais de texturas grosseiras (contornos alongados, menor número de canais, seção transversal em forma de "U", rochas mais permeáveis) ou texturas finas (arranjo mais intrincado e angular, pequeno número de tributários, seção transversal em forma de "V", maior escoamento, densidade maior de canais de drenagem). Em áreas do cristalino, vertentes convexas desenvolvem-se principalmente sobre rochas granitóides e migmatitos estromatíticos. Na maior parte dos chamados campos altos, o setor inferior é retilíneo, e nas áreas mais elevadas da borda de um

Tabela 3 – Exemplos de características geomórficas do fundo de vale e vertente lateral usadas para identificar 18 tipos de segmentos de vale em áreas de florestas de Washington, USA.

TIPO DE SEGMENTO DE VALE	GRADIENTE DO FUNDO DO VALE	GRADIENTE DAS VERTENTES	LARGURA DO FUNDO DO VALE	PADRÕES DO CANAL	ORDEM DO CANAL	LANDFORM E FEIÇÕES GEOMÓRFICAS
F2 Baixadas com alívio moderado	≤ 1%	> 5%	> 5x	Não limitado; altamente sinuoso	Nenhuma	Planícies de inundação largas, tipicamente formadas por rios atuais ou antigos em landforms de baixadas planas e suavemente sinuosas; lameçais, meandros e canais abandonados, habitualmente associados aos rios principais.
V1 Em forma de V, inclinação moderada de fundo	2 – 6%	30 – 70%	< 2x	limitado	≥ 2	Caminhos de drenagem profundamente incisivos, com laterais escarpadas competentes; muito comum em topografia montanhosa elevada; menos habitualmente associado a terraços de descarga marinho ou glacial, em áreas baixas e pés de montanha.
U2 Vale em U inciso, inclinação moderada do fundo	2 – 5%	Vertentes escarpadas adjacentes ao canal, decresce para < 30% e depois aumenta para > 30%	< 2x	Moderadamente limitado por material inconsolidado; raras planícies curtas com entrelaçamentos e meandros	2 – 5	Cortes na base do canal por depósitos de till glacial de fundo de vale profundo, colúvio ou glacio-fluvial grosseiro; perfil transversal variável, mas geralmente moderadamente em U com canal verticalmente inciso nos depósitos do vale; laterais imediatas compostas por depósitos inconsolidados e frequentemente por material grosseiro não selecionado.
H1 Parede do vale com gradiente moderado/cabeceira de drenagem	3 – 6%	> 30%	< 2x	Limitado	1 – 2	Pequenos caminhos de drenagem, com canais pouco a moderadamente entrincheirados entre bacias de pé de vertentes montanhosas ou de cabeceira de drenagem.
M1 Platôs e terraços moderadamente inclinados	2 – 5%	< 10 – 30%	< 2x	Limitado; meandros raros	1 - 4	Planícies de inundação limitadas, estreitas, restritas por laterais com gradiente moderado; tipicamente encontrados em baixadas e pés de montanha, mas podem ocorrer em vertente de montanha rompida e flancos de vulcões.

Fonte: NAIMAN et al. (1992)

planalto, a convexidade atinge a base das vertentes. Em presença de rampas de colúvio, ocorrem setores côncavos no contato com a planície aluvial. Por outro lado, vertentes retilíneas são comuns sobre quartzitos, como estão também freqüentemente relacionados a alinhamentos estruturais.

- Processos exógenos: relacionados à dinâmica superficial, os processos mais influentes no desenvolvimento de canais de drenagem são: climatização química, erosão, transporte e deposição.

Em função disso, diferentes litologias podem sofrer diferentes formas de climatização sob o mesmo regime climático, influenciando na distribuição espacial de áreas em diferentes estágios de erosão, transporte e deposição (assoreamento) numa bacia hidrográfica.

- Processos endógenos: através da observação dos padrões de drenagem, pode-se identificar o controle estrutural (falhas, juntas ou lineamentos) nos traçados dos canais, que pode variar entre muito baixo (modelo dendrítico) a muito alto (modelo angular, treliça).

Pedologia

A análise dimensional de parâmetros geométricos de bacias hidrográficas tem sido utilizada com a finalidade de assegurar maior similaridade no agrupamento de bacias, admitindo-se que seus comportamentos hidrológicos refletem características impostas pelos solos ou materiais superficiais que as abrigue.

Os parâmetros dimensionais têm sido constantemente utilizados por diversos pesquisadores como elementos geométricos que permitem definir a similaridade geométrica de bacias ocorrentes em uma mesma unidade de solo.

As influências locais podem interferir, parcialmente, na dinâmica dos sistemas, provocando alterações em um ou mais elementos geométricos da bacia hidrográfica. Essa interferência certamente reduzirá a similaridade entre as bacias. Os limites de aceitação dessa perda de homogeneidade devem ser cuidadosamente observados e analisados para que não se cometam enganos na interpretação.

Como exemplo, bacias hidrográficas estudadas no Estado de São Paulo, com predominância de Latossolos Vermelho-Amarelos apre-

sentam, comparativamente, menor relação de material erodido e relevo mais estável, em estágio de maturidade, enquanto que as bacias contendo associação de Latossolos Vermelho-Amarelos e Neossolos Litólicos apresentam relevo em estágio de juventude para maturidade.

Os parâmetros dimensionais estudados em bacias hidrográficas de 3ª ordem de ramificação indicam, que mesmo ocorrendo imposições geológicas e variações de relevo, existe entre eles acentuada correspondência funcional, destacando-se com maior coeficiente de correlação a regressão entre a área e o comprimento total da rede de drenagem.

Processos Erosivos

Conforme dito anteriormente, dentre as múltiplas funções da água, destaca-se seu papel como agente modelador e transformador do relevo da superfície terrestre no que tange ao controle e ao comportamento mecânico das camadas de solos e rochas.

O estudo do escoamento das águas (superficial e subterrâneo) torna-se de fundamental importância para a compreensão e determinação da erosão nos solos. Esses estudos, apresentam-se particularmente importantes no planejamento do uso e ocupação do solo, pois possibilitam a percepção das áreas com maior risco de ocorrência de escoamentos superficiais rápidos ou de escoamentos sub-superficiais mais lentos. Dessa forma, torna-se imperativo a compreensão do processo erosivo para o adequado manejo dos solos e planejamento de seu uso.

O processo erosivo caracteriza-se pela interação ou não de fatores controladores, os quais determinam as variações nas taxas de erosão. Conforme a interação desses fatores, pode-se ter áreas com maior ou menor erosão. As atividades antrópicas existentes na região podem alterar esses fatores e apressar ou retardar os processos erosivos.

Os fatores controladores, segundo GUERRA & CUNHA (1998), podem ser subdivididos em *erosividade* (causada pela chuva), *erodibilidade* (proporcionada pela característica do solo), *características das encostas* e *natureza da cobertura vegetal*.

Erosividade

HUDSON (1961) define *erosividade* como a habilidade da chuva em causar erosão. Apesar de apresentar-se como uma definição muito simples, o fenômeno da erosividade exprime-se com alta complexidade, pois depende não só dos parâmetros de erosividade, mas das características das gotas das chuvas que variam com o tempo e o espaço.

Utilizam-se como parâmetros para investigar a erosividade: o total de chuva, a intensidade, o momento e a energia cinética.

Segundo GUERRA & CUNHA (1998), "... estudos de REED (1979) demonstram que, dependendo das propriedades do solo, a erosão pode ocorrer até mesmo sob chuva com intensidade de apenas 1mm/h, desde que o total pluviométrico seja de 10mm. Isso evidencia a complexidade do estudo da erosão dos solos e, ao mesmo tempo, a necessidade de se levar em consideração uma multiplicidade de variáveis para compreender o processo".

Erodibilidade

Os estudos das propriedades do solo são de grande importância para os processos erosivos, visto que os mesmos aliados a outros fatores, definem a susceptibilidade ou não à erosão, sendo, muitas vezes, um fator predominante. Assim, define-se o grau de resistência do solo em ser levado e carregado como erodibilidade.

A erodibilidade não se apresenta como uma característica estática perpetuando-se através do tempo, muito pelo contrário, ela mostra-se dinâmica e dependente do estado inicial dos sedimentos constituintes e do uso do solo através de práticas agrícolas, as quais podem gerar mudanças no teor de matéria orgânica, na estabilidade dos agregados, nas propriedades físico-químicas e biológicas do solo exposto e na taxa de remoção de sedimentos.

Nos processos erosivos, várias propriedades do solo são intervenientes. Segundo GUERRA & CUNHA (1998), destacam-se como as mais importantes: textura, densidade aparente, porosidade, teor de matéria orgânica, teor e estabilidade dos agregados e o pH do solo. Cabe salientar que essas propriedades não são estáticas através do tempo, sendo de fundamental importância o seu estudo relacionado a um determinado período de tempo, pois podem ocorrer alterações que provoquem transformações significativas em sua suscetibilidade aos processos erosivos.

A textura interfere diretamente na erosão devido à granulometria apresentada no solo. Algumas frações granulométricas apresentam-se mais facilmente removidas do que outras.

A formação da matéria orgânica ou húmus no solo depende da fauna e da flora existente no ecossistema terrestre e suas interações, isto é, dos seres que vivem dentro e sobre o solo e que de uma forma ou de

outra ajudam em sua constituição. A alteração do uso do solo através de atividades antrópicas provoca mudanças significativas na quantidade de matéria orgânica, principalmente as atividades agrícolas. O uso irracional do solo, utilizando-se de técnicas de manejo e conservação inadequadas, usualmente leva à redução do teor de matéria orgânica e, conseqüentemente, à alteração de outras propriedades do mesmo.

A estabilidade dos agregados é influenciada pelo teor de matéria orgânica e, concomitantemente, apresenta-se atuante sobre a estrutura dos solos. Observa-se que a estabilidade dos agregados é um dos fatores controladores mais importantes da hidrologia do topo do solo, na erodibilidade e em dificultar a formação de crostas nessa superfície.

Já a densidade aparente refere-se à maior ou menor compactação dos solos, sendo que também se correlaciona com o teor de matéria orgânica dos mesmos, pois sua redução acarreta em um incremento na ruptura desses agregados, gerando-se assim a formação de crostas e o aumento de sua compactação.

A porosidade relaciona-se inversamente em relação à densidade aparente, ou seja, à medida que a densidade aparente aumenta, a porosidade diminui, acarretando em uma redução da infiltração de água no solo.

O pH do solo relaciona-se com sua alcalinidade ou acidez. As medidas de pH são encontradas em vários trabalhos sobre erosão de solos, usualmente relacionados com outros índices. Trabalhos como o de ALLISON (1973) demonstram que solos ácidos são deficientes em cálcio, elemento contribuinte para a retenção do carbono, através da formação de agregados que combinam húmus e cálcio. Cabe salientar que a determinação do pH de um solo deve considerar o uso e ocupação do mesmo. As atividades antrópicas relacionadas ao pH e a outras propriedades do solo revelam-se complexas, pois dificultam a compreensão do papel das propriedades do solo e do próprio pH nos processos erosivos.

Todas as propriedades do solo intervenientes nos processos erosivos e suas interações tornam-se de difícil generalização, indicando o extremo cuidado da análise dos fatores controladores em estudos relacionados aos processos erosivos.

Cobertura Vegetal

A cobertura vegetal se relaciona a fatores influentes nos processos erosivos, dentre os quais citam-se: efeitos espaciais da cobertura vegetal, efeitos na energia cinética da chuva e o seu papel na formação do húmus, o qual afeta, conforme citado anteriormente, a estabilidade e o teor de agregados no solo.

Observa-se claramente que quanto maior a densidade da cobertura vegetal, maior é a sua importância na redução da remoção de sedimentos, no processo de escoamento superficial (runoff) e na conseqüente conservação de solo. Além disso, vê-se que o tipo e a porcentagem de cobertura vegetal influenciam na redução dos efeitos erosivos naturais, podendo reduzir a energia cinética da chuva, minimizando o seu impacto sobre o solo e, conseqüentemente, diminuindo a formação de crostas sobre a sua superfície.

A cobertura vegetal apresenta-se, também, muito atuante na produção de matéria orgânica (através de sua degradação) influenciando assim, na agregação das partículas constituintes do solo.

Características das Encostas

As características das encostas subscrevem-se de importante relação na erodibilidade dos solos. Elas podem afetar a erodibilidade através da declividade, do comprimento e da sua forma.

Segundo GUERRA & CUNHA (1998), a declividade não deve ser levada em conta separadamente, mas, sim, em conjunto com as características da superfície do solo, que igualmente afetam a remoção do solo e a quantidade do escoamento superficial (runoff). Embora se observe que o comprimento das encostas afeta a erosão dos solos, o mesmo apresenta-se de difícil avaliação, visto que outros fatores, dentre os quais a declividade, a forma da encosta e as propriedades do solo, afetam o escoamento superficial.

Outro fator que influencia na erodibilidade dos solos é a sua forma. Segundo HADLEY et al. (1985), uma melhor atenção deve ser dada à forma da encosta, pois a mesma pode mostrar-se mais importante do que, talvez, a declividade em relação à erodibilidade dos solos.

Segundo GUERRA & CUNHA (1998), as características relativas à declividade, comprimento e forma das encostas agem conjuntamente e

relacionadas a outros fatores relativos à erosividade da chuva e as propriedades do solo, favorecendo maior ou menor resistência à erosão.

A erosão do solo, em última análise, mostra-se responsável por uma série de impactos ambientais. Os processos erosivos provocados pela água devem ser amplamente conhecidos para que se possa adotar técnicas de conservação do solo. Problemas como assoreamento de corpos d'água e inundações apresentam-se intimamente influenciados pelos processos erosivos. O planejamento e gerenciamento de bacias hidrográficas mostra-se grandemente influenciado pelos problemas de erosão de solos gerados por um uso inadequado do solo pertencente à mesma, sendo fundamental um adequado planejamento das atividades antrópicas levando-se em conta esse contexto.

Hidrologia e Qualidade das Águas

A água representa um dos elementos mais importantes para a vida e possui importante papel como agente modelador da paisagem, pois interliga fenômenos atmosféricos (litosfera e atmosfera inferior) e interfere na relação entre os organismos que habitam a Terra. Logo, a água relaciona-se com toda a vida existente através de sua interação com os demais elementos que compõem a sua bacia hidrográfica.

Dentro desse escopo, a hidrologia relacionada às encostas reveste-se de fundamental importância para a compreensão dos fenômenos geomorfológicos que regem as mudanças do relevo sob as mais diversas condições climáticas e geológicas. A partir desta compreensão, definem-se os caminhos ou rotas preferenciais dos escoamentos superficiais ou sub-superficiais das águas, os quais estabelecem os mecanismos erosivos predominantes que, por sua vez, originam-se da interação entre os diversos meios bióticos (fauna e flora), abióticos (clima, rocha, solo e posição topográfica) e antrópicos (uso do solo) componentes de sua bacia hidrográfica. A alteração desses fatores mostra-se de grande relevância, visto que poderão resultar em modificações significativas nos processos hidrológicos atuantes nas encostas e, por conseguinte, nos processos erosivos.

O estudo dos fenômenos hidrológicos consubstancia-se de caráter multidisciplinar, pois o mesmo deriva da necessidade de não apenas compreendê-los mas, principalmente, de buscar bases para o entendi-

mento de outros fenômenos a ele associados (estabilidade de encostas, qualidade da água, etc.). Assim sendo, os estudos hidrológicos têm por objetivo minimizar, impedir ou solucionar os problemas ambientais gerados pelos escoamentos superficiais e sub-superficiais das águas pluviais, particularmente em encostas, os quais se apresentam cada vez mais comuns devido às ações antrópicas exercidas sem nenhum planejamento e controle por parte de nossa sociedade.

O Ciclo Hidrológico e a Bacia Hidrográfica

O ciclo hidrológico caracteriza-se por um fenômeno natural de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera (principalmente na troposfera) dirigido pelo Sol associado à gravidade e à rotação terrestre. Compõem o ciclo hidrológico: a evapotranspiração, a condensação, a precipitação, o escoamento e a infiltração (Figura 3).

A *precipitação* ou popularmente a *chuva* ocorre a partir de complexos fenômenos de aglutinação e respectivo crescimento das pequenas gotículas em nuvens com a presença significativa de umidade e núcleos de condensação (partículas em suspensão), formando grande quantidade de gotas com tamanho e peso suficientes para que a força gravitacional supere a turbulência natural ou os movimentos ascendentes da atmosfera.

Em seu caminho rumo à superfície, a precipitação passa, por meio de condições do meio atmosférico, pelo processo de *evaporação*. Descendo sobre a superfície com uma cobertura vegetal, esta retém parte desta precipitação para as suas atividades morfofisiológicas e, posteriormente, contribui para sua reciclagem quando a elimina por respiração e evapotranspiração. Quando a capacidade de retenção da água pelos organismos vegetais apresenta-se exaurida, a mesma pode ser precipitada para o solo.

Ao atingir o solo, a água precipitada pode seguir alguns caminhos preferenciais. Através de suas características, o solo pode se apresentar poroso e susceptível à *infiltração* até atingir o seu ponto de saturação. A partir da saturação, forma-se, com o excedente da precipitação não infiltrado, o *escoamento superficial*. A água que penetra na superfície do solo pode percolar ou infiltrar, segundo a ação das tensões capilares nos poros ou pela força da gravidade. Com isso, a umidade do solo

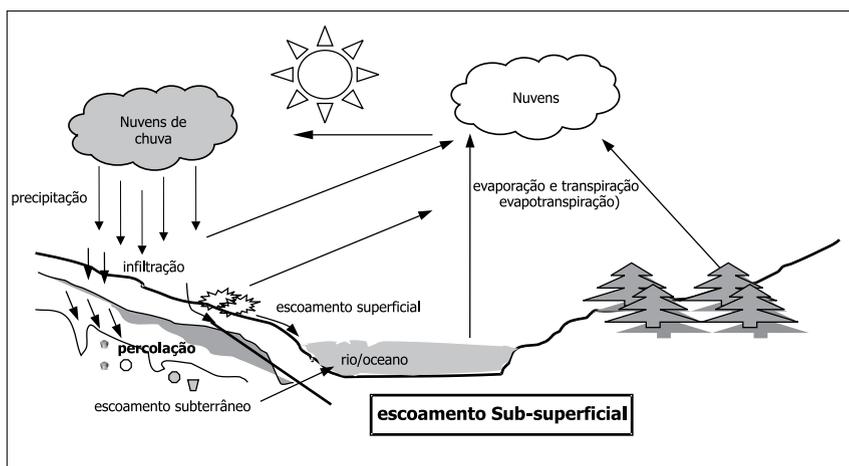


Figura 3 – Ciclo Hidrológico

apresenta-se reativada e parte da mesma é aproveitada através de sua absorção pelas raízes que, por conseguinte, devolvem quase toda a água à atmosfera através de sua *transpiração* (vapor d'água). A parte da água que não é absorvida pelos vegetais percola até os lençóis freáticos e/ou artesianos (aqüíferos), favorecendo o escoamento subterrâneo da água para os rios em épocas de estiagem (escoamento de base).

O *escoamento superficial* ocorre através da ação da gravidade gerada pelo desnível apresentado entre as cotas (encostas), a qual vence a força de atrito existente entre a água e a superfície do solo. A água escoar por caminhos preferenciais, favorecidos pelo relevo preexistente até atingir os cursos d'água, atuando como agente modelador do terreno através dos processos erosivos naturais. Salienta-se que a presença de cobertura vegetal na superfície do solo evita os processos erosivos, pois a mesma contribui com o processo de infiltração, além de diminuir a energia cinética relativa ao impacto da água sobre o mesmo.

Assim sendo, com raras exceções, toda a água escoada pela rede de drenagem (rios, córregos etc.) destina-se ao oceano. Naturalmente, em qualquer lugar em que haja circulação de água na superfície (continentes ou oceanos), ocorre a *evaporação* para a atmosfera, na qual se encerra o ciclo hidrológico, refletindo-se, assim, a fundamental importância do conhecimento dos processos de evaporação dos mananciais superficiais e dos solos, bem como o da evapotranspiração vegetal, visto que os mesmos referem-se às águas doces continentais, importantíssimas para as atividades antrópicas. Cabe salientar que,

por cobrir cerca de 70% da superfície terrestre, os oceanos contribuem com a maior parte da evaporação.

Observa-se que a interação entre oceanos e atmosfera torna-se imprescindível para a estabilidade do clima e do ciclo hidrológico, pois cerca da metade do gás carbônico (CO²) natural é absorvido no processo de fotossíntese das algas presentes nos oceanos.

Dentro do escopo da análise do ciclo hidrológico na superfície terrestre, apresenta-se como elemento fundamental o estudo da Bacia Hidrográfica.¹ Ela compõe-se basicamente de um conjunto de superfícies vertentes e de cursos d'água confluentes que formam uma rede de drenagem até o rio principal ou de base, até que o mesmo atinja o seu exutório.²

Conforme citado anteriormente, a precipitação que cai sobre a Bacia Hidrográfica atinge as vertentes e infiltra-se no solo até que o mesmo atinja sua saturação, gerando, assim, o escoamento superficial das vertentes para os cursos d'água (rede de drenagem) que transporta a água até o seu exutório ou seção de saída. Devido à falta de planejamento do uso e ocupação do solo urbano e rural, observa-se, comumente, uma série de problemas relacionados à urbanização desses solos que direta ou indiretamente causam problemas ao gerenciamento de Bacias Hidrográficas (Figura 4).

No mundo moderno, observa-se que um dos problemas mais graves está relacionado com a ocupação de áreas marginais dos rios sujeitas às inundações. Na Figura 5, observa-se um comportamento ambíguo dessas áreas marginais, primeiro como áreas de vertente, quando os níveis de água apresentam-se baixos, depois como áreas de transporte e escoamento, quando os níveis dos mesmos estão altos (cheias).

² Segundo FERREIRA (1999), exutório é o agente (rio ou oceano) que promove a eliminação da água da bacia hidrográfica.

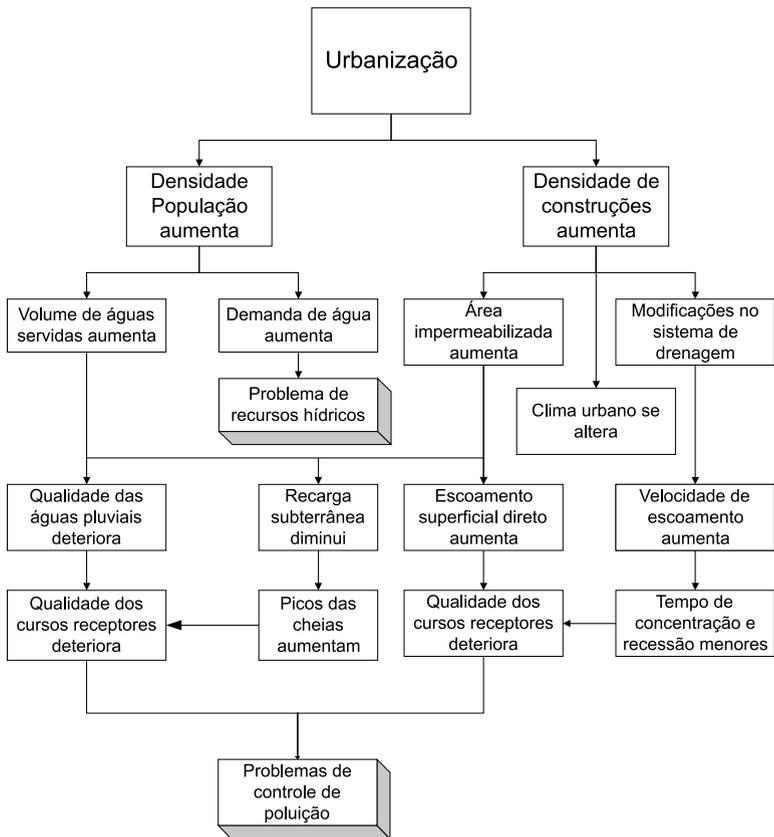


Figura 4 - Processos ocorridos devido à urbanização - Fonte: TUCCI (1993)

Cabe salientar que (os sedimentos carregados pela água que escoa das vertentes) devido aos processos erosivos naturais, até o curso d'água, somam-se aos já existentes nos leitos dos próprios corpos d'água, provocando o assoreamento destes.

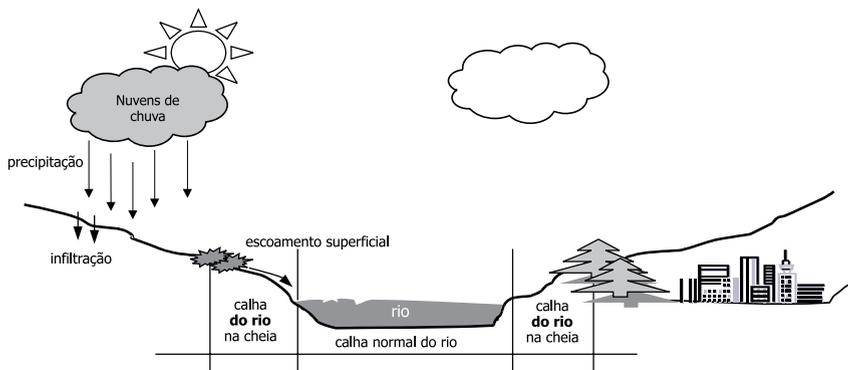


Figura 5 – Zonas de influência de um curso d'água (calhas): normal e de inundação (cheia)

Qualidade da Água

A água apresenta-se como um recurso essencial para a vida do planeta. Ela representa um componente obrigatório para a geração e a manutenção da vida e é fonte de hidrogênio. Dessa maneira, a existência dos seres vivos na Terra se deve graças à presença da água em seu estado líquido na biosfera.

Devido à sua importância, o conhecimento da distribuição e circulação da água em torno do planeta é fundamental, como se observa na Figura 6.

Vê-se claramente que, da água disponível, apenas 0,6% pode ser utilizada mais facilmente pelos seres vivos. Desta pequena fração de 0,6%, apenas 1,6% apresenta-se na forma superficial, facilitando, assim, a sua extração. Por isso, ressalta-se a grande importância da preservação dos recursos hídricos.

O homem precisa viver de acordo com as leis da Ecologia, respeitando as demais espécies, bem como impondo a si mesmo uma estratégia racional a longo e médio prazo para a utilização dos recursos naturais existentes na Terra.

Entretanto, o mesmo homem que deveria respeitar e conservar os recursos naturais tem gerado uma contínua deterioração do meio físico e biológico. Esta situação é decorrente, essencialmente, da extensiva e intensiva exploração dos recursos naturais, atitude essa que, em muitos casos, tem levado ao esgotamento desses recursos

Distribuição da Água no Ambiente Terrestre

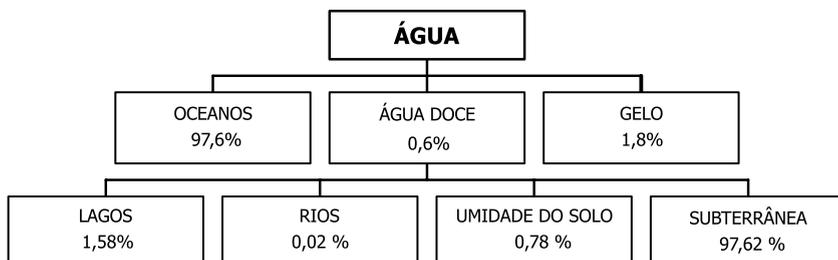


Figura6- Distribuição da Água no Ambiente Terrestre - Fonte: Adaptado de Peixoto & Oort (1990)

bem como à extinção de milhares de espécies. Essa exploração abusiva e inadequada alteram consideravelmente a composição natural da biosfera. À existência de desequilíbrio e/ou desestruturação em sistemas biogeoquímicos, prejudicando a qualidade de vida e a integral sustentabilidade do ecossistema, denomina-se *poluição*.

A poluição hídrica é caracterizada por qualquer alteração nas condições naturais de um recurso hídrico de modo a torná-lo prejudicial para os seres que dele dependam ou que dificulte ou impeça um uso definido a ele. Quando a poluição de um determinado corpo d'água prejudica a saúde do homem, diz-se que há *contaminação*. Assim sendo, a contaminação é um caso particular da poluição, no qual a água apresenta substâncias químicas ou radioativas e microorganismos que podem causar malefícios ao homem. Dessa forma, sob a ótica humana, a água pode estar poluída, porém não contaminada.

Como principais fontes de poluição hídrica, citam-se :

- as de origem natural: decomposição de vegetais, erosão das margens etc;
- as águas residuárias (esgotos domésticos e industriais);
- as águas do escoamento superficial;
- as de origem agropastoris: excrementos de animais, pesticidas, fertilizantes;
- os resíduos sólidos (lixo).

Fontes de Origem Natural

Esse tipo de poluição geralmente não causa danos de grande importância, a não ser quando os mesmos forem intensificados pelas atividades antrópicas.

Entre as fontes naturais de poluição, citam-se a decomposição de vegetais e animais e a erosão das margens, as quais, em condições normais, são absorvidas pelos processos naturais de equilíbrio do ecossistema.

A ação do homem através de alterações no meio gera graves problemas, tais como: o represamento de águas em áreas com abundante vegetação, resultando numa intensa decomposição dos vegetais e na produção de alto teor de matéria orgânica, entre outros problemas; a retirada da mata ciliar causando maior erosão do solo com aumento do material carregado para as águas, gerando aumento na turbidez, assoreamento e outras conseqüências; a inadequada implantação dos cemitérios, resulta numa série de impostos ambientais, principalmente quanto ao risco de contaminação das águas subterrâneas e superficiais por bactérias e vírus que proliferam durante o processo de decomposição dos corpos, além das substâncias químicas liberadas.

Águas Residuárias

Esgotos Domésticos

Os esgotos domésticos são provenientes das habitações e gerados através de usos como lavagem de utensílios, pias, banheiros, roupas, instalações sanitárias, entre outros.

Os resíduos líquidos das atividades comerciais e industriais variam em maior ou menor quantidade, dependendo do porte da cidade.

Os esgotos domésticos apresentam uma composição praticamente homogênea, variando em função da concentração (que depende do consumo de água), dos hábitos da população, do tipo de sistema de esgotamento e de outras contribuições, além das domiciliares.

A composição média dos esgotos domésticos apresenta as seguintes características (Tabela 4):

indústrias alimentícias (principalmente bebidas e laticínios), indústrias petroquímicas, fábricas de papel e celulose, curtumes e matadouros.

Águas de Escoamento Superficial

As águas pluviais ao escoarem pelo solo transportam uma série de impurezas para os corpos d'água.

As águas pluviais urbanas (águas provenientes dos sistemas de drenagem) caracterizam-se pela presença de sólidos, matéria orgânica, microorganismos patogênicos, defensivos agrícolas, fertilizantes, compostos químicos, entre outros, provenientes de poluentes atmosféricos, ligações clandestinas de esgoto em redes pluviais urbanas, lixo, poeira e jardins.

Por outro lado, as águas de escoamento no meio rural transportam para os corpos d'água, basicamente, matéria orgânica (folhas e dejetos), pesticidas, herbicidas, fertilizantes, entre outros compostos químicos.

Ressalta-se que a erosão do solo provocada pela falta de cobertura vegetal, principalmente a ciliar, permite o transporte de partículas edáficas para os recursos hídricos, contribuindo, assim, para o aumento da turbidez, e conseqüente assoreamento do curso d'água, resultando na diminuição de sua seção útil.

Resíduos Sólidos: lixo

É muito comum, em áreas urbanas, observar-se a disposição inadequada do lixo nas coleções hídricas. Esse tipo de prática resulta, segundo FONSECA (1999), em quatro tipos de poluição das águas:

- poluição física - através do lançamento dos resíduos sólidos residenciais e industriais nos corpos d'água, ocasionando uma série de perturbações no meio aquático e no ambiente circunvizinho, dentre as quais citam-se: o aumento da temperatura da água, aumento da turbidez, formação de obstáculos inertes, lodo e alteração na cor;
- poluição química - através da disposição de resíduos sólidos industriais e tóxicos (detergentes não biodegradáveis, substâncias tóxicas, defensivos agrícolas) que causam malefícios à saúde humana. Tais compostos comprometem uma série de

funções do corpo humano, principalmente as relacionadas com o sistema nervoso;

- poluição biológica - causada especificamente, no caso do lixo, por resíduos que contenham fósforo e nitrogênio (nutrientes);
- poluição bioquímica - ocorre devido à decomposição do lixo por microorganismos que formam um líquido chamado *chorume*. Esse líquido reduz a quantidade de oxigênio nos corpos d'água e resulta na contaminação dos mesmos, afetando, inclusive, os lençóis freáticos através de sua percolação.

Citam-se as usinas de açúcar e álcool que produzem grande poluição bioquímica da água através dos subprodutos de sua produção, tal como o vinhoto, que propicia uma elevação na taxa de DBO_5 .

Como visto anteriormente, os resíduos sólidos, quando dispostos de maneira inadequada (em lixões ou lançados diretamente nos corpos d'água), ocasionam a formação de obstáculos inertes que resultam no aumento do nível da água, chegando a agravar o problema relativo a inundações. Observa-se, também, que eles causam a contaminação das águas por patógenos, e substâncias tóxicas, prejudicando-se, assim, a saúde do ser humano.

Logo, apresenta-se imperativo o controle das fontes de poluição hídrica, pois as mesmas geram grandes problemas sócio-econômico-ambientais para a comunidade alvo.

O planejamento e a gestão de bacias hidrográficas devem levar em conta essas fontes de poluição, enfocando-as sob a ótica da sustentabilidade e, conseqüentemente, buscando o equilíbrio dinâmico dos ecossistemas.

Parâmetros Físicos como Ferramentas de Auxílio à Decisão

Os parâmetros físicos especificados neste capítulo apresentam-se fundamentais para subsidiar modelos de suporte para tomada de decisões, principalmente para o planejamento e gerenciamento das bacias hidrográficas brasileiras.

Vários modelos de suporte à decisão vêm sendo criados para subsidiar o gerenciamento integrado de bacias hidrográficas. Cabe salientar que os modelos de suporte à decisão apresentam-se como

ferramentas para auxiliar decisões e não como ferramentas para resolução de problemas.

A seguir (Figura 7), apresenta-se um exemplo de delineamento de sistema de suporte à decisão em recursos hídricos/bacias hidrográficas:

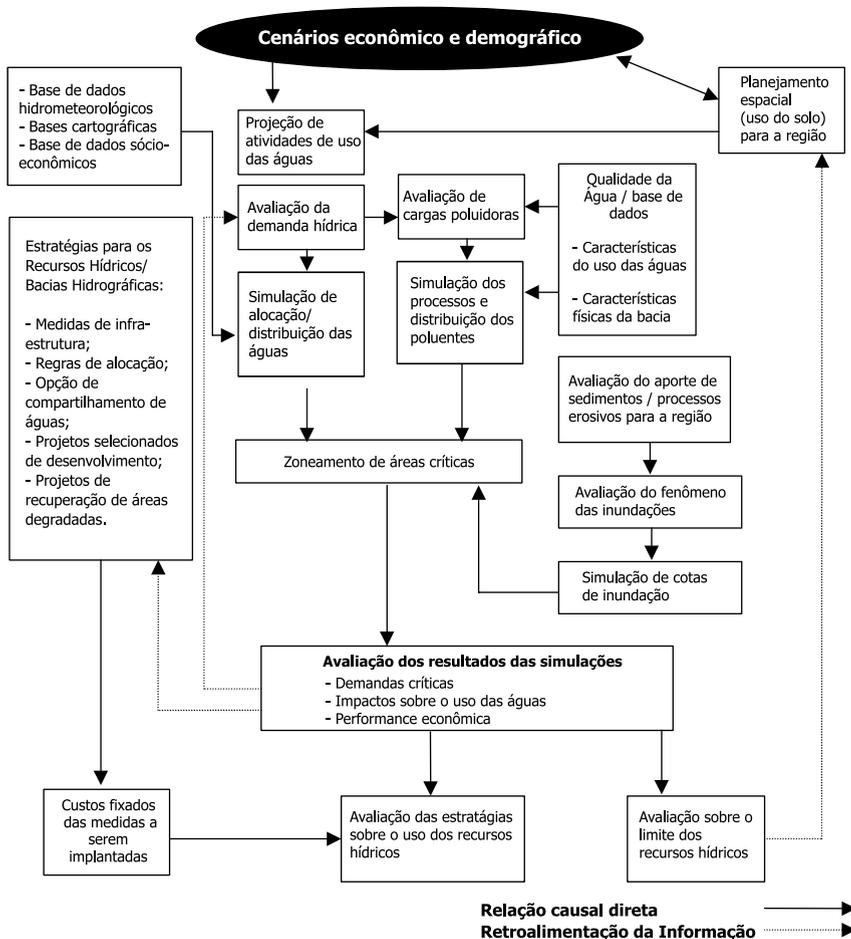


Figura 7 – Delineamento geral de sistema de suporte à decisão em recursos hídricos (adaptado de Verhaeghe e Krogt, 1996, citado em CHRISTOFOLETTI, 1999)

Considerações Finais

Fica evidente que em qualquer época e em qualquer lugar, os problemas gerados a partir das atividades antrópicas inconseqüentes possuem uma profunda relação com a dimensão ambiental, e suas soluções dependem do uso racional e sustentável dos recursos naturais buscando preservá-los.

Em uma análise mais profunda, o meio ecológico regula as ações que o homem pode exercer, visto que a base física de matéria e energia apresenta-se como limitador da ação do homem. A sociedade e o ambiente apresentam-se como órgãos naturais, independentes, sendo que o segundo possui uma existência autônoma que precede o aparecimento do primeiro.

A realidade explícita no mundo atual demonstra o descaso com que a globalização e os sistemas econômicos mundiais têm tratado o ambiente, de tal maneira que o mesmo se apresenta como “eterno”.

A cada aumento de produção e a cada nova tecnologia, ampliam-se os horizontes do consumo e não se suavizam as degradações por parte do homem em relação aos recursos naturais, principalmente no primeiro mundo. Cita-se, por exemplo, a redução das emissões de efluentes atmosféricos proposta em diversas reuniões globais sobre meio ambiente, nas quais países do G-7 (Grupo dos sete países mais ricos do mundo), principalmente os Estados Unidos, se recusam a diminuir a sua produção de efluentes, mesmo através da utilização de tecnologias limpas, pois o custo desta redução afeta negativamente a relação custo x benefício, prejudicando o panorama econômico deste.

Logo, a natureza deve ser considerada como fator condicionante às atividades antrópicas, onde se deve buscar uma máxima eficiência em sua utilização e um mínimo de perdas em seu manuseio. Assim, a sustentabilidade busca a prudência ecológica calcada em um uso racional e planejado dos recursos e consubstanciada na consciência global do que somos e do que precisamos, em todas as atividades antrópicas.

Enfocando-se especificamente o Brasil, desde os anos 60, os processos de industrialização e urbanização apresentam-se acelerados e não planejados, na maioria dos casos.

No Estado de São Paulo, o processo de crescimento acelerado e desgovernado contribuiu para o agravamento dos problemas ambientais. Os governos municipais apresentaram-se incapazes de acompanhar o crescimento acelerado, especialmente quando se analisa

a questão do saneamento básico. O processo de expansão territorial se apresentou de forma dispersa e a baixas densidades. Assim, loteamentos mostraram-se descontínuos em relação à malha urbana, formando vários bolsões de especulação imobiliária entre os mesmos e a cidade, atendendo aos interesses do mercado imobiliário, pois os moradores de áreas loteadas pressionaram a extensão de serviços urbanos, valorizando-se os vazios entre os loteamentos e a cidade, aumentando o desses serviços.

Desta maneira, as conseqüências desse modelo de crescimento econômico em relação ao ambiente se apresentam variadas e vão desde problemas e situações sem retorno até as condições para as quais existem ações mitigadoras para a recuperação. Enfocando-se os parâmetros físicos relacionados à gestão de bacias hidrográficas, apresentam-se os seguintes problemas, citados anteriormente direta ou indiretamente:

- Desmatamento: perda da biodiversidade, aumento da perda de solos (erosão), assoreamento dos rios e destruição do ecossistema ciliar;
- Erosão: assoreamento de rios, inutilização de solos férteis e inundações;
- Qualidade da água: aumento da poluição hídrica através de resíduos sólidos domésticos e industriais, nutrientes (nitrogênio e fósforo), entre outros, causando a diminuição de sua seção útil, devido ao assoreamento;
- Problemas sociais: aumento da pobreza, do êxodo rural e da favelização, conseqüência da falta de planejamento e de políticas públicas para controle do processo de inchamento das cidades e sustentabilidade do sistema;
- Urbanização: processos de uso e ocupação do solo sem planejamento e a falta de um controle adequado por parte das autoridades competentes;
- Clima: alterações no micro e macro-clima local e regional.

Conclui-se, então, que a sustentabilidade de um sistema, quer seja no âmbito político, social e econômico, quer no ecológico, permeia pela exploração e gestão adequada dos recursos naturais, principalmente o gerenciamento das bacias hidrográficas. Enfatizando-se este escopo, o gerenciamento de bacias hidrográficas está diretamente relacionado

ao planejamento e uso dos recursos naturais, integrando os processos e atividades humanas no cotidiano.

Em todo este capítulo, explicitou-se os principais parâmetros físicos relacionados ao gerenciamento de bacias hidrográficas, visando um maior conhecimento e aprofundamento de um sistema de gestão que se apresenta cada vez mais utilizado no Brasil. O viés econômico aliado a um modelo de crescimento não controlado e à falta de planejamento das ações antrópicas se mostra como o fator preponderante da ocorrência da maioria destes problemas ambientais. Esses problemas têm exposto a pobreza de nossa população “excluída”, as doenças, a falta de preparo na manutenção e preservação de nossos recursos naturais (especialmente, os recursos hídricos) e a falta de uma prudência e consciência ecológica global, no sentido de garantir às gerações futuras uma melhor qualidade de vida, concretizando o que até então seria o ideal de desenvolvimento – a auto sustentabilidade.

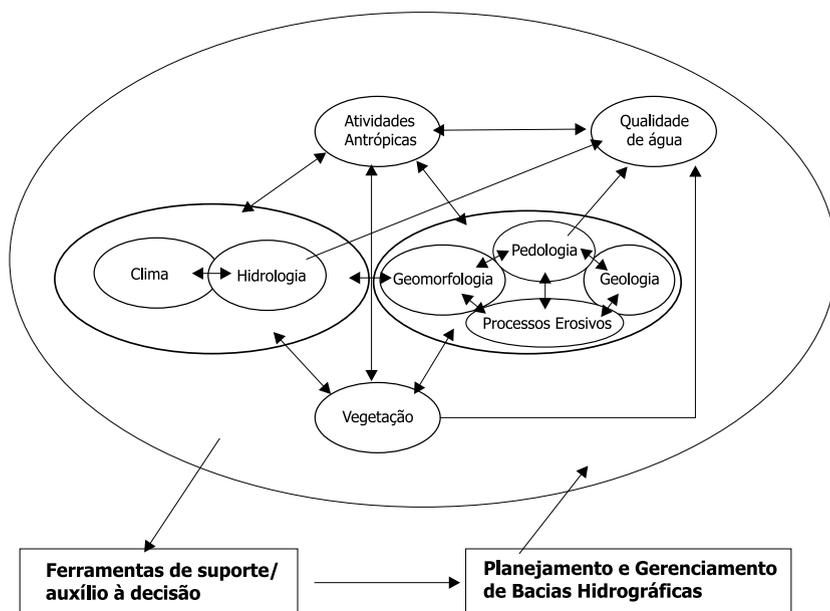


Figura 8 – Parâmetros físicos e o gerenciamento de Bacias Hidrográficas

Interrelações Entre Clima e Vazão

Neylor Alvez Rego CALASANS, Maria do Carmo Tavares LEVY,
e Maurício MOREAU

Este capítulo é destinado à discussão de algumas das relações existentes entre o clima e a vazão em bacias hidrográficas. Dada a complexidade do tema e o volume de material disponível, optou-se por uma abordagem descritiva dos processos envolvidos sem a preocupação de formulá-los matematicamente, o que pode facilmente ser encontrado na literatura disponível.

No presente capítulo, a discussão sobre o clima é centrada na descrição mais detalhada da precipitação e dos processos de evapotranspiração e interceptação.

Quanto ao processo de formação da vazão, maior ênfase foi dada ao escoamento superficial e à resposta dos cursos d'água a eventos de precipitação.

De maneira a ilustrar alguns aspectos discutidos, é finalmente apresentado um breve estudo de caso referente à Bacia Hidrográfica do Rio Almada (BA).

Clima

Segundo VIANELLO & ALVES (1991), o tempo meteorológico é algo que varia muito sobre a superfície da Terra. Viajantes e escritores, desde épocas imemoriais, têm descrito as infinitas variedades do tempo meteorológico, de lugar para lugar e, também, de tempo para tempo, no mesmo local. O tempo meteorológico é a soma total das condições atmosféricas de um dado local, num determinado tempo cronológico.

O clima é uma generalização ou integração das condições do tempo para um certo período, em uma determinada área.

O tempo meteorológico é uma experiência diária; é o estado instantâneo da atmosfera, enquanto a caracterização do clima já é

mais abstrata.

O clima pode ser estudado em diferentes escalas espaciais: em **macroescala** ou escala regional (uma região muito extensa, como o estado da Bahia, o Brasil, o hemisfério sul, a Terra), em **mesoescala** (envolvendo dezenas ou centenas de quilômetros quadrados) e em **microescala** (camada atmosférica próxima ao solo, podendo variar em extensão até algumas centenas de metros).

Outro conceito importante refere-se a elementos e a fatores do clima. **Elementos Climáticos ou Meteorológicos** são grandezas que quantificam o clima, como insolação, irradiância solar, temperatura e umidade do ar, nebulosidade, altura pluviométrica, velocidade e direção do vento, pressão atmosférica e evaporação. Os **Fatores Climáticos** são agentes que condicionam o clima, nas diferentes escalas espaciais.

Os elementos meteorológicos ocorrentes no globo terrestres têm a sua intensidade e distribuição reguladas por diversos fatores como a latitude, altitude, distância de massas de água, relevo local, circulação geral etc., os quais condicionam a regularidade diferencial de parâmetros meteorológicos para diferentes locais. Essas variações, ocorrentes nas diferentes partes do globo, condicionam a existência de climas diferentes.

No estudo do balanço hídrológico de uma região, os elementos meteorológicos podem ser divididos em duas classes distintas:

- a) A precipitação, que é a responsável entrada de água no sistema.
- b) A evapotranspiração, que é controlada em grande parte pela combinação da irradiância solar, temperatura, umidade do ar, nebulosidade, velocidade e direção do vento, e que determina a taxa de retorno da água para a atmosfera.

Assim, tanto a precipitação como a evapotranspiração podem ser consideradas como sendo condições externas impostas ao sistema ou condições de contorno, utilizadas para análises da disponibilidade hídrica em uma região (Figura 1).

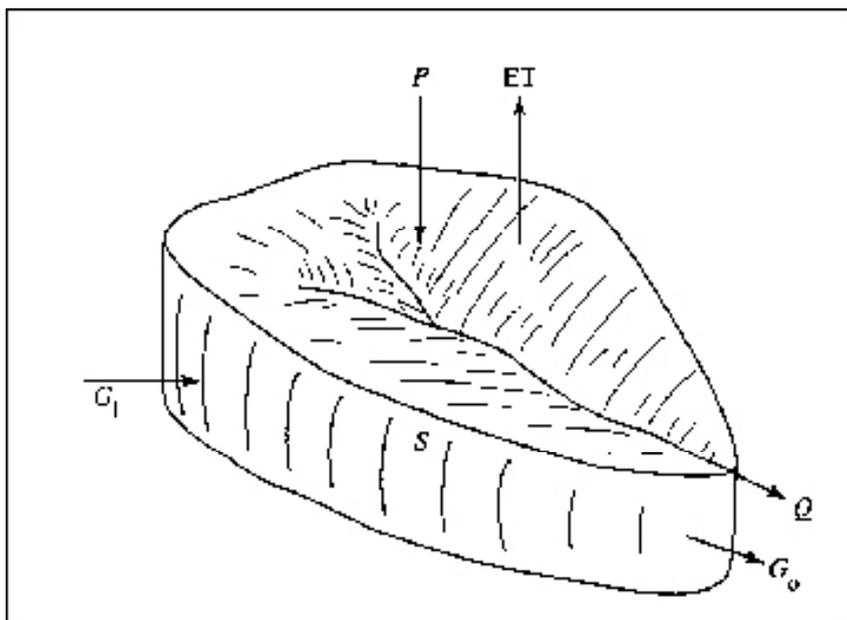


Figura 1 - Esquema gráfico do balanço hidrológico em uma bacia hidrográfica. (Sendo P = precipitação; ET = evapotranspiração; S = armazenamento; Q = vazão; Gi = contribuição da água subterrânea e Go = afluxo de água subterrânea).

Precipitação

A precipitação, na forma de chuva, neve ou granizo, é o principal mecanismo natural de restabelecimento dos recursos hídricos da superfície terrestre.

Em virtude de a água ser o componente principal na constituição dos organismos vivos, a distribuição temporal e espacial das precipitações é um dos fatores que condicionam o clima e que estabelecem o tipo de vida de uma região.

Do ponto de vista do hidrólogo, na região tropical, as precipitações em forma de chuva são as de maior interesse. Sua importância reside na recarga dos mananciais hídricos superficiais e subsuperficiais de onde dependem as quantidades demandadas da água para consumo humano, doméstico, industrial, animal e rural.

Na ótica agrícola, as precipitações são de grande importância econômica, pois delas dependem a produção das culturas não irrigadas, o dimensionamento dos sistemas de drenagem, de barragens,

pontes e outras estruturas hidráulicas, o planejamento da conservação dos solos e do manejo da irrigação etc. As precipitações têm também sua importância social, pois delas dependem muitos pequenos agricultores para sua sobrevivência no campo. Os grandes períodos de estiagens provocam a redução das reservas de água nos mananciais, dificultando a agricultura de subsistência, o que acarreta, inúmeras vezes, o êxodo rural.

Tipos de Precipitação

O resfriamento do ar atmosférico até o ponto de saturação, com a conseqüente condensação do vapor de água em forma de nuvens e a posterior formação das precipitações, ocorre pela interferência, isolada ou conjunta, de três fatores básicos distintos, os quais dão origem aos três tipos principais de chuva:

a) Ciclônica: Está associada à movimentação de massas de ar de regiões de alta pressão para regiões de baixa pressão, causada normalmente pelo aquecimento desigual, em grande escala, da superfície terrestre. Estas precipitações podem ser frontais e não-frontais. As **não-frontais** são originadas da convergência horizontal de duas massas de ar quente para regiões de baixa pressão, culminando na ascensão vertical do ar no ponto de convergência. É o que ocorre na chamada zona de convergência intertropical (ZCIT), situada aproximadamente sobre o Equador, onde ocorre a convergência dos alísios do hemisfério sul e do norte, provocando a ascensão do ar. As precipitações **frontais** se originam da ascensão de uma massa de ar quente sobre uma de ar frio, de características diferentes, na zona de contato entre elas. Quando a precipitação ocorre devido ao deslocamento de uma massa de ar quente por uma fria, denomina-se chuva de frente fria; se a massa de ar frio é deslocada por uma quente, é denominada de chuva de frente quente. Normalmente são precipitações de longa duração e intensidade.

b) Convectiva: Na região tropical é o tipo de precipitação mais freqüente. São as chamadas chuvas de verão, caracterizadas por serem de abrangência local e de intensidade variando de média a alta. O aquecimento desigual das camadas de ar resulta em uma estratificação

em camadas de ar que se mantêm em equilíbrio instável. Qualquer perturbação que ocorra, como, por exemplo, uma rajada de ventos, provoca uma ascensão violenta das camadas de ar mais quentes, capaz de atingir grandes altitudes. Ao elevar-se, sofre uma rápida expansão adiabática, resfriando-se, condensando e, com os intensos movimentos turbulentos no interior da nuvem formada, devido à alta energia da parcela, a coalescência forma gotas de grande tamanho. Isto pode originar as chuvas de grande intensidades, com curta duração e pequena abrangência.

c) Orográfica: Ocorre quando uma massa de ar úmido provinda do oceano é forçada a subir a grandes altitudes por encontrar uma cadeia montanhosa (do grego *Oro*, “montanha”) em sua rota, sofrendo resfriamento e condensando.

Fatores que Influenciam a Precipitação

As precipitações variam tanto do ponto de vista geográfico como também no aspecto sazonal. O conhecimento destas variações é de grande importância para o planejamento dos recursos hídricos, no estudo de chuvas prováveis, elaboração de projetos de irrigação, estudo de chuvas intensas, secas, previsão de enchentes, dimensionamento de barragens de contenção de cheias e regularização das vazões em épocas secas, controle da erosão do solo, previsão de veranicos para escalonamento de plantio das culturas agrícolas etc.

Do ponto de vista geográfico, a precipitação é máxima na região equatorial e decresce com o aumento da latitude em direção aos pólos. Dentre os fatores que influenciam a distribuição da precipitação citam-se:

Latitude: influi na distribuição desigual das pressões e temperaturas no globo e na circulação geral da atmosfera. Essa influência só pode ser percebida em grandes áreas;

Distância do mar ou de outras fontes de água: à medida que as nuvens se afastam do mar, em direção ao interior do continente, elas vão se consumindo de forma que se pode esperar uma redução total da precipitação com o aumento da distância da costa ou de alguma outra fonte de umidade;

Altitude: a pluviosidade aumenta com a altitude até uma certa

altitude, passando então a decrescer. A altitude de máxima precipitação é em torno de 2500m, nos Alpes, onde a variação das alturas pluviométricas com a altitude é entre 0,5 e 1,5 mm por metro;

Orientação das encostas: sendo a precipitação influenciada por correntes eólicas, o fato de uma encosta ou vertente estar mais ou menos exposta aos ventos tem reflexos nas quantidades precipitadas.

Cálculo da Precipitação Média

Em muitos casos, no estudo dos dados pluviométricos de uma região, por exemplo, uma microbacia hidrográfica, necessita-se da estimativa da quantidade total de água precipitada sobre ela ou a lâmina média precipitada em um certo intervalo de tempo.

A precipitação média é estimada com base na hipótese de que seja representativa das precipitações ocorridas na área como um todo. O cálculo desta média pode ser feito de diversas formas, sendo que somente quatro métodos serão brevemente discutidos:

a) Média Aritmética Simples: é a forma mais simples de se determinar a precipitação média de uma bacia. Determina-se a média aritmética das estações compreendidas na área considerada ou nas vizinhanças. Esta média será representativa se a amplitude de variação das precipitações entre as estações for pequena e a distribuição geográfica das estações de coleta for uniforme em toda a área.

b) Média Ponderada: considera as características físicas da região. Normalmente a característica considerada é a altitude. Obtém-se a estimativa, relativamente precisa, da precipitação média, quando se consegue estabelecer uma lei segura, relacionando a precipitação com a característica física da região, subdividindo-a em áreas homogêneas, aplicando em cada uma delas a respectiva altura pluviométrica indicada pela lei de variação. Este método é empregado em áreas muito acidentadas, quando se utilizam as curvas de nível para delimitar as zonas parciais. Este método é válido quando se tem uma marcante influência da característica física sobre a precipitação.

c) Método das Isoietas (linhas que unem pontos de mesma precipitação): é o método mais racional para se determinar a lâmina média em uma área. Este método, apesar das imprecisões oriundas do traçado das isoietas, tem a vantagem de poder englobar todos os

fatores que possam influenciar na distribuição das precipitações. A precisão deste método depende da habilidade do analista em localizar as isoietas. O traçado destas curvas é simples e semelhante ao das curvas de nível, onde a altura de precipitação substitui a cota do terreno; para tal devem-se considerar os efeitos orográficos e geomorfológicos, de modo que um mapa final represente um modelo de precipitação mais real do que poderia ser obtido por medidas isoladas (Figura 2).

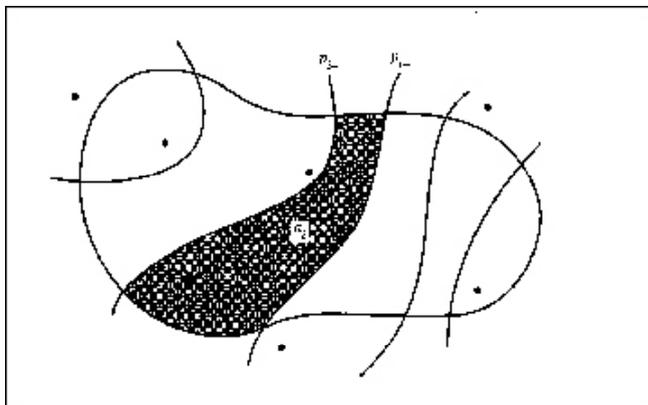


Figura 2 – Representação gráfica do Método das Isoietas.

d) Método de Thiessen: pode ser aplicado mesmo para uma distribuição não uniforme das estações pluviométricas. O método consiste basicamente em atribuir pesos aos totais precipitados em cada equipamento, proporcionais à área de influência de cada um. Estas áreas são determinadas considerando, também, as estações vizinhas, unindo-as por meio de linhas retas, formando triângulos entre as estações. Em seguida, traçam-se mediatrizes dessas retas, formando polígonos. O limite das áreas de influência de cada estação pluviométrica é, então, dado pelo polígono obtido. Este método tem como limitação não considerar as influências orográficas, admitindo simplesmente uma variação linear da precipitação entre as estações; admite que a precipitação seja constante em toda a área do polígono definido (Figura 3).

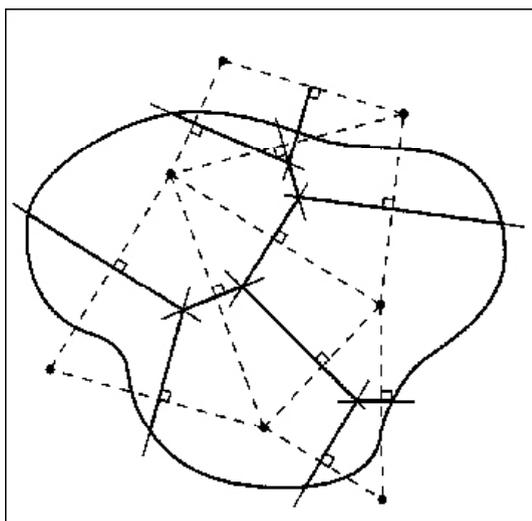


Figura 3 – Representação gráfica do Método de Thiessen.

Definição da Rede Pluviométrica

A precipitação que ocorre em uma dada região apresenta, de uma maneira geral, uma maior variabilidade para valores horários e diários do que para períodos mensais e anuais.

Regiões sujeitas à ocorrência de precipitações convectivas e que apresentam grandes variações topográficas tendem também a apresentar uma alta variabilidade no que diz respeito à quantidade precipitada.

Baseado nessas considerações gerais, a World Meteorological Organization (1974) recomendou a densidade mínima de pluviômetros necessários para fins de estudos hidrometeorológicos em várias regiões climáticas (Tabela 1).

Tabela 1 – Densidade mínima de pluviômetros recomendada pela WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (1974) para várias situações climáticas.

Região Geográfica	Km ² /Pluviômetro	Pluviômetro/Km ²
Pequenas ilhas montanhosas com precipitação irregular.	25	0,04
Regiões montanhosas temperadas, mediterrâneas e tropicais.	100 – 250	0,004 – 0,01
Áreas planas em regiões temperadas, mediterrâneas e tropicais.	600 – 900	0,0011 – 0,0017
Regiões áridas e polares	1500 – 10000	0,0001 – 0,00067

Fonte: World Meteorological Organization (1974).

Evapotranspiração

Evapotranspiração é um termo utilizado para todos os processos pelos quais a água, na fase líquida ou sólida, presente na superfície terrestre ou perto dela, se torna vapor de água atmosférico.

O termo inclui a evaporação de água líquida de rios e lagos, de solos com ou sem vegetação, a evaporação de água contida nas folhas das plantas (transpiração) e a sublimação de superfícies com gelo ou neve.

No nível global, aproximadamente 62% da precipitação que ocorre nos continentes é evapotranspirada, chegando a 72000 km³/ano. Desse total, aproximadamente 97% é evapotranspirada de superfícies terrestres e 3% de superfícies aquáticas (DINGMAN, 1993).

A avaliação quantitativa da evapotranspiração é de fundamental importância em muitos aspectos, como por exemplo:

- A longo prazo, a diferença entre a precipitação e a evapotranspiração é a água disponível para o consumo humano. Assim, a avaliação quantitativa dos recursos hídricos disponíveis em uma região, os efeitos do clima e as alterações no manejo e uso do solo requerem a quantificação da evapotranspiração.
- A maior parte da água perdida por evapotranspiração é utilizada para o crescimento de plantas que formam a base dos ecossistemas terrestres, e o entendimento das relações entre a evapotranspiração e os diferentes tipos de ecossistemas são um requerimento básico para prever as respostas dos mesmos a mudanças climáticas (WOOD-WARD, 1987).
- As áreas irrigadas são responsáveis por grande parte dos alimentos produzidos no mundo. Sendo uma técnica que representa um grande consumo de água, a sua eficiência requer o conhecimento do uso de água pelas culturas de maneira que somente a quantidade necessária seja aplicada às plantas.

A transpiração tem um papel decisivo no ciclo da água das culturas. De acordo com ROSENBERG et al. (1983), apenas 1% da água líquida disponível absorvida pelas plantas está realmente envolvida em atividades metabólicas. A maior parte da água absorvida pelas raízes das plantas evapora, sendo perdida para a atmosfera.

A transpiração é um processo consumidor de energia, que modera a

temperatura da folha sujeita a radiação solar ou outras fontes de energia. Uma planta, em crescimento ativo, absorve a água armazenada no solo e a transporta, na fase líquida, até as folhas. Neste ponto, se os estômatos (minúsculos *poros* das folhas) estiverem abertos, o movimento d'água ocorre na fase de vapor, dependendo, principalmente, do estado físico da atmosfera local, isto é, dos processos turbulentos da mistura do ar circundante ao redor do dossel foliar das plantas. Se a superfície do solo estiver totalmente coberta por vegetação, apenas uma pequena parte da água alcança a atmosfera pela evaporação direta da água do solo, ou da água depositada diretamente nas folhas pela chuva, pela irrigação por aspersão ou pelo orvalho.

A transpiração da água pela planta difere da evaporação de uma superfície de água livre. A transpiração é um processo difusivo que pode ser analisada em termos de resistência à difusão e de transporte turbulento de vapor no ar atmosférico. Na transpiração, incluem-se as resistências à difusão em razão da geometria interna da folha, da abertura dos estômatos e das cutículas. Tais resistências não são observadas na evaporação de superfícies de água-livre.

Evapotranspiração Potencial (ET_p) e de Referência (ET_o)

A Organização das Nações Unidas, por intermédio da FAO, estabeleceu o conceito de **evapotranspiração da cultura de referência (ET_o)** na publicação mundialmente conhecida como "Guidelines for Crop Water Requirements" (BOLETIM FAO-24), de autoria de DOORENBOS E PRUITT (1975, 1977).

Esse conceito é adotado para evitar conflitos entre definições existentes para evapotranspiração potencial (ET_p). No boletim FAO-24, a ET_o refere-se à evapotranspiração de uma área com vegetação rasteira, na qual as medições meteorológicas são realizadas para obtenção de um conjunto consistente de dados de *coeficientes de cultura*, a serem utilizados na determinação da evapotranspiração de outras culturas agrícolas.

Da forma como é apresentado no boletim FAO-24, o conceito de ET_o refere-se a uma cultura como a grama, em crescimento ativo e mantido com cortes periódicos de forma que a altura esteja entre 0,08 a 0,15 m.

A ET_p considera que o suprimento de água para a cultura da grama é ótimo.

Métodos de Estimativa da ET_p

Na prática, a evapotranspiração potencial é definida pelo método de cálculo utilizado. A breve discussão aqui apresentada restringe-se aos métodos mais comumente utilizados em estudos hidrológicos. Segundo JENSEN et al (1990), esses métodos podem ser classificados baseados nos dados requeridos para o cálculo:

- Métodos baseados na temperatura: utilizam a temperatura do ar (normalmente médias climáticas) e, em alguns casos, o comprimento do dia.
- Métodos baseados na radiação: utilizam a radiação líquida e a temperatura do ar.
- Métodos combinados: baseados na equação de Penman que utiliza a radiação líquida, a temperatura do ar, a velocidade do vento e a umidade relativa.
- Método do Tanque Classe A: algumas vezes modificado, dependendo da velocidade do vento, da temperatura e da umidade relativa.

A formulação matemática dos métodos citados acima, suas aplicações e restrições pode ser encontrados, dentre outros, em DIGMAN (1993) e SING (1991).

Interceptação

É o processo pelo qual a precipitação atinge superfícies vegetadas onde é sujeita a evaporação. A água interceptada que é evaporada (perda por interceptação) representa uma fração significativa da evapotranspiração total na maioria das regiões.

As perdas por interceptação dependem fortemente de dois fatores:

- Tipo de vegetação e seu estágio de desenvolvimento que é bem caracterizado pelo índice de área foliar;
- A intensidade, duração, frequência e forma da precipitação.

O contato da precipitação com a vegetação pode alterar significativamente a composição química da água que chega ao solo, influenciando os processos de intemperização e a qualidade da água.

A Figura 4 ilustra os principais termos utilizados para descrever e medir a interceptação, que são:

- Precipitação bruta (R): é a precipitação medida acima da copa da vegetação;
- Precipitação direta (R_t): é a precipitação que chega à superfície do solo diretamente, através de espaços na copa da vegetação e pelo, gotejamento de água da vegetação;
- Fluxo do tronco (R_s): é a água que chega à superfície do solo através do escoamento pelo tronco da vegetação;
- Perda por interceptação da copa (E_c): é a água que evapora diretamente da copa da vegetação;
- Perda por interceptação da vegetação rasteira (E_l): é a água evaporada da superfície do solo, incluindo a vegetação rasteira;
- Precipitação líquida (R_n): é a diferença entre a precipitação bruta e a perda por interceptação.

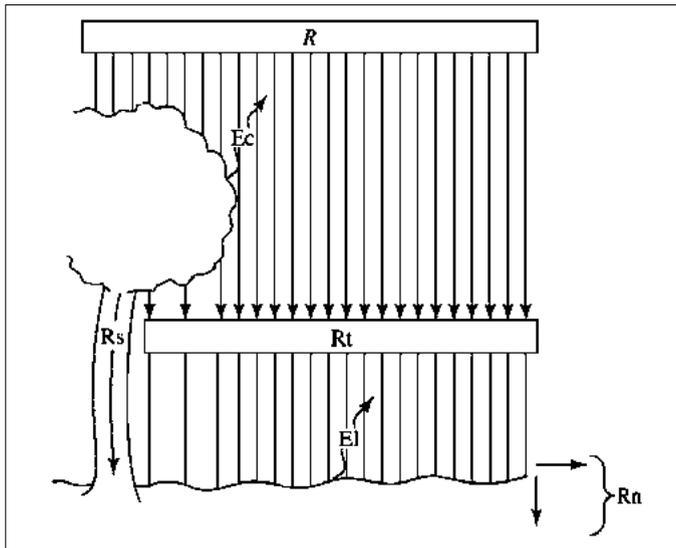


Figura 4 – Ilustração dos termos utilizados para definir a interceptação. (DINGMAN, 1993).

A perda por interceptação, dependendo da comunidade vegetal, pode variar de 10% a 40%. A questão de até que ponto a perda por interceptação é uma adição ou uma substituição da água perdida por transpiração ainda não se encontra totalmente explicada.

Durante o período que a vegetação encontra-se em estado de dormência, a perda por interceptação é claramente uma adição à evapotranspiração. Durante o período de crescimento vegetativo, a água interceptada é evaporada preferencialmente aquela contida nas cavidades estomatais. Entretanto, em florestas, e para as mesmas condições, a evaporação da água interceptada ocorre em taxas muitas vezes maiores que a transpiração, sendo que, neste caso, a perda por interceptação é somente parcialmente compensada pela supressão da transpiração.

A condutância atmosférica sobre as superfícies de vegetação baixa é bem menor do que em florestas e a perda por interceptação ocorre a taxas bem próximas à transpiração. Assim, para gramas e formas similares, a perda por interceptação é, em sua maior parte, compensada pela redução na transpiração, resultando numa contribuição líquida muito baixa à evapotranspiração (MCMILLAN E BURGY, 1960).

Muitos estudos têm mostrado que a remoção de árvores aumenta o escoamento proveniente da área afetada (HEWELETT E HIBBERT, 1961; BOSH E HEWELETT, 1982). A magnitude desse efeito é, de certa forma, proporcional à percentagem de redução da cobertura vegetal e da conseqüente redução da evapotranspiração que ocorre devido à combinação dos seguintes fatores:

- redução no índice de área foliar;
- redução na adição líquida à evapotranspiração, devido à interceptação;
- diminuição do comprimento vertical da zona radicular da qual a água transpirada é extraída; e/ou
- redução na densidade das raízes.

A Vazão dos Cursos d'Água

A maneira pela qual a precipitação é dividida nas várias formas de escoamento é ilustrada pelo diagrama na Figura 5.

A vazão total à saída da bacia de drenagem é conhecida como hidrógrafa. Normalmente é subdividida em três componentes. Estes são o escoamento superficial e subsuperficial que juntos constituem a hidrógrafa do escoamento e o fluxo da água subterrânea que mantém a vazão durante o período sem precipitação ou também conhecida como vazão de base.

A trajetória tomada pela água, em termos da Figura 5, depende da natureza da bacia de drenagem. Em superfícies bastante argilosas ou rochosas com declives acentuados, a maior parte do escoamento estará na forma de escoamento superficial, pois a taxa de infiltração é bastante pequena. No outro extremo, nenhum escoamento superficial acontece em bacias cobertas por uma profunda camada de solo arenoso. Neste caso, o escoamento direto é composto somente do escoamento subterrâneo.

A água que atinge os cursos d'água em resposta aos eventos individuais de precipitação é denominada de fluxo direto ou rápido. O fluxo de base consiste na água que entra nos cursos d'água de forma contínua, proveniente de várias fontes, e é responsável pela manutenção da vazão nos períodos sem precipitação.

Normalmente assume-se que a maior parte da vazão de base é constituída pela água subterrânea em circulação na bacia de drenagem. Entretanto, a vazão que ocorre nos períodos entre os eventos de precipitação também pode ser derivada da drenagem de lagos, pântanos ou mesmo da lenta drenagem de solos rasos localizados em partes mais altas da bacia hidrográfica (HEWELLET E HIBBERT, 1963).

Conforme pode ser observado na Figura 5, a água subterrânea também pode contribuir para o fluxo direto ou rápido através de mecanismos que produzem um grande gradiente hidráulico em materiais de alta condutividade localizados próximos aos cursos d'água.

Cursos d'água nos quais a maior parte da vazão é proveniente do fluxo subterrâneo da vazão de base tendem a apresentar pequena variação temporal, constituindo-se, portanto, em fontes mais sustentáveis de água.

Um curso d'água que recebe o fluxo de base de água subterrânea

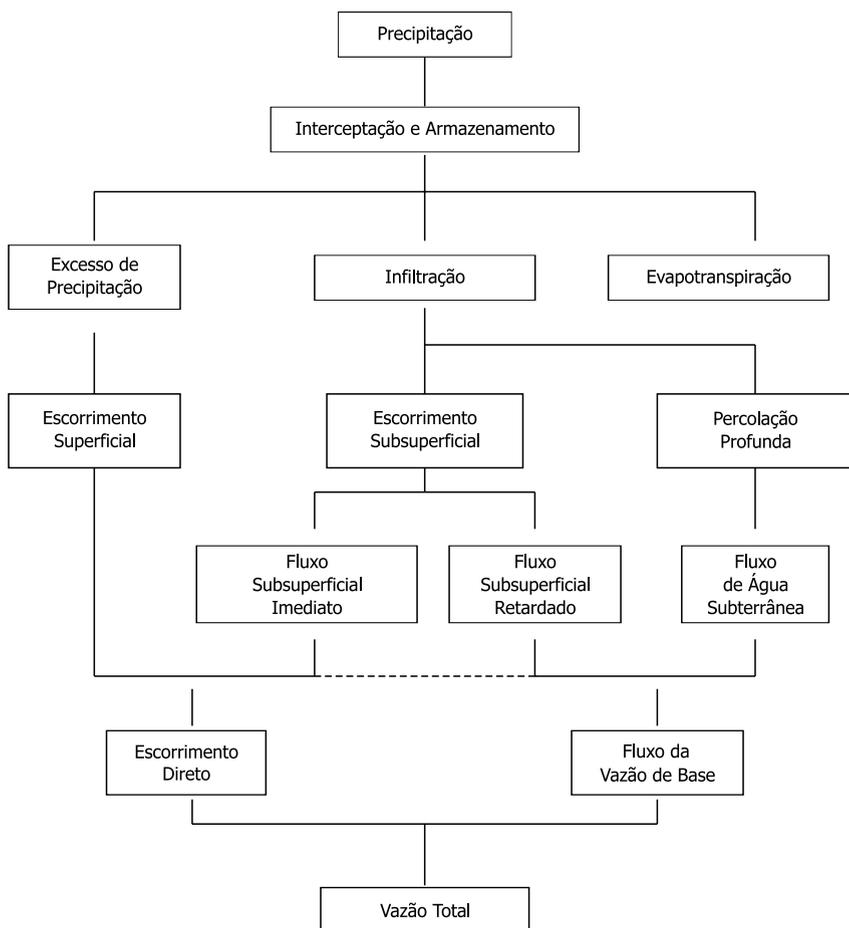


Figura 5 - Esquema gráfico da formação da vazão em cursos d'água.

é chamado de efluente porque a vazão aumenta à jusante (Figura 6a). O curso d'água influente é aquele no qual a vazão diminui à jusante, podendo ocorrer em áreas de recarga da água subterrânea (Figuras 6b e 6c). Existem também cursos d'água que recebem e perdem água subterrânea ao mesmo tempo (Figura 6d).

Cursos d'água que apresentam vazão durante todo o ano são chamados de perenes e aqueles que somente apresentam vazão durante a estação chuvosa são conhecidos como intermitentes, sendo ambos cursos d'água efluentes, isto é, mantidos pelo fluxo de água subterrânea entre os eventos de precipitação. Os cursos d'água efêmeros

apresentam vazão somente em resposta aos eventos de precipitação sendo normalmente influentes.

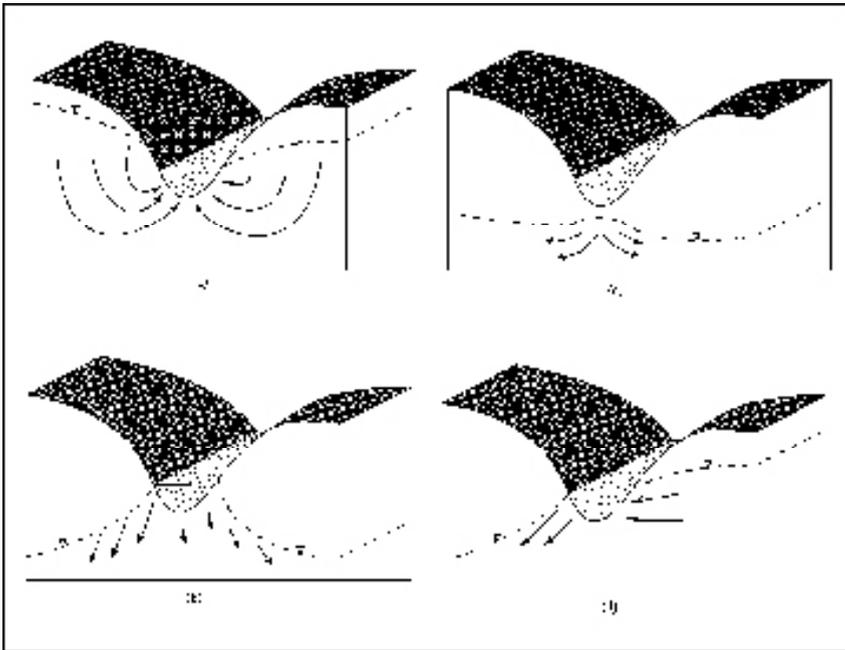


Figura 6 – Esquema gráfico dos diferentes cursos d'água.

Escorrimento Superficial

O escoamento superficial corresponde ao segmento do ciclo hidrológico relativo ao deslocamento das águas sobre a superfície do solo e é de fundamental importância para o projeto de obras de engenharia, dimensionadas de modo a suportar as vazões máximas decorrentes do escoamento superficial.

Parte do volume total precipitado é interceptado pela vegetação, enquanto o restante atinge a superfície do solo, provocando o umedecimento dos agregados do solo e reduzindo suas forças coesivas. Com a continuidade da ação das chuvas, ocorre a desintegração dos agregados em partículas menores. A quantidade de solo desestruturado, aumenta com a intensidade da precipitação, a velocidade e tamanho

das gotas. Além de ocasionar a liberação de partículas, que obstruem os poros do solo, o impacto das gotas tende também a compactar esse solo ocasionando o selamento de sua superfície e, conseqüentemente, reduzindo a capacidade de infiltração da água. O empoçamento da água, nas depressões existentes na superfície do solo, começa a ocorrer somente quando a intensidade de precipitação excede a velocidade de infiltração, ou quando a capacidade de acumulação de água no solo for ultrapassada. Esgotada a capacidade de retenção superficial, a água começará a escorrer. Associado ao escoamento superficial, ocorre o transporte de partículas do solo que sofrem deposição somente quando a velocidade do escoamento superficial for reduzida. Além das partículas de solo em suspensão, o escoamento superficial transporta nutrientes químicos, matéria orgânica, sementes e defensivos agrícolas que, além de causarem prejuízos diretos à produção agropecuária, também causam poluição nos cursos d'água (PRUSKI et al, 1997).

Estimativas de vazões máximas de escoamento superficial são frequentemente necessárias tanto em bacias hidrográficas com ocupação agrícola quanto em urbanas (BONTA & RAO, 1992). O dimensionamento de drenos, barragens e obras de proteção contra cheias e erosão hídrica requer o estudo das precipitações intensas para obtenção da altura da chuva de projeto, com a qual é definida a vazão a ser utilizada. No projeto de estruturas de controle de erosão e inundação são necessárias também informações sobre o escoamento superficial. Quando o objetivo é reter ou armazenar toda água, o conhecimento do volume escoado é suficiente. Por outro lado, se o problema é conduzir o excesso de água de um lugar para outro, a vazão de escoamento superficial é mais importante, particularmente a vazão correspondente a um determinado período de retorno (SCHAB et al., 1966).

Todos os fatores que influenciam a velocidade de infiltração da água no solo também influenciam no escoamento superficial. Inúmeros outros fatores que também influenciam o escoamento superficial podem ser classificados em:

a) Agroclimáticos

Quantidade, intensidade e duração da precipitação: o escoamento superficial tende a aumentar com o aumento da magnitude, da intensidade e duração da precipitação, a qual constitui a principal

forma de entrada de água para ocorrência do ciclo hidrológico.

Natureza de precipitação (chuva, neve ou granizo): o efeito de um evento de chuva é sentido imediatamente, mas os efeitos devido à neve podem demorar meses.

Distribuição da precipitação na bacia hidrográfica: a distribuição espacial de um evento de precipitação afeta a forma da hidrógrafa. Precipitações de alta intensidade perto da área de deságüe da bacia são responsáveis por hidrógrafas que apresentam picos acentuados. Precipitações concentradas nas partes superiores da bacia, mais afastadas da área de deságüe tendem a produzir hidrógrafas que apresentam picos menores e com maiores atrasos. Se todas as outras condições permanecerem uniformes ao longo da bacia, uma precipitação uniformemente distribuída produzirá um pico de vazão mínima. Quanto menor a uniformidade da distribuição da precipitação, maior será o pico da vazão. O coeficiente de distribuição, que é a relação entre a precipitação máxima ocorrida em um determinado ponto e a precipitação média sobre a bacia hidrográfica, é freqüentemente utilizado como índice.

Direção de movimento da precipitação: exerce maior efeito em bacias alongadas. A mesma quantidade de chuva durante um mesmo período de tempo produz um pico de vazão maior quando a precipitação se move em direção à área de deságüe da bacia.

Cobertura e condições de uso do solo: além de seus efeitos sobre as condições de infiltração da água no solo, exercem importante influência na interceptação da água advinda da precipitação.

Evapotranspiração: representa importante fator para a retirada de água do solo. Portanto, quanto maior for a evapotranspiração, menor deverá ser a velocidade de infiltração.

b) Fisiográficos

Área, forma e declividade da bacia: quanto maior a área e a declividade da bacia, tanto maior deverá ser a vazão máxima de escoamento superficial, que deverá ocorrer na seção de deságüe da referida bacia. Quanto mais a forma da bacia aproximar-se do formato circular, tanto mais rápida deverá ser a concentração do escoamento superficial e, conseqüentemente, maior deverá ser a vazão máxima deste.

Condições de superfície: decorrentes do tipo de solo, da topo-

grafia e da rede de drenagem.

Tipo de solo: interfere diretamente na velocidade de infiltração da água no solo e na capacidade de retenção de água sobre sua superfície.

Topografia: além de influenciar a velocidade de escoamento da água sobre o solo, interfere também na capacidade de armazenamento de água sobre este, sendo que as áreas mais declivosas geralmente apresentam menor capacidade de armazenamento superficial do que áreas mais planas.

Rede de drenagem: a existência de rede de drenagem, com grande grau de ramificação e altos valores de densidade de drenagem, permite a rápida concentração do escoamento superficial, favorecendo, conseqüentemente, a ocorrência de elevadas vazões sobre a superfície do solo.

Obras hidráulicas presentes na bacia: enquanto as obras destinadas à drenagem promovem o aumento da velocidade de escoamento da água na bacia e, conseqüentemente, uma concentração mais rápida do escoamento superficial, produzindo o aumento da vazão resultante, as obras destinadas à contenção do escoamento superficial resultam em redução da vazão máxima de uma bacia.

Resposta dos Cursos de Água a Eventos de Precipitação

Uma das principais motivações práticas para o estudo das vazões resultantes de eventos de precipitação é a possibilidade de fornecimento de informações necessárias para que predições e previsões sejam realizadas.

Predições são estimativas da magnitude de alguma característica relacionada à vazão (e.g. vazão de pico) que pode ser (1) associada com uma particular probabilidade de ser excedida, ou (2) produzida por um evento de precipitação hipotético.

Previsões são estimativas do comportamento da vazão a um evento que está ocorrendo ou que seja previsto sua ocorrência.

Predições do tipo 2 e previsões são feitas através de modelos hidrológicos que transformam o evento de precipitação de uma determinada magnitude e sua distribuição espacial e temporal numa descrição quantitativa do comportamento da vazão num determinado local de interesse.

A Figura 7 mostra os possíveis caminhos tomados pela água em uma pequena bacia hidrográfica.

A resposta da vazão de um curso d'água a um determinado evento de precipitação é caracterizada pela quantificação tanto da taxa de entrada da água na bacia hidrográfica medida em um ou mais pontos quanto da vazão medida num ponto do curso d'água em questão.

A maneira mais simples de visualizar o processo é considerando a bacia hidrográfica como se fosse uma “caixa preta”, isto é, como uma função ou algoritmo capaz de transformar uma contribuição (precipitação) em uma produção (vazão), ambas apresentando variações temporais (CALASANS, 1987), sendo que a vazão de um curso d'água, estimada ou medida, é uma resposta, integrada no tempo e no espaço, determinada (1) pela variação temporal e espacial da taxa de contribuição de água na bacia hidrográfica e (2) pelo tempo requerido para cada gota da água precipitada se mover do local onde atinge a superfície da bacia hidrográfica ao curso d'água e posteriormente ao local de medição.

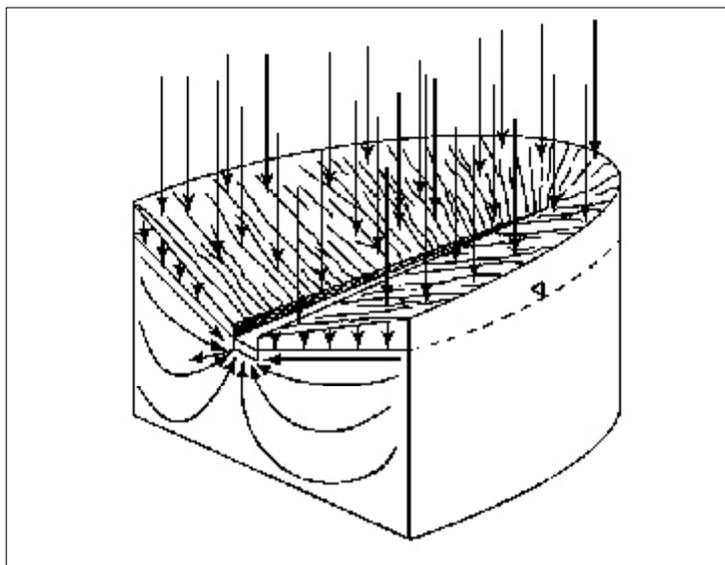


Figura 7 - Esquema das possíveis trajetórias tomadas pela água em uma pequena bacia hidrográfica durante um evento de precipitação.

Os aspectos essenciais deste complexo processo são:

- A água se movimenta dentro da bacia hidrográfica num número infinito de trajetórias superficiais e/ou subterrâneas.
- Durante o evento de precipitação, cada trajetória tomada pelo fluxo de água é uma acumulação de fluxos laterais que variam no espaço e no tempo.
- Durante o evento e enquanto a superfície do solo estiver drenando, o fluxo no curso d'água é uma acumulação de fluxos laterais temporários distribuídos ao longo do comprimento do mesmo.
- O fluxo de água em cada trajetória pode, em princípio, ser descrito pela combinação da equação de conservação de massa e uma equação de movimento apropriada ao tipo de fluxo.
- O movimento de água no seu curso pode, em princípio, ser descrito pela equação de conservação de massa e a equação que descreve o movimento de água em canais.

Segundo GARCEZ & ALVAREZ (1988), de uma forma geral, mantidas as demais condições constantes, pode-se afirmar que:

- A vazão anual aumenta com a área da bacia de contribuição.
- As variações de vazões instantâneas são tanto mais notáveis quanto menor a área da bacia.
- As vazões máximas instantâneas dependem tanto mais da intensidade da chuva quanto menor for a área da bacia. À medida que se consideram bacias maiores, as chuvas que causam maiores inundações serão aquelas de menor intensidade, porém de duração e área de precipitação maiores.
- O coeficiente de deflúvio (ou de escoamento superficial), definido pela relação entre a vazão total escoada e o volume precipitado num certo intervalo de tempo (ou para uma dada precipitação), será tanto maior quanto menor for a capacidade de infiltração do solo, os volumes acumulados e as detenções de água a montante.

Breve Estudo de Caso: Bacia Hidrográfica do Rio Almada (BA)

De forma a exemplificar a relação entre a precipitação e a vazão, a Figura 8 mostra o mapa da Bacia Hidrográfica do Rio Almada (BA), localizada no sudeste do Estado da Bahia, com uma área de drenagem de 1545 km².

O estudo do comportamento hidrológico da Bacia do Rio Almada é de grande importância regional tendo em vista as diversas captações de água existentes no rio para o abastecimento urbano de diversas cidades, entre elas a cidade de Itabuna, um dos pólos industriais do Estado, com uma população estimada em 200.000 habitantes.

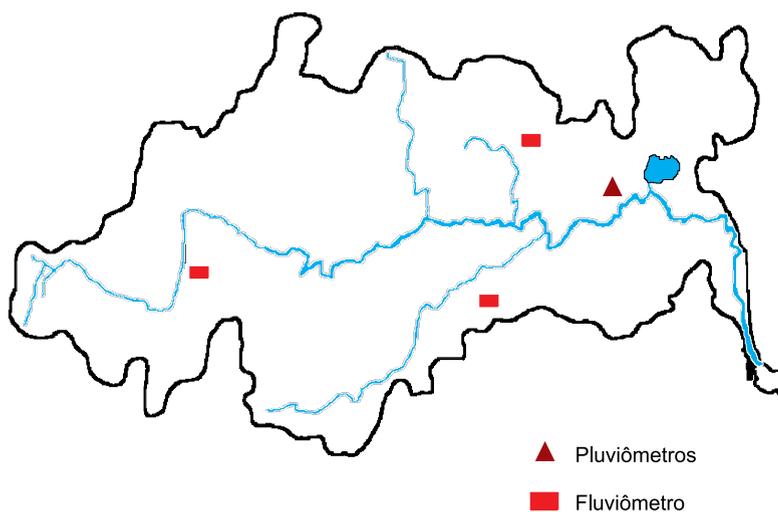


Figura 8 - Mapa da Bacia Hidrográfica do Rio Almada (BA)

A estação fluviométrica mostrada na Figura 8 drena uma área de 1226 km² e localiza-se à montante da Lagoa de Itajuípe, mais conhecida como Lagoa Encantada.

Conforme pode ser observado na Figura 9, quanto maior a quantidade total de água precipitada na área, maiores as vazões apresentadas pelo rio. Entretanto, ressalta-se que a linearidade desta relação deve ser entendida com certo grau de cautela (Figura 10).

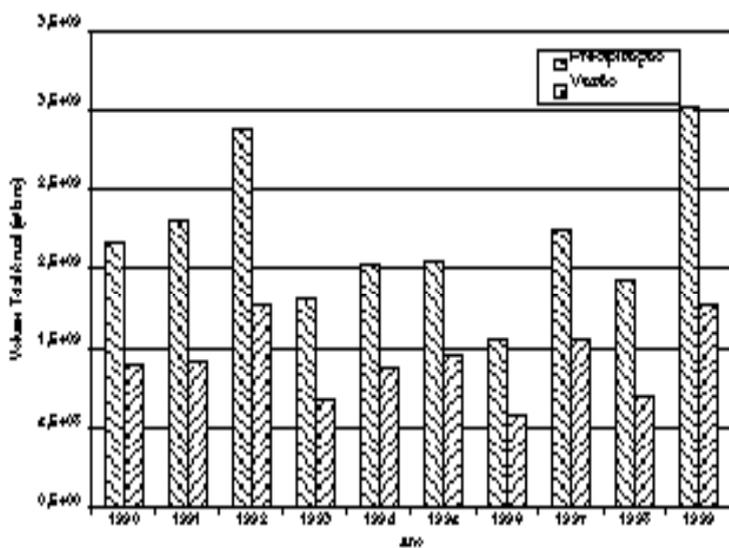


Figura 9 - Comparação entre a precipitação e a vazão - Bacia do Rio Almada

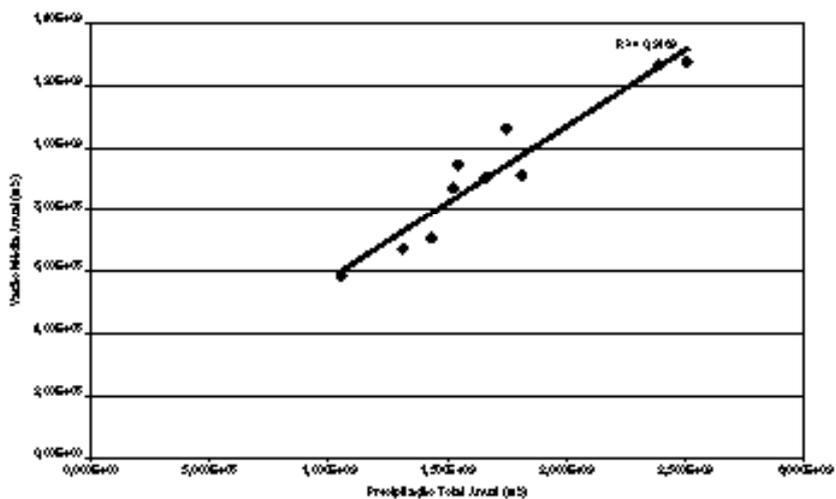


Figura 10 - Vazão média anual e precipitação total anual - Bacia do Rio Almada

O coeficiente de escoamento superficial (Figura 11) médio para o período entre 1990 e 1999 foi de 54%, apresentando uma ligeira tendência de alta até 1997. Portanto, pode-se concluir que aproximadamente 46% de toda a água precipitada dentro da área de drenagem da estação fluviométrica é infiltrada no solo, reabastecendo os aquíferos, ou é perdida no processo de evapotranspiração.

Ressalta-se, por fim, a importância para a região na manutenção das características hidrológicas do sistema, intimamente relacionadas à conservação dos recursos naturais, de maneira a assegurar um abastecimento sustentável de água para as cidades da região.

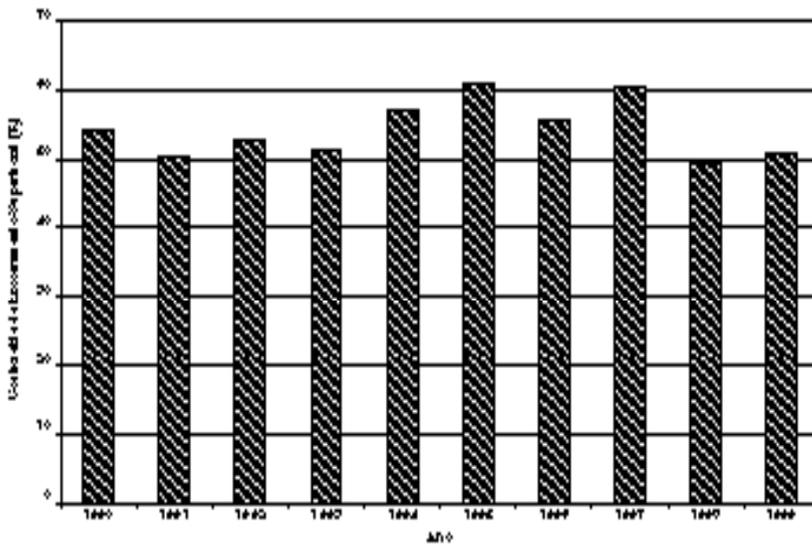


Figura 11 - Coeficiente de escoamento superficial.

Aplicações de Sistemas de Informação Geográfica em Ecologia e Manejo de Bacias Hidrográficas

Fernando Gertum BECKER

A utilização de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) vem se disseminando rapidamente nos últimos anos, entre outras razões, porque os sistemas computacionais têm também evoluído rapidamente, tornando-se mais amigáveis a usuários não especialistas e porque houve sensível diminuição dos custos dos programas e equipamentos necessários. O gradual aumento da disponibilidade de dados espaciais em formato digital e de uma massa crítica de profissionais utilizando SIG para diversas finalidades, também podem ser considerados fatores importantes para a disseminação do SIG (JONHSON & GAGE, 1997; EHLERS, 1996).

Dentre as áreas que têm se beneficiado da utilização de SIG estão a ecologia e manejo de bacias hidrográficas, para as quais surgem inúmeras perspectivas de inovação, tanto na busca de conhecimento sobre padrões e processo ecológicos, quanto no apoio a ações de manejo e gestão. Os benefícios trazidos pela aplicação de SIG à ecologia e ao manejo de bacias hidrográficas relacionam-se a sua capacidade de armazenar e manipular e visualizar uma grande quantidade de dados em um contexto especializado, de seu potencial de integração com modelos ecossistêmicos ou hidrológicos, de geração de dados derivados para outras análises e também por apresentarem 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 (DAVIS et al, 1990; ASPINALL & PEARSON, 2000; WILSON et al., 2000; FAO, 1996).

A utilização da abordagem de bacia hidrográfica traz intrinsecamente a noção de *espaço*, ou seja, de que os padrões e processos que ocorrem dentro de uma unidade espacial denominada bacia hidro-

gráfica são fortemente determinados ou associados tanto à posição absoluta de entidades no espaço, quanto à sua posição relativa a outras entidades. Segundo JOHNSTON (1998), entidades são fenômenos do mundo real e objetos são sua representação espacial. Tal pressuposto representa também a essência de funcionamento de um SIG, onde todos os dados são georreferenciados a um sistema de coordenadas (por exemplo, latitude-longitude ou Universal Transverse Mercator - UTM), de modo que sua localização é única e inequívoca.

Diversos autores ressaltam a necessidade de maior integração entre pesquisa e ações de conservação e manejo de ecossistemas aquáticos (entre outros, TUNDISI & BARBOSA, 1995; TUNDISI, 1999; NAIMAN & TURNER, 2000), sendo necessário incorporar princípios ecológicos às decisões de uso e manejo, e articular claramente o conhecimento existente sobre ecologia de sistemas de água-doce, a fim de priorizar a pesquisa sobre lacunas chave no conhecimento que estejam impedindo a compreensão e resolução de problemas. Nesse sentido, alguns desafios mencionados por NAIMAN & TURNER (2000) são: projetar padrões espaciais de futuros assentamentos humanos, prever com relativa certeza as respostas ecológicas às alterações dinâmicas do uso da terra, compreender as ligações e conseqüências destas para os sistemas aquáticos e desenvolver ferramentas e abordagens que aumentem a confiabilidade nas previsões, tanto das conseqüências como da retroalimentação sobre a dinâmica de uso da terra pelo homem. Pode-se dizer que SIGs estão entre os instrumentos mais importantes para o enfrentamento destes desafios, particularmente em áreas específicas que precisam de avanços, como a modelagem das mudanças de uso da terra, a modelagem de regimes de distúrbio e a ligação entre mudanças do uso da terra e respostas do sistema aquático (NAIMAN & TURNER, 2000).

O objetivo deste capítulo é demonstrar como SIGs podem ser utilizados como uma ferramenta para pesquisa em ecologia e manejo de bacias hidrográficas. Primeiramente são descritas algumas características fundamentais de SIG. Em seguida, são apresentadas e exemplificadas algumas aplicações potenciais, juntamente com uma discussão sobre a importância do estudo de diferentes escalas espaciais e temporais para a compreensão de padrões e processos ecológicos em bacias hidrográficas.

Sistemas de Informação Geográfica (SIG)

Um Sistema de Informações Geográficas é composto por um conjunto de ferramentas computacionais (equipamentos e programas), que permite não só o armazenamento, processamento e gerenciamento de dados espaciais, mas também diversas formas de consulta, análise, visualização e produção de resultados tabulares, gráficos e digitais (JOHNSTON, 1998). De modo geral, um SIG apresenta funções comuns a sistemas para gerenciamento de banco de dados, tratamento de imagens digitais e funções estatísticas (existem diferentes níveis de integração deste sistemas a um SIG, dependendo do *software*), e estão intimamente relacionados com outras tecnologias, como sensoriamento remoto e GPS (Global Positioning System).

A principal característica que distingue um SIG de outros sistemas computacionais é a habilidade de fornecer respostas a consultas geográficas (JOHNSTON, 1998). Portanto, um SIG é próprio para a análise de questões de natureza espacial, nas quais é de grande importância a localização de um determinado objeto de estudo ou fenômeno em relação a outros ou em relação a influências ambientais.

Em um SIG, as características espaciais da superfície da Terra (como vegetação e topografia) ou quaisquer dados que apresentem distribuição espacial (como riqueza de espécies ou concentração de metais) são registrados separadamente em formato numérico. Em outras palavras, cada conjunto de dados espaciais (vegetação, riqueza de espécies) representa uma camada de dados (ou tema), a qual, estando em formato digital, pode ser facilmente atualizada ou revisada. Um SIG produz resultados na forma de mapas, os quais podem representar diferentes camadas de dados em conjunto (visualiza-se ao mesmo tempo topografia, hidrografia, estradas e vegetação), mas também na forma de sumários estatísticos e conjuntos de dados derivados que podem ser utilizados para tarefas como modelagem e teste de hipóteses, com importante contribuição da ecologia de paisagem (JONHSON & GAGE, 1997; FARINA, 1998).

De forma geral, os conceitos e operações utilizados em um SIG não são específicos de qualquer disciplina do conhecimento e, portanto, suas aplicações podem tratar especificamente de certos temas (hidrologia, produção agrícola, conservação de fragmentos florestais), como podem buscar a integração de um conjunto de informações específicas de cada

um para, por exemplo, apoiar um processo de decisão sobre estratégias de recuperação ambiental de uma bacia degradada.

Três tipos de dados são considerados em um SIG (FARINA, 1998): a) nomes e atributos de uma feição; b) localização das feições; c) relações espaciais entre estas feições. Para representar estes dados, existem dois formatos básicos, o *raster* e o vetorial.

O formato *raster* representa as feições, utilizando unidades discretas (denominadas pixels ou células), sendo que cada célula recebe um valor numérico que pode representar tanto um identificador de feição quanto um atributo qualitativo (tipo de vegetação) ou quantitativo (área). Já o formato vetorial representa as feições como pontos, linhas ou polígonos, sendo que os atributos das feições estão armazenados em um arquivo de banco de dados ligado a cada feição por um número identificador. A Figura 1 ilustra a representação de dados nos dois formatos. A escolha do formato depende basicamente da aplicação que se pretende dar e da fonte dos dados, entretanto a tendência é de que os SIG cada vez mais compartilhem capacidade de análise e conversão de ambos os formatos (JOHNSTON, 1998). Comparações mais detalhadas entre as características, vantagens e desvantagens de cada formato podem ser encontradas em EASTMAN (1997), FARINA (1998), ASSAD & SANO (1998) E JOHNSTON (1998).

Além da localização de objetos na superfície terrestre através de coordenadas geográficas, é também componente essencial de um SIG a ligação destes objetos com atributos que os caracterizam. Pontos, linhas, polígonos ou unidades raster são associados a atributos, permitindo que se possa realizar consultas como:

- *Quais as sub-bacias cujos riachos têm dominância de espécies de peixe do gênero **Rineloricaria** (Fig. 2a)?*

- *Quais das sub-bacias acima apresentam menos de 10 espécies (Fig. 2b) e valores de índice de qualidade de água abaixo do aceitável (Fig. 2c)?*

Estas perguntas são respondidas através de análises com operadores booleanos (*AND*, *OR*, *NOT*, *XOR*), e podem ser realizadas tanto com dados em formato *raster* quanto através de bancos de dados associados a dados vetoriais. Este tipo de abordagem pode ser utilizado para facilitar a apresentação e discussão de resultados entre técnicos, comunidades locais e seus administradores. Por exemplo, RODRIGUEZ et al. (1998) demonstraram o potencial de uso de SIG

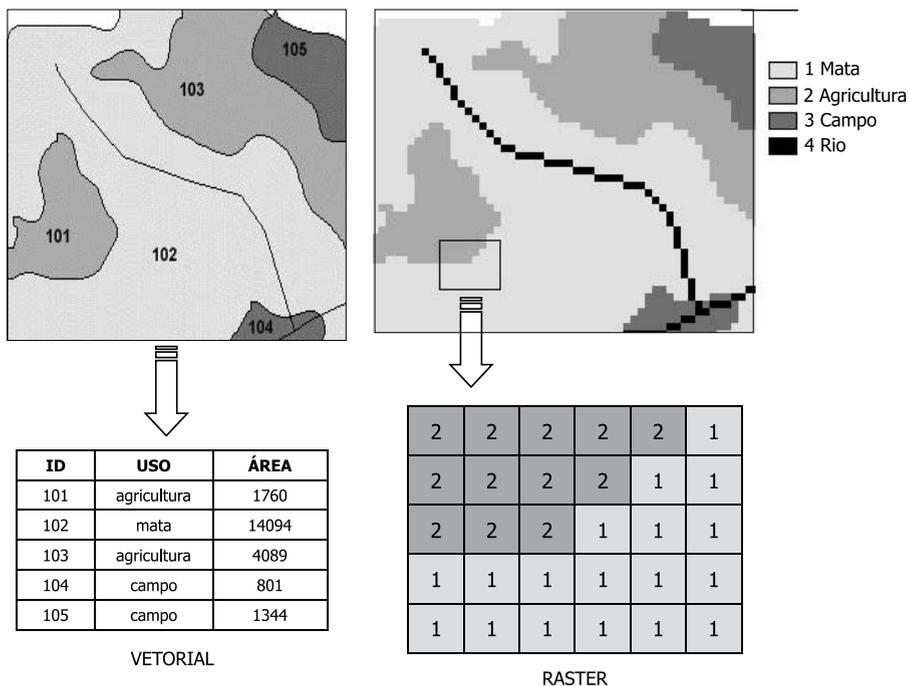


Figura 1. Representação de dados em formatos vetorial e raster. Abaixo, à esquerda, observa-se a ligação entre polígonos e um banco de dados através de um número identificador. Abaixo, à direita, observam-se os valores atribuídos a cada pixel de uma feição, conforme a categoria de uso do solo identificada para a área correspondente.

para comunicação de resultados sobre qualidade da água em 3 (três) microbacias de uma zona de mineração de carvão no Rio Grande do Sul, apresentando, através de imagens booleanas (mapas), as etapas que levaram a determinação de quais as bacias que atendiam ou não aos critérios aceitáveis de qualidade de água.

Existem várias fontes de dados para um SIG, bem como várias formas de introdução destes dados no sistema. Alguns exemplos são:

- dados obtidos em campo introduzidos via teclado do computador (como número de espécies por tipo de vegetação, pH do solo, variáveis químicas de água);
- dados existentes em mapas impressos (como malha viária ou curvas de nível) ou na forma de fotografias aéreas, digitalizados através de uma mesa digitalizadora ou de um *scanner*;

- dados digitais gerados ou capturados em outros sistemas importados ou descarregados diretamente no computador (como imagens de satélite; dados de deslocamento de animais obtidos por um receptor GPS adaptado a rádio-collares de animais silvestres; dados ambientais tomados por estações eletrônicas de monitoramento contínuo).

Um conceito importante em análises espaciais e temporais é o de *escala*, sendo importante esclarecer seu significado, dada a diversidade de formas com que é empregada em ecologia (JOHNSTON, 1998; AUGUST et al, 1996). Segundo GOODCHILD & QUATROCCHI (1997), *escala* pode ser utilizada no contexto espacial, temporal ou qualquer outra dimensão da pesquisa, e pode referir-se à magnitude de um estudo (por exemplo, sua extensão geográfica) ou ao seu grau de detalhe (por exemplo, nível de resolução geográfica). O uso de escala em referência ao nível de resolução é especialmente importante em termos de mapeamento. Por exemplo, pode-se mapear os cursos d'água de uma região em uma escala onde a menor unidade mapeável é um riacho de 1 m de largura. Nesse caso, tem-se um mapa de *grande escala*, muito detalhado e de alta resolução, onde apareceram muitos riachos de diversos tamanhos. Por outro lado, pode-se realizar o mapeamento de um rio em escala regional ou continental, onde a menor unidade mapeável pode representar cerca de 100 km². Neste caso, tem-se um mapa de *pequena escala*, grosseiro, de baixa resolução, onde somente os rios de grande porte aparecerão (comparar hidrografia baseada em um mapa em escala 1:50.000 com hidrografia baseada em mapa 1: 250.000).

Descrições e discussões mais aprofundadas sobre requisitos técnicos e de equipamento, características conceituais, operações e aplicações, bem como limitações de SIG podem ser encontradas em Assad & Sano, 1998 e Johnston, 1998, entre outros.

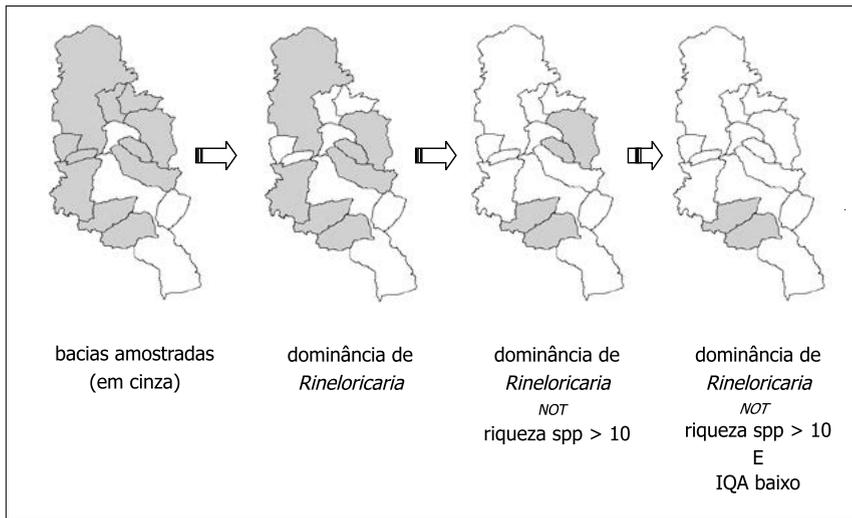


Figura 2 - Resultado de consultas a bancos de dados associados a SIG, utilizando operações *booleanas* progressivamente restritivas.

Aplicações de SIG em Bacias Hidrográficas

Sistemas de Informação Geográfica têm um potencial muito grande para o estudo de questões fundamentais em ecologia, principalmente aquelas que apresentam um componente espacial e aquelas que envolvem interações em múltiplas escalas. A utilização de SIG pode contribuir para a resolução de várias questões, como por exemplo: qual a relação entre a química e a física da água e as características em escala espacial de bacia hidrográfica como uso da terra e geomorfologia? Como fatores de escala local interferem nesta relação? A distribuição e localização de diferentes categorias de uso do solo na bacia influencia a composição de macroinvertebrados aquáticos ou a qualidade de água mais do que a existência de faixas de mapa ripária? Qual bacia, sub-bacia ou região de uma bacia pode ser considerada prioritária em termos de sensibilidade ambiental, para projetos de conservação de biodiversidade ou para recuperação ambiental? A Tabela 1 sintetiza algumas das aplicações possíveis de SIG à ecologia e manejo de bacias hidrográficas, incluindo referências correspondentes na literatura.

A formulação e teste de hipóteses, bem como a elaboração de teorias que nos permitam entender os padrões e processos ecológicos em várias escalas temporais e espaciais, são fundamentais para po-

dermos fazer previsões sobre efeitos de impactos ambientais ou de ações de manejo (TUNDISI & BARBOSA, 1995; JOHNSON & GAGE; 1997; NAIMAN & TURNER, 2000). Também precisamos de hipóteses e teorias se quisermos ter a compreensão da influência relativa de fatores ditos naturais ou fatores antropogênicos sobre o que estamos observando no ambiente (RICHARDS et al., 1996). A importância das questões de escala neste processo tem sido amplamente debatidas, tanto do ponto de vista do desenvolvimento de métodos e teorias, como de manejo (ZIEMER, 1997; COOPER ET AL, 1998; MATHER ET AL, 1998; MASON & BRANDT, 1999; LEWIS ET AL, 1996; ALLAN & JOHNSON, 1997; GOODCHILD & QUATROCCHI, 1997).

Tabela 1. Aplicações potenciais de Sistemas de Informação Geográfica à ecologia e manejo de bacias hidrográficas (modificada de JOHNSON & GAGE, 1997).

APLICAÇÃO	EXEMPLO	REFERÊNCIAS
Produção de mapas; dados secundários a partir de dados originais	Declividade ou temperatura; aspecto a partir de elevação; mensuração de áreas; extensão de rios	Rahel & Nibbelink, 1999; Richards et al, 1996.
Quantificação de associação entre características espaciais	Uso do solo; geologia; tipo de solo; topografia; hidrografia; densidade populacional; distribuição de espécies	Toepfer et al, 2000; Meixler et al., 1996; Rahel & Nibbelink, 1999;
Quantificação de padrões da paisagem e relações espaciais	Forma, conectividade, justaposição e fragmentação de unidades da paisagem	Hunsacker & Levine, 1995; Aspinnall & Pearson, 2000
Quantificação de padrões temporais	crescimento da vegetação; expansão ou redução de áreas úmidas	
Quantificação de mudanças temporais	Transformações do uso do solo	Novo et al., 1995
Ligação entre dados espaciais e modelos	simulações e previsões a partir de modelos hidrológicos, ecossistêmicos, distribuição de organismos	Cochrane & Flanagan, 1999; Schumann & Geyer, 2000; Aspinnall & Pearson, 2000; Mendes et al, 1999.
Zoneamento, classificação e priorização de bacias conservação, manejo e planejamento	conservação de biodiversidade; prioridade para medidas de recuperação da qualidade de água; análise de risco	Meixler et al, 1996; FAO, 1996; Sheng et al, 1996; Fitzgerald et al, 1999; Wilson et al, 2000; Weber et al., 1998

Historicamente, a ecologia de sistemas aquáticos desenvolveu a maior parte de seus conceitos básicos e métodos estudando sistemas pequenos, homogêneos e bem delimitados, como lagos ou em escalas espaciais (e temporais) grandes, como um local ou seção ao longo de um RIO (LEWIS et al. 1996; JOHNSON & GAGE, 1997; GARNIER & MOUCHTEL, 1999). O número de locais de amostragem, a frequência e o tipo de mensuração são limitados por custos, tempo e logística, ou baseados em acessibilidade aos locais mais do que em critérios ecológicos (NOVO et al., 1995). De forma geral, sabe-se pouco sobre tendências espaciais das características de um sistema tão dinâmico e variável quanto o aquático, ainda que muitas vezes sejam conhecidos certos padrões temporais em escala sazonal ou ao longo das 24 horas (NOVO et al., 1995; MALTHUS et al. 1996).

Atualmente, porém, a necessidade de uma abordagem espacial de extensão mais abrangente e em múltiplas escalas é largamente aceita e recomendada (Lewis et al, 1996; TUNDISI & BARBOSA, 1995, BRYCE & CLARKE, 1996; TUNDISI, 1999; GUSTAFSON et al, 2000). Qualquer interação entre componentes (tanto físicos como biológicos) do ecossistema implica relações entre diferentes escalas de tempo e de espaço. Por exemplo, modificações na carga de sedimentos de um rio causadas por um distúrbio de margem localizado, ocorrem em escalas temporais e espaciais diferentes do que as alterações associadas com o desmatamento na área da bacia, as quais geralmente têm conseqüências de maior magnitude e extensão. Entretanto, em certas situações, a erosão das margens dos rios pode responder por até 60% do transporte anual de sedimentos (Laubel et al, 1999 APUD GARNIER & MOUCHEL, 1999), o que demonstra a complexidade das relações entre o sistema aquático e o terrestre. Outro exemplo pode ser encontrado em JOHNSON et al. (1997), os quais observaram que, no verão, 65% da variância nas concentrações de nitrato-nitrito nos riachos por eles estudados podiam ser explicadas pela proporção de terra utilizada para culturas anuais na bacia. Por outro lado, fatores relacionados à paisagem da bacia respondiam por apenas 31% da variância em fósforo total.

Uma das propriedades mais interessantes de SIGs é justamente o fato de que os procedimentos técnicos para manipular dados espaciais são independentes da escala (AUGUST et al, 1996), o que ao mesmo tempo suscita uma série de cuidados na manipulação destes dados

(GOODCHILD & QUATTROCHI, 1997). Um SIG permite mapear e analisar a distribuição de fragmentos de vegetação em toda uma bacia hidrográfica, tanto quanto a distribuição de plantas individuais dentro de 1 (um) hectare, ou mesmo o padrão de distribuição de perifíton em uma rocha. Tudo depende da extensão e resolução dos dados disponíveis e de que as entidades mapeadas possam ser localizadas no espaço através de um sistema de coordenadas. Qual a melhor escala a ser utilizada, dependerá do objetivo do trabalho em questão. Embora nem sempre a escala mais detalhada seja a mais adequada, é importante observar que pode-se derivar um mapeamento de pouca resolução a partir de outro de grande resolução (isto é realizado facilmente em um SIG), mas não o inverso (JOHNSTON, 1998).

Segundo ALLAN & FLECKER (1993), várias transformações da paisagem (como alterações na hidrologia de rios e riachos resultantes de mudanças no uso da terra, alterações de habitat e poluição de fontes difusas) estão entre as principais ameaças aos ecossistemas lóticos. A estrutura e função das paisagens são dependentes de escala pelo fato de que paisagens são áreas espacialmente heterogêneas, ou mosaicos ambientais (HUNSACKER & LEVINE, 1995). Além disso, relações entre processos ocorrendo em diferentes escalas são importantes do ponto de vista da interação entre aspectos físicos do ambiente e a biota (WILEY et al, 1997; COOPER et al, 1998; MASON & BRANDT, 1999). A interação de distúrbios, como aqueles mencionados no parágrafo anterior, com a biota depende, em parte, das escalas temporais e espaciais associadas com a história de vida dos organismos (CUNJAK, 1996; MATHER et al, 1998).

Portanto, as escalas temporais de análise da ecologia de peixes em uma bacia hidrográfica podem abranger de poucos quilômetros até várias centenas de quilômetros. Além disso, a análise necessariamente será em múltipla escala, dadas as diferenças inter-específicas e a complexidade do ciclo de vida de certas espécies. Segundo MATHER et al. 1998, um dos consensos que emergiram dos trabalhos sobre integração de escalas no estudo da ecologia do salmão do Atlântico foi o de que diferentes processos ao nível de populações e comunidades operam em escalas temporais e espaciais também diferentes. As escalas temporais variam da dinâmica de desenvolvimento de peixes individuais até tempo evolutivo. Além disso, foi observada a importância de considerar a escala em que ocorrem os processos na natureza para

o dimensionamento coerente das atividades de pesquisa e sucesso das ações de manejo. Embora a maior parte dos trabalhos mencionados por MATHER et al. (1998) trate apenas de grupos taxonômicos do hemisfério norte e com histórias de vida muito particulares, as conclusões podem ser consideradas válidas para outras regiões do mundo.

Na região Neotropical, inúmeras questões relativas à escala em ecologia, conservação e manejo de peixes podem ser formuladas e investigadas, sendo muitas delas de natureza espacializada e prestando-se, portanto, à aplicações em SIG. A ictiofauna do bacía do Paraná-Paraguai, por exemplo, apresenta uma ampla variação inter-específica nos padrões de história de vida (ver artigos em VAZZOLER et al., 1997). Para as espécies que realizam grandes migrações, os padrões espaço-temporais de utilização de habitats ao longo da bacía são compartimentados no tempo (sazonalidade) e dependentes das etapas do ciclo de vida e do ciclo reprodutivo. Outras espécies podem ser consideradas residentes, ocupando poucos habitats específicos e próximos entre si durante todo o ciclo de vida. Embora a ictiofauna da região sofra com impactos em escala de bacía (transformação de uso do solo), a dimensão destes impactos não vem sendo avaliada (AGOSTINHO et al. 1997), a não ser no que se refere àqueles causados por barramentos (por exemplo, AGOSTINHO et al., 1992). Ainda assim, a alteração do regime hidrológico de rios devido à operação de barragens gera inúmeros impactos em larga-escala (NILSSON & BERGGREN, 2000), sendo um dos principais a alteração da conectividade entre o rio e sua planície de inundação, prejudicando habitats de reprodução e crescimento de peixes (SCHIEMER et al., 1995; AGOSTINHO & ZALEWSZKI, 1996). Utilizando um SIG, seria potencialmente possível identificar e quantificar tais habitats através de dados obtidos por sensoriamento remoto, estudar a distribuição espacial destes habitats e monitorar suas alterações ao longo do tempo e em relação ao novo regime hidrológico dos rios. A partir destas informações seria possível estudar relações com dinâmica de estoques pesqueiros, assim como fundamentar estudos para esquemas de gerenciamento hidrológico da bacía.

Com relação à influência de modificações no ambiente terrestre de bacias hidrográficas sobre os ecossistemas aquáticos, diversos trabalhos mostraram que a proporção de diferentes tipos de uso da terra na bacía podem ser responsáveis por parte da variabilidade na

qualidade de água de rios (OSBORNE & WILEY, 1988; SEE et al, 1992; HUNSACKER & LEVINE, 1995; RICHARDS et al, 1996), assim como por padrões em termos de posição e configuração de feições na paisagem. De forma geral, estudos que consideraram características do ambiente em diversas escalas sugerem que as correlações mais fortes entre a condição de um rio e uso da terra se dão na escala de bacia (ROTH et al., 1996; ALLAN et al, 1997 e JOHNSON et al, 1997). Por exemplo, segundo HUNSACKER & LEVINE (1995), pode-se esperar que 50% de uso agrícola e uma zona de mata ripária intacta representem uma situação melhor (menor turbidez e menos nutrientes) do que a mesma bacia sem nenhuma zona ripária, mas ainda não é claro em que situações o uso da terra nas proximidades de um rio pode ser mais determinante para a qualidade da água do que o uso do solo em toda a bacia. Entretanto nem sempre esta relação é clara, e os resultados podem ser dependentes de escala e resolução dos dados. Em pequenas bacias de drenagem, o uso da terra mais próximo aos riachos parece prever melhor a qualidade de água do que o uso da terra da bacia Inteira (OSBORNE & WILEY, 1988), porém, em bacias maiores o uso da terra nas áreas mais altas parece ser tão importante quanto os usos próximos aos rios (HUNSACKER & LEVINE, 1995).

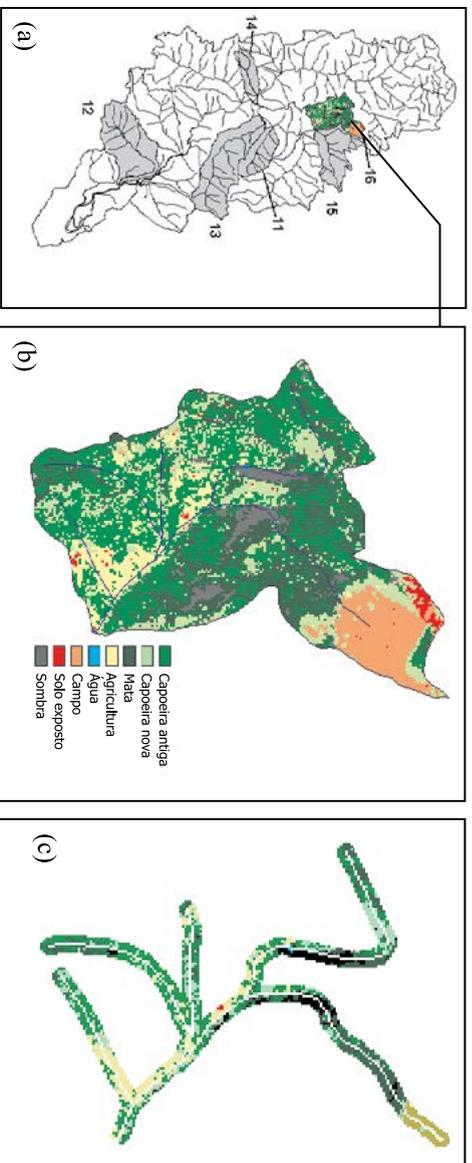
A Figura 3 ilustra a obtenção de dados de paisagem em três escalas espaciais, que podem ser utilizados posteriormente para avaliar a influência de cada escala na detecção de relações entre tipo, extensão, posição e configuração de uso/cobertura da terra sobre características de qualidade de água (ou perifiton, macroinvertebrados, peixes, etc) em rios. Na Figura 3a, observa-se a malha hidrográfica da bacia do rio Maquiné (nordeste do RS). Em cinza são destacadas algumas bacias de interesse para estudo. A malha hidrográfica foi digitalizada a partir de cartas topográficas do DSG do Ministério do Exército em escala 1:50:000; os limites da bacia foram obtidos manualmente, observando-se os divisores de água a partir das curvas altimétricas das cartas, mas poderiam ter sido obtidas através de operação automatizada em SIG. Foi também obtido um mapa de cobertura da terra em toda a bacia a partir da interpretação de imagens do satélite TM Landsat 5. Em 3b é mostrado em destaque o mapa de uso da terra para uma das sub-bacias e em 3c, o uso da terra em uma zona tampão de 100 m para cada lado do riacho. Através de operações em um SIG, pode-se derivar diversos dados a partir destes mapas digitais, como a área

total da bacia e o comprimento total de riachos para cálculo da densidade de drenagem (Fig 3a), as áreas de cada mancha de cada tipo de cobertura ou a área total de cada tipo de cobertura na sub-bacia (Fig. 3b). Além disso, dados sobre estrutura e configuração da paisagem, como conectividade, fragmentação e dominância (Farina, 1998) podem ser obtidos automaticamente para toda a bacia, para cada sub-bacia e para zonas de interesse em cada sub-bacia (Fig. 3c) e, em seguida, ser utilizados para estudar relações estatísticas com características da biota aquática ou de qualidade de água medidas em campo (tabela junto à Figura 3) ou para entrada em modelos.

Quando integrados a modelos hidrológicos ou ecossistêmicos, dados espaciais derivados de SIG e sensoriamento remoto podem ser utilizados para fazer previsões específicas sobre processos em rios a partir de atributos em escala da paisagem (JOHNSON & GAGE, 1997). HUNSACKER & LEVINE (1995) utilizaram SIG para um estudo sobre a influência de processos terrestres, da escala e da resolução dos dados sobre qualidade de água em duas regiões dos EUA. Os métodos utilizados por estes autores para obtenção de parte dos dados são semelhantes aos descritos no parágrafo anterior e na Figura 3. As perguntas básicas do trabalho de HUNSACKER & LEVINE (1995) envolveram questões que podem ser tipicamente respondidas com auxílio de SIG:

- Os tipos de uso da terra são tão importantes quanto o padrão espacial desses tipos para caracterizar e modelar a qualidade de água em bacias de tamanhos diferentes?
- O uso do solo próximo a um rio pode responder melhor pela variabilidade da qualidade da água do que o uso da terra em toda a bacia?
- O tamanho da bacia influencia as relações estatísticas entre características da paisagem e da qualidade de água, ou a performance dos modelos?

Como resultado, HUNSACKER & LEVINE (1995) verificaram que a percentagem de diferentes usos do solo é importante para caracterizar a qualidade de água nas duas áreas de estudo. Entretanto, ambas as regiões apresentaram respostas conflitantes com relação à influência de padrões espaciais (definidos em termos de contágio, dominância e bordas) e da proximidade de um determinado tipo de uso da terra aos



ID	sub-bacia	Área (km ²)	% Agric	% Mata	Mata (Frag)	Mata (Dom)	vazão	condutiv	P total	N total
11	Lige	11,8	5,02	33,9	0,1724	0,1387				
12	APar	30,3	13,45	11,2	0,2127	0,1339				
13	Finct	32,5	6,58	30,6	0,1600	0,1321				
14	Escg	6,8	13,82	11,5	0,1365	0,2288				
15	Gale	19,6	2,28	32,4	0,1420	0,1830				
16	Gape	13,6	9,13	26,7	0,1456	0,1675				

* Dados originais modificados

Figura 3. Informações sobre a bacia do rio Maquiné, RS, obtidas com análise em SIG; (a) hidrografia, com destaque para as sub-bacias estudadas (cinza claro); (b) mapa de cobertura do solo em uma das sub-bacias. (c) mapa de uso do solo em faixa ripária tampão (100 m), obtido a partir de b). A tabela mostra dados obtidos a partir de operações com SIG e variáveis a serem medidas em campo (condutiv = condutividade; P = fósforo; N = nitrogênio; colunas hachuradas).

riachos sobre a qualidade de água. Foi observado que a diferença de resultados podia ser atribuída às diferenças na resolução dos dados e na abordagem utilizadas em cada estudo, pois o poder explicativo de suas análises modificou-se quando utilizaram variáveis úteis em escala de bacia apenas para avaliar os corredores ripários em torno dos rios.

Embora as relações entre rios e suas bacias de drenagem tenham uma longa história em estudos ecológicos, geomorfológicos e hidrológicos de bacias hidrográficas (JOHNSON & GAGE, 1997, e trabalhos citados), pouco se sabe sobre relações que permitam previsões sobre a biota e sobre os processos que ocorrem dentro dos cursos d'água. Poucos trabalhos têm utilizado SIG para estudar as relações entre características em escala de bacia e a biota aquática, integridade ecológica e de habitats (LEWIS et al, 1996). O aprofundamento das informações sobre tais relações, e a influência que sofrem de diferentes escalas de análise são fundamentais para a melhoria de programas de monitoramento ou ações de conservação. Neste sentido, alguns trabalhos sobre biota aquática e sobre indicadores de integridade do sistema aquático ilustram as diferentes possibilidades de utilização de SIG (MEIXLER et al., 1996; RICHARDS et al., 1996; RICHARDS et al., 1997; ALLAN et al.; 1997; WILEY et al., 1997; WHILES et al.; 2000), embora poucos tenham considerado a posição ou configuração dos elementos na paisagem de forma análoga àquela utilizada por HUNSACKER & LEVINE (1995).

Em ecologia, é comum a modelagem de populações de organismos com base em variáveis ambientais relacionadas a sua sobrevivência, como energia (luz, alimento), água, oxigênio (para organismos aquáticos), nutrientes, temperatura e habitat físico, porém a espacialização destes modelos, através de um SIG, permite executar a modelagem em toda uma superfície de dados, e não apenas em alguns pontos, reduzindo a tendenciosidade introduzida por uma seleção subjetiva de pontos (JOHNSTON, 1993). Pode-se, por exemplo, estimar dados não medidos em campo (temperatura a partir de altitude por meio de uma equação de regressão; EASTMAN, 1997; RAHEL & NIBBELINK; 1999) ou fornecer mapas de adequação de habitat (TOEPFER et al., 2000).

Quando não conhecemos os fatores ambientais que influenciam uma espécie, a análise em SIG é utilizada para verificar a coincidência espacial entre os organismos e seu ambiente (JOHNSTON, 1993). Por exemplo, registros da localização e deslocamento de animais monitorados através de sistemas de rádio-telemetria podem ser utilizados

em um SIG para analisar as características da paisagem na área de distribuição de mamíferos (AUGUST et al., 1996) e mesmo de peixes (HILDEBRAND & KERSHNER, 2000). Caso existam relações estatisticamente significativas entre características de comunidades ou populações e variáveis de habitat, é possível usar tais variáveis para fazer previsões sobre a estrutura e distribuição de comunidades em uma dada condição ambiental ou tentar prever mudanças nas comunidades a partir de modificações ambientais. Isto é bem conhecido para escalas locais, mas um SIG permite que se trabalhe em escalas mais amplas, muitas vezes impraticáveis da perspectiva da amostragem de campo (JOHNSTON, 1993).

TOEPFER et al. (2000) fornecem um exemplo onde descrevem uma metodologia que utiliza técnicas de SIG para estimar abundância de peixes em riachos. Na primeira etapa do trabalho, estes autores classificaram e mapearam tipos de habitat em riachos com base em fotografias aéreas digitalizadas e em trabalhos de campo para caracterização dos habitats e checagem da classificação. Num segundo momento, quantificaram e mapearam cada tipo de habitat em campo, classificando cada tipo em termos de grau de adequação (“ótimo”, “utilizável” ou “inadequado”) para a espécie em estudo, com base em variáveis de micro-habitat físico determinadas em estudos anteriores. Na última etapa, realizaram amostras quantitativas de peixes em cada tipo de habitat e, com base nestas amostragens e nos mapas de adequação de habitat, extrapolaram estimativas de abundância para locais não amostrados em toda a bacia.

Outra questão importante relativa à interação de escalas é suscitada pelo fato de que os sistemas aquáticos sofrem distúrbios naturais em várias escalas, aos quais está sobreposta uma variedade de distúrbios antropogênicos, sendo que ambos não operam necessariamente nas mesmas escalas (MASON & BRANDT, 1999). Deste modo, tanto características fisiográficas da bacia como padrões de uso da terra podem ser importantes controladores de padrões bióticos observados. LEWIS et al (1996) argumentam que habitats apresentam uma hierarquia espacial particular, em função da qual a ocorrência de um distúrbio em uma escala pode afetar todas as escalas menores. Segundo esta lógica, o manejo em escala regional tem grande importância em termos de recuperação de habitats (embora ações locais sejam também necessárias, como em casos de fontes poluidoras pontuais).

RICHARDS et al (1996) demonstram o uso da abordagem hierárquica para examinar as influências relativas de características da bacia relacionadas ao manejo (uso da terra) e de características “fixas” (geologia, geomorfologia) sobre habitats e biota de riachos. Estudos deste tipo (múltiplas escalas e abordagem hierárquica de ecossistemas) exigem a utilização de grandes bases de dados espaciais que hoje estão se tornando disponíveis em formato digital, podendo ser rapidamente armazenadas e manipuladas em SIG.

Uma importante aplicação de SIG em bacias hidrográficas é a classificação e priorização de bacias ou regiões dentro de bacias para fins de orientação a programas de conservação, recuperação e de políticas públicas de planejamento regional (FAO, 1996; SHENG, et al, 1997). Como exemplo, a Figura 4 mostra o resultado final obtido por WEBER et al. (1998) para caracterização da bacia do rio Caí (RS), objetivando a elaboração de uma proposta de segmentação do rio para enquadramento segundo as diretrizes do Sistema Estadual de Recursos Hídricos do RS, bem como detectar conflitos de uso. Um SIG foi utilizado tanto para obtenção de parte dos dados quanto para a integração final de dados necessária para produção dos resultados finais. A segmentação obtida poderá servir como diretriz para estabelecimento de pontos de coleta para qualidade de água.

Procedimentos para priorização de bacias em escala regional podem envolver múltiplas etapas dentro de uma hierarquia de critérios, como descrito em FAO, 1996 e SHENG, et al, 1997. Processos de priorização, entretanto, dependem de que as bacias possam ser caracterizadas segundo critérios comuns e então classificadas. Tal caracterização pode variar em detalhe e extensão conforme os objetivos, dados disponíveis, tempo e recursos técnicos e financeiros (FAO, 1996). MONTGOMERY et al. (1995) descrevem um processo para caracterização e análise detalhadas de bacias hidrográficas em que o potencial de aplicação de SIG é evidente. A análise é baseada em cinco eixos, representados pelas seguintes perguntas: 1) Como funciona a paisagem? 2) Qual o histórico da bacia? 3) Quais suas condições atuais? 4) Quais são as tendências? 5) Qual a sensibilidade do ecossistema em relação a futuras ações humanas na bacia?

A primeira pergunta exige que sejam identificadas as relações entre geomorfologia, processos físicos e biológicos; as ligações espaciais entre elementos da paisagem e as unidades da paisagem dominadas

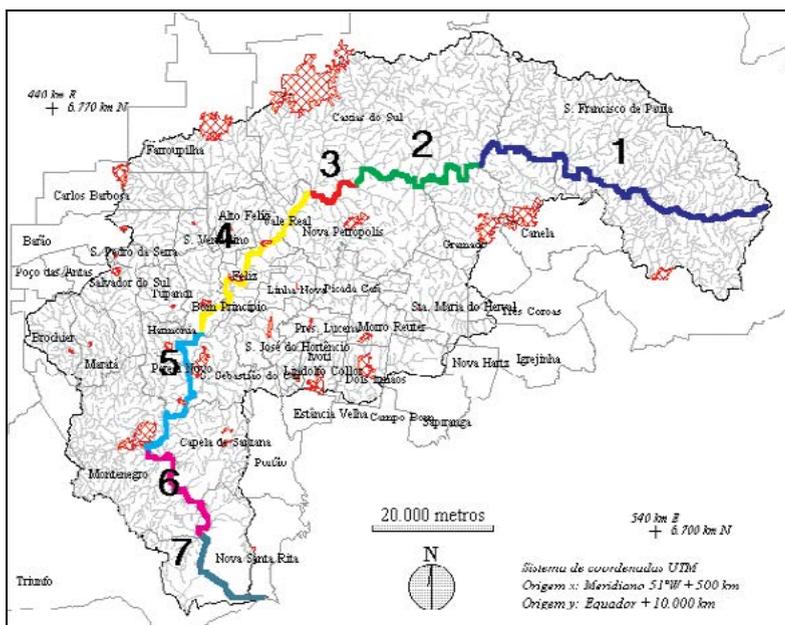


Figura 4 - Proposta de segmentação do rio Caí (RS) em função dos usos do solo e da água na bacia (Weber et al, 1998). Pontos de amostragem para avaliação de qualidade da água poderão ser estabelecidos segundo a segmentação proposta.

por diferentes processos ambientais ou distúrbios (fogo, vento, cheias, deslizamentos). Exemplos de trabalhos com SIG que abordaram alguns destes aspectos são HUNSACKER & LEVINE, (1995); RICHARDS et al, (1996) e COCHRANE & FLANAGAN (1999).

Responder à segunda pergunta inclui análise tanto em tempo geológico quanto em tempo histórico ou ecológico e contribui para a interpretação da situação atual da bacia. A avaliação da situação atual da bacia inclui informações sobre distribuição espacial de tipos de vegetação, atuais padrões de uso de terra, de distribuição de espécies e características físicas como padrão dos canais de rios. A comparação entre condições históricas e atuais fornece a base para avaliar as tendências de modificação. Tais modificações podem ser expressas em termos de mudança temporal em alguma medida de condição física ou biológica na bacia (estrutura e composição de comunidades vegetais; densidade de populações animais; alterações de tamanho ou configuração de habitats de várzea). Já a resolução da última pergunta é crucial para avaliar diferentes opções de manejo. A síntese de informações

sobre estrutura, funcionamento, história e atuais condições da bacia deve permitir a identificação de respostas potenciais do ecossistema às ações de manejo e também à identificação de seus componentes mais sensíveis. A maior parte destas tarefas inclui aplicações de SIG como aquelas apresentadas na Tabela 1 e ilustradas nas Figuras 2 e 3.

Tarefas fundamentais no processo descrito por MONTGOMERY et al (1995), e para as quais a análise em SIG ajusta-se perfeitamente, são a estratificação da paisagem e o delineamento de unidades da paisagem, ou seja, a organização da paisagem em unidades (ou ecótopos) cujas características estruturais e funcionais as distinguem de unidades vizinhas (FARINA, 1998). Existem diversos esquemas de classificação de paisagens em unidades homogêneas, os quais combinam dados como clima, geologia, solos, vegetação, uso da terra, padrões de distribuição de organismos e que são úteis para a análise de ecossistemas aquáticos e bacias hidrográficas (por exemplo, BRYCE & CLARKE, 1996 E GRIFFITH et al., 1999). A Figura 5 representa o fluxo de informação em um SIG para um processo de classificação da paisagem adaptado de DAVIS et al., 1990. Neste esquema, ao passo que a informação na execução do trabalho flui no sentido da entrada de dados para o resultado final, o processo de planejamento do sistema em todas as suas etapas deve iniciar a partir da informação que o usuário espera obter do SIG (DAVIS et al, 1990; EASTMAN, 1997). Ou seja, o esquema conceitual de classificação, explicitando todas as necessidades de dados, deve ser concebido previamente. Na etapa de aquisição de dados, *outros dados* podem representar, por exemplo, dados de campo pontuais e de localização conhecida ou dados censitários obtidos para uma determinada área.

A aplicação de SIG para a abordagem de problemas ecológicos e ambientais em bacias hidrográficas é, portanto, importante não só para a adoção de escalas espaciais e temporais mais abrangentes, como também a integração das múltiplas escalas. Há um grande potencial para estudo dos fundamentos científicos de ecologia em bacias hidrográficas, muitas vezes ainda insuficientes para que se tomem medidas na escala apropriada para proteger ou restaurar características como biodiversidade ou qualidade de água (GARNIER & MOUCHEL, 1999). Em termos de pesquisa, tentar responder uma mesma pergunta, num mesmo sistema, ao mesmo tempo, mas em diversas escalas espaciais (ou, analogamente, em diversas escalas temporais) pode ajudar no

desenlace dos efeitos sobrepostos em múltiplas escalas ou de fatores naturais daqueles ditos antropogênicos. Além disso, a combinação de abordagens que tentem extrapolar de pequena para grande escala, e também o inverso, pode fornecer melhores informações para efetivamente ligar escalas grandes e pequenas (MATHER et al, 1998).

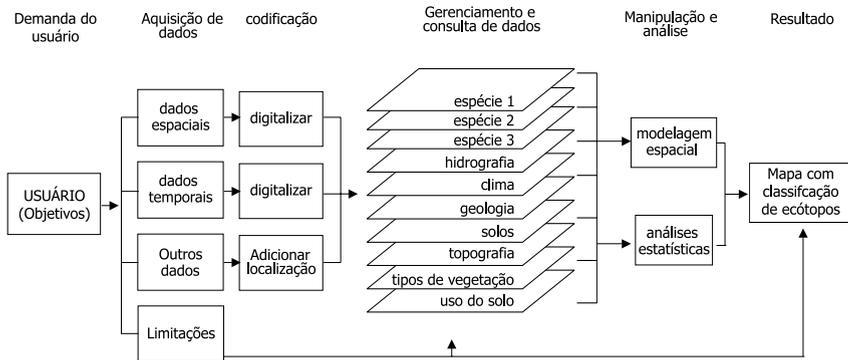


Figura 5. Fluxo de informação em um processo de classificação de ecótipos com uso de um Sistema de Informações Geográficas. Enquanto a execução do processo se dá no sentido do resultado final (mapa de ecótipos), o planejamento do processo se dá no sentido inverso, ou seja, a partir do tipo de informação final esperado pelo usuário (modificado de Davies et al, 1990).

Utilização do Conceito de Bacia Hidrográfica para Capacitação de Educadores

Paulo Henrique Peira RUFFINO &
Sílvia Aparecida dos SANTOS

O conceito de bacia hidrográfica vem sendo muito utilizado em políticas e legislações internacionais como unidade de gestão e política ambiental terrestre. Tal fato se deve essencialmente à relação entre a conservação da bacia hidrográfica e a qualidade / quantidade de água superficial que, nas atuais circunstâncias mundiais, apresenta deficit iminente em várias localidades e regiões. Esta circunstância, inadequada, tem também levado a um acréscimo de pesquisas científicas (principalmente nas ciências ditas ambientais), contribuindo sobremaneira na elaboração e execução de políticas menos permissivas de apropriação e descarte dos recursos hídricos.

Em termos da Unidade Federativa do Brasil, criou-se, após anos de experiência em níveis estaduais, a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei 9.433 de 1997). Esta ferramenta institucional federal se presta de duas maneiras distintas à presente discussão:

- primeiro, baliza planejamento e ações humanas relativas aos recursos hídricos possibilitando a médio - longo prazo, a previsão mais adequada de estruturas de conhecimento (entende-se por conhecimento o técnico, o científico e o político) destes sistemas ambientais e;
- segundo, apresenta a unidade específica Bacia Hidrográfica como unidade básica de conhecimento, delimitação, planejamento e manejo.

Em ambos os casos, evidencia e compromete a participação organizada dos diferentes atores da sociedade no saber e no agir de forma efetiva na unidade hidrográfica, objetivando um mesmo bem

comum que é a qualidade e a disponibilidade de água às presentes e às futuras gerações.

Os conhecimentos necessários à conquista do gerenciamento ambiental adequado dos recursos hídricos, sejam eles superficiais ou subterrâneos, passam em primeira instância pela percepção e modo de utilização que o ser humano faz dos mesmos e, exatamente neste ponto, se faz necessária a perfeita sintonia entre o conhecimento científico adquirido e o senso comum efetivamente viabilizado à sociedade em geral. A intensidade de transmissão, avaliação e retorno do conhecimento será o indicador do progresso ou atraso na gestão ambiental necessária à manutenção e recuperação dos recursos hídricos mundiais.

Neste sentido, o investimento em educadores de maneira geral é apresentado e focalizado no intuito de preencher parte da lacuna apresentada na transmissão do conhecimento básico aplicado, produzido pelas ciências em seus diferentes níveis de pesquisa. À figura intermediária do educador, neste processo, cabe a interpretação fiel do conhecimento produzido pelas ciências, a adequação de linguagem, desenvolvimento de método didático e, por fim, a avaliação da real importância deste conhecimento para a sociedade, no tocante à qualidade ambiental.

Neste panorama, são elencadas algumas perguntas que nortearão a discussão. São elas:

- que facilidades são obtidas na utilização da bacia hidrográfica como ferramenta de capacitação de educadores?
- quais métodos são utilizados para o alcance desta capacitação abrangente no que diz respeito aos sistemas ambientais?
- qual a efetividade da proposta?
- há escala mais adequada para se efetivar as ações?

A educação, de maneira geral, atingiu, ao fim do século XX, um grau de segmentação muito preocupante do ponto de vista funcional, que reflete diretamente na organização espacial e política dos dias atuais. No caso de uma administração pública federal, estadual ou municipal que se apresenta organizada em ministérios ou secretarias: como planejar, gerenciar e avaliar questões de ordem hídricas somente via Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal? Se o recurso é diretamente vinculado a questões

geomorfológicas, climáticas, de desenvolvimento sócio-econômico, vegetacionais etc., onde se inserem os Ministérios de Minas e Energia, da Agricultura, da Fazenda e das Questões Fundiárias nas discussões e planejamento?

No exemplo anterior, evidencia-se o grau de conhecimento, amadurecimento e importância que se dá às questões ambientais brasileiras e o quão avançados ou atrasados estamos em desenvolvimento e formação cultural. O jornalista e consultor ambiental NOVAES (1999), em entrevista, externou ser sua crença que "...um governo deveria possuir somente uma secretaria/ministério que seria o do meio ambiente e que todos os demais setores administrativos e políticos deveriam ser subordinados ao mesmo". Isto, segundo o jornalista, se deve à importância conferida inicialmente às questões ambientais que propiciarão ou não todos os outros planos e atividades econômicas, comerciais, sociais etc.

O que se argumenta, portanto, é a reconsideração da visão holística na educação básica e superior que outrora propiciava considerações mais amplas e mais reais do ambiente em que o ser humano vive, se desenvolve e cultiva sua cultura. Há, neste aspecto, uma busca metodológica de ferramentas que possibilitem a formação de novos conceitos e entendimentos para a sociedade atual a fim de garantir capacidade de reflexão e atuação frente às novas carências na qualidade de vida de ordem global.

Quais facilidades são obtidas na utilização da bacia hidrográfica como ferramenta de capacitação de educadores?

Quando se apresenta a unidade básica de gestão e estudo - Bacia Hidrográfica, vislumbra-se a oportunidade de formação holística dos educadores frente às questões de dinâmica, capacidades e adequados usos de diferentes recursos ambientais contidos nesta área delimitada fisicamente. A partir da temática de recurso hídrico, fecha-se a unidade de trabalho (bacia hidrográfica) e desta unidade se caracterizam e integram conhecimentos relativos a: solos, relevo e geologia; vegetação, fauna e usos do solo; clima e micro-clima; ocupação humana, impactos antrópicos, modelos de gestão e possibilidades de recuperação. Todos estes conceitos e conhecimentos viabilizados a partir da unidade hidrográfica são levantados e analisados de maneira plena de forma a diagnosticar e propiciar um manejo adequado do sistema escolhido como unidade básica. Este método de trabalho exemplifica

quase que a totalidade de relações e dinâmicas ambientais terrestres e de águas continentais doces o que, comparativamente aos termos da formação atual, exigiria diferentes especializações para um entendimento simplificado e segmentado do todo.

Considerando-se hoje a atual estrutura de ensino, as possibilidades de produção de conhecimento e reflexão a partir de uma unidade básica de estudo, no caso a bacia hidrográfica, se apresentam como necessárias e possíveis visto o apelo formal e informal que se tem feito com relação aos recursos hídricos de maneira geral. Trata-se de um importante momento de integração e produção de respostas sobre as diferentes dinâmicas ambientais envolvidas na questão de qualidade/quantidade de água disponível às populações que, paralelamente, trazem à discussão outros recursos naturais importantes que no momento não estão em situação crítica e, portanto, não estão sendo alvos de pesquisas e apelos gerais.

Quais métodos são utilizados para o alcance desta capacitação abrangente no que diz respeito aos sistemas ambientais?

O processo de capacitação de educadores em ambiente de bacia hidrográfica requer inicialmente a escolha de uma unidade representativa próxima à realidade vivida pelo mesmo e pelos seus educandos. Nesta escolha pode ocorrer a preferência pela bacia hidrográfica:

- mais didática: onde ocorram várias situações que ajudem a interpretar a dinâmica ambiental sobre os aspectos de ambientes naturais, rurais, conservados, ocupados e degradados.
- local: bacia hidrográfica específica aos educandos onde, após interpretação prévia do educador em sua capacitação, este consegue orientar de forma mais segura as atividades e reflexões sobre o ambiente local junto aos educandos.

O importante na escolha é que a bacia seja inteiramente conhecida e detalhada e, em geral, isto ocorre em ambientes de bacias hidrográficas de 1^a e 2^a ordens (classificação de STRAHLER - 1952).

As etapas necessárias à visão ampla da unidade de estudo e a tomada de decisões e ações de caráter ambiental, passam por um processo de:

- percepção ambiental onde o educador será estimulado a observar diferentes aspectos da área como: relevo, áreas permeáveis

(áreas verdes naturais e plantadas), áreas impermeáveis (áreas construídas, pavimentadas), densidade de ocupação humana, limites urbanos, rurais e naturais, impactos antrópicos e/ou belezas cênicas etc.

- compreensão das diferentes partes do ambiente através de levantamentos técnicos de: solos, geologia, rede hídrica, usos do solo, vegetação e fauna associadas, clima local, limites políticos urbanos, rurais e naturais, legislações afins da localidade (Lei Orgânica do Município, Decretos de Unidades de Conservação, Reservas Florestais Legais, etc.), e questões da ocupação humana da área (história, evolução do traçado urbano/rural, expansão e eixos de crescimento na área de bacia, impactos e cultura de uso da área).

Estes levantamentos em conjunto ao processo contínuo de percepção ambiental, suscitam a produção do Diagnóstico Ambiental da bacia hidrográfica, fundamentando as ações de conservação, adequação, recuperação e desenvolvimento da mesma de forma organizada, participativa e ambientalmente possível.

Salienta-se que, na produção do diagnóstico, não se utilizam técnicas e conceitos diferentes dos apresentados em materiais didáticos e paradidáticos oferecidos ao ensino, mas, ajustam-se ordens e reorientam-se os conceitos de maneira mais real e didática à vida local do educando/educador. Esta ferramenta pedagógica básica leva o processo de alteração de valores a resultados mais positivos e progressivos, contribuindo para a melhoria da qualidade ambiental dos indivíduos envolvidos.

O método de trabalho utilizado está fundamentado em bases e conceitos teóricos da Educação Ambiental (EA), recente ramo de interpretação e atuação diferenciada da educação. Importante é salientar que a EA tem se tornado um aspecto de diferenciação sobre as questões ambientais de maneira geral e tem conquistado importantes estágios políticos em termos de Brasil onde, desde a Política Nacional de Meio Ambiente (Lei 6.938 de 1981) já se considerava a EA como instrumento legal de implementação da Política. Passo seguinte foi dado no Art 225 da Constituição Brasileira de 1988, que sacramenta a EA como de direito do cidadão e dever de todos. Já em 1999, é sancionada a Política Nacional de Educação Ambiental (Lei 9.735), caracterizando a EA em

seus diferentes métodos de atuação e respectivas esferas executoras.

A EA, como elemento facilitador, tem sido aplicada e desenvolvida para diversos fins nas áreas ambientais. Pode-se elencar:

- EA aplicada à recuperação, manutenção e gerenciamento de ecossistemas ou fragmentos de interesse público;
- EA aplicada ao manejo de resíduos e conservação de recursos naturais via consumo sustentável;
- EA aplicada ao manejo de recursos hídricos;
- EA aplicada a outros processos específicos locais/regionais.

O que importa refletir na presente discussão é sobre a crescente preocupação com os recursos hídricos e a precariedade dos serviços de captação, abastecimento, tratamento e despejo do resíduo líquido (efluente) proveniente do consumo humano. Estas questões de ordem geral possuem duas características antagônicas do ponto de vista de intervenção:

- por um lado, facilitam a percepção e sensibilização devido à escassez ou precariedade de disposição, custo elevado, qualidade ruim etc., fazendo com que o processo atinja rapidamente a população alvo (educadores e educandos);
- por outro lado, dificultam o estágio específico de compreensão/intervenção, pois deixam a população alvo (educadores e educandos) expostos a graus elevados de degradação e desequilíbrios que podem não mais ter recuperação durante o processo de intervenção. Muitas vezes, o processo de capacitação passa a ser um processo específico de acionamento dos poderes públicos, órgãos competentes de saneamento, fiscalização e licenciamento mais o ministério público para acionamento legal - criminal das atividades geradoras dos impactos.

É certo que o modelo ideal de capacitação esteja objetivando o início de um processo de alteração de valores e costumes em prol do desenvolvimento sustentável e que, para estes fins, são necessários trabalhos de prevenção aos futuros impactos, ações que alertem e atuem na forma de evitar o alcance de limites ecológicos do sistema em questão.

Quando são efetivados programas prévios à problemática, pode acontecer um processo de reflexão - ação mais lento e mais profundo em termos de respostas positivas da parte dos educadores e, posteriormente, da parte dos educandos. Já, quando o processo se dá em alerta por riscos imediatos, o processo acaba por começar veloz e se estagnar também velozmente devido ao alcance máximo da competência individual do grupo envolvido que, geralmente, é o acionamento legal via ministério público ou via ação pública.

- qual a efetividade da proposta?

A efetividade de processos de capacitação de educadores, que se utilizam do instrumento físico bacia hidrográfica em seus métodos, pode ser contabilizada do ponto de vista meramente dos recursos hídricos ou do ponto de vista ambiental que, para a EA, é o mais importante.

Analisando os processos que tratam e foram contabilizados do ponto de vista de recursos hídricos, temos que, em geral, focalizar a questão hídrica superficial através de monitoramento das características químicas, físicas e biológicas. Os educadores são capacitados e equipados a caracterizar os corpos de água por meio de análises qualitativas - quantitativas em laboratório e campo (kits de análise de água), produzindo monitoramento periódico da qualidade da água da bacia hidrográfica escolhida. Este processo é interessante do ponto de vista de instrumentalizar educadores e educandos com materiais e ferramentas científicas de trabalho usual nas pesquisas hídricas. Porém, quando se considera que o processo deve levar à tomada de atitudes de conservação/recuperação por parte dos indivíduos envolvidos, os dados obtidos são de difícil aplicabilidade no solucionamento integral do impacto. Um exemplo claro é a tomada de dados em certo trecho do curso de água que aponta maior turbidez, condutividade, temperatura e baixa de O₂. Com estes dados apenas o educador pode enquadrar o curso de água como fora dos padrões usuais (levantados em monitoramento), mas sua atitude vai ser restrita ao acionamento legal, via órgão competente, para nova análise e busca da fonte poluidora. O fato é que, em se tratando de ambientes lóticos, os desequilíbrios momentâneos na qualidade da água acabam por não ser tecnicamente identificados ou, quando o são (em geral grandes despejos de poluentes), já se tornam agressores demais para qualquer ação de remediação e, às vezes, até de recuperação do ambiente atingido. Estas situações

levam o processo pedagógico a aceitar as frustrações dos indivíduos envolvidos, sejam educadores, sejam educandos.

A análise contrária a este enfoque unicamente dos recursos hídricos é a análise integral da unidade de estudo. Nesta categoria o processo de EA se dá através de percepção da totalidade da bacia hidrográfica (daí a importância de micro regiões), de forma a relacionar também os aspectos políticos, econômicos e culturais aos aspectos ambientais. Com esta preocupação, a capacitação do educador passa a ser baseada no dia a dia do mesmo e os possíveis impactos que suas atitudes podem causar ao ambiente da bacia hidrográfica. Temas e conceitos relacionados a resíduos sólidos, áreas permeáveis domiciliares, ligação de água e esgoto, despejo de águas pluviais, consumo excessivo de materiais e recursos, ocupação indevida de áreas marginais aos cursos de água etc. são apresentados, refletidos e discutidos, chegando-se voluntariamente às conclusões que estes hábitos diários atingem diferentes recursos naturais na bacia hidrográfica como: recursos hídricos superficiais e subterrâneos, solos, atmosfera, desequilíbrios de insetos e outros elementos da fauna etc. Este entendimento e aceitação do grau de responsabilidade e as devidas competências individuais dos agentes envolvidos (inicialmente educadores e posteriormente educandos) atingem, a médio prazo, um maior grau de compromisso e participação na qualidade ambiental da bacia hidrográfica trabalhada. Nessa interpretação, há uma inversão de análise da unidade, pois o primeiro método apresentado procurava interpretar o ambiente segundo a técnica de “analise a água e terá indiretamente a qualidade da bacia hidrográfica!”.

A técnica sugerida e trabalhada com mais propriedade é a de “analise a bacia hidrográfica e terá, indiretamente, entre outras tantas informações, a qualidade da água!”.

Pode-se acreditar que sejam sutilezas mas, na prática, os progressos e conquistas obtidos com a interpretação holística da unidade de estudo trazem benefícios reais em questões ambientais que, direta ou indiretamente, beneficiam a qualidade dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos.

Há escala mais adequada para se efetivar as ações?

As bacias hidrográficas se apresentam de maneiras e em grandezas distintas nas diferentes regiões, fato este que merece especial atenção quando da momento de escolha da unidade básica de estudo

e interpretação em um processo de capacitação de educadores. Sugere-se que a fundamentação mínima na escolha de uma bacia hidrográfica, como ferramenta didática, seja que a mesma atenda a visão e compreensão integral de todas as funções/relações e características ambientais necessárias à formação dos educadores. Por exemplo, para o estado de São Paulo (Figura 1a e 1b) que é dividido em 22 Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos- UGRH's (macro unidades que englobam bacias hidrográficas e partes do território paulista), não seria didático e nem possível o trabalho de percepção, compreensão e atuação concreta de educadores em toda a extensão de uma mesma unidade.



Figura 1.a - Rede Hidrográfica

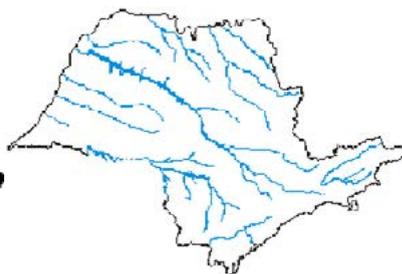


Figura 1.b - Unidades Gerenciamento Hidrográficas Estado de São Paulo

Para a questão paulista, portanto, a definição da área de estudo vai ser uma porção muito pequena, uma bacia hidrográfica local, onde estão diretamente inseridos educadores e educandos que, em composição com outras tantas bacias hidrográficas, formarão a Unidade de Gerenciamento Hidrográfico. Como exemplo, tem-se a macro região hidrográfica - UGRH Tiête - Jacaré (Figura 2), onde, de maneira mais localizada à região do Alto da Bacia Hidrográfica do Rio Jacaré Gua-

Há, portanto, que se elaborar projetos e programas específicos para cada localidade (área mínima hidrográfica) onde haja grupos de educadores e educandos. Uma questão de ordem técnica de organização e distribuição das unidades escolares é muito importante de ser analisada para a região, pois não há mais unidades rurais e os educandos originários destas áreas são centralizados nas unidades escolares da área urbana de vilas e distritos.

Os impactos desta estratégia nos programas de capacitação dos educadores são analisados de duas maneiras distintas:

- com relação ao método: diz respeito à participação de educandos da área rural em programas e projetos voltados à bacia hidrográfica onde a unidade escolar se insere que, em geral, já esta quase ou toda urbanizada. Esta circunstância remete os educandos oriundos da área rural à reflexão sobre os impactos causados pela má expansão urbana e permite aos mesmos agir com mais responsabilidades em suas áreas, já que problemas de desmatamento em áreas marginais, despejo de resíduos sólidos e líquidos nos corpos de água e impermeabilização de áreas também são atividades e problemas observados em áreas rurais;
- com relação à proposta pedagógica: diz respeito à pouca oportunidade que este educando tem de caracterizar em grupo a área onde vive, já que a mesma, às vezes, fica a muitos quilômetros de distância da unidade escolar e, por vezes, não há viabilidade econômica do educador sair com a turma em visita a esta área. Esta condição solitária pode não surtir efeito se não houver acompanhamento e interesse direto do educador através de relatórios, pesquisas e relações diretas entre as condições urbanas e rurais, baseadas na experiência destes educandos.

Nota-se que, nos projetos tidos como funcionais, há grande alteração de hábitos e de posturas do ponto de vista comunitário quando a unidade escolar, através de educadores e educandos motivados, inicia os trabalhos no ambiente da bacia hidrográfica. A proximidade dos pais e da comunidade vizinha às unidades escolares facilita o intercâmbio de ações e reflexões sendo possível efetivar práticas reais de recomposição e adoção de áreas verdes, mutirões de limpeza

e plantios, fiscalização e outras ações comunitárias que, de maneira geral, atendem aos anseios e à melhoria de qualidade ambiental local.

Já para ambientes rurais, que não possuem a unidade escolar como local centralizador de ações e reflexões, os programas e projetos devem estrategicamente adotar a capacitação de extensionistas agrícolas como objeto principal de ação, pois são eles que atendem diretamente ao proprietário rural em suas necessidades básicas de produção, adequação e desenvolvimento de técnicas menos lesivas ao ambiente e são estes extensionistas os principais responsáveis pela manutenção das informações gerais para grande parte dos proprietários, em geral, os menos favorecidos economicamente. A efetivação da proposta de capacitação de educadores em área urbana atendendo os educandos da área rural e a capacitação de extensionistas agrícolas, se completa no momento em que o educando observa e reflete hábitos e ações diferentes junto ao meio em que vive, ao mesmo tempo que os pais ou responsáveis recebem e trabalham novas formas de utilização do meio agrícola. Esta troca de informações de pontos distintos de origem (unidade escolar e extensão agrícola) permite aos atores rurais segurança e motivação de alteração de valores e técnicas em prol da melhoria da qualidade de vida local.

Independente da dimensão trabalhada (bacia hidrográfica de cursos de 1ª, 2ª ou outra ordem), o que deve ser priorizado é a escala espacial onde uma bacia é parte da outra e, assim, sucessivamente. Cabe aqui expor a conceituação/definição de NACIF (1997) que diz:

As Bacias Hidrográficas são unidades que podem ser consideradas verdadeiras "células" cuja soma dá origem ao "tecido" chamado superfície terrestre. Os componentes dessas "células" são os recursos naturais e os homens, sendo que estes, através da sociedade, atuam como verdadeiros gerentes dessas unidades

Salienta-se que a conceituação/definição apresentada difere em conteúdo das definições geográficas usuais, mas, para questões relacionadas a gestão e participação da sociedade como um todo, se apresenta de maneira didática e sugestiva em relação ao papel / função sócio - ambiental de cada indivíduo.

Consideramos portanto que a utilização do conceito de bacia hidrográfica na capacitação de educadores, assim como no desenvolvimento das ciências, tem levado a rápida produção de novos

pensamentos e novas práticas baseadas na visão holística do meio. A relevante colaboração do novo saber na produção de um senso crítico atinge, de maneira geral, a todos na sociedade, gerando uma demanda por mudanças e alterações de ordem técnicas, econômicas, sociais ambientais e também de ordem ética. A escala trabalhada na pesquisa e/ou capacitação e atuação também são fatores que influenciam a velocidade nas mudanças comportamentais sendo que, quanto menor a área de atuação/relação do indivíduo, tão mais fácil é sua responsabilização e efetivação da devida competência em relação à qualidade ambiental.

Potencialidades do Uso Educativo do Conceito de Bacia Hidrográfica em Programas de Educação Ambiental

Haydée Torres de OLIVEIRA

Porque, dantes, se solambendo por uma grotta, um riachinho descia também a encosta, um fluviol, cocegueando de pressas, para ir cair, bem embaixo, no Córrego das Pedras, que acabava no rio de-Janeiro, que mais adiante fazia barra no São Francisco. Dava alegria, a gente ver o regato botar espuma e oferecer suas claras friagens, e a gente pensar no que era o valor daquilo. Um riachinho xexe, puro, ensombrado, determinado no fino, com regojeio e suazinha algazarra - ah, esse não se economizava: de primeira, a água, pra se beber. Então, deduziram fazer a Casa ali, traçando de se ajustar com a beira dele, num encosto fácil, com piso de lajes, a porta-da-cozinha, a bom de tudo que se carecia. Porém, estrito ao cabo de um ano de lá se estar, e quando menos esperassem, o riachinho cessou.

Foi no meio duma noite, indo para a madrugada, todos estavam dormindo. Mas cada um sentiu, de repente, no coração, o estalo do silenciozinho que ele fez, a pontuda falta da toada, do barulhinho. Acordaram, se falaram. Até as crianças. Até os cachorros latiram. Aí, todos se levantaram, caçaram o quintal, saíram com luz, para espiar o que não havia. Foram pela porta-da-cozinha. Manuelzão adiante, os cachorros sempre latindo. - "Ele perdeu o chio..." Triste duma certeza: cada vez mais fundo, mais longe nos silêncios, ele tinha ido s'embora, o riachinho de todos. Chegado na beirada, Manuelzão entrou, ainda molhou os pés, no fresco lameal. Manuelzão, segurando a tocha de cera de carnaúba, o peito batendo com um estranhado diferente, ele se debruçou e esclareceu. Ainda viu o derradeiro fiapo d'água escorrer, estilar, cair degrau de altura de palmo a derradeira gota, o bilbo. E o que a tocha na mão de Manuelzão mais alumiou: que todos tremiam mágoa nos olhos. Ainda esperaram ali, sem sensatez; por fim se avistou no céu a estrela-d'alva. O riacho soluço se estancara, sem resto, e talvez para sempre. Secara-se a lagrimal, sua boquinha serrana. Era como se um menino sozinho tivesse morrido." (Guimarães Rosa - Manuelzão e Miguilim, 9ª ed. Ed. Nova Fronteira, 1984 - pp. 155-156)

Sobre Educação Ambiental

Considerar um objeto de estudo como um sistema consiste no primeiro princípio do paradigma da complexidade que representa um novo marco interpretativo, particularmente no estudo dos fenômenos que se referem ao meio ambiente. Essa abordagem permite interpretar a realidade em termos de relações, a partir de conceitos integradores, como é o conceito de **bacia hidrográfica**.

Em educação, a opção pelo *aprender a aprender*, parte do pressuposto de que qualquer experiência não é só de um indivíduo, mas se dá num contexto, na relação com os outros, considerando que a autoridade vem da experiência e que esta não é prerrogativa daquele/a que está desempenhando o papel de professor/a. Pressupõe ainda uma postura dialógica e geradora de autonomia, numa perspectiva de construção contínua do conhecimento (Freire, 1998). O pensamento dialético e a postura dialógica na abordagem dos problemas do cotidiano são também ferramentas centrais do paradigma da complexidade (MORIN, 1998).

Essa visão, introjetada nas instâncias educativas, permite construir vias de superação da convicção de que a fragmentação do conhecimento, fruto da parcelização da realidade em disciplinas ou campos do saber, seja essencial ou a única forma de aprendizagem. Consiste também na possibilidade de mudar o quadro de alienação das pessoas quanto à interdependência entre sua visão de mundo e seu modo de vida e a degradação e comprometimento de sua qualidade de vida e da qualidade ambiental.

Outra implicação educativa dessa abordagem é a indução do ensino e pesquisa multi e interdisciplinares, ou seja, requer o trabalho em equipe, envolvendo diferentes profissionais, permitindo a construção de uma visão poliocular dos problemas ambientais. Nesse sentido, a utilização da bacia hidrográfica como unidade de estudo e análise, a partir da qual se darão as diversas etapas do processo educativo e das ações originadas a partir deste, é extremamente relevante.

O funcionamento de sistemas complexos como as bacias hidrográficas - muitas vezes caótico e imprevisível - gera dificuldades e até mesmo a impossibilidade de detectar ou prever os efeitos da ação do ser humano sobre o ambiente, exigindo o desenvolvimento da habilidade de lidar com incertezas e desafios, através de processos

coletivos e participativos de gestão ambiental. Esse processo deve ser permeado por uma constante reflexão e revisão de valores frente à dinâmica inerente aos falsos binômios, como por exemplo: - uno/múltiplo, certezas/incertezas, individual/coletivo, público/privado, organização/desorganização - na construção de uma nova ética nas relações humanas e dos seres humanos para com todos os integrantes do ambiente (OLIVEIRA et al. 2000; NALE et al 2001).

Essa convicção se fortalece ainda mais a partir da consideração de que cada grupo cultural apresenta visões de mundo e percepção dos problemas ambientais que lhes são peculiares e que devem ser levadas em conta no delineamento de programas educativos, reconhecendo e valorizando o saber empírico e as características histórico-culturais das comunidades envolvidas (BRESSAN, 1996; GEERTZ, 2001). A valorização das metodologias participativas (FIEN, 1993; ROBOTOM & HART, 1993; STAPP et al, 1996) nas diversas instâncias de tomada de decisão frente aos problemas ambientais evidencia-se cada vez mais, sendo defendida e recomendada por inúmeros/as educadores/as ambientais e sua fundamentação deve ser buscada pelos/as interessados/as entre os referenciais da área de educação e das ciências humanas.

Seguindo a proposição de LUCAS (1980/1981) de entender as várias vertentes da Educação Ambiental segundo a terminologia sobre, no e para o ambiente, MAYER (1998) aponta o caminho da superação do fundamento paradigmático subjacente a cada uma dessas linhas, não pela negação absoluta do que cada uma significa no contexto escolar e no contexto da educação não-formal, mas na revisão das posturas pedagógicas nelas implícitas. Outros entendimentos da proposição de LUCAS (op.cit.) podem ser encontradas em ROBOTOM & HART (1993), SATO (1997) e MÁXIMO-ESTEVEES (1998).

A Educação Ambiental é entendida aqui como um processo de construção de conhecimento, englobando o fazer educacional nas suas várias dimensões, seja conceitual, procedimental ou atitudinal. Além dos conteúdos conceituais, portanto, através dos conteúdos procedimentais, busca-se o desenvolvimento de técnicas e instrumentos para promover a participação efetiva dos sujeitos envolvidos na ação educativa. Nos conteúdos atitudinais vale mais o testemunho de uma *experiência vivida* em busca de uma nova relação com o ambiente, do que apenas o *falar sobre* as questões ambientais. Nessa dimensão, a coerência entre discurso e prática vem à tona e é considerada um ponto chave na

relação entre os aprendizes. À essas dimensões SORRENTINO (2001, com. pessoal) acrescenta outras duas, a dimensões ética e política, que envolvem o aprendizado da habilidade de estabelecermos pactos de convivência que garantam a sobrevivência digna de mais de 6 bilhões de seres humanos no nosso planeta, e as dimensões estética e poética, que representam um espaço para manifestações as mais diversas, mas que acima de tudo permite a revisão da conexão que cada um de nós estabelece com o viver nesse planeta. Portanto, um processo que promova e incentive a reflexão, o diálogo e a negociação sob novas regras, de um jogo novo e desafiador, no qual a igualdade social, a eficiência econômica e a prudência ecológica (SACHS, 1992) devem concorrer para a sustentabilidade ambiental.

Sobre Bacias Hidrográficas

BORMANN & LIKENS (1967) estão entre os pioneiros em considerar a bacia hidrográfica como uma unidade ecossistêmica básica. Considerando as diversas fases do ciclo da água, é nesse âmbito que ocorre o maior grau de interferência antrópica (SIMMONS, 1982). No entanto, a utilização da água como um “recurso” para as atividades humanas ocorre, em geral, desconsiderando o fato de que estamos tratando de um sistema, onde as partes se interrelacionam, segundo uma “dinâmica complexa e delicada” (RUTKOWSKI, 2000). Essa última autora enfatiza a urgência em se utilizar a abordagem sistêmica na gestão das águas doces em áreas urbanizadas, onde essa percepção fica prejudicada pelo alto grau de alteração da paisagem.

Há, sem sombra de dúvida, uma enorme convergência de diversas áreas da pesquisa e do gerenciamento dos recursos naturais, na definição da bacia hidrográfica como uma unidade de estudo, planejamento e gerenciamento. Este fato pode ser constatado na literatura da área da Ecologia, da Geografia, da Engenharia Agrônômica, da Engenharia Sanitária e Ambiental, da Ciências Sociais, entre outras.

Interessante observar que várias pesquisas e intervenções vêm ocorrendo, considerando o recorte espacial ou geográfico da bacia hidrográfica, mas com ênfase em outras temáticas que não propriamente o manejo da água. Em alguns casos, destaca-se a gestão mais ampla do espaço urbano (ANTONIO et al., 1997), outros relatam experiências

de planejamento local participativo (CARVALHO et al., s/data), ou ainda como área delimitada para a amostragem da pesquisa na área da educação ambiental ligada ao ensino da Geografia (BORTOLOZZI, 1998 e BORTOLOZZI & PEREZ-FILHO, 2000).

As perspectivas da Educação Ambiental voltadas ao manejo e conservação dos recursos hídricos foram apontadas por OLIVEIRA (1999), destacando a importância do papel que os profissionais ligados à Ecologia e Limnologia devem assumir em prol das mudanças necessárias na relação sociedade-ambiente.

Segundo BOON & HOWELL (1997), as pesquisas relativas aos aspectos ou atributos naturais dos corpos d'água têm sido enfatizadas, de forma que os aspectos mais antropocêntricos da qualidade da água (por exemplo, valor recreativo, preferências estéticas, apreciação de paisagens etc.) são campos bem menos ativos em termos de pesquisa que os campos da Ecologia, Química, Hidrologia e Geomorfologia. Uma das decorrências dessa compartimentalização do saber e da visão naturalista despolitizada da questão ambiental é a presença, ainda tênue, da abordagem ecológica e limnológica na formulação e implementação de políticas públicas de proteção e conservação dos corpos d'água.

De acordo com estes mesmos autores, o termo "qualidade da água" é de difícil definição, já que ora é tratada num sentido bastante estrito (como parâmetros para definir graus de poluição), ora segundo uma visão mais abrangente, concluindo que qualidade é uma noção subjetiva e indefinível em sua essência, posição também defendida por GOUGH et al. (1998), que designam termos como esse, "conceitos adaptativos", ou seja, que variam dependendo de vários aspectos (cultural, sócio-econômico, político etc.) ou mesmo ao longo do tempo.

Outra consequência dessas características é a constante mudança e desenvolvimento de estruturas organizacionais e da legislação referente ao controle da qualidade ambiental, destacada por BOON & HOWELL (1997) para os países da Europa. Além disso, obrigações nacionais e internacionais como a Convenção da Biodiversidade (assinada na Conferência do Rio-92) apontam a necessidade de meios mais adequados para descrever e monitorar uma gama maior de atributos dos corpos d'água. Daí a importância das técnicas de avaliação da qualidade ambiental e do monitoramento dos corpos d'água.

No Brasil, as recentes alterações na Portaria do Ministério da Saúde (Portaria 1469 de 29/12/200, modificada em janeiro de 2001) que estabelece os critérios de qualidade da água para o abastecimento público são reflexos muito mais dos problemas de saúde pública que afetam profundamente a saúde das populações de baixa renda do que uma preocupação com a qualidade ambiental em seu aspecto mais amplo ou de prevenção da degradação ambiental, como, por exemplo, evitar a eutrofização dos corpos d' água e, desta forma, a proliferação de cepas de cianobactérias potencialmente tóxicas.

A Bacia Hidrográfica como unidade de planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos

Por muito tempo, argumentou-se que a descrição e a definição da qualidade dos ambientes aquáticos não precisava se estender além das margens dos rios e lagos. No entanto, hoje é amplamente reconhecida a importância de serem entendidos os processos na bacia de drenagem e da vegetação ripária, considerando a profunda influência que os mesmos exercem na qualidade da água (entre tantos outros pode-se citar EDWARDS, 1997; MARQUES, 2000). Evidencia-se cada vez mais a necessidade de elaboração e implementação de planos ou programas de manejo integrado de bacias hidrográficas (ROCHA et al., 2000), que tenham como objetivo a manutenção da integridade ambiental dos sistemas nelas presentes.

Segundo BRESSAN (1996), isso implica que cada parcela do espaço (ou cada propriedade integrante) da bacia hidrográfica deve ser considerada em seu todo e, ao mesmo tempo, em sua relação com as demais parcelas (conjunto de propriedades), obedecendo a uma lógica comunitária que oriente a escolha das práticas de manejo do solo, da água, das florestas, além da definição das formas de ocupação do espaço e as opções quanto aos modos de produção a serem implantados ou mantidos. Ainda segundo esse mesmo autor, essa metodologia é incipiente nos países do chamado Terceiro Mundo, citando para o caso brasileiro a situação do Programa Nacional de Microbacias instituído em 1987 e cuja meta - não atingida - era gerir 4.000 microbacias até 1990. O programa foi parcialmente implantado nos estados do Paraná e Rio Grande do Sul, reconhecendo-se que “os benefícios oriundos de

programas com estas características abrangem o progresso sócio-econômico das famílias participantes, através de intervenções planejadas sobre os recursos naturais e da gestão comunitária e participativa, o que significa reconhecer, entre múltiplos aspectos, o saber empírico e as características histórico-culturais dos diferentes grupos sociais. Contudo, alguns impasses permanecem, entre eles, a resistência de grupos políticos conservadores e de grandes proprietários rurais e a ineficiência do monitoramento das medidas implantadas”.

Outras iniciativas como o Programa Nacional de Despoluição de Bacias Hidrográficas (FOLHA DO MEIO AMBIENTE, 2001) são ainda tímidas, uma vez que a grande maioria dos corpos d’água no território brasileiro precisa de intervenções urgentes para sua proteção, o que requer investimentos maciços e revisão profunda dos processos econômicos, políticos e sociais (derivados da cultura e do padrão ético predominantes) estabelecidos nas bacias hidrográficas.

Nesse bojo também se coloca a necessidade de adequação ou reformulação de normas e padrões de qualidade da água. ZAGATTO et al. (1998) propuseram um novo índice de qualidade da água que possa atender, além das exigências referentes à potabilidade da água, aquelas necessárias para garantir a preservação da vida aquática, objetivo não contemplado de forma explícita e objetiva na legislação e na regulamentação existentes. Outras proposições, como a de RAVEN et al. (1997), levam em consideração para a classificação dos rios a qualidade de habitats, avaliados segundo suas características físicas, estando em foco, portanto, a qualidade ambiental, e não simplesmente a qualidade da água para consumo humano.

Vários autores apontam o gerenciamento dos recursos hídricos, monopolizado durante décadas pelo setor elétrico no país, como uma das causas do agravamento crescente dos problemas que vimos enfrentando nessa esfera (VARGAS, 1999; ROCHA et al, 2000). Segundo VARGAS (op.cit.), essa hegemonia foi sendo substituída em decorrência de ampla mobilização de setores organizados da sociedade brasileira ligados à água e ao ambiente, culminando numa visão de usos múltiplos dos recursos hídricos, contemplada nos Sistemas Paulista e Nacional de Recursos Hídricos (Lei Estadual no. 7663/91 e Lei Federal no. 9433/97).

A Política Nacional de Recursos Hídricos, estabelece que os recursos arrecadados através da cobrança pelo uso da água deverão ser

destinados à implementação de medidas de proteção e recuperação de bacias hidrográficas e mananciais em todo o país. Dois problemas devem ser priorizados: a seca no Nordeste brasileiro e a poluição das águas, especialmente nos grandes centros urbanos. Obviamente que o conhecimento gerado pelas pesquisas limnológicas será imprescindível para a manutenção, não apenas dos atributos dos corpos d'água que garantam quantidade e qualidade da água para as atividades humanas, mas na ampliação desse horizonte, incluindo a preservação da vida aquática, em toda a sua diversidade. Prescindimos, pois, da mudança da visão, que ainda prevalece na lei e na política dela derivada, de um ângulo antropocêntrico e utilitarista, para outro mais solidário com a vida em geral.

Vimos observando, nos últimos anos, uma intensa mobilização para a gestão dos recursos hídricos no Brasil, segundo diferentes matizes, ou seja, com predomínio da atuação de organizações não-governamentais na região Sudeste, atuação marcante de instituições de ensino e pesquisa na Região Sul e de associações de usuários na Região Nordeste, criando diferentes canais para o desenvolvimento de programas de Educação Ambiental voltados para a temática.

Uma outra contribuição extremamente relevante para a gestão e o gerenciamento dos recursos hídricos origina-se na área do direito ambiental, com a publicação "Da proteção jurídico ambiental dos recursos hídricos" (MUSETTI, 2001), na qual a tônica é a priorização da responsabilidade ética e social de todo cidadão para com os demais, das presentes e futuras gerações. Também nesse contexto, o conhecimento ecológico e limnológico dos ecossistemas presentes nas bacias hidrográficas faz-se imprescindível para a orientação das argumentações no âmbito jurídico em favor da preservação, conservação e recuperação ambiental.

A crise da água e a importância da visão holística e sistêmica, histórica e interdisciplinar

Além dos importantes aspectos já apontados anteriormente sobre a utilização da bacia hidrográfica como unidade do espaço, que é o palco das intervenções humanas, considero fundamental essa abordagem do ponto de vista temporal - portanto histórico, entendendo

os problemas ambientais atuais como frutos da interação ao longo do tempo pelas diferentes comunidades, com suas diferentes culturas e visões de mundo, e portanto fruto de sua relação com o ambiente (SÃO PAULO, 1999).

Nesse sentido, pode-se destacar a análise feita por VALÊNCIO & MENDONÇA (1998) sobre a deterioração da qualidade dos recursos hídricos, resultante do processo de intensa urbanização e industrialização de determinadas regiões do interior paulista, associados à construção de inúmeros barramentos de rios, que provocaram alterações profundas não só da base biogeofísica, mas da estrutura sócio-econômica e dos fenômenos culturais decorrentes dessas intervenções nas bacias hidrográficas consideradas.

Os aportes da sociologia ambiental para a integração de conhecimentos sobre os recursos hídricos devem se somar àqueles de origem nas ciências naturais, ampliando as perspectivas de solução para os problemas ambientais (VARGAS, 1999). Entre as grandes categorias de utilização social da água citadas por esse autor está incluída a preservação do ambiente aquático e da paisagem, dentre outros usos mais diretos como alimentação e higiene, produção industrial, produção de energia, irrigação, diluição de esgotos, etc., reforçando a necessidade de um tratamento mais afinado da questão por parte de ecólogos/as e limnólogos/as (OLIVEIRA, 1999).

Outros aspectos relativos à água como, por exemplo, a importação de água embutida na importação de alimentos na forma de grãos por países com déficit hídricos é utilizada por BROWN (2000) para mostrar a gravidade do problema e para defender o aumento no preço da água para desestimular a ineficiência no seu fornecimento e o mau uso da água.

Outro aspecto importante e que vem merecendo um tratamento por parte de especialistas da área de saneamento é a contaminação da água potável por substâncias não removidas pelos tratamentos convencionais (ZAGATTO, 1992; BATALHA, 1998), exigindo uma abordagem holística na busca de solução para o problema.

Mais do que um enfoque holístico e sistêmico, a abordagem que vem se delineando como mais apropriada para a apreensão de toda a amplitude e de todas as interrelações para que possamos dar conta quando o assunto é um determinado tema ambiental, é a abordagem complexa e transdisciplinar (D'AMBRÓSIO, 1997; MORIN, 1998),

que, além das dimensões ecológicas, econômicas, sociais, culturais e políticas, permite compreender também as dimensões afetivas, éticas, estéticas, poéticas e espirituais envolvidas, mais do que passíveis de serem incorporadas - necessárias para uma educação integral do ser humano.

A pesquisa e o ensino com enfoque no conceito de bacias hidrográficas

Um dos trabalhos pioneiros no Brasil na utilização do conceito de BH no processo educativo voltado para a formação de professores/as do Ensino Fundamental e do Ensino Médio é aquele relatado por TUNDISI et al (1988). O enfoque dessa proposta enfatizava os aspectos físicos, químicos e biológicos dentro de uma ótica sistêmica, tendo a bacia hidrográfica como uma unidade geológica na qual se dão os processos biológicos, geológicos e hidrológicos. Uma avaliação dos impactos das atividades humanas na bacia também eram contempladas desde o início do programa.

Os desdobramentos dessa proposta ao longo dos anos tanto no Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada como no Centro de Divulgação Científica e Cultural, ambos da Universidade de São Paulo, foram reportados e analisados por SANTOS (1998a) em sua dissertação de mestrado. Outras descrições e análises também podem ser encontradas em MATHEUS et al. (1997), SÉ (1999), ALMEIDA et al (2000) e em MATHEUS & SÉ (no prelo).

Inúmeras monografias derivadas desses cursos de Aperfeiçoamento e Especialização, e algumas dissertações e teses têm sido dedicadas à pesquisa de diferentes aspectos da temática da água e/ou da bacia hidrográfica, seja do ponto de vista do ensino da Ecologia ou da Geografia (DI GIOVANNI ET AL, 1999; BORTOLOZZI, 1997; SANTOS, 1998A; SANTOS, 1998B; SANTOS, 1999; SÉ, 1999, RAVAGNANI, 1999). Outros tantos trabalhos encontram-se em fase de desenvolvimento, ampliando o escopo dessas abordagens e contribuindo para a consolidação, não só da pertinência da utilização da **bacia hidrográfica** como um referencial para a análise dos problemas ambientais, mas também para o ensino e a pesquisa em Educação Ambiental (DI GIOVANNI, 1998; FIGUEIREDO, 1999; KUNIEDA,

1999; PEGORARO, 1999; RIBEIRO, 1999; FERREIRA, 2000; MARIN, 2000; MARQUES, 2000; TONISSI, 2000; LIMA, 2001; entre outros).

Nesse contexto de inclusão de novas dimensões ao ensino e pesquisa em EA relativos à bacia hidrográfica, destacam-se aqueles que se dedicam a diagnosticar a percepção dos sujeitos envolvidos, como base para o delineamento de programas de intervenção educativa voltados para a temática que considerem as dimensões afetivas e estéticas no seu planejamento. Intuitivamente se percebe, e de fato há uma gama de evidências demonstrando que as pessoas são frequentemente mais atraídas por paisagens que incluem a água como um de seus elementos (SWANWICK, 1997), fenômeno chamado “hidrofilia” por BENAYAS (1992).

Apontada por BORGES (1999) como linha de pesquisa recente, os estudos da percepção das comunidades sobre o que seja justo e equitativo, levando à incorporação de atitudes filosóficas e éticas na busca da satisfação dos desejos e necessidades de todos, começam a se consolidar como subsídio fundamental para a tomada de decisões no gerenciamento hídrico. No entanto, esse autor enfatiza que o nível de participação da sociedade na gestão dos recursos hídricos no Brasil é ainda pequeno e pouco efetivo, o que justifica ainda mais a necessidade de programas de EA voltados para o tema água.

Igualmente interessantes são os estudos das representações sociais da água, dos recursos hídricos ou da bacia hidrográfica (FIGUEIREDO, 1999) que podem ser encontradas numa comunidade, que igualmente podem ser o ponto de partida para o entendimento de sua dinâmica e o subsequente desenvolvimento de programas educativos (REIGOTA, 1995, 1999).

Recursos e materiais didáticos

Vários materiais publicados sobre o assunto tratam-no de diferentes formas, ora privilegiando o aspecto sanitário (alimentação, higiene e abastecimento), sem referências à importância ecológica dos corpos d’água (CETESB, 1984), ora sob uma ótica mais abrangente (CEAM/SMA, 1998), refletindo uma evolução na abordagem da temática, incluindo, por exemplo, a temática dos resíduos sólidos, o que também pode ser observado em programas de formação continuada de profes-

sores/as (SANTOS, 1999). Outros materiais enfatizam a necessidade do monitoramento e vigilância das atividades nas bacias hidrográficas, apontando alternativas de participação de agentes especialmente formados para esse fim e canais de participação para a população nelas inseridas, ao indicar formas de contato com os órgãos técnicos em caso de necessidade de denúncia ou qualquer comunicação de problemas identificados. Ou seja, a ênfase aqui é na colaboração e na participação da comunidade na manutenção da qualidade ambiental (CAESB, s/data).

A publicação do Comitê do Rio dos Sinos, em parceria com a Unisinos (Comitesinos/Unisinos, s/data), apresenta também uma proposta de formação de professores/as baseada na Bacia Hidrográfica, abordando aspectos bastante variados da questão, assim como GUERRA & BARBOSA (1996).

Especificamente para o ensino formal, RAFFAINI & CORIGLIANO (1998) apresentam uma proposta de estrutura curricular que se baseia na unidade ambiental formada pelo rio e sua bacia de drenagem - a bacia hidrográfica, como um recurso didático. Para isso propõem a articulação de situações problematizantes e eixos conceituais de EA para selecionar os conteúdos analíticos que foram organizados em estruturas modulares. A proposta foi aplicada com sucesso na avaliação de seus idealizadores num processo de capacitação de professores de nível primário e secundário de escolas de Córdoba (Argentina), objetivando implementar a temática ambiental como um tema transversal.

A aplicação de teorias ecológicas ao estudo e manejo das bacias hidrográficas como a Teoria do Contínuo Fluvial, utilizada na proposta anteriormente descrita, entre outras, também é recomendada por ROCHA et al. 2000.

Outro exemplo internacional bem sucedido, além daqueles apontados em OLIVEIRA (1999), é a experiência italiana no Vale do Pó (SUTTI, 1993), na qual foram envolvidos/as alunos/as de escolas técnicas numa pesquisa pluri e interdisciplinar, com objetivos ou interesses ambientais, pedagógicos e profissionais. Houve interação entre turmas de diferentes escolas e contatos freqüentes com a comunidade. Os estudantes passaram por uma fase de “descoberta ambiental”, através de estudos de hidrografia, investigação do território, amostragens e análises da qualidade da água, consolidando a fase de identificação de problemas e o estudo de possíveis soluções.

Tabela 1 - O rio e sua bacia de drenagem: abordagem interdisciplinar em EA (RAFFAINI & CORIGLIANO, 1998)

DISCIPLINA	SITUAÇÃO PROBLEMATIZANTE	EIXO CONCEITUAL
Educação	Lei Federal de Educação	Temas transversais
História	Mudança social	Mudança ambiental
Filosofia	Ética ambiental	Utopia e sociedade
Direito	Contrato social	Leis ambientais
Geografia	Ocupação territorial	Impactos ambientais
Biogeografia	Distribuição dos seres vivos	Biodiversidade
Biologia	Comunidades aquáticas	Redes tróficas
Ecologia	Funcionamento de rios	Conceito de contínuo fluvial
Geologia	Erosão e sedimentação	Geomorfologia fluvial
Química	Contaminação	Qualidade da água

O autor destaca o envolvimento dos estudantes que se identificaram com a pesquisa, aprendendo a programar e planejar metodologias de trabalho, especialmente em equipe, compreendendo a possibilidade de serem sujeitos ativos, capazes de modificar-se, modificar seu ambiente mais próximo (escola) e mais amplo (seu território).

Finalizando...

Frente à multiplicidade de materiais, textos didáticos, programas de formação de professores e/ou de intervenção que se apresentam no tratamento da temática água/bacias hidrográficas e da configuração que se vislumbra hoje dos movimentos sociais organizados e/ou em processo de organização voltados para a gestão dos recursos hídricos no Brasil, a intenção deste texto foi apenas apontar alguns pontos que considero relevantes e necessários para a reflexão sobre a utilização do conceito de bacia hidrográfica como um recorte espacial para os processos educativos e como um recurso metodológico. Segundo LEFF (2001), esses processos devem estar embasados numa *epistemologia ambiental*, que deve permear a formação de cidadãos capazes de contribuir para a solução de problemas locais, à luz do entendimento das questões ambientais globais e com base em valores como a solidariedade, o cuidado, o respeito às diferenças culturais e o conhecimento local

e empírico, que sejam fortalecedores dos movimentos de resistência favoráveis à uma nova ética de convivência entre nós, seres humanos e os demais tripulantes dessa nossa viagem cósmica.

...One of the lessons emerging from the sustainable development debates of the last quarter of a century is that the current path of global economic development has already cost far more than we should expect the generation succeeding us to pay for
(BOON & HOWELL, 1997)

APLICAÇÕES DO CONCEITO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS

P A R T E I I

Caracterização Sócio-ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira, Sul da Bahia, Brasil

Alexandre SCHIAVETTI, Ana Cristina SCHILLING & Haydée Torres de OLIVEIRA

A definição de Bacia Hidrográfica apresentada por CARPENTER (1983) abrange toda a área que drena água, sedimentos e materiais dissolvidos para um ponto comum, ao longo de um curso d'água ou rio. Desta forma, qualquer parte da superfície terrestre faz parte de uma Bacia Hidrográfica. CALIJURI & OLIVEIRA (2000) lembram que cada bacia é formada por um conjunto de micro-bacias e, segundo o conceito hierárquico de micro-bacias sobrepostas, a eficácia do manejo da qualidade de água será maior à medida que enfocarmos as bacias de escalas menores.

De acordo com ODUM (1988), o conceito de Bacia Hidrográfica ajuda a colocar em perspectiva muitos dos problemas e conflitos atuais, pois as causas e as soluções da poluição aquática não são exclusivas deste sistema, já que geralmente é o gerenciamento incorreto das atividades na bacia hidrográfica que resultam em danos a esses recursos. O autor conclui que a bacia de drenagem inteira deve ser considerada como unidade de planejamento. Esta é a proposta também de ROCHA et al (2000), que discutem metodologias para análise e planejamento das bacias hidrográficas e as teorias ecológicas aplicadas ao estudo das mesmas.

Segundo ASSAD et al (1993), a primeira etapa de trabalho envolvida no planejamento é o diagnóstico da bacia hidrográfica, obtido através da caracterização fisiográfica, sócio-econômica e das práticas de manejo utilizadas.

Nesse capítulo, apresentamos uma caracterização da Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira, Sul da Bahia, com a intenção de analisar as alterações desse sistema, tendo como base as relações dos produtores rurais e das comunidades ribeirinhas com o seu entorno, a incidência de doenças e os processos jurídicos que estão em tramitação sobre

danos ambientais na área.

A Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira (BHRC) situa-se no sul da Bahia, entre as coordenadas 14° 42' / 15° 20' S e 39° 01' / 40° 09' WGr (Figura 1). A sua área de drenagem é de cerca 4.830 km², abrangendo treze municípios: Firmino Alves, Floresta Azul, Santa Cruz da Vitória, Itajú do Colônia, Ibicaraí, Lomanto Junior, Itapé, Buerarema, Jussari, Itabuna, Ilhéus (microrregião Ilhéus-Itabuna), Itororó e Itapetinga (microrregião Itapetinga). A população da BHRC é de aproximadamente 530.000 habitantes (Tabela 1). Está limitada, ao norte, pelas bacias dos rios de Contas e Almada; ao sul, pelas bacias dos rios Pardo e Una; a oeste, pela bacia do rio Pardo; e a leste, pelo oceano Atlântico (OLIVEIRA, 1997).

Essa bacia origina-se nas nascentes do rio Colônia, numa altitude de 800 m, na Serra da Ouricana (município de Itororó) e atinge o seu patamar mais baixo na superfície litorânea do município de Ilhéus. O rio Colônia, após estender-se por 100km, banhando os municípios de Itororó, Itapetinga e Itajú do Colônia, tem sua confluência com o rio Salgado, no município de Itapé, passando então a receber o nome de rio Cachoeira. O rio Salgado tem suas nascentes no município de Firmino Alves e possui um curso de 64km pelos municípios de Santa Cruz da Vitória, Floresta Azul, Ibicaraí e Itapé, onde desemboca no rio Colônia. O rio Cachoeira, após percorrer 50km nos municípios de Itapé, Itabuna e Ilhéus, tem a sua foz no local conhecido como Coroa Grande (município de Ilhéus), onde confunde suas águas com a dos rios Santana e Fundão (NACIF, 2000).



Figura 1 - Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira

Tabela 1 - População das cidades com área urbana inserida na Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira.

Cidades / anos	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Lomanto Júnior	10.601	9.966	10.948	11.118	11.275	7.098	6.769	6.493	6.215
Firmino Alves	5.523	5.580	5.429	5.519	5.598	5.835	5.914	5.981	6.048
Floresta Azul	13.940	13.789	13.689	13.892	14.097	13.109	12.649	12.261	11.872
Ibicarai	30.560	30.496	30.244	30.702	31.150	30.205	30.085	29.984	29.882
Ilhéus	223.750	227.139	239.431	243.062	246.603	242.445	247.107	251.033	245.970
Itabuna	185.277	184.937	192.258	195.170	198.017	183.403	182.936	182.542	182.148
Itajú do Colônia	9.773	9.644	9.612	9.765	9.902	9.059	8.640	8.286	7.932
Itapé	15.644	15.416	16.580	16.832	17.075	14.387	13.882	13.465	13.030
Itororó	20.510	20.187	20.178	20.487	20.782	18.727	18.181	17.722	17.261
Jussari	8.470	8.485	8.332	8.464	8.584	8.550	8.583	8.610	8.637
Santa Cruz da Vitória	6.653	6.729	6.546	6.648	6.742	7.071	7.167	7.248	7.329
TOTAL	530.701	532.368	553.247	561.659	569.825	539.889	541.913	543.625	536.324

Fonte: IBGE - Censo Demográfico e Estimativas (www.datasus.gov.br)

No Zoneamento Agroecológico do Nordeste (EMBRAPA, 1993) esse sistema foi incluído na Grande Unidade de Paisagem “Superfícies Retrabalhadas”. Numa hierarquia inferior, a porção ocidental da bacia foi inserida na Unidade Geoambiental “Áreas Dissecadas do Sul Oriental da Bahia” e a porção oriental na Unidade “Áreas Muito Dissecadas da Região Cacaueira do Sul da Bahia”.

É possível distinguir três feições climáticas na BHRC: uma faixa de clima quente e úmido, próximo ao litoral, do tipo Af, típico de florestas tropicais, com precipitação superior a 1.000mm anuais, bem distribuída durante todo o ano e temperatura média de 24°C (Figura 2); uma zona de clima de transição do tipo Am, caracterizada pela ocorrência de um período seco nos meses de agosto a setembro, compensado pelos totais pluviométricos elevados e temperaturas médias mensais elevadas (Figura 3); e uma zona típica de clima tropical semi-úmido a oeste da anterior (Figura 4), já alcançando a região do grande planalto de Vitória da Conquista, com vegetação xerófila e caducifolia e precipitação anual de 800mm (ARAUJO & COSTA, 1992). ENCARNAÇÃO et al (2000) identificam, somente através do perfil pluviométrico, quatro áreas distintas na Bacia, separando a região de Ilhéus (litoral) da de Itabuna (interior).

Quanto a suas características limnológicas, somente o Projeto RADAM realizou amostragem na área, datada de 1984. Suas características são apresentadas nas Figuras 5 e 6, trabalhadas quanto a localização do ponto amostral em relação à foz. Pode-se notar a grande influência dos esgotos domésticos lançados pela cidade de Itabuna, localizada na Baixa Bacia, mostrada pelo abaixamento do pH e elevação da quantidade de nitrato presente na água.

A Figura 5 apresenta a variação espacial da condutividade elétrica na BHRC. O comportamento desta variável, com diversas elevações na área da média bacia, pode ser explicado pela ocorrência de solos brunizem nesta área (NACIF, 2000), os quais possuem alta capacidade de troca catiônica e que, portanto, carregam com as chuvas uma grande quantidade de sais para o sistema aquático

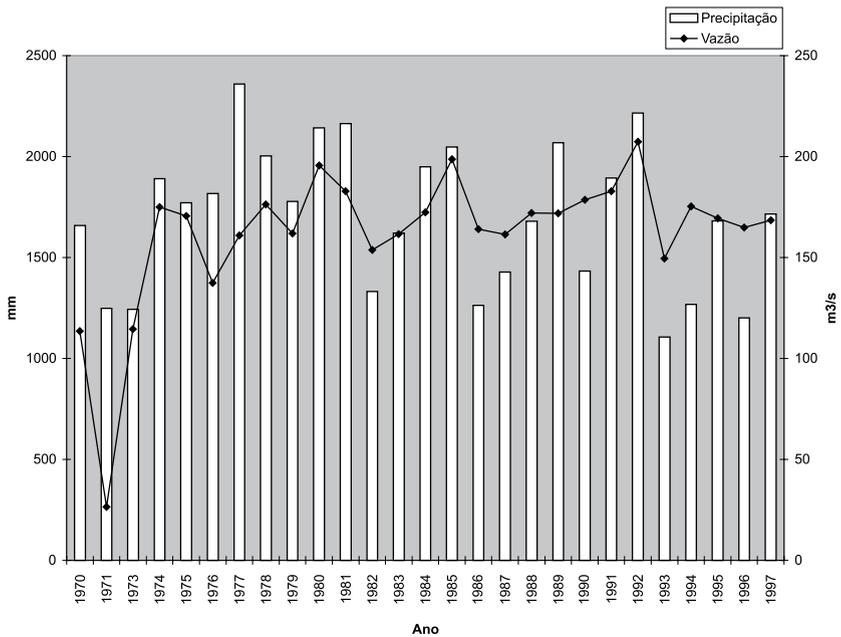


Figura 2: Precipitação anual (mm) e Vazão média do Rio Cachoeira (m³/s) no município de Itabuna

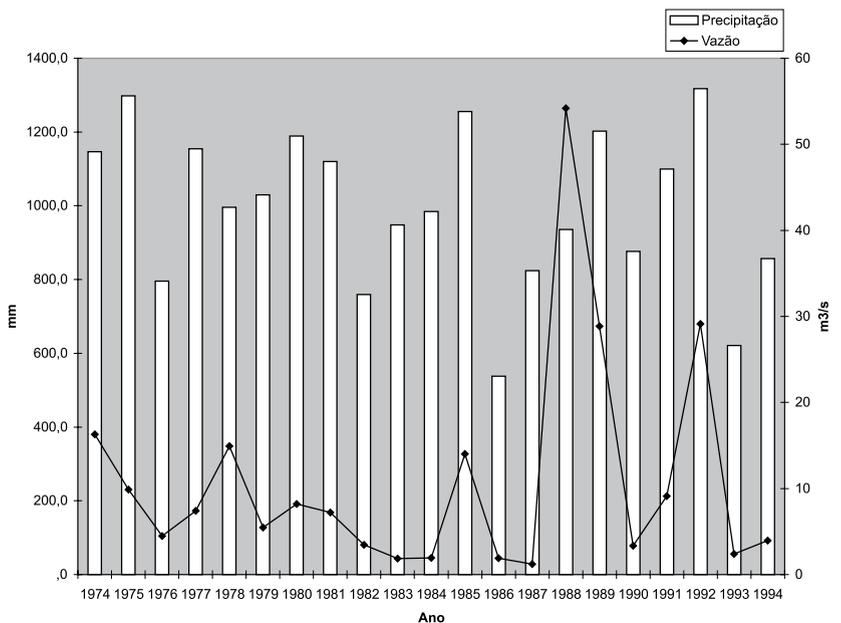


Figura 3 - Precipitação anual (mm) e Vazão média no Rio Colônia (m³/s) no município de Itajú do Colônia

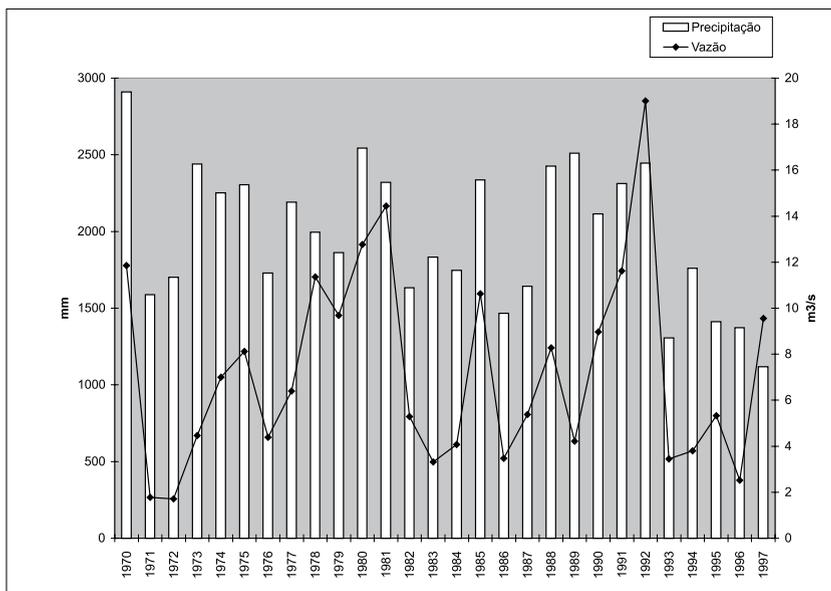
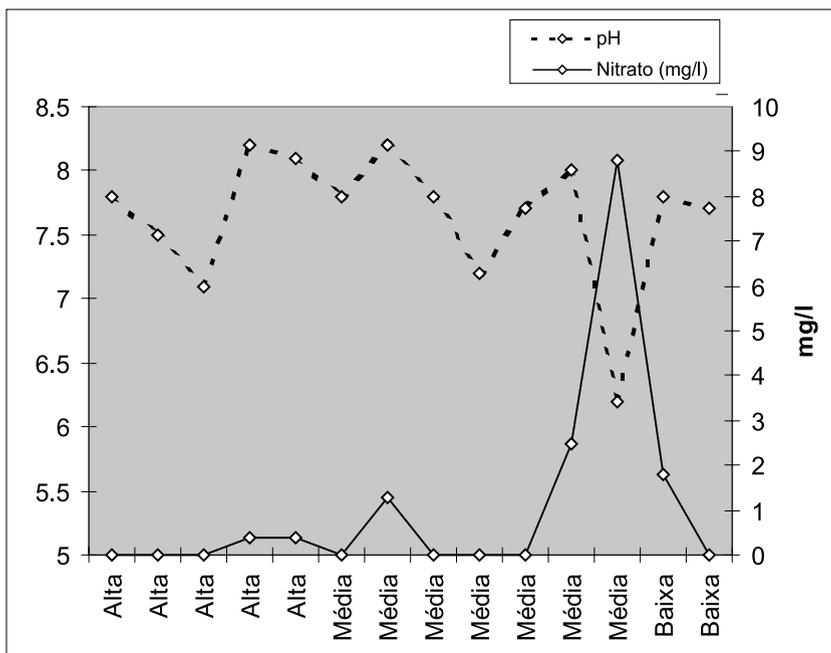
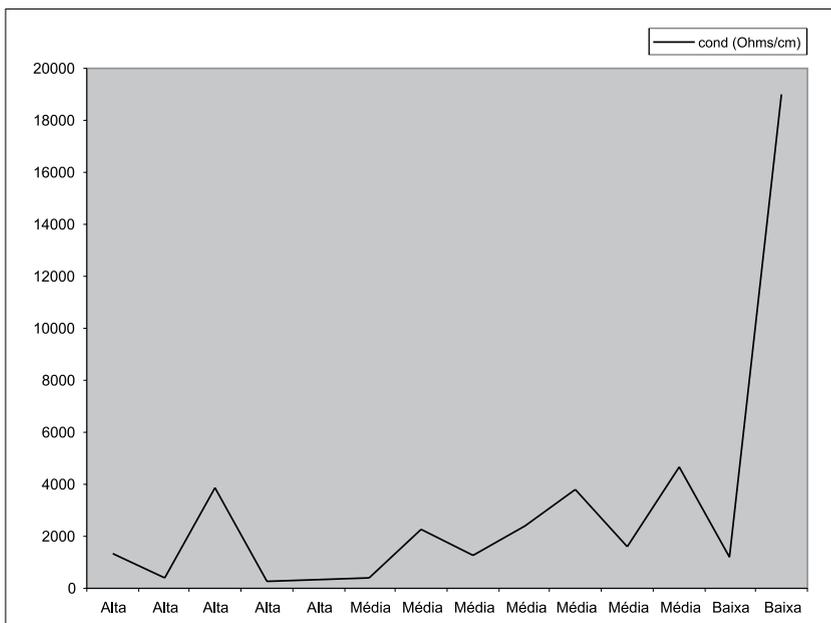


Figura 4 - Precipitação anual (mm) e Vazão média no Rio Salgado (m³/s) no município de Floresta Azul



Fonte Projeto RADAM (1984) In: IBGE (1999)

Figura 5 - Valores de Nitrito e pH ao longo da Bacia do Rio Cachoeira



Fonte Projeto RADAM (1984) In: IBGE (1999)

Figura 6. Valores de condutividade elétrica ao longo da Bacia do Rio Cachoeira

Análise Sócio-econômica da Bacia Hidrográfica

Neste trabalho, quatro diferentes formas de coleta de dados foram realizadas:

Produtores Rurais

Foram enviados 10 questionários para cada Associação de Produtores Rurais dos municípios da BHRC, sendo 45 devolvidos via correio e analisados. Estes dados foram analisados, visando caracterizar o perfil dos produtores rurais e de suas relações com o meio em que vivem, através das culturas - e tratos culturais - que utilizam em suas propriedades. Para análise dos questionários, dividiu-se a Bacia em duas zonas distintas: Alta Bacia (AB, composta pelos municípios de Firmino Alves, Santa Cruz da Vitória e Itororó) e Média Bacia (MB, composta pelos municípios de Ibicaraí, Itapé e Floresta Azul). Da região correspondente à Baixa Bacia (municípios de Ilhéus e Itabuna) não houve retorno dos questionários. As diversas variáveis em estudo foram então comparadas nas duas zonas, investigando-se a existência

de diferenças significativas.

Legislação Ambiental

Os processos jurídicos que estão em tramitação na Justiça Regional foram recolhidos através da análise das fichas dos processos nos diversos fóruns regionais e os casos ligados com a área ambiental foram analisados em relação às leis citadas nos processos. Foram feitas visitas às Comarcas localizadas ao longo da área de estudo, que são Ilhéus, Itabuna, Itororó e Ibicaraí, para coleta de processos oriundos das lides ambientais. Cabe ressaltar que, nos casos de Itabuna e Ilhéus os Juizados Especiais Criminais estão também ai incluídos. Além disso, também houve o comparecimento aos Ministérios Públicos (MP) localizados nas cidades de Itororó, Ibicaraí, Itabuna e Ilhéus para entrevista com os respectivos promotores de justiça, pois, como é sabido, cabe ao Parquet a salvaguarda dos direitos difusos, estando aí incluídos os direitos do Meio Ambiente. Também foram encaminhados aos promotores públicos questionários de avaliação com as seguintes indagações “Que leis ambientais você conhece?” e “Dar a ordem de importância das respectivas leis para o seu local de atuação”. Também foi alvo de visita a Coordenação Geral das Promotorias Ambientais localizada em Salvador.

Comunidades Tradicionais

Três comunidades ribeirinhas foram escolhidas para a compreensão das suas relações com o meio ambiente: uma comunidade localizada na cabeceira (Distrito Ipiranga, Firmino Alves), outra na média bacia (Distrito Estiva, Itapé) e a última em área de estuário (Distrito Salobrinho, Ilhéus). O estudo foi conduzido em três etapas distintas, onde primeiramente procurou-se familiarizar com a região, conhecendo as comunidades, fazendo observações gerais e contactando os moradores através de entrevistas informais. Numa etapa seguinte, obtiveram-se informações mais detalhadas a respeito dos elementos da fauna e da flora local. Nessa etapa, foram realizadas entrevistas através de um formulário semi-estruturado, também sem um roteiro formal, deixando o entrevistado à vontade para discorrer sobre certos assuntos. Finalmente, após as entrevistas, foram feitas excursões em busca de informações complementares.

As comunidades ribeirinhas de Ipiranga, Estiva e Salobrinho

foram escolhidas como local de estudo pelas seguintes razões: localização (cabecera, média bacia e área de estuário); diversidade ecológica (diferentes espécies da fauna e flora habitando a Mata Atlântica e cabruca); falta de bibliografia registrada a seu respeito e as grandes mudanças no padrão de uso do solo devido à crise da cacauicultura.

O trabalho de campo foi realizado em 16 dias em Ipiranga, 12 dias em Estiva e 7 dias no Salobrinho, tendo seu início em fevereiro de 1999 e conclusão em junho de 2000, em que cerca de 22 excursões à área de estudo foram realizadas. Nas entrevistas abertas e semi-estruturadas, foram entrevistados 27 informantes, sendo 12 da comunidade do Ipiranga, 9 da Estiva e 6 do Salobrinho. Utilizou-se o instrumental típico das ciências sociais: entrevistas e questionário, para caracterizar a população local e sua percepção sobre o meio em que vivem. Para levantamentos sobre fauna e flora utilizou-se a técnica usual de coleta e/ou avistamento de animais e vegetais e o seu processamento para identificação posterior. A técnica de turnê (SPRADLEY & McCURDY, 1972) foi utilizada, realizando-se excursões ao longo da bacia, facilitando, assim, a confiabilidade dos dados.

As entrevistas foram registradas por escrito e/ou gravadas, estando as fitas transcritas e depositadas na sala de 3221-4, do Departamento de Ciências Agrárias e Ambientais (DCAA), na Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC). As cenas culturais, atividades de pesca, os recursos florísticos e faunísticos foram registrados fotograficamente, os quais também se encontram compondo o acervo da referida sala.

Saúde Pública

Os dados referentes à saúde pública das populações humanas foram analisados através dos dados do banco de Dados da Datasus (site na rede), visando verificar como estão distribuídas geograficamente na área da BHRC as condições de saneamento público e relaciona-las com doenças de veiculação hídrica, já que estas doenças atingem 9 milhões de pessoas a cada ano, sendo metade deste total composto de crianças (MARTINS, 1999).

Resultados

Caracterização da População abordada através dos questionários aplicados aos produtores rurais da Alta e Média Bacia

Em relação à idade, não há diferenças significativas na distribuição etária nas duas áreas. Em ambas, cerca de 58% têm até 55 anos. Na AB, 37,5% têm até 45 anos, enquanto que na MB a proporção de pessoas nessa faixa fica em torno de 47%.

A renda familiar, considerando a Bacia como um todo, apresenta uma proporção de pouco mais de 80% das famílias com rendimento de até 6 salários mínimos (SM). Entre MB e AB, entretanto, há algumas diferenças: na MB a maior parte (57,1%) das famílias tem renda menor que 3 SM, enquanto que na AB a renda apresenta-se um pouco mais elevada - 50% das famílias têm renda de 3 a 6 SM e a proporção de famílias com menos de 3 SM passa para 37,1%. Já em relação ao grau de instrução, a proporção de pessoas com até o 1º grau é bastante próxima nas duas áreas (58,3% na AB e 52,4% na MB). Já a proporção de pessoas com 2º grau incompleto em diante apresenta-se maior na AB (41,7%) que na MB (23,8%). Entretanto, apesar da coincidência de maior grau de instrução e maior renda familiar na AB, quando são cruzadas essas duas informações, não fica evidenciada nenhuma associação entre as variáveis.

No que se refere ao tempo de trabalho na área, os agricultores da AB, de acordo com as entrevistas realizadas, encontram-se há mais tempo na região. Na MB, conforme pode ser observado na Tabela 2, o percentual de pessoas que trabalham na área há pelo menos 5 anos é de 47,6% contra somente 17,3% na AB. Já a proporção de pessoas há mais de 15 anos na área é maior na AB (47,8%) que na MB (38,1%).

Tabela 2 - Tempo de trabalho na área, de acordo com a região

	MÉDIA BACIA (MB)		ALTA BACIA (AB)	
	f (%)	F (%)	f (%)	F (%)
Até 2 anos	38,1	38,1	13,0	13,0
2 a 5 anos	9,5	47,6	4,3	17,3
5 a 10 anos	9,5	57,1	17,4	34,7
10 a 15 anos	4,8	61,9	17,4	52,1
15 a 20 anos	9,5	71,4	17,4	69,5
Mais de 20 anos	28,6	100,0	30,4	100,0

A área das propriedades apresenta-se distribuída de forma significativamente diferenciada na AB e MB, conforme detalhado na Tabela 3. Na MB há um maior número de pequenas propriedades (14,3% com menos de 10 ha e 57,2% com até 40 ha). Já na AB observou-se somente 4,2 % de propriedades com menos de 10 ha e 33,3% com até 40 ha. Em relação às maiores propriedades, 23,5% tem mais de 80 ha na MB, enquanto que 33,3% das propriedades da AB encontram-se nessa categoria.

Tabela 3 - Tamanho das propriedades de acordo com a região

	MÉDIA BACIA (MB)		ALTA BACIA (AB)	
	f (%)	F (%)	f (%)	F (%)
Menos de 10 ha	14,3	14,3	4,2	4,2
10 a 40 ha	42,9	57,2	29,1	33,3
40 a 80 ha	19,1	76,3	33,3	66,6
Mais de 80 ha	23,8	100,0	33,3	100,0

A cultura predominante na MB é o cacau (50%), seguido pelo gado (25%). Já na AB a criação de gado aparece com 47,7% e o cacau, com 43,5%, sendo essas duas culturas preponderantes. Na MB, ainda aparecem 18,7% com culturas de subsistência (mandioca, milho) e 6,3%, com outras culturas, enquanto que, na AB, as culturas de subsistência apresentam menor relevância, com apenas 4,4%. Esse fato pode ser explicado pelo maior número de pequenas propriedades que aparecem na MB. Porém, praticamente todos os entrevistados, em ambas as regiões estudadas, afirmaram possuir pastos (apenas um produtor rural, da MB, refere-se como não possuindo pastos na propriedade).

Quando perguntados sobre a realização de queimadas, na AB 45,8% e na MB 28,6% afirmaram realizá-las, e, destes, na MB 83,3% disseram realizar queimadas em áreas de pasto. Na AB, por sua vez, 100% dos entrevistados que realizam queimadas, o fazem em áreas de pasto.

Dos entrevistados da MB, 100% não possuem reflorestamentos na propriedade. Na AB 25% possuem reflorestamentos e os principais locais citados para tal foram a lavoura de cacau (12,5%) e o pasto (8,3%), realizados, na maior parte, com espécies com possibilidade de aproveitamento econômico da madeira, frutíferas e eritrina (como

sombreamento de cacau). Assim, de acordo com essas características, pode-se supor que os reflorestamentos citados não sejam reflorestamentos no sentido comumente usado, mas, em certa medida um “plântio de árvores”, com finalidades definidas para sombreamento de lavouras ou como pomar. Na MB, 52,4% dos entrevistados afirmaram fazer uso de plantas nativas, com a finalidade de divisória/sombreiro (50%), conservação/reserva (30%) e alimento (20%) e as espécies mais citadas foram as de madeiras nobres (Vinhático - *Plathymenia foliosa* e Jequitibá - *Cariniana legalis*) e plantas medicinais. Na AB, 50% usam plantas nativas, com um uso um pouco mais diversificado que na MB: 25% para cercas, 25% para ração animal, além de alimento, apicultura e produção de mudas. As espécies citadas, no entanto, se limitaram às mesmas madeiras nobres.

Na AB, 62,5% dos entrevistados sabem da ocorrência de caça na região, valor semelhante ao da MB (66,7%). O tatu aparece como a espécie com maior pressão de caça em ambas as regiões (37% das citações na AB e 33% na MB), seguidas pela paca na AB (26%) e pelo saruê na MB (26%). Outras espécies citadas foram perdiz, teiú, capivara, guará e aves. AN-DRIGUETTO-FILHO et al (1998) encontraram, para a região da APA de Guaraqueçaba, o tatu como o principal animal caçado para a alimentação das populações, mesmos aquelas que são pescadoras.

A maioria dos entrevistados não realizou barramentos em rios. Dos que realizaram, foram 20,8% na AB e 33,3 % na MB. Entretanto, os barramentos realizados na AB apresentam em geral maior volume de água que os da MB.

Em relação ao tratamento dado ao lixo, há diferença significativa entre as duas regiões. Na AB, é mais usual enterrar o lixo (52,9%), enquanto que, na MB, a prática mais comum é a queima (66,7%), como pode ser observado com mais detalhe na Tabela 4.

Tabela 4 - Tratamento do lixo conforme a região (em %)

FORMAS DE TRATAMENTO	MÉDIA BACIA (MB)	ALTA BACIA (AB)
Enterra	16,7	52,9
Queima	66,7	11,8
Pasto/exposto	11,1	23,5
Outros	5,5	11,8

Finalmente, em relação às leis ambientais que já teve que cumprir, a maioria dos entrevistados afirmou nunca ter tido que cumprir nenhuma lei ambiental (66,7% na MB e 45,8% na AB). Porém, entre as leis ambientais citadas nas respostas, a relativa ao desmatamento é a que aparece com maior frequência (14,3% na MB e 20,8% na AB).

Caracterização da Aplicação da Legislação Ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira

Os resultados obtidos estão baseados nos números de processos encontrados nos arquivos do Poder Judiciário (Fóruns) dos municípios de Itabuna, Ibicaraí e Itororó (Tabela 5).

Tabela 5 - Número de Processos Encontrados nas Comarcas Situadas ao Longo da Bacia do Rio Cachoeira. Outubro de 1999 a Março de 2000.

CIDADE	NÚMERO DE PROCESSOS	
	Justiça Comum	Juizados Especiais Criminais
Itabuna	0	4*
Ibicaraí	0	0
Itororó	0	0

* Quanto aos processos encontrados nos Juizados Especiais de Itabuna todos têm a mesma natureza, são oriundos da comercialização irregular de madeira, pois as mesmas não possuíam o carimbo de permissão do IBAMA.

Como pode ser percebido em uma região onde os problemas ambientais são evidentes, como o desmatamento, a caça e o uso incorreto das áreas de preservação permanentes, a ausência de processos na área ambiental que utilizem a vasta legislação de proteção dos recursos naturais existente no Brasil indica a completa ausência do Poder Público quanto ao cumprimento de seu papel, bem como a indiferença da sociedade civil organizada para com a conservação de seus recursos. CAMPOS (1999) mostra a importância da ação civil pública para a proteção dos recursos naturais e o papel do Ministério Público, de acordo com a Lei 7.347/85, para sua efetivação. Esse instrumento, porém, não está sendo utilizado pelos atores sociais regionais, os quais estão tendo seus recursos naturais exauridos, fato que contrasta com os dados apresentados na Tabela 6, a qual mostra a visão dos promotores públicos da região quanto à questão ambiental.

Tabela 6 - Frequência (%) das Leis Ambientais apresentada pelos Procuradores de Justiça do Ministério Público

LEGISLAÇÃO CITADA	%	LEGISLAÇÃO UTILIZADA	%
Código Florestal	100	Código Florestal	100
Ação Civil Pública	100	Ação Civil Pública	100
Plano Nacional Recursos Hídricos	66,6	Lei Crimes Ambientais	66,6
Política Nacional Meio Ambiente	66,6	Constituição Federal	33,3
Lei de Agrotóxicos	66,6	Constituição Federal	33,3
Lei Crimes Ambientais	66,6	Política Nacional Meio Ambiente	33,3
Lei Proteção à Fauna	66,6	Obs: dos sete procuradores existentes na região somente três se dispuseram a colaborar	
Lei Florestal Estadual	66,6		

A ausência de processos de ações civis públicas tramitando na justiça local reflete o desconhecimento da legislação por parte dos produtores rurais e a ineficiência do sistema pode ser comprovada pela quase ausência do cumprimento da legislação por parte dos mesmos e das promotorias.

Apesar do Código Florestal (Lei 7.9/65.) ter sido citado por todos os entrevistados como a legislação ambiental mais importante, bem como a mais utilizada em seu trabalho há a inconsistência quando se cruzam os dados do campo, pois grande parte da área da BHRC está sem vegetação ciliar (Área de Preservação Permanente - APP - do Código Florestal), bem como está havendo a substituição da vegetação das nascentes (antes ocupadas por cacau-cabruca) por culturas perenes, em locais com declividades consideradas também como APP.

Caracterização das Comunidades Ribeirinhas da Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira

Nas três comunidades da BHRC, foram reunidas informações de 61 etnoespécies botânicas, distribuídas em 34 famílias. Foram ainda citadas 115 etnoespécies de vertebrados, distribuídas em 5 categorias taxonômicas: aves, mamíferos, peixes, répteis e anfíbios (Figura 7). Na relação homem/ animal, a categoria de uso que obteve o maior número de espécies citadas foi a relação trófica, onde animais são utilizados na alimentação. Quanto à relação homem/vegetal (Figura 8), devido à riqueza da flora medicinal, obteve-se uma maior citação de plantas para a relação médica (COSTA & SCHIAVETTI, no prelo).

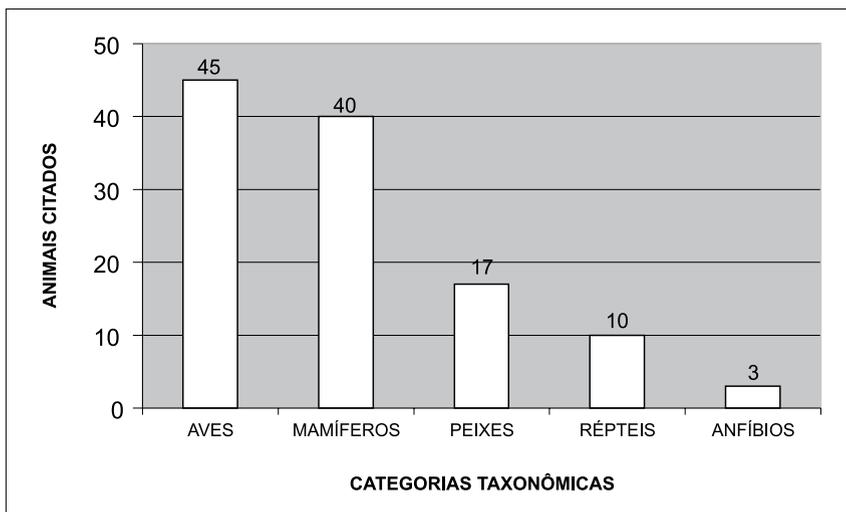


Figura 7 - Etnoespécies de vertebrados citados pelas comunidades ribeirinhas da Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira

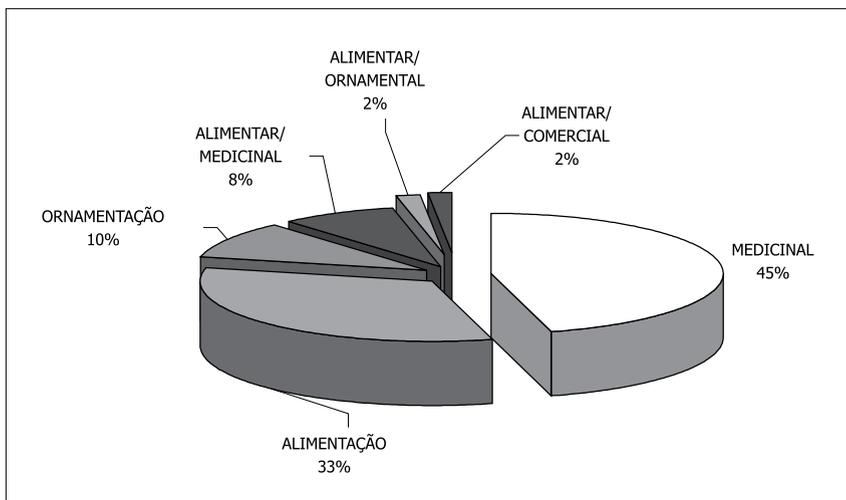


Figura 8 - Tipologia dos usos de plantas pelas comunidades ribeirinhas da Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira

As diferenças entre as três comunidades estudadas, com relação ao uso dos recursos naturais, foram relacionadas com a influência da proximidade dos núcleos urbanos, sendo que a comunidade da alta bacia (mais isolada) detém maior conhecimento sobre os recursos,

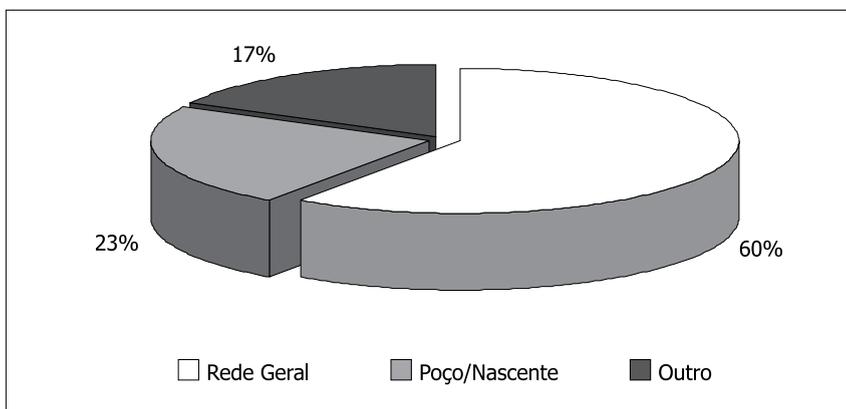
principalmente sobre a vegetação, enquanto a comunidade localizada próxima à foz aproveita melhor os recursos advindos das águas. Quanto à dinâmica da bacia hidrográfica, bem como sobre a distribuição de tais recursos naturais, as comunidades com maior facilidade de locomoção possuem maior compreensão do sistema. Essas relações demonstram o grau de dependência das comunidades com relação aos recursos naturais e o quanto a localização espacial em relação à bacia hidrográfica reflete no comportamento das comunidades nelas inseridas (COSTA & SCHIAVETTI, no prelo).

Análise das Condições de Saúde Pública dos Municípios da Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira

O quadro de saúde pública apresentado pelos municípios da BHRC reflete a falta de uma política de saneamento para a região, pois a incidência de doenças infecciosas ainda é alta, e a ocorrência de doenças como a dengue e a cólera são comuns (SANTA FÉ & SCHIAVETTI, no prelo).

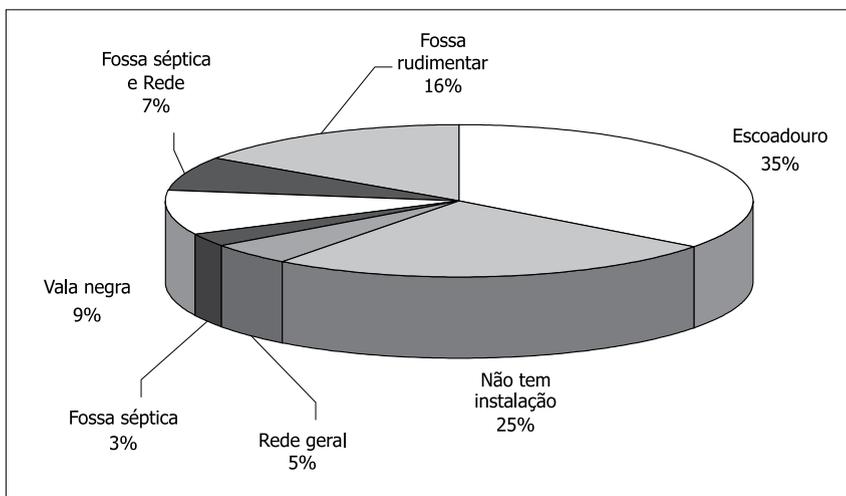
Aproximadamente 60 % da população amostrada pela Pesquisa Nacional de Amostras por Domicílios- IBGE na área da BHRC tem acesso a rede geral de abastecimento de água (Figura 9). Esse fato tende a reduzir o risco da contaminação por cólera e outros agravos de veiculação hídrica, cuja transmissão pode ser por ingestão de água contaminada, como no caso da febre tifóide, febre paratífóide, disenteria bacilar e amebiana, enteroinfecções em geral, hepatite infecciosa e poliomielite; já que esta água é tratada previamente com cloro e flúor antes do consumo humano. Entretanto, 13,1% dos usuários com acesso a rede geral de abastecimento de água não têm canalização interna em suas casas, ou seja, a qualidade da água dependerá da forma como a água é manuseada, na moradia. No caso de existir um indivíduo assintomático entre os moradores de determinado domicílio, esse poderá dar suporte à cadeia epidemiológica da cólera, invalidando o tratamento prévio da água nas centrais de abastecimento. Os outros 40% tem como fonte de água poços, nascentes, carros- pipa dentre outros. Essas fontes devem ser monitoradas quanto ao risco de contaminação, entretanto, essa é uma prática difícil frente a conscientização de seus usuários. Em Ilhéus, apesar de 42% terem acesso a rede geral a prática de ter água de poços ou nascentes é característica de 39% dos amostrados.

Em se tratando de esgotamento sanitário (Figura 10), apenas 4,9% têm seus esgotos ligados à rede geral, por outro lado, 25,1% não têm instalação sanitária em suas casas e a maioria, 34,9 %, tem seus esgotos ligados a outros tipos de escoadouros, significando que práticas alternativas estão sendo utilizadas. A fossa séptica ligada à rede apareceu em 7,06% dos moradores amostrados, 2,66% eram fossa séptica sem escoadouro, 15,7%, fossa rudimentar e 9,5%, vala negra.



Fonte Datasus (site www.datasus.gov.br)

Figura 9 - Proporção entre as fontes de acesso à água para as residências da BHRC



Fonte Datasus (site www.datasus.gov.br)

Figura 10 - Proporção entre as instalações sanitárias nos municípios da BHRC

Diante deste quadro, vê-se que os esgotos não estão sendo tratados e que ações de Saúde Pública que visem saneamento, como a instalação de rede geral de esgotamento ou uso da fossa séptica, aparecem em detrimento de ações de saneamento de cunho individual, como as fossas rudimentares, valas negras ou outros tipos de escoadouros. Essas ações, quando existirem, devem ser avaliadas e monitoradas, pois podem servir de fonte de veiculação da cólera.

A prática mais usada para coleta de lixo é aquela feita diretamente: as outras formas dão margem à proliferação de doenças ou à poluição (Figura 11). Por exemplo, a coleta indireta é uma prática na qual as pessoas jogam lixo próximo de suas moradias, ajudando a proliferação de roedores e insetos, tendo o mesmo raciocínio para o lixo jogado em terreno. Por outro lado, deve-se procurar conhecer como o município, responsável pela coleta do lixo, destina o mesmo, se for a céu aberto, os problemas com roedores e insetos não cessarão, apenas serão deslocados para o local do depósito, podendo contaminar o lençol freático e rios com o chorume. Entretanto, não há evidências de que o lixo seja diretamente um veiculador da cólera.

Diante do quadro sanitário amostrado neste trabalho, é notório que nos anos subseqüentes a 1991, existiam condições favoráveis à disseminação da cólera, dependendo apenas da introdução do vibrião colérico na área.

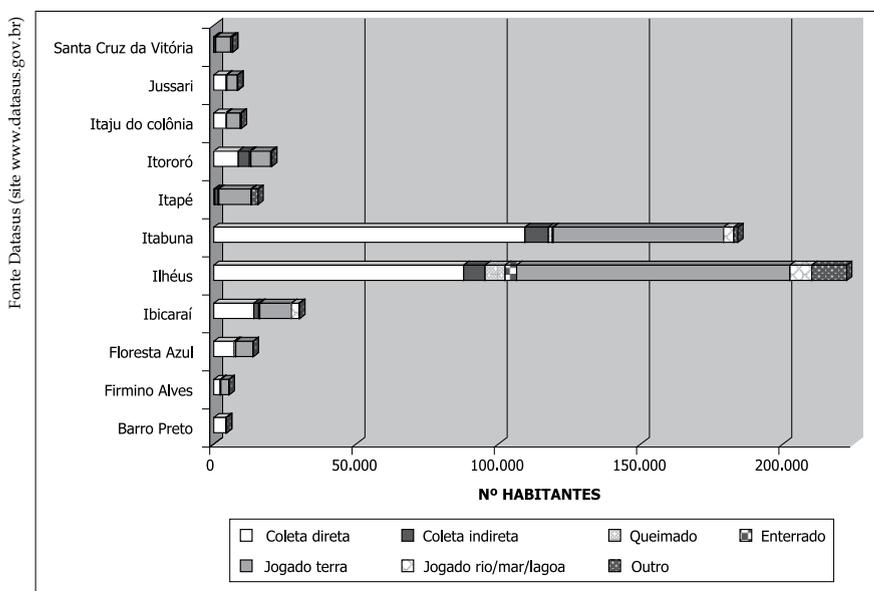


Figura 11 - Proporção entre os processos de coleta de resíduos sólidos nos municípios da BHRC

Análise da Situação Atual da Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira

Segundo HANNAH et al (1994), as intervenções humanas têm acarretado o decréscimo acentuado da área de ecossistemas naturais em todo o mundo, os quais mostraram que somente 27% da área mundial ainda não está modificada por atividades humanas. Apesar do acúmulo, através das décadas, de conhecimento para a conservação dos recursos naturais, os resultados ainda são limitados para a reversão desse quadro, ou mesmo para a redução da taxa de conversão.

As características hidrológicas atuais da BHRC refletem a degradação atual da área, pois o funcionamento do ciclo hidrológico nessa área está alterado. A taxa de infiltração/retenção de água e conseqüente liberação gradual para o sistema lótico está decrescendo devido à retirada de vegetação, refletindo na rápida variação diária das vazões após chuvas normais. Ou seja, a bacia não está sendo uma esponja para a quantidade de água que entra no sistema, tornando o fluxo areal mais intenso e mais prejudicial ao seu próprio funcionamento.

As práticas agrícolas apresentam-se como uma das modificações dos sistemas ecológicos, contribuindo para a diminuição dos ecossistemas naturais. GUNATILAKE (1998) indica que, após melhorias no sistema produtivo, aumento de renda e maior conhecimento técnico sobre a produção há a diminuição da retirada de áreas florestais. Segundo MESQUITA et al (2000) a expansão da fronteira agrícola tem provocado crescente pressão sobre os recursos hídricos, uma vez que tem ocorrido o aumento de consumo da água para múltiplas atividades.

CARVALHO et al (1998) identificaram formas de compostos organoclorados em duas bacias hidrográficas localizadas no interior do Estado de São Paulo, comprovando inclusive o uso recente de BHC. Na BHRC, SEVERO (1999) encontrou cobre na carapaça de crustáceos utilizados na alimentação humana. A utilização de fungicidas na lavoura cacauieira é uma prática antiga, intensificada com o aparecimento do fungo da vassoura de bruxa (*Crinipellis perniciososa*), culminando com a movimentação de suas formas para o sistema aquático.

GILLINGHAM & LEE (1999) enfatizam a necessidade de benefícios mútuos no processo de elaboração de estratégias para a conservação entre as comunidades rurais e a proteção dos recursos.

Segundo SAUNDERS (1990) a relação entre conservação e produção agrícola está bem documentada para pequenas áreas, porém há pouco conhecimento sobre esta relação em grandes áreas, principalmente em Bacias Hidrográficas.

Os moradores dessa região não possuem assistência técnica para a produção e para o estabelecimento de relações positivas para com o sistema, o que pode ser verificado pela quantidade de proprietários que ainda despejam seus resíduos sem controle. SHERWOOD (1986) mostrou que a agricultura é a principal fonte de poluição para o sistema lótico estudado na Irlanda e MIRANDE et al (1999) detectaram que a exploração de cana de açúcar, nas margens do rio Gastona (ARG), é a principal atividade poluidora da região, a qual modifica a estrutura da comunidade fitoplanctônica. Os resíduos crescem ao sistema hídrico formas nitrogenadas e fosfatadas, contribuindo para o aumento da trofia. Com a grande variação das vazões da BHRC, os resíduos permitirão, nos períodos de águas baixas, o desenvolvimento de vetores de doenças, além do aumento da trofia.

Segundo THOMAZ & BINI (1999), os ecossistemas aquáticos continentais podem ser considerados os delatores das características fisiográficas e dos processos que ocorrem nos ecossistemas terrestres adjacentes e seu reflexo pode ser sentido particularmente na área de saúde pública.

As doenças relacionadas com a água, e que afetam a saúde do homem, são muito difundidas e abundantes nas áreas rurais dos países em desenvolvimento e sua incidência depende de diversos fatores, dentre eles a distribuição, a quantidade e a qualidade da água de abastecimento (MARTINS, 1999). No caso da BHRC, as falhas na distribuição da água de abastecimento, bem como a inexistência de formas de tratamento dos resíduos, propiciam a incidência de diversas doenças de veiculação hídrica, tais como a cólera, bem como o aumento da carga orgânica transportada para o rio, o que irá modificar sua estrutura e, conseqüentemente as comunidades aquáticas existentes.

SÉ (1992) mostrou em seu trabalho sobre a Bacia Hidrográfica do Rio Monjolinho (SP) que a utilização dos recursos naturais desta bacia é realizada de forma inadequada, propondo um trabalho intensivo de Educação Ambiental para a recuperação da Bacia. A utilização da Bacia Hidrográfica como unidade de trabalho para programas de Educação Ambiental é salientada por SANTOS (1998) e ALMEIDA et al (2000).

Podemos considerar atualmente que a BHRC está em processo de degradação acelerada de seus recursos naturais, tanto pelo uso direto por parte dos moradores, como pelo descaso/insucesso das políticas públicas regionais e estaduais.

O gerenciamento ambiental a ser realizado para a BHRC deverá considerar dois fortes componentes em sua elaboração: a legislação e a educação ambiental. Segundo STRASKRABA & TUNDISI (2000), para um adequado gerenciamento da bacia hidrográfica é interessante desenvolver, em parceria, um sistema integrado de gerenciamento da informação. Devido ao fato de as autoridades locais, população, indústrias e comércio serem usuários e poluidores da bacia sua participação ajuda na resolução de controvérsias e na integração do sistema. No caso da BHRC esse trabalho deve ser idealizado juntando-se os membros do poder local dos municípios que integram a área, bem como os diversos segmentos da sociedade civil organizada e os atores locais usuários da água, assim como representantes das indústrias e do setor agrícola, e dos centros regionais de pesquisa (UESC e CEPLAC) para, juntos, poderem identificar os problemas e levantar possíveis soluções para os problemas locais.

Análise do Risco de Erosão em Microbacias Hidrográficas: estudo de caso das Bacias Hidrográficas dos rios Salomé e Areia, Sul da Bahia

Quintino Reis de ARAÚJO, Marcelo Henrique Siqueira ARAÚJO & Joélia Oliveira SAMPAIO

Para a elaboração de um planejamento de uso e/ou recuperação de áreas agrícolas ou urbanas, um dos princípios básicos a se verificar refere-se ao manejo adequado da terra, para o que se faz necessário conhecer a dinâmica do ambiente trabalhado. Daí, a definição de políticas de uso e ocupação da terra ser impulsionada a partir dos desequilíbrios causados pelo manejo agrícola predominante e das exigências dos consumidores quanto a medidas de proteção ambiental e maior qualidade dos alimentos.

Os solos, de acordo com abordagem de ASSAD e SANO (1998), constituem-se em interface entre litosfera, atmosfera, biosfera e desempenham papel muito importante nas atividades humanas, visto serem a base da sustentação de grande número delas. Por refletir interações da rocha de origem com o clima e os componentes bióticos, os solos se constituem, em grande escala, excelentes estratificadores do meio. Sobre eles, porém, registra-se como um dos principais fenômenos de degradação, a erosão que provoca sérias consequências ao meio ambiente.

Grande parte das áreas agrícolas da região sul da Bahia tem apresentado erosão em diferentes intensidades, principalmente a partir do preparo da área com desmatamento e posterior cultivo com agricultura ou pecuária, com base em sistemas de produção que não priorizam medidas preventivas à perda de potencial produtivo das terras.

A Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira - BHRC, incluída dentre as bacias do leste, e situada na região Litoral Sul da Bahia, constitui-se em significativo manancial hídrico e uma importante unidade geográfica

do estado, revelando vários conflitos sociais, econômicos e ambientais. Distribui-se por dez municípios (Buerarema, Firmino Alves, Floresta Azul, Ibicarai, Ilhéus, Itabuna, Itapé, Itajú do Colônia, Itororó, Jussari, Santa Cruz da Vitória) e tem uma população aproximada de 600 mil habitantes.

Diversos planejamentos de trabalho e de estudos geo-ambientais têm adotado a bacia hidrográfica como unidade básica de organização (GUERRA, 1996; MARTINELLI, 1996 e PALMIERI, 1996).

A aplicação de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) facilita o aprofundamento do conhecimento sobre essa problemática, considerando-se, inclusive, o grande número de informações que compõem um banco de dados, (DAVIDSON, 1992).

Um SIG pode ser conceituado (RHIND, 1991) como um sistema constituído de equipamento computacionais, programas e procedimentos concebidos para prover a captura, o gerenciamento, a manipulação, análise, modelagem e visualização de dados espacialmente referenciados para a solução de problemas.

Os mapas de risco de erosão identificam a expectativa de perda de solos sob sistemas alternativos de ocupação da terra (BERGSMA, 1983), fornecendo a base para seleção de áreas prioritárias quanto à conservação do solo. Assim, este trabalho objetiva determinar o risco de erosão de áreas geo-ambientais representativas da Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira.

As indicações geradas por este trabalho poderão, conjuntamente com outros estudos e medidas, constituir-se em instrumentos para diminuir, prevenir ou reverter a erosão, e até a degradação de áreas, fato constante no histórico de uso das terras da bacia do Rio Cachoeira.

Área de estudo

O estudo foi desenvolvido na região sul da Bahia, em áreas da Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira (BHRC), que ocupa uma área de 4.800 km² (14° 42' / 15° 20' S e 39° 01' / 40° 09' W). As áreas caracterizadas correspondem às microbacias hidrográficas (Figura 1) do Ribeirão Salomé (predominantemente cultivada com cacau), compreendida aproximadamente entre as coordenadas 14°45' / 14°55' S

e 39°35' / 39°45' W e uma área de 5.820 ha, e do Riacho de Areia (com domínio de pastagem), entre as 14°55' / 15°05' S e 39°35' / 39°45' W e com 12.536 ha. O clima da área corresponde ao tipo Am, tropical quente e úmido, com estação seca compensada pelos totais elevados, conforme classificação de Köppen

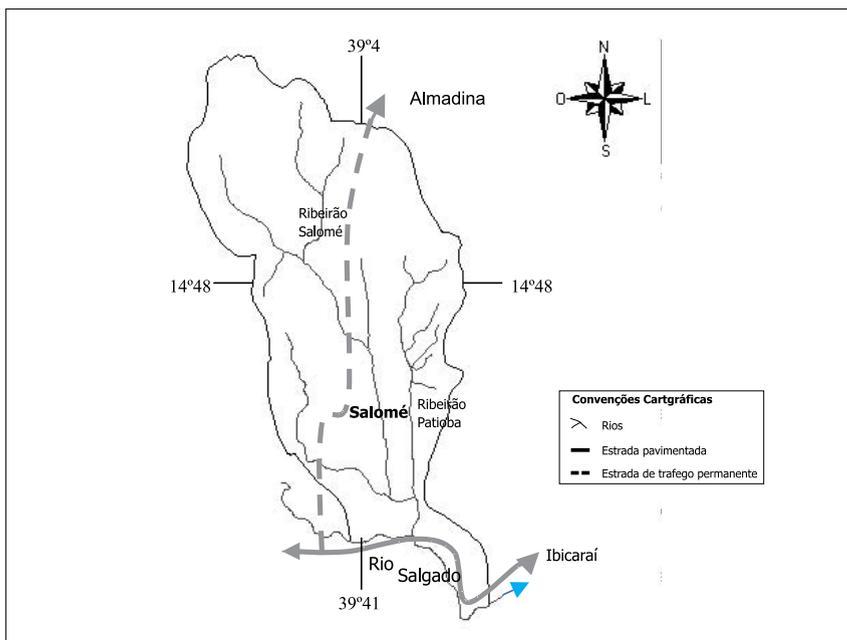
Esta área está situada na microrregião de Ilhéus-Itabuna, estado da Bahia, em cujos domínios estão representadas as principais unidades geo-ambientais da BHRC, quanto aos principais atributos básicos analisados na determinação do risco de erosão (solos, declividade, vegetação, uso da terra, geologia, chuva). As Figuras 2 e 3 mostram os principais cursos d'água na rede hidrológica das microbacias em estudo.



Figura 1 - Localização das MicroBacias estudadas

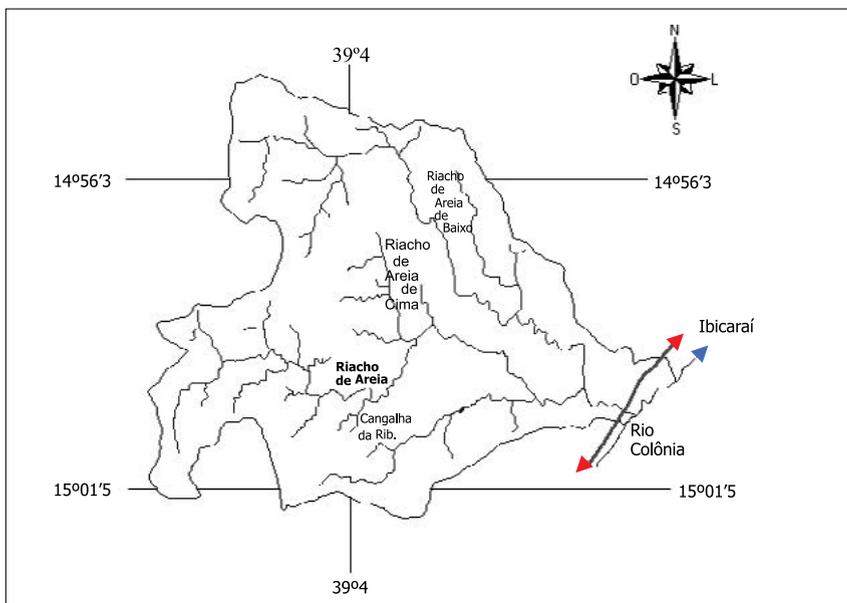
As fontes de dados básicos para o estudo da área constituíram-se de:

- Mapa de declividade da SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE - SUDENE (1977), na escala de 1:100.000. Para as curvas de nível, limites e os rios;
- Fotografias aéreas da COMISSÃO EXECUTIVA DO PLANO DA LAVOURA CACAUEIRA - CEPLAC (1975), do Serviço Aerofotogramétrico Cruzeiro de Sul na escala de 1:108.000;
- Mapas de solos da CEPLAC (1978), e SANTANA (1993 e 1994);
- Mapa de vegetação do DEPARTAMENTO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL - DDF (1997a e 1997b), na escala de 1:100.000;



Fonte: CEPLAC/CEPEC

Figura 2 - Rede hidrológica da área da microbacia do Ribeirão Salomé



Fonte: CEPLAC/CEPEC

Figura 3 - Rede hidrológica da área da microbacia do Ribeirão de Areia

- Mapa de unidade geológica da COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS - CPRM (1997a e 1997b), na escala de 1:100.00;
- Relatório de precipitação pluviométrica do Setor de Climatologia da CEPLAC.

O material de informática utilizado correspondeu a:

- Mesa digitalizadora;
- Software ArcView para transformação dos dados em formato digital;
- Software IDRISI para armazenamento, processamento e análise dos dados.

Métodos

Para que os mapas se apresentassem em condições de digitalização e para posterior análise entre eles, foram ampliados, ou parcialmente redesenhados.

Utilizando esse material, prepararam-se os mapas temáticos (declividade, solos, uso da terra/vegetação e geologia), os quais se constituem nos dados básicos para as operações analíticas no programa de SIG.

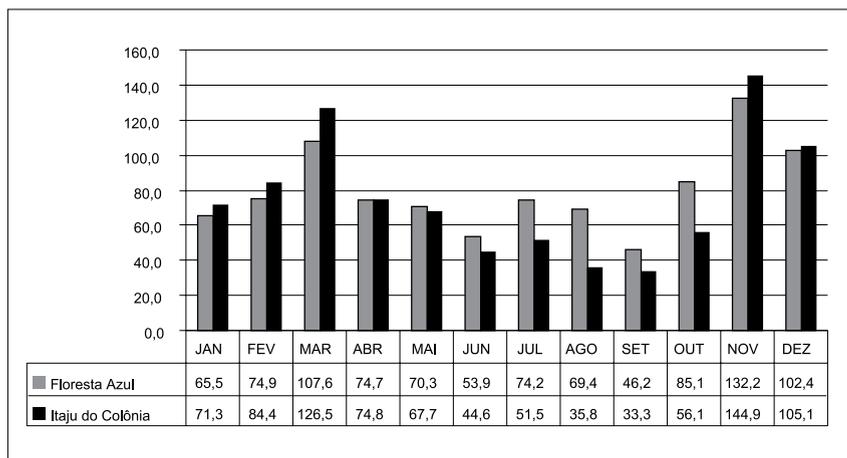
Realizaram-se excursões e checagem/caminhamento em campo para o conhecimento, a definição e caracterização de feições *in loco*, especialmente quanto aos aspectos de declividade, solo e vegetação.

Na preparação dos mapas temáticos, foram estabelecidos atributos (Tabela 1) para cada componente dos mapas originais, compatibilizando a escala de trabalho em 1:100.000, para posterior armazenamento, processamento e análise dos dados.

Tabela 1 - Atributos estabelecidos para as características de cada mapa temático

Atributo	MAPA			
	Declividade de (%)	Unidade de Solo Predominante	Vegetação/ Uso da Terra	Geologia
1	0-5	Chernossolo Argilúvico	Cacau/Mata	Aib
2	5-10	Neossolo Flúvico	Pasto Bom	σ2mz
3	10-20	Latossolo Vermelho-Amarelo	Capoeira	σ2sn
4	20-30	Argissolo Vermelho-Amarelo e Alissolo Hipocrômico	Café	Aa
5	>30		Cana	Aamb
6			Pasto Degradado	Aaqt

Não foram cruzados os dados de chuva por se verificar que a área correspondente a cada microbacia estudada está sujeita a valores próximos de precipitações pluviométricas (verificar informações da Figura 4), sem variações que justifiquem a consideração de diferentes cenários, neste trabalho.



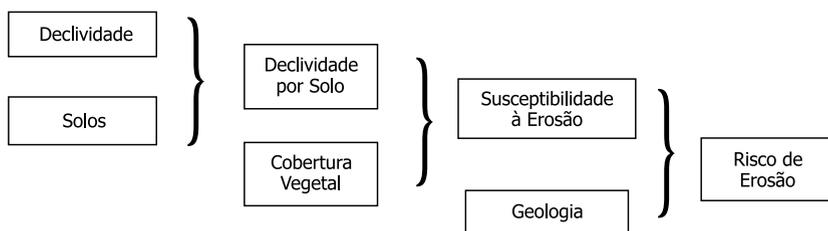
Fonte: CEPLAC/CEPEC/CLIMATOLOGIA

Figura 4 - Precipitação pluviométrica (mm) mensal dos municípios de Floresta Azul e Itaju do Colônia que correspondem, respectivamente, às chuvas médias para as áreas do Ribeirão Salomé e do Riacho de Areia, referente ao período de 1990 a 1999

No presente trabalho, as feições cartográficas foram digitalizadas em mesa digitalizadora, tendo-se utilizado o ArcView, com pontos georeferenciado pelas suas coordenadas X e Y, como rede de coordenadas UTM, processando-se os dados células a células pelo sistema *vector*, obtendo um erro médio de 1,5 metros.

Para conveniente análise dos dados, os mapas foram importados para o IDRISI, onde foram transformados para o sistema *raster*, ou seja, os dados tratados sob a forma matricial. Para a distribuição dos seus diversos atributos, sobrepõe-se aos mapas uma malha quadriculada, dividindo a área do Ribeirão Salomé em uma matriz de 436 colunas e 800 linhas, totalizando 348.800 células e para o Riacho de Areia uma matriz de 859 colunas e 741 linhas, com um total de 636.519 células.

Neste estudo, seguiu-se a metodologia na qual os mapas foram integrados de acordo com o fluxograma:



Mapas Temáticos Gerados

- a) Mapa de Declividade, elaborado com valores médios a partir dos dados planialtimétricos, com isolinhas equidistantes de 40 m, com variação de altitude de 160 a 1000 m. Obtendo-se, em intervalos aproximados, as seguintes classes associadas à relação provisória de susceptibilidade à erosão, com as respectivas áreas, em hectare e percentagem, para as duas microbacias:

Classe de Declividade	Susceptibilidade à Erosão	Ribeirão Salomé		Riacho de Areia	
		(ha)	(%)	(ha)	(%)
0-5%	Muito Baixa	1280	22	5023	40
5-10%	Baixa	546	9,3	1560	12
10-20%	Média	1285	22	2333	19
20-30%	Alta	1284	22	1786	14
>30%	Muito Alta	1425	24,7	1834	15
Total		5820	100	12536	100

- b) Mapa de Solo constituído pelas seguintes unidades associadas a uma relação provisória de susceptibilidade à erosão:

Unidade de Solo	Susceptibilidade de à Erosão	Rib. Salomé		Riacho de Areia	
		(ha)	(%)	(ha)	(%)
Chernossolo Argilúvico	Muito Baixa	3700	6,4	10665	85
Neossolo Flúvico	Baixa	195	3,4	84	0,7
Latossolo Vermelho-Amarelo	Média	2460	42,2	567	4,6
Argissolo Vermelho-Amarelo e Alissolo Hipocrômico	Alta	2795	48	1220	9,7
Total		5820	100	12536	100

Para uma identificação resumida das unidades de solo, apresentam-se abaixo os conceitos (EMBRAPA, 1999) das classes gerais predominantes na área:

- Chernossolos – constituídos por material mineral apresentando alta saturação por bases, argila da alta atividade e horizonte A chernozêmico subjacente a um horizonte B textural, B nítrico, B incipiente ou horizonte C cálcio ou carbonático;
- Neossolos – solos constituídos por material mineral ou material orgânico pouco espesso com pequena expressão dos processos pedogenéticos em consequência da baixa intensidade de atuação destes que não conduziram, ainda, a modificações expressivas do material originário, pelas características do próprio material, pela sua resistência ao intemperismo ou composição química, e do relevo, que podem impedir ou limitar a evolução desses solos;
- Latossolos - constituído por material mineral, com horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer um dos tipos de horizonte diagnóstico superficial, exceto hístico;
- Alissolos - solos constituídos por material mineral com argila de atividade de 20 cmolc/kg argila ou maior, baixa saturação por bases, alto conteúdo de Alumínio extraível, conjugado com saturação por Al^3 50%. Podem ter horizonte A moderado, proeminente ou húmico e/ou horizonte E sobrejacente a um B textural ou B nítrico, desde que não satisfaçam requisitos para as classes dos Planossolos, Plintossolos ou Gleissolos.
- Argissolos - constituídos por material mineral com argila de atividade baixa e horizonte B textural (Bt), imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte superficial, exceto o hístico, sem apresentar os requisitos que o enquadrem nas classes dos Alissolos, Planossolos, Plintossolos ou Gleissolos.

A correlação entre a unidade de solo predominante e a classificação anterior de solos no Brasil, assim como com a denominação regional (sul da Bahia), é apresentada a seguir:

Sistema Brasileiro de Classificação	Classificação Anterior	Denominação Regional
Chernossolo Argilúvico	Brunizém Avermelhado	Itamirim
Neossolo Flúvico	Aluvial	Aluvião
Latossolo Vermelho-Amarelo	Latossolo Vermelho-Amarelo	Água Sumida
Argissolo Vermelho-Amarelo e Alissolo Hipocrômico	Podzólico Vermelho-Amarelo	Morro Redondo e Itabuna Modal

c) Mapa de Vegetação/Usos da Terra, com as coberturas vegetais básicas, cuja situação está relacionada com a ordem crescente de susceptibilidade à erosão, em função do grau de proteção do solo:

Tipo de Vegetação	Susceptibilidade à Erosão	Rib. Salomé		Riacho de Areia	
		(ha)	(%)	(ha)	(%)
Cacau/ Mata	Muito Baixa	4195	72	3136	25
Cacau Clonado	Muito Baixa	11	0,2	-	0
Pasto Bom	Baixa	1004	17,2	8760	70
Capoeira	Baixa	510	8,8	590	4,6
Café	Média	-	0	26	0,2
Cana	Média Alta	-	0	13	0,1
Pasto Degradado	Alta	100	1,8	11	0,1
Total		5820	100	12536	100

d) Mapa de Geologia, estabelecido em relação as unidades geológicas da área:

Unidade Geológica	Susceptibilidade à Erosão	Ribeirão Salomé		Riacho de Areia	
		(ha)	(%)	(ha)	(%)
Aib	Muito Baixa	5254	90,27	11476	91,54
σ2mz	Baixa	40	0,70	-	0
σ2sn	Baixa	476	8,18	633	5,05
Aa	Média	32	0,55	396	3,16
Aamb	Média Alta	-	0	31	0,25
Aaqt	Alta	18	0,30	-	0
Total		5820	100	12536	100

- Complexo Ibicaraí-Buerarema - (Aib): rochas gnáissicas ortoderivadas, plutônicas, de composição geral tonalítica-trondjmítica
- Suite Intrusiva Itabuna - (s2mz): rochas alcalinas monzodioritos
- Suite Intrusiva Itabuna - (s2sn): rochas alcalinas sodalita-nefelina sienitos

- Complexo Almadina - (Aa): rochas predominantemente metassedimentares
- Complexo Almadina - (Aamb): rochas predominantemente metassedimentares e rochas metabásicas intercaladas
- Complexo Almadina - (Aaqt): rochas predominantemente metassedimentares, quartzitos.

Processamento dos Dados

Seguindo-se o fluxograma definido na metodologia, cruzaram-se os mapas de solo, declividade, vegetação e geologia, tendo-se obtido 89 combinações de novos atributos no Ribeirão Salomé e 104 no Riacho de Areia.

Os novos atributos identificados foram reclassificados, a partir do reagrupamento das feições, com o intuito de se elaborar um mapa com os níveis padronizados de risco de erosão. A reclassificação reuniu em um mesmo grupo (Tabela 2) categorias que se aproximam diante dos seus graus de susceptibilidade ou proteção à erosão. A quantificação das classes de risco de erosão, das microbacias estudadas, é registrada no Tabela 3, e os mapas com os resultados finais de risco de erosão estão nas Figuras 5 e 6.

Tabela 2 - Reagrupamento dos atributos nos níveis de risco de erosão nas microbacias do Ribeirão Salomé (A) e Riacho de Areia (B).

(A) Rib. Salomé

Risco de erosão	Atributos englobados (*)			
	Declividade	Solo	Vegetação	Geologia
Muito Baixo	1	1, 3 e 4	1	1 e 2
Baixo	1 e 2	1, 2, 3 e 4	1 e 2	1, 2 e 3
Baixo Moderado	1, 2, 3 e 4	1, 2, 3 e 4	1, 2 e 3	1, 2, 3 e 6
Moderado	1, 2, 3 e 4	1, 3, 4 e 5	1, 2, 3 e 6	1, 2, 3, 4 e 6
Moderado Alto	1, 3 e 4	3, 4 e 5	1, 2 e 3	1, 3, 4 e 6
Alto	3, 4 e 5	4 e 5	1, 3 e 6	1 e 6
Muito Alto	3 e 4	4 e 5	3	2

(B) Riacho de Areia

Risco de erosão	Atributos englobados (*)			
	Declividade	Solo	Vegetação	Geologia
Muito Baixo	1	1, 3 e 4	1 e 5	1
Baixo	1 e 2	1, 2, 3 e 4	1, 2, 3 e 5	1, 3 e 4
Baixo Moderado	1, 2 e 3	1, 2, 3 e 4	1, 2, 3 e 5	1, 3 e 6
Moderado	1, 2, 3 e 4	1, 2, 3 e 4	1, 2, 3, 4 e 5	1, 2, 3, 4 e 6
Moderado Alto	2, 3 e 4	1, 3, e 4	1, 2, 3, 4, 5 e 6	1, 3, 4 e 6
Alto	3 e 4	1, 2, 3 e 4	1, 2, 3, 4, 5 e 6	1 e 4 e 5
Muito Alto	4	4	6	1 e 4

(*)

Atributo	Declividade	Solo	Vegetação	Geologia
1	0-5%	Chernossolo	Cacau/Mata	Aib
2	5-10%	Neossolo Flúvico	Pasto Bom	σ2mz
3	10-20%	Latossolo	Capoeira	σ2sn
4	20-30%	Argissolo e Alissolo	Café	Aa
5	>30%		Cana	Aamb
6			Pasto Degradado	Aaqt

Tabela 3 – Classe de risco de erosão das microbacias do Ribeirão Salomé e do Riacho de Areia, com respectivas áreas e proporções

Risco de Erosão	Ribeirão Salomé		Riacho de Areia	
	(ha)	(%)	(ha)	(%)
Muito Baixo	622	11	666	5,5
Baixo	1871	32	4616	37
Baixo Moderado	1525	26	1753	14
Moderado	747	13	3830	30
Moderado Alto	531	9	1525	12
Alto	515	8,8	138	1,4
Muito Alto	9	0,2	8	0,1
Total	5820	100	12536	100

A microbacia do Ribeirão Salomé, conforme resultados obtidos (Tabela 3 e Figura 5), revela uma maior proporção de terras sob condições de baixo a moderado risco de erosão, com 43% das áreas. A grande extensão de terras cultivadas com cacau proporciona uma significativa proteção contra a erosão. Os produtores e as comunidades que convivem com a microbacia do Ribeirão Salomé devem, no entanto, adotar medidas conservacionistas mais complexas, quando

do uso e manejo das terras sob moderado e muito alto risco de erosão, que correspondem a 31% da área.

Para a área do Riacho de Areia, os resultados (Tabela 3 e Figura 6) revelam que as maiores proporções das terras se enquadram entre os riscos de erosão muito baixo e baixo moderado, com 56,5%, basicamente em função do bom estado de manejo dos pastos e do relevo suave-ondulado. Não obstante estas condições, a adequada manutenção da fertilidade das terras e disponibilidade de d'água estão na dependência do uso racional dos recursos naturais da área.

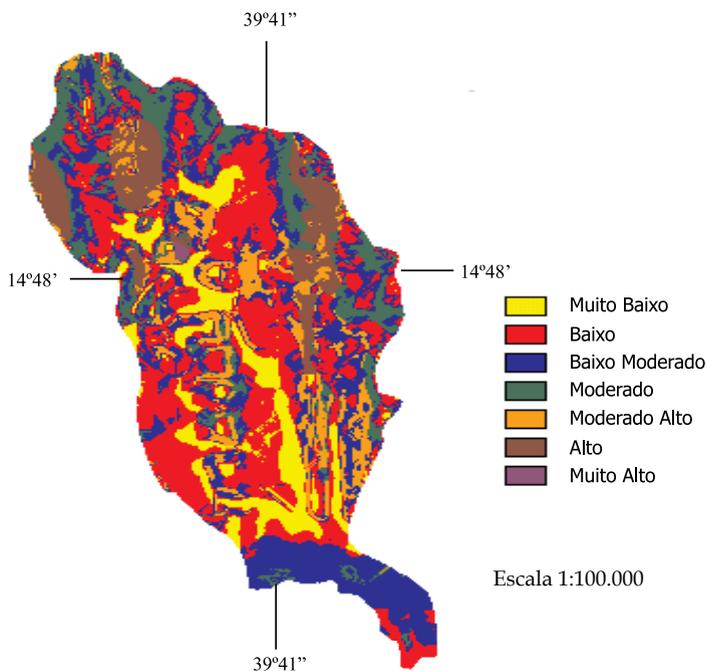


Figura 5 - Risco de Erosão da área da microbacia do Ribeirão Salomé.

Medidas/Práticas Conservacionistas

A partir dos resultados obtidos para as duas microbacias analisadas, cujas áreas podem ser tomadas como representativas da maior parte da BHRC, pode-se verificar (Tabela 4) que 39,76% das terras encontram-se sob risco de erosão, entre moderado até muito alto.

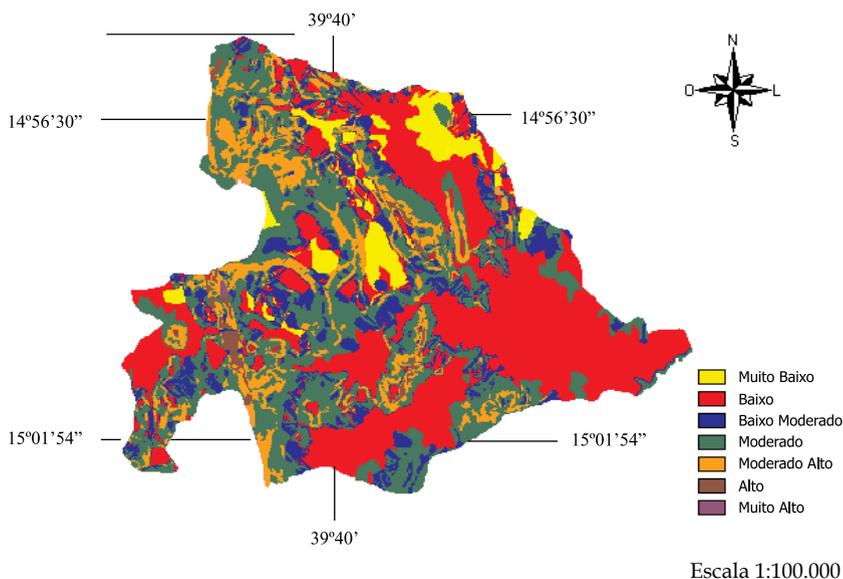


Figura 6 - Risco de Erosão da área da microbacia do Riacho de Areia.

Tabela 4 – Risco de erosão de áreas representativas da Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira.

Risco de Erosão	Área	
	(ha)	(%)
Muito Baixo	1288	7,00
Baixo	6487	35,34
Baixo Moderado	3278	17,90
Moderado	4577	24,93
Moderado Alto	2056	11,20
Alto	653	3,60
Muito Alto	17	0,03
Área Estudada (Total)	18356	100,00

Quanto mais alto o risco de erosão, maiores cuidados devem ser adotados no uso e manejo do solo, nas atividades agrícolas e empreendimentos urbanos. Devem-se utilizar medidas conservacionistas mais complexas contra a degradação das terras, no intuito de se manter as condições propícias de fertilidade, para a produtividade das áreas, assim como dos componentes ambientais, com especial ênfase para a água.

Assim sendo, diversas práticas de prevenção à erosão devem ser implantadas pelos produtores, técnicos e comunidades, podendo-se relacionar:

- Cultivo de acordo com a capacidade de uso da terra
- Preparo do solo e plantio em nível
- Florestamento e reflorestamento
- Uso de plantas de cobertura
- Cobertura morta
- Rotação de culturas
- Controle do fogo
- Adubação: verde, química, orgânica
- Calagem
- Adição de matéria orgânica
- Implantação de sistemas agroflorestais
- Plano técnico para formação e manejo de pastagem
- Cultura em faixa
- Faixa de bordadura
- Rotação de pastagem
- Quebra vento e bosque sombreador
- Cordão vegetativo permanente
- Manejo do mato e alternância de capinas
- Distribuição adequada dos caminhos
- Sulcos e camalhões em pastagens
- Enleiramento em contorno
- Terraceamento
- Subsolagem
- Irrigação e drenagem

Deve-se entender que cada prática, aplicada isoladamente, previne apenas de maneira parcial o problema. Para uma prevenção adequada da erosão, faz-se necessária a adoção simultânea de um conjunto de práticas.

Dentre os princípios fundamentais do planejamento de uso das terras, destaca-se um maior aproveitamento das águas das chuvas (ARAUJO et al., 2001). Evitando-se perdas excessivas por escoamento superficial, podem-se criar condições para que a água pluvial se infiltre no solo. Isto, além de garantir o suprimento de água para as culturas, criações e comunidades, previne a erosão, evita inundações e assoreamento dos rios, assim como abastece os lençóis freáticos que alimentam os cursos de água.

Trabalho realizado com apoio financeiro, instalações e equipamentos da Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira – CEPLAC, Universidade Estadual de Santa Cruz – UESC e Instituto de Estudos Sócio-Ambientais do Sul da Bahia - IESB

Uso do Índice de Integridade Biótica no Gerenciamento de Bacia Hidrográfica

Maurício CETRA

Neste capítulo será apresentado o índice de integridade como um método de diagnóstico ambiental, dando ênfase à comunidade de peixes, visando contribuir para o gerenciamento ambiental de bacias hidrográficas. Antes, porém, estão apresentados, de forma bastante simplificada, alguns conceitos relacionados com gestão ambiental, gerenciamento de bacia hidrográfica e gerenciamento pesqueiro.

Gestão Ambiental

Os recursos ambientais a serem explorados em uma dada região podem ser naturais, econômicos e/ou sócio-culturais. O grande desafio atual é tirar proveito econômico, respeitar às especificidades dos ecossistemas e melhorar o potencial existente e futuro para satisfazer as necessidades humanas locais.

As atividades de desenvolvimento precisam ser controladas visando ao uso, proteção, conservação e monitoramento dos recursos ambientais, conforme uma política ambiental. Para tanto, é necessário um plano de gerenciamento ou gestão ambiental, que é um processo de articulação dos diferentes agentes sociais, ou seja, órgãos federais, estaduais e representantes municipais, que interagem na região.

Os instrumentos de uso mais comum numa gestão ambiental do espaço são: avaliação de impacto ambiental, zoneamento ambiental e gerenciamento de bacia hidrográfica (Tabela 1) (LANNA, 1995).

Tabela 1 - Instrumentos de gestão ambiental: AIA (avaliação de impacto ambiental), ZA (zoneamento ambiental) e GBH (gerenciamento de bacia hidrográfica); e objetivos gerais de cada instrumento.

Instrumento	Objetivos
AIA	Orientar o processo de avaliação dos efeitos ambientais provocados pela implantação de uma atividade humana; Monitorar e controlar os efeitos ambientais.
ZA	Ordenação territorial; Assegurar a equidade de acesso aos recursos ambientais; Promover o desenvolvimento sustentável.
GBH	Orientar o poder público e a sociedade na utilização e monitoramento dos recursos ambientais na área de abrangência de uma bacia hidrográfica; Promover o desenvolvimento sustentável.

Gerenciamento de Bacia Hidrográfica

O gerenciamento de bacia hidrográfica ocorre quando a gestão ambiental utiliza a bacia hidrográfica como unidade de planejamento e intervenção. Portanto, é um processo de articulação e harmonização de diversos pontos de vista da sociedade sustentado por conhecimentos científicos e tecnológicos, visando conciliar as necessidades atuais e futuras da população humana local com um desenvolvimento alternativo na unidade espacial de intervenção da bacia hidrográfica (LANNA, 1995).

Esta unidade de intervenção apresenta vantagens e algumas dificuldades:

Vantagens

- a adoção da bacia hidrográfica como o único nível de planejamento do uso sustentável dos recursos;
- a consideração da água como patrimônio comum, cujo gerenciamento deve visar à satisfação dos diversos usuários e à conservação do meio ambiente;
- a adoção da solidariedade na escala da bacia, sob a forma de uma assembléia onde todas as opiniões devem ser consideradas, visando viabilizar as ações de sensibilização, mobilização e responsabilidade;
- a adoção de um sistema de planejamento dos usos da água expresso em um Plano Diretor de Gerenciamento da Bacia;
- a criação de uma estrutura de gerenciamento, dotada de instrumentos econômicos (contribuições e auxílios), força de

proposição oriunda de sua competência técnica e científica e de uma política de informações que apresente as prioridades, responsabilidades e resultados;

- a necessidade dos Comitês de Bacia tornarem sua política coerente com as orientações do Governo Federal;
- a necessidade de inclusão do “zoneamento das águas” nas metodologias de zoneamento econômico-ecológico;
- a participação e apoio efetivo dos governos estaduais a esta estrutura descentralizada de gerenciamento da bacia e implementação de políticas estaduais condizentes com as determinações elaboradas pelos comitês.

Dificuldade

- questões de caráter econômico e político no caso em que a área da bacia ultrapassa os limites municipais e estaduais.

Solução

- adoção de esquemas de subdivisão quando a unidade de intervenção for muito grande.

Freqüentemente, ocorre uma confusão em torno do conceito de gerenciamento de bacia hidrográfica e gerenciamento de recursos hídricos, que é o gerenciamento da oferta de um único recurso ambiental, a água, quando adota-se, como unidade de intervenção uma bacia hidrográfica. Confundir um com o outro implica em uma redução conceitual, temática e metodológica (Tabela 2).

Tabela 2 - O gerenciamento de diversos Recursos Ambientais no contexto do Gerenciamento de Bacia Hidrográfica

		Gerenciamento do uso dos recursos ambientais						
		Abasteci- mento	Assimilação de resíduos	Agrope- cuária	Energia	Trans- porte	Lazer	Outros usos
Gerenciamento da oferta dos recursos ambientais	Solo							
	Ar							
	Água							
	Fauna							
	Flora							
	Pesca							
	Outros Recursos							

Gerenciamento pesqueiro

Para ocorrer um bom gerenciamento pesqueiro, além de estabelecer uma estrutura unificada de ação política que irá orientar o sistema de gestão ambiental e adotar a bacia hidrográfica como unidade geográfica de ação, é necessário adotar técnicas de avaliação dos estoques a serem explorados na região.

Existem dois grupos principais de modelos de avaliação de estoques pesqueiros:

- Métodos holísticos: são aqueles que não consideram a estrutura por idade ou comprimento dos estoques, considerando o estoque como uma biomassa homogênea e utilizam dados de captura por unidade de esforço como entrada. Esta generalização, obviamente, diminui o poder de previsibilidade do nível ótimo de pesca, servindo como ponto de referência quando temos, por exemplo, um estoque no início de sua exploração (Figura 1A).
- Métodos analíticos: são aqueles que necessitam do conhecimento da composição etária das capturas (Figura 1B).

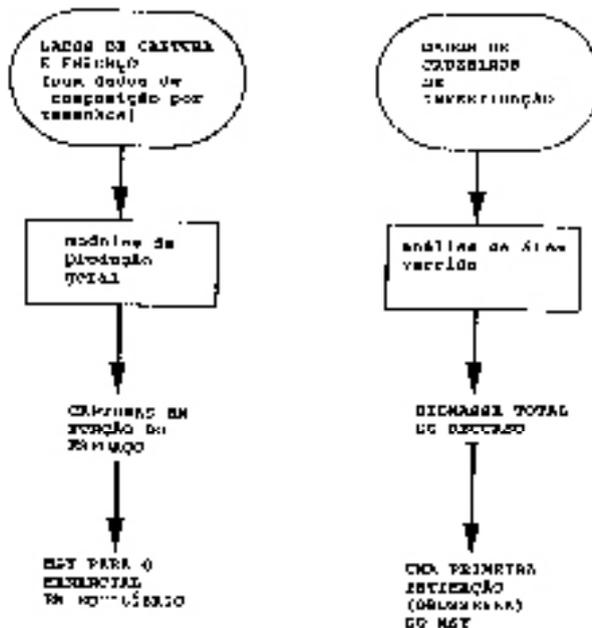


Figura 1A - Fluxograma de métodos holísticos (SPARRE & VENEMA, 1997).

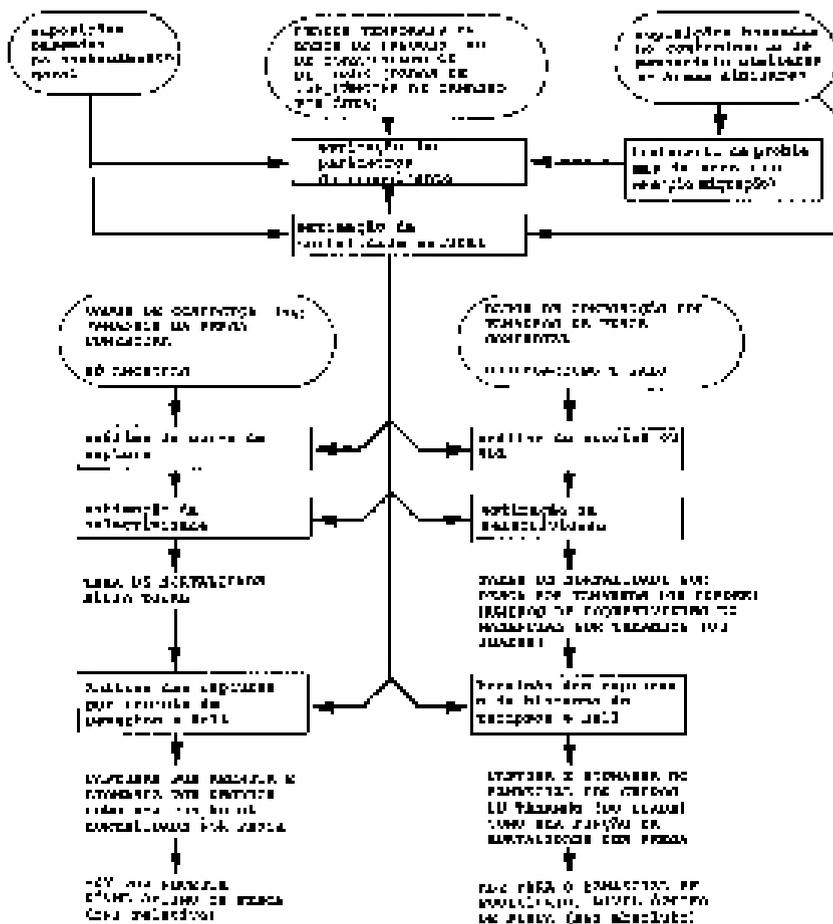


Figura 1B - Fluxograma de métodos analíticos (SPARRE & VENEMA, 1997).

Populações exploradas comercialmente, como o caso de peixes, necessitam de informações básicas para que se possa fazer uma exploração de maneira sustentável desses recursos. Por se tratar de um recurso vivo, ele é renovável, mas limitado. O objetivo fundamental da avaliação de um estoque (subconjunto de uma espécie) pesqueiro é fornecer recomendações para a exploração ótima dos recursos aquáticos vivos, ou seja, atingir o Rendimento Máximo Sustentável (“MSY – Maximum Sustainable Yield”).

Na pesca, existe um procedimento geral para a avaliação de um estoque. Os dados provenientes da pescaria são analisados, estimam-

se parâmetros de crescimento e de mortalidade para que se possam fazer previsões das capturas para uma série de níveis de exploração alternativos e, assim, determina-se o nível ótimo de pesca e a captura máxima sustentável.

Existem alguns modelos que permitem a obtenção desses valores ótimos, sendo necessário o conhecimento da composição etária das capturas. As idéias básicas desses modelos podem ser expressas como se segue:

- se existirem “poucos peixes velhos”, o estoque está sobreexplorado e a pressão de pesca sobre o estoque deve ser reduzida;
- se existirem “muitos peixes velhos”, o estoque está subexplorado e podem ser capturados mais peixes para maximizar as capturas.

O conceito básico desses modelos é o de “coorte”, que, simplificada, pode ser definido como um grupo de peixes, todos com a mesma idade pertencendo ao mesmo estoque. Com o passar do tempo, enquanto o número de sobreviventes de uma coorte diminui, o comprimento e o peso individual médios aumentam.

Existem dois elementos principais na descrição da dinâmica de uma coorte:

- crescimento médio do corpo em comprimento e peso;
- a mortalidade.

O estudo do crescimento significa, basicamente, a determinação do tamanho do corpo em função da idade e, por consequência, todos os métodos de avaliação de estoques trabalham essencialmente com dados de composição de idade.

A estrutura etária de um estoque pode ser determinada de maneira direta e indireta. O método direto considera o número de anéis impressos em estruturas duras (otólitos, vértebras, escamas, ossos operculares, esporões, espinhos etc.) com a finalidade de se estimar a idade dos indivíduos. Isso se baseia na inferência de que o peixe sofre periodicamente interrupção ou desaceleração no seu crescimento, o que traz consequências marcantes ao seu metabolismo, acarretando a deposição de camadas de calcário de diferentes densidades ópticas,

formando assim uma zona opaca e outra translúcida intercaladas nessas estruturas duras. O método indireto baseia-se na distribuição das freqüências de classes de comprimento que serão estabelecidas a partir dos dados obtidos pelas medidas de comprimento em amostras sucessivas no tempo, admitindo-se que, nas curvas polimodais resultantes, cada moda representa uma classe etária, ou seja, é resultante de uma mesma desova.

Felizmente, foram desenvolvidos vários métodos numéricos que permitem a conversão de dados de freqüências de comprimento em composição por idades. Para a aplicação desses métodos, dois pré-requisitos são necessários:

- A desova da população deve ser total e periódica, dando origem a classes etárias definidas e com distribuição de comprimento aproximadamente normal;
- A população deve formar uma unidade de estoque com distribuição geográfica conhecida, de modo a permitir a amostragem representativa de comprimento numa área homogênea e de tamanho aproximadamente constante.

Da mesma forma que o crescimento, a mortalidade é descrita com a ajuda de um modelo matemático e uma série de parâmetros, onde os mais importantes são as taxas de mortalidade.

Para descrever as variações em número de um determinado estoque, é necessário seguir, ao longo do tempo, a evolução de uma coorte. Devemos considerar que a mortalidade de uma coorte inclui a mortalidade causada pela pesca e é devida a todas as outras causas que, em conjunto, compõem a “mortalidade natural” (predação, doenças e morte).

Através da breve descrição acima, deve ficar claro que o objetivo do gerenciamento pesqueiro é garantir a produção sustentável, ou seja, partindo-se do princípio de que os recursos pesqueiros são renováveis, a produção sustentável depende da existência de uma reprodução excedente, a qual é determinada através do balanço entre nascimento, morte e crescimento natural da população de peixes (HILBORN *et al.*, 1995).

O gerenciamento pesqueiro atua através de ações reguladoras que promovam o crescimento econômico, a sustentabilidade ambiental e a

redução das disparidades sociais e econômicas em que vivem as comunidades de pescadores e todo o comércio envolvido na utilização desse recurso. Para que ocorra um bom gerenciamento, torna-se necessário executar uma boa avaliação do estoque, cujo papel não é somente obter a melhor estimativa do Máximo Rendimento Sustentável, mas, sim, ajudar no delineamento de um sistema de gerenciamento de pesca que possa responder quais os tipos de variáveis que podemos encontrar na natureza (HILBORN & WALTERS, 1992).

Nas três últimas décadas, tem-se visto o declínio de algumas das mais importantes pescas do mundo. Nos Estados Unidos, todas as maiores pescas no Atlântico, Pacífico e Golfo do México testemunharam uma diminuição do estoque e redução das capturas. O fato destes estoques estarem submetidos a um gerenciamento por décadas significa que estamos testemunhando uma falência não só dos estoques, mas de uma boa política também (ACHESON & WILSON, 1996).

Diagnóstico ambiental de uma Bacia Hidrográfica utilizando a comunidade de peixes

A comunidade de peixes apresenta numerosas vantagens como organismos indicadores nos programas de monitoramento biológico, devido à disponibilidade de informações sobre o ciclo de vida de grande número de espécies e por incluírem uma variedade de níveis tróficos (omnívoros, herbívoros, insetívoros, planctívoros, carnívoros), compreendendo alimentos tanto de origem aquática como terrestre. A posição dos peixes no topo da cadeia alimentar em relação a outros indicadores de qualidade de água como diatomáceas e invertebrados favorece uma visão integrada do ambiente aquático (HARRIS, 1995).

Existe na literatura uma grande quantidade de trabalhos propondo técnicas de reabilitação de rios europeus e norte americanos, já que esses sofreram grandes impactos devido ao processo de desenvolvimento urbano. A complexidade dos ambientes tropicais impede a aplicação direta desses protocolos, exigindo uma adaptação. A melhor opção é evitar que cheguem ao estado em que se encontram os ambientes temperados. Para isso, torna-se necessário um melhor conhecimento da área e proposição de estratégias de conservação e reabilitação nos sistemas que já se encontram degradados.

A compreensão do conceito de Integridade Biológica torna-se necessária neste momento em que se pretende apresentar um método de avaliação ambiental de um determinado ecossistema.

A integridade biológica ou ecológica pode ser definida como a capacidade de estabilidade e persistência de um ecossistema mediante o estabelecimento de bases seguras tanto para a fixação como para o armazenamento de energia, através de propriedades intrínsecas, devido a organização hierárquica dos componentes tróficos e das populações.

A integridade biológica de um ecossistema aquático pode ser vista como um reflexo de seus componentes:

- Qualidade da água: temperatura, turbidez, oxigênio dissolvido, química orgânica e inorgânica, metal pesado e substâncias tóxicas;
- Estrutura do habitat: tipo de substrato, profundidade da coluna, velocidade da água, complexidade estrutural e temporal do habitat físico;
- Regime do fluxo: volume de água, distribuição temporal do fluxo;
- Fonte de energia: tipo, quantidade, tamanho da partícula da matéria orgânica que entra no sistema, padrão sazonal da disponibilidade de energia;
- Interações biológicas: competição, predação, doença, parasitismo.

Qualquer atividade humana que degrade um ou mais destes componentes, degrada a qualidade do recurso aquático. Durante muito tempo os esforços para manutenção da qualidade dos recursos hídricos ficaram restritos a manutenção da qualidade da água.

A estrutura do habitat é tão importante quanto a qualidade da água, porém muitas vezes ignorada. O termo habitat define o local onde uma espécie vive, fornecendo uma variedade de condições, mas sem especificar a quantidade, disponibilidade ou utilização dos recursos que satisfazem às necessidades da espécie, ou seja, seu nicho ecológico.

Os recursos de um organismo vivo são principalmente a matéria prima da qual seus corpos são formados, a energia que está envolvida em suas atividades e o espaço no qual o organismo atua ou passa seu ciclo de vida inteiro ou parte dele.

Durante o ciclo de vida, um organismo aquático requer diferentes habitats ou unidades funcionais que fornecem condições de microhabitat para cada estágio específico de sua vida: período de crescimento ou residência em lagoas marginais isoladas do canal principal; período de reprodução e desova; períodos larval e juvenil (COWX & WELCOMME, 1998).

O microhabitat é o local onde o peixe é encontrado em um determinado instante de tempo e é diretamente influenciado pela complexidade estrutural do habitat, intensidade luminosa, variáveis hidráulicas, variáveis físico-químicas, substrato e variáveis bióticas.

A riqueza e variedade de habitats em rios fornecem extensa gama de alimentos e substratos possíveis e podem ser utilizados para caracterizar as condições ambientais. O alimento surge a partir do próprio sistema aquático (autóctone) ou de sistemas externos (alóctone). No entanto, é basicamente dependente de material externo originado a partir de sedimento aluvial, nutrientes dissolvidos, material trazido de sistemas com fluxo superficial ou produtos decompostos em zonas de inundação (WELCOMME, 1985).

Para MATTHEWS (1998), a variedade de habitats ocupados por peixes é tão diverso quanto o próprio grupo taxonômico. O ambiente físico selecionado pelos peixes depende dos processos geológicos, morfológicos e hidrológicos que influenciam a vegetação marginal que forma um mosaico ao longo do canal. Este canal pode ser concebido como uma estrutura de quatro dimensões: longitudinal, lateral, vertical e temporal (WARD, 1989; COWX & WELCOMME, 1998).

Para completar seu ciclo de vida muitos peixes necessitam desovar em ambientes com características muito diferentes daquelas onde o adulto vive, necessitando subir o rio ou encontrar um ambiente mais calmo, muitas vezes distante dos locais onde passam a maior parte de sua vida se alimentando (COWX & WELCOMME, 1998). Para VANNOTE *et al.* (1980), os rios são gradientes físicos, onde os diversos habitats estão ligados ao longo de um contínuo, e a distribuição dos organismos é estabelecida de maneira a conformar-se às condições físicas do canal que, por sua vez, são previsíveis a partir de sua posição na rede de drenagem. Portanto, ambiente e processos biológicos devem estar integrados de maneira previsível.

A alta diversidade biológica está muito vinculada à presença de ambientes lênticos situados em vales aluviais que ocorrem ao longo de

seus cursos. Estas áreas de inundação estão sujeitas a pulsos sazonais do nível do rio, cuja variação tem sido considerada como o principal fator determinante na dinâmica do sistema de rios de planície de inundação (LOWE-McCONNEL, 1987; JUNK *et al.*, 1989; BAYLEY, 1995). As planícies de inundação constituem locais de desova para muitos peixes fluviais e são reconhecidamente criadouros naturais, devido a sua diversidade de habitat, fornecendo grande quantidade de alimento particulado e abrigo contra predadores (GOULDING, 1979; PAIVA, 1983; LOWE-McCONNEL, 1987). Para COWX & WELCOMME (1998), a dimensão lateral relaciona a mata de galeria com o canal do rio. Esta interação fornece diferentes habitats, não só como locais para alimentação e refúgio como também para desova. Em riachos de cabeceira, ou seja, de baixa ordem, a diversidade de habitats aquáticos depende muito dos troncos de madeira caídos, que passam a funcionar como modeladores da geomorfologia do canal fornecendo mais fontes de recursos para os peixes.

A dimensão vertical refere-se à interação entre o canal e sua profundidade. Esta dimensão tem muita importância para aquelas espécies que põem seus ovos em depressões rochosas (poção).

A característica mais marcante desses sistemas é a existência de um eixo longitudinal, devido ao fluxo unidirecional, que impõe diferentes processos em sua organização. O nível de organização ecológica reflete a heterogeneidade ambiental, destacando a importância das dimensões temporais e espaciais, onde a maior parte dos estudos temporais lidam com estabilidade e/ou persistência das comunidades, enquanto que estudos longitudinais apreciam o quanto as características bióticas e abióticas se alteram ao longo de gradientes lóticos.

Considerando uma comunidade biológica, a diversidade de espécies, geralmente, é utilizada como um bom indicador da qualidade dos habitats da área de estudo (MAGURRAN, 1988). A diversidade biológica e as características naturais de assembléias de peixes estão diretamente relacionadas com a variedade e extensão dos habitats naturais da bacia hidrográfica (COWX & WELCOMME, 1998).

A diversidade máxima é esperada em algum ponto onde, além da diversidade de habitats ser maior (GORMAN & KARR, 1978), também existam distúrbios intermediários causados pela interferência de fatores abióticos sobre interações bióticas (WARD, 1992).

A utilização de índices de diversidade ou equabilidade de espécies

possui como vantagens a facilidade com que são calculados e a grande quantidade de trabalhos teóricos a respeito de suas propriedades estatísticas. Por outro lado, incorporam poucas informações biológicas, ignoram a função da espécie na comunidade, não consideram a identificação da espécie e sua abundância absoluta, seus valores podem variar muito, mesmo sem a ocorrência de distúrbios, são sensíveis quanto ao nível taxonômico, e difíceis de serem interpretados (FAUSH *et al.*, 1990).

Os sistemas naturais são multidimensionais e, devido a essa complexidade, limita a possibilidade de que apenas um simples atributo - índice de diversidade ou qualidade da água - possa ser usado para avaliar todas as formas de degradação e ser sensível o bastante para a grande gama de fontes desestruturadoras. Nesse sentido, uma avaliação mais integrada do ambiente torna-se necessária.

Em vista disso, o índice de integridade biótica IIB (IBI - Index of Biotic Integrity) foi desenvolvido por KARR (1981) para avaliar a degradação ambiental em rios dos Estados Unidos. O IIB é baseado em métricas que avaliam a estrutura da comunidade e a função das espécies, as classes de integridade são biologicamente importantes, é sensível a diferentes fontes de degradação e os escores permitem boa repetibilidade. Porém, sua aplicação requer um número moderado de espécies, um grande conhecimento prévio das informações ecológicas da área, possui alguns critérios subjetivos, medidas de biomassa não são incluídas e necessita de ser comparada com um ambiente natural onde a integridade biológica não tenha sido alterada (FAUSH *et al.*, 1990).

Originalmente o IIB utiliza doze atributos biológicos relacionados com a composição das espécies e riqueza, composição trófica e abundância e condições dos peixes. O valor de cada atributo para um rio degradado é comparado com o valor de um rio localizado em uma bacia com características similares, onde as alterações foram mínimas. O IIB total é calculado, somando-se os 12 valores de cada atributo variando de 12 (muito pobre) a 60 (excelente) (FAUSH *et al.*, 1990).

O sistema originalmente proposto por KARR (1981) procura descrever o ambiente em seis classes de qualidade de água: excelente, boa, razoável, pobre, muito pobre e sem peixe (Tabela 3). O índice é baseado em atributos da comunidade de peixes e são agrupados em três categorias: composição e riqueza de espécies; composição trófica

e abundância de peixes; condição (Tabela 4).

Tabela 3 - Pontuação de Integridade Biótica, classes e descrição

Classes de Integridade (pontuação)	Descrição
Excelente (57-60)	Comparável às melhores situações sem a influência do homem; todas as espécies regionais esperadas para o habitat e tamanho do curso d'água presentes, incluindo as formas mais intolerantes, em todas as faixas de classes de idade e sexo; estrutura trófica balanceada.
Boa (48-52)	Riqueza de espécies um tanto abaixo da expectativa, especialmente devido à perda das formas mais intolerantes; algumas espécies com distribuição de abundância ou de tamanho inferior ao ótimo; estrutura trófica mostra alguns sinais de estresse.
Regular (39-44)	Sinais de deterioração adicionais com menos formas intolerantes, estrutura trófica mais alterada (por exemplo aumento da frequência de omnívoros); classes maiores de idade de predadores podem ser raras.
Pobre (28-35)	Dominada por omnívoros, espécies tolerantes à poluição e generalistas em habitat; poucos carnívoros; taxas de crescimento e fator de condição diminuídos; espécies híbridas e/ou doentes sempre presentes.
Muito pobre (<24)	Poucos peixes presentes, principalmente introduzidos ou espécies muito tolerantes; híbridos frequentes; doenças comuns, parasitas, nadadeiras feridas e outras anomalias.
Sem peixe (0)	Repetidas pescarias sem capturar qualquer peixe.

FORE *et al.* (1994) afirmam que este índice pode ser analisado através de técnicas da estatística clássica como ANOVA para se testar hipóteses. Várias técnicas de análise estatística paramétrica e não-paramétrica, assim como, técnicas multivariadas já foram utilizadas com este índice.

O IIB pode ser adaptado para análise de assembléias de peixes em grandes rios, pequenos riachos e lagos; para avaliar a qualidade da água, onde se procura evidenciar a influência de diferentes condições ambientais de urbanização, utilização das margens do rio, ocorrência dos diferentes mesohabitats (rio corrente, poço e corredeira); encontrar predições com relação a variáveis de microhabitat (variáveis físico-químicas), além de ser aplicado em comparações de diferentes rios de uma mesma bacia.

Tabela 4 - Exemplo de pontuações utilizadas na determinação da Integridade Biótica para a comunidade de peixes da bacia do rio Ohio (SIMON & EMERY, 1995).

Atributos	Pontuação		
	1	3	5
Composição e riqueza de espécies			
1. Número de espécies	≤ 10	11-20	≥21
2. Porcentagem de grupo faunístico de grandes rios	<26	26.1-53.3	>53.4
3. Número de espécies relacionadas com alta qualidade de poções	≤2	3-5	≥6
4. Proporção de espécies sensíveis à variação de temperatura	<13.3	13.3-26.6	>26.7
Espécies tolerantes			
5. Número de espécies sensíveis	≤3	4-7	>7
6. Proporção de espécies tolerantes	>33.3	16.7-33.3	>16.7
Composição trófica			
7. Proporção de Omnívoros	>13.3	6.7-13.3	<6.7
8. Proporção de Insetívoros	<20	20-40	>40
9. Proporção de Carnívoros	<20	20-40	>40
Abundância e condições dos peixes			
10. Captura por unidade de esforço	<250	251-500	>500
Guilda reprodutiva			
11. Proporção de peixes litófilos	<20	20-40	>40
Condições individuais			
12. Proporção de peixes com anomalias, doenças, etc.	<3	1-3	>1

Talvez uma das causas do declínio de algumas das mais importantes pescas do mundo seja a não observação da interação entre os diversos fatores que compõem um ecossistema, sendo focada somente a dinâmica populacional de uma única espécie. Apesar dessas pescarias ocorrerem, na sua grande maioria, em oceanos, no Brasil existe uma exploração pesqueira de grande importância econômica em ambientes de água doce, onde este tipo de diagnóstico é extremamente indicado. Portanto, adaptar esse sistema de avaliação ambiental, como proposto por RIBEIRO (1994), é uma boa forma de contribuir para um eficiente sistema de gerenciamento ambiental de uma bacia hidrográfica.

Caracterização Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Piauí (SE)

Marcelo F. Landim de SOUZA &
Erminda C. Guerreiro COUTO

A Bacia do Rio Piauí situa-se na porção norte da Bacia do Atlântico Leste, no sul do Estado de Sergipe, correndo no sentido NO-SE (UFS, 1979). Situada entre as latitudes 10° 30' e 11° 30' S e longitudes 37° 15' e 38° 05' W (Figura 1), limita-se com as dos rios Vaza-Barris ao norte, São Francisco à noroeste, e Real ao sul. Apresenta uma área de drenagem de 4.150 km², sendo a segunda em extensão no Estado de Sergipe. O Rio Piauí nasce na Serra dos Palmares – Município de Simão Dias, e possui um curso de 132 km de extensão. A maior parte de seus afluentes é perene, destacando-se os rios Gonçalves Dias, Fundo, Biriba, Piauitinga, Jacaré e Machado na margem esquerda e Arauá, Indiaroba e Guararema na direita (Figura 2).

A exploração desordenada dos recursos naturais, aliada a características climáticas, geológicas e geomorfológicas têm levado essa bacia a um alto grau de degradação ambiental. Este capítulo sumariza o conhecimento levantado até o presente momento sobre esse sistema, identificando os principais impactos, conflitos de uso e seus efeitos sinérgicos e antagônicos.

Caracterização do Meio Biofísico

Aspectos Geológicos e Geomorfológicos

O arcabouço geológico é complexo e heterogêneo, englobando terrenos pré-cambrianos cristalinos e metassedimentares, coberturas sedimentares paleo-mesozóicas e depósitos recentes. Na parte alta de sua bacia, drena os arenitos ferruginosos do grupo Estância (Pré-Cambriano), na porção média, o complexo de rochas metamórficas-



Figura 1 - Imagem do LANDSAT 5, sensor TM, bandas 3, 4 e 5, da porção estuária da bacia hidrográfica do Rio Piauí (Se) (data: 11.12.1990 - imagem gentilmente cedida pela PETROBRAS S.A.).

migmatíticas (Pré-Cambriano), e na baixa, rochas sedimentares do Grupo Barreiras e sedimentos costeiros aluviais (Figura 3). O Grupo Barreiras compõe-se de rochas sedimentares de baixa resistência e litologia variada, indo de arenitos grosseiros a conglomeráticos (SANTOS & ANDRADE, 1992).

A Bacia do Rio Piauí situa-se, em grande parte, sobre a feição estrutural denominada Plataforma de Estância, extensão do embasamento cristalino em posição alta em relação à fossa tectônica da bacia sedimentar Sergipe-Alagoas (UFS, 1989). Este embasamento é constituído por gnaiss pré-Cambriano do Escudo Brasileiro, superposto por estruturas sedimentares do Cretáceo, Terciário e Quaternário, formando um pacote estratigráfico de cerca de 330 m (UFS, 1989). Em

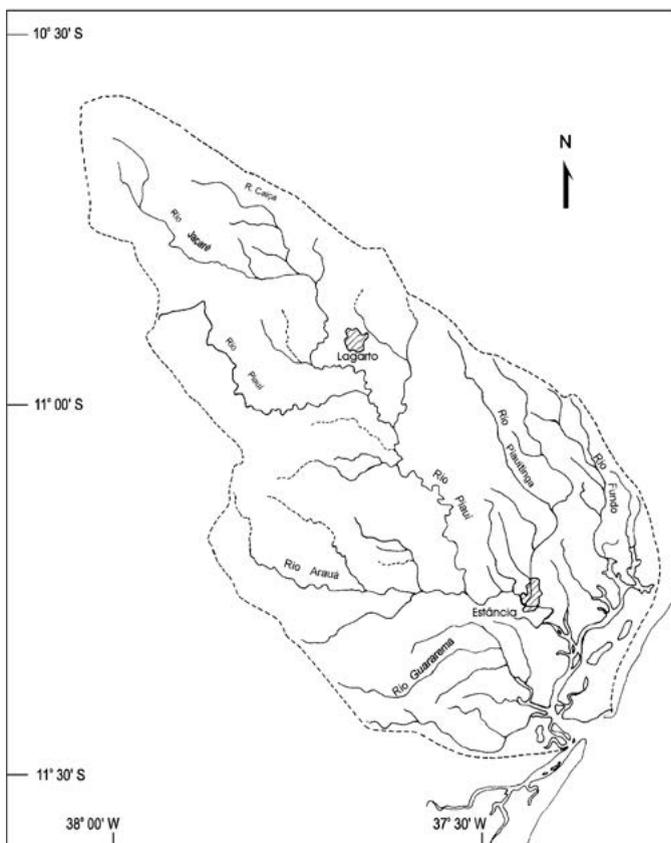


Figura 2 - Mapa da Bacia do Rio Piauí com a localização dos principais afluentes. Souza (1999), a partir de mapas da SUDENE em escala 1:100.000, folhas SC.24.Z.A-VI, SC.24.Z.C-III e SC.24.Z.D-I..

diversos locais, essa biotita-gnaíse de granulação média e intensamente dobrado aflora, como ao longo do Rio Guararema (UFS, 1989) e no Rio Piauí, à montante de Estância .

O Complexo Cristalino ou Faixa de Dobramentos Sergipanos é constituído de rochas pré-cambrianas e cambrianas. Subdivide-se em quatro unidades das quais três ocorrem na Bacia do R. Piauí (UFS, 1979; UFS, 1989):

- Complexo Granulítico - Gnaisses do embasamento cristalino, presentes na Janela estrutural de Simão Dias e alto tectônico de Itabaianinha. Na primeira, é também considerado como

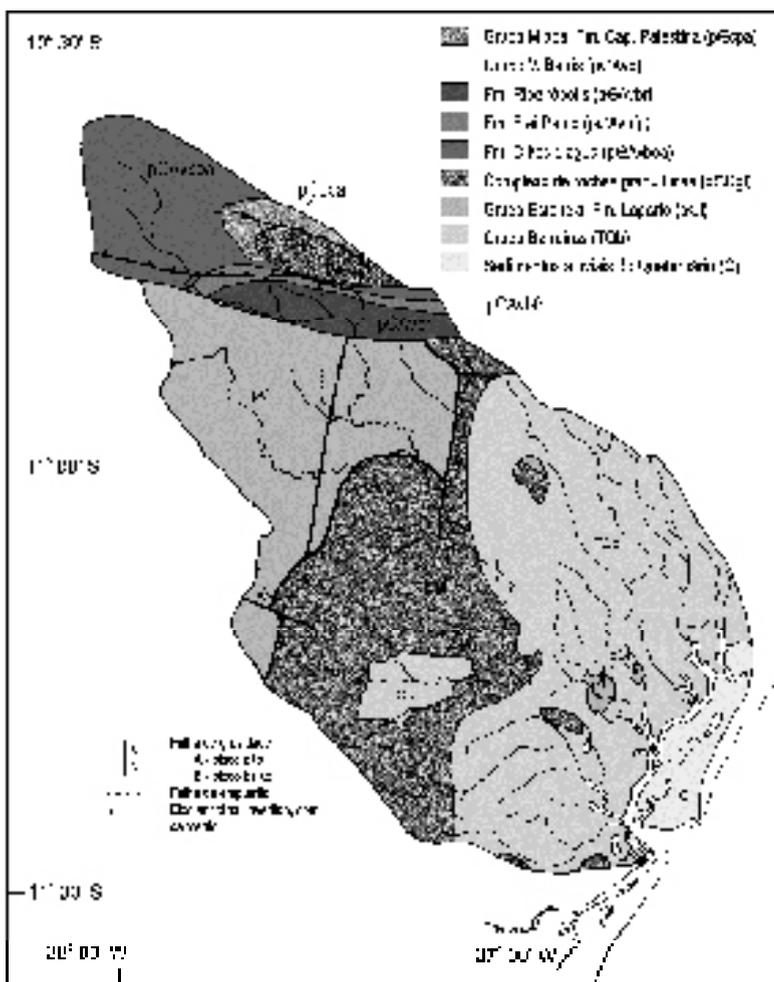


Figura 3 - Mapa geológico da Bacia do Rio Piauí. Extraído de Souza (1999), elaborado a partir de UFS (1979) e mapa geológico do DESO (Geól. J. W. Aragão, com. pessoal); porção superior a partir de fronteira com Bahia, baseado em MME (1983).

pertencente à Fm. Capitão Palestina, Grupo Miaba (MME, 1983);

- Grupo Vaza-Barris - De idade pré-cambriana, limita a bacia à oeste, na fronteira com a Bahia, mergulhando sob sedimentos da Bacia do Tucano. Ao sul confronta-se com a Formação Lagarto (anteriormente Estância), pouco abaixo de Simão Dias.
- Formação Lagarto - Composta por arenitos, siltitos e conglô-

merados ferruginosos de forte coloração vermelho-arroxeadas, de idade cambriana, predomina na porção média-superior da bacia, inclusive a nascente do Rio Piauí. Esta formação também está presente em afloramentos próximo à Estância e Salgado.

No relatório apresentado pela UFS (1989), é relatada a ocorrência de calcários argilosos, às vezes dolomíticos, do membro Sapucari (Cretáceo Inferior) da formação Cotinguiba. Segundo este trabalho, esses carbonatos ocorrem não só ao longo da coluna estratigráfica, superposto por sedimentos Terciários e Quaternários do grupo Barreiras, como em afloramentos como o situado próximo à confluência do Rio Biriba com o Piauí.

A cota de 100 m está situada entre 10 -20 Km do litoral. Entre as curvas de nível de 200 e 300 m situa-se uma área de rochas pré-cambrianas e cambrianas, com ou sem cobertura mesozóica e cenozóica. Esta região corresponde ao chamado “Pediaplano Sertanejo”, localmente dissecado em colinas, cristas e interflúvios tabulares. Acima de 300 m, situam-se as serras residuais, como a Serra das Agulhadas, restos de estruturas antigas. Alguns trechos do Rio Piauí correm fortemente encaixados, demonstrando um estreito controle estrutural. A foz deste rio apresenta-se em forma de “ria”, com canal oblíquo à costa (UFS, 1979).

As principais unidades geomorfológicas presentes (Figura 4) são a Planície Litorânea ou Costeira, de origem marinha (restingas e cordões litorâneos paralelos à costa, com canais de maré e lagoas) ou flúvio-marinha (na foz dos rios), e os Tabuleiros Costeiros (UFS, 1989; SANTOS & ANDRADE, 1992). Estes são planaltos baixos de rochas sedimentares uniformes, formados sobre os sedimentos do Grupo Barreiras. A morfologia caracteriza-se por superfícies pediplanadas, com relevos dissecados em colinas e interflúvios tabulares. A permeabilidade dos solos é muito baixa, com relevo médio a forte. Esta característica propicia um maior escoamento superficial, erosão laminar e dissecção, e mesmo ocorrência de ravinamentos em bordas de colinas, e conseqüente incremento da carga aluvial de partículas finas (UFS, 1989). Na sub-bacia do Rio Piauitinga a permeabilidade é maior (média a elevada), com relevo suave (SANTOS & ANDRADE, 1992).

Pode-se subdividir o relevo nos seguintes compartimentos (Figura 4; UFS, 1979):

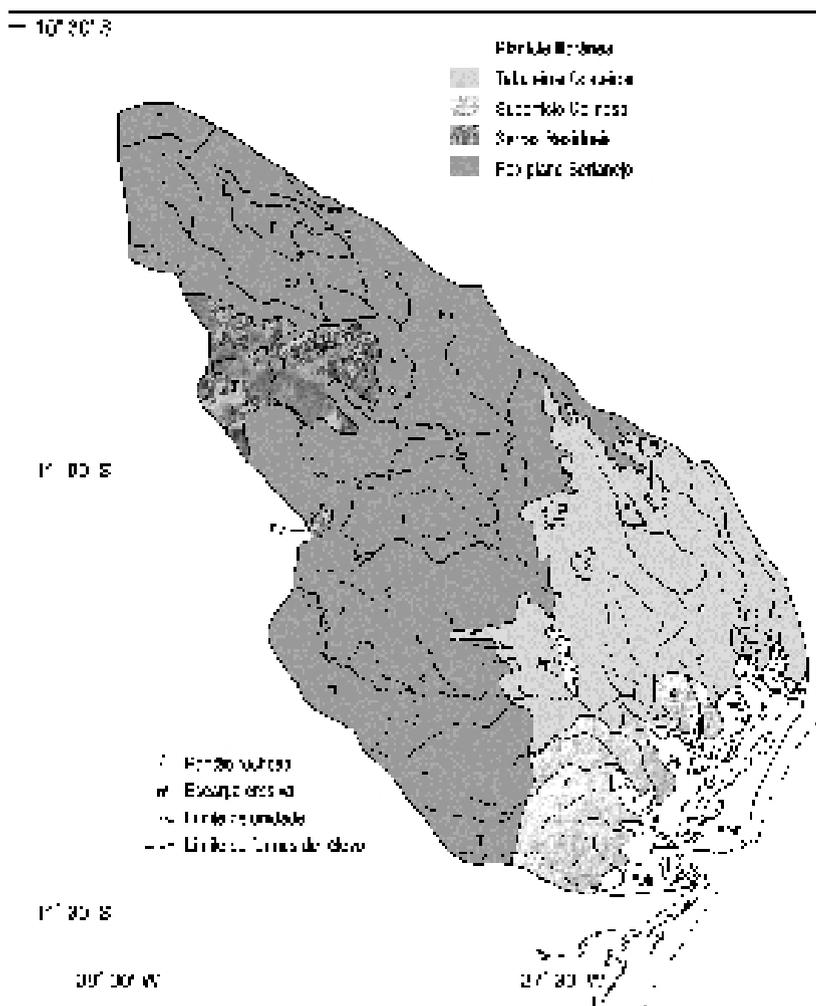


Figura 4 - Mapa geomorfológico da Bacia do Rio Piauí. Extraído de Souza (1999), elaborado a partir de UFS (1979)); porção superior à partir de fronteira com Bahia, baseado em MME (1983).

- *Planície litorânea*. Pouco recortada, com maiores larguras próximo à foz do Rio Piauí em função do acréscimo de sedimento em costa progradante.
- *Planície marinha (Apm)* - Sedimentos de acumulação marinha, com justaposição de cordões arenosos, eventualmente comportando canais e alagados.

- *Planície flúvio-marinha (Apfm)* - Cordões de sedimentação paralelos à costa e entre si, que ocorrem na foz e nas “rias”, coincidindo com a cobertura de manguezal.
- *Planície fluvial (Apf)* - Áreas planas, resultantes de acumulação fluvial. Geralmente sujeitas a inundações e eventualmente contendo um nível de terraço baixo. Presente apenas em pequenas áreas ao longo do curso do Rio Piauí (UFS, 1979), e do Rio Piauitinga (obs. pessoal).

A planície de maré está dividida em duas zonas: superior e inferior. A planície de maré superior está delimitada pelo nível médio das preamares de sizígia e o nível das preamares equinociais, enquanto a planície de maré inferior está delimitada pelos níveis de preamar e baixamar, sendo caracterizada pela sedimentação de clásticos finos, argilo-sílticos e areno-sílticos (FONTES & ALMEIDA, 1987).

A distribuição dos sedimentos de fundo foi estudada apenas para a porção estuarina (UFS, 1989). Os sedimentos foram compostos predominantemente por areias, com granulometria variando de grossa a muito fina. Sedimentos finos concentraram-se próximos à desembocadura de canais de maré ou em áreas protegidas localizadas próximas às margens, refletindo baixa energia ambiental. O canal principal de fluxo é bem definido, com predomínio de areia fina na zona de maior influência marinha e grossa na porção inferior, sob influência fluvial. Sedimentos com predomínio da fração silte estiveram relacionados à região recoberta por manguezais.

- *Tabuleiros costeiros (Et)*. Caracterizados pela superfície tabular erosiva de tipo aplainado. Secionados por drenagem perene, eventualmente limitados por rebordos e apresentando caimento do interior para o litoral. São restos de superfície de erosão que truncam o Grupo Barreiras. Presentes em pequenas áreas nas bacias dos rios Piauitinga, Piauí e Fundo.
- *Superfície tabular (Ep)*. Superfície de erosão, elaborada por processos de pediplanação, em clima semi-árido, truncando estruturas pré-cambrianas, dissecada em relevos tabulares e colinas. A elaboração do pediplano parece ter-se desenvolvido do interior para o litoral, encontrando-se interrompida por relevos dissecados e residuais.

- *Serras residuais*. Esculpidas em estruturas pré-cambrianas e cambrianas. Encontra-se representada pela Serra das Agulhadas, onde situa-se a nascente do Rio Piauí. Altitudes entre 300 e 600 m.

De uma forma geral, o relevo da bacia do Rio Piauí é suave, como se evidencia pelo perfil vertical do R. Piauí (Figura 5). Com exceção do trecho que vai da nascente até os primeiros 20 km (declividade @ 8,3 m/km), dos 20 aos 45 km (D @ 5,0 m/km) e até as corredeiras presentes entre 46 e 47,8 km (D @ 26,7 m/km), a declividade é baixa (D @ 0,4 m/km). O primeiro trecho é caracterizado pela presença de córregos em drenagem paralela (não representados na escala 1:500.000) e que correspondem à vertente da Serra das Agulhadas. O trecho seguinte, no qual o rio corre fortemente encaixado, parcialmente ao longo de uma falha em arco, denota a ocorrência pretérita de um nível de base mais baixo. Esse segmento do perfil encontra-se claramente delimitado pelas duas falhas paralelas no sentido NE (Figura 3), evidenciando forte influência tectônica sobre a drenagem. Este controle estrutural também é observado na ocorrência de padrões de drenagem paralela e sub-paralela em toda a bacia, especialmente nas sub-bacias dos rios Piauitinga, Fundo e Guararema (Figura 2).

Em resumo, são terrenos antigos, em que predominam os processos de erosão e sedimentação. As formas erosivas foram esculpidas em diversas litologias, constituindo-se na maior parte da área da bacia. As de acumulação, localizadas próximo ao litoral, apresentam um contato nítido com as formas dissecadas através de escarpas e falésias mortas (UFS, 1979).

Características Climáticas

A bacia apresenta clima regional litorâneo quente úmido e sub-úmido, exposto aos ventos alísios de SE, e para o interior clima do tipo mediterrâneo, tendente a seco (semi-árido). A temperatura média anual é superior a 18°C, com fraca amplitude. Os meses de julho e agosto apresentam as menores temperaturas, assim como as regiões no interior com cotas altimétricas mais elevadas. Os meses mais quentes são fevereiro e março (UFS, 1979).

A distribuição pluviométrica caracteriza-se pela irregularidade (Figura 6). O regime pluviométrico é do tipo mediterrâneo, definido

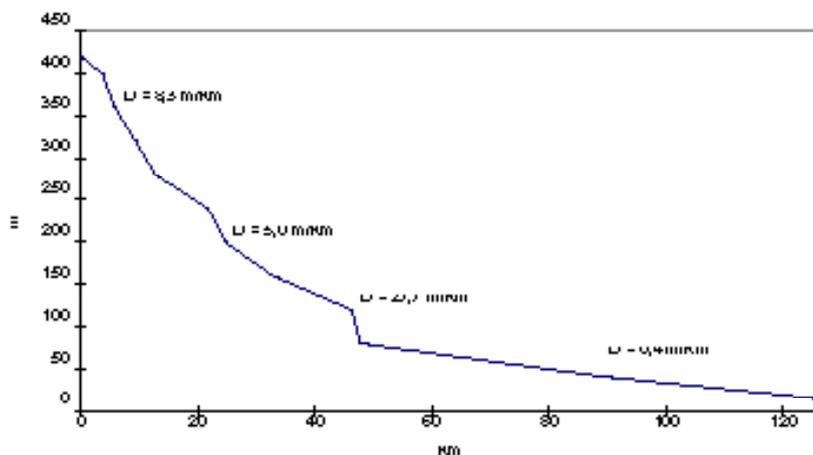


Figura 5 - Perfil longitudinal do Rio Piauí desde a nascente até a represa hidroelétrica da Fábrica de Tecidos Santa Cruz, Município de Estância. D = declividades médias de cada trecho do rio (Souza, 1999).

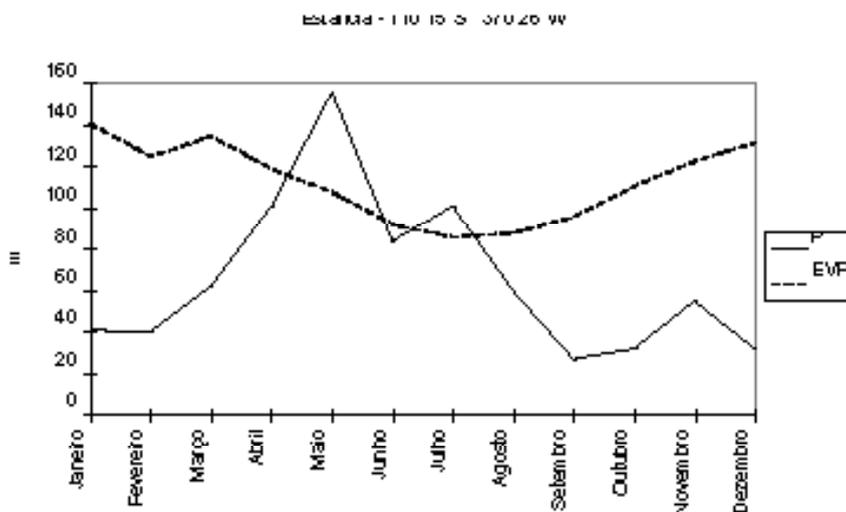


Figura 6 - Balanço hídrico mensal, elaborado com valores médios entre 1955-1985, em estação meteorológica situada no Município de Estância; linha contínua = precipitação mensal; linha tracejada = evapotranspiração mensal. Souza (1999), a partir de dados de IESAP (1988).

por uma grande concentração estacional, com o período seco durante a primavera-verão e um período chuvoso no outono-inverno. Essa marcada sazonalidade é produto da ação dos ventos alísios de SE,

gerando uma estabilidade do tempo bom e seco, não perturbado pela morfologia regional. Essa estabilidade só é rompida pela entrada de correntes provenientes da Frente Polar Antártida, Convergência Intertropical e Sistema Equatorial Amazônico. Os totais são maiores no litoral, indo de pouco mais de 1.400 mm nos tabuleiros do sul, a menos de 750 mm anuais na maior parte da bacia. Estes totais podem variar muito de ano para ano, com fortes desvios em relação à média anual (UFS, 1979).

Cerca de 50% da bacia do Rio Piauí está situada na área de transição do semi-árido, entre 4 -6 meses secos por ano. O restante encontra-se em clima sub-úmido (menos de 4 meses secos) (SANTOS & ANDRADE, 1992). A estreita faixa junto à foz do Rio Piauí em que predomina o clima quente úmido (1-2 meses secos) e sub-úmido (~ 3 meses secos), corresponde à área em que a precipitação é melhor distribuída durante o ano, e se registram os maiores totais anuais. Na região periférica ao litoral, surgem áreas em que os totais anuais são superiores a 1.100 mm, mas concentrados em 7 meses do ano (UFS, 1979).

Cobertura Vegetal e Uso do Solo

Na vegetação primitiva, ocorria o predomínio da floresta mesófila do tipo decíduo, manguezais e cerrado (SANTOS & SCHAFFER-NOVELLI, 1989). O desenvolvimento da atividade agropecuária, de forma extensiva, reduziu essa cobertura original a pequenas manchas remanescentes (Figura 7; UFS, 1979).

No litoral, predominam as feições de praias e dunas, com alagados e manguezais bem desenvolvidos, intercalados com expressivas áreas de cultivo do coco (*Coccus nucifera* - Arecaceae). Coexistindo com extensões de coqueirais e pastagens, a vegetação de restinga ocupa área ainda expressiva.

Os bosques de mangue do Rio Piauí são exuberantes e apresentam boa complexidade, altura entre 3,5 e 11,5 metros e baixas áreas basais (ADEMA, 1984 *a*; SANTOS & SCHAEFFER-NOVELLI, 1989). Nas margens dos rios e dos canais adjacentes, predominam os bosques bem desenvolvidos de *Rhizophora mangle* (mangue vermelho), seguidos, na direção continental por bosques de *Avicennia germinans* e *A. schaueriana*

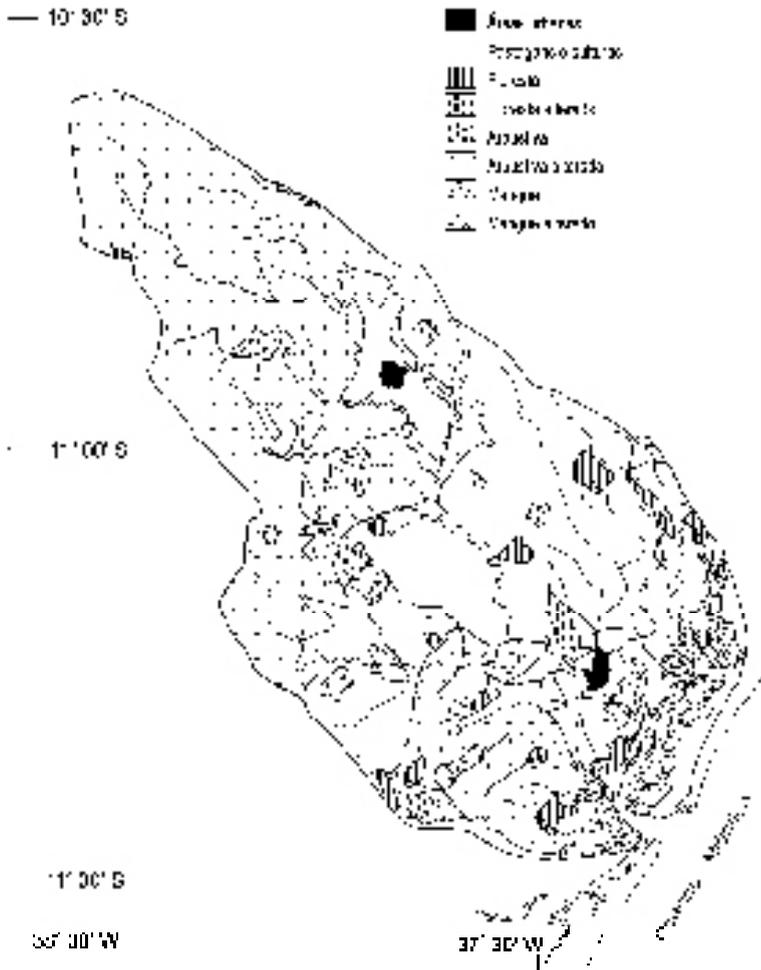


Figura 7 - Mapa de vegetação da Bacia do Rio Piauí. Extraído de SOUZA, (1999), elaborado a partir de UFS (1979); porção superior a partir de fronteira com Bahia, baseado em MME (1983).

(mangue siriba), *Laguncularia racemosa* (mangue manso) e *Conocarpus erectus* (mangue botão). *R. mangle* e *L. racemosa* são as espécies dominantes (ADEMA, 1984 *a*, *b*, *c* e *d*). Na área seca, observam-se trechos de apicum (caracterizados por ciperáceas e gramíneas) e coqueirais (ADEMA, 1984 *a*; SOUZA, 1988). Pradarias marinhas estão presentes na região sob maior influência marinha, sendo dominadas pelas fanerógamas *Halodule wrightii* e *Halophila decipiens* (ALMEIDA *et al.*, 1997).

O conhecimento das macroalgas presentes é ainda incipiente.

Nenhum levantamento foi realizado para a porção dulceaquícola. FONTES (1992) realizou um estudo quali-quantitativo das espécies presentes no manguezal da Ilha de Santos. Na área estuarina, um primeiro levantamento registrou a ocorrência de 35 taxa, com predomínio das rodofíceas (YOSHIMURA & SHIRATA, 1996).

Hidrografia e Hidrologia

A Bacia do Rio Piauí possui uma área total de aproximadamente 4.220 Km². Grande parte desta área está distribuída entre as sub-bacias de seus principais afluentes, os rios Fundo, Piauitinga, Piauí, Jacaré, Arauá e Guararema (Tabela 1).

Tabela 1 - Dados morfométricos e de vazão dos principais tributários da Bacia do Rio Piauí. Área e comprimento do Rio Piauí até a Represa da FTSC; demais afluentes até Rio Piauí (SOUZA, 1999).

Afluente	Comprimento (km)	Área (km ²)	Vazão (m ³ /s)		
			mínima	máxima	Média
Rio Fundo	47	352	0,12	1,69	1,08
Rio Piauitinga	49	417	0,08	2,19	1,09
Rio Jacaré	44	831	0,06	0,27	0,11
Rio Piauí	125	1185	0,57	3,71	1,60
Rio Arauá	49	663	0,30	2,85	1,94
Rio Guararema	42	300	0,24	2,99	1,32
Total		3748	1,37	13,7	7,14

a Dados de CONDESE, 1973.

A descarga fluvial é fortemente condicionada à precipitação, devido à ausência de um manto de intemperismo bem desenvolvido, a conseqüente proximidade do embasamento impermeável (INEP, 1983), e a ausência de cobertura vegetal densa (LEME Eng., 1980). Essa baixa capacidade de armazenamento subsuperficial e irregularidade da distribuição das chuvas refletem-se em um regime torrencial e fluxo intermitente, especialmente no Rio Piauí (LEME Eng., 1980). A presença de diversas barragens de pequeno e médio porte é outro componente que, juntamente com a evaporação, altera o regime de descarga de água doce, em um sentido inverso.

A vazão média do Rio Piauí no período de janeiro a maio é de

apenas 0,5 m³/seg e de junho a novembro de 2.600 m³/seg (INEP, 1983 a). O tributário de vazão mais regular é o Rio Piauitinga (vazão média @ 1,1 m³/seg). Entretanto estes resultados devem ser encarados com cautela, por serem muito pontuais. Dados da ANEEL para a estação DNAEE em Estância (SE-5023000; Rio Piauitinga), de séries entre 1985-1993, indicam uma média de 10,1 m³/seg neste período. A mesma série de dados, se estendida a partir de 1950-1993, fornece uma descarga média de 5,4 m³/seg (JICA, 1998).

De acordo com SANTOS & ANDRADE (1992), a condutividade na bacia do Rio Piauí é baixa, inferior a 250 mS/cm. Estes autores citam o trecho entre a barragem de captação de água para a cidade de Estância até a barragem reguladora de vazão como enquadrado na Classe 3 da Res. CONAMA no. 20 (SANTOS & ANDRADE, 1992). No entanto a análise dos dados que constam de CONDESE (1973) mostram que há uma grande variabilidade espacial e temporal deste parâmetro ao longo das sub-bacias (Figura 8).

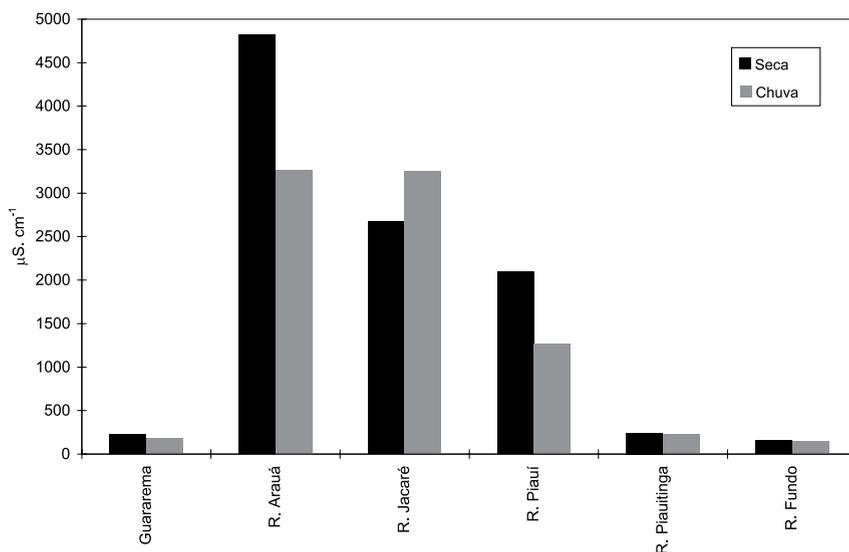


Figura 8 - Condutividade média das principais sub-bacias do Rio Piauí no período de estiagem e chuvoso. SOUZA (1999), a partir de dados de CONDESE (1973).

A porção estuarina do Rio Piauí origina-se na confluência deste com o Rio Real, em uma pequena laguna costeira, de onde deságua no oceano. É considerado o sistema estuarino mais produtivo do Estado de Sergipe (UFS, 1989). Trata-se de um estuário de vale costeiro inundado (*drowned river valley*), que segundo a tipologia descrita em Kjerfve (1989) enquadra-se entre estuário propriamente dito e laguna estuarina, devido à existência de uma barra arenosa bem pronunciada. Possui área (33,4 km²) e extensão (~35 km) relativamente pequenas. Sendo um estuário mesotidal (marés de sizígia de até ~ 2,5 m) com pequeno aporte fluvial médio, a zona de mistura e influência da água doce situa-se em um trecho de pequena extensão.

Durante o período 1996/97, o estuário do Rio Piauí praticamente não apresentou estratificação salina, podendo ser classificado como bem misturado (SOUZA, 1999). Estes resultados contrastam com os apresentados no relatório da UFS (1989) e SOUZA (1997). Embora a influência da salinidade estenda-se ao longo de todo estuário, a maior parte do ano, a entrada das chuvas torna os primeiros 13 km praticamente doces, somente ocorrendo mistura horizontal a partir daí, em direção à foz. Uma leve estratificação somente ocorre a partir de 20 km da barragem de Santa Cruz (Estância), onde a profundidade é superior a 8 m (SOUZA, 1999).

Estes resultados demonstram que apesar da pequena magnitude da entrada fluvial comparada às trocas com o oceano, seu incremento no período chuvoso pode afetar uma grande extensão do estuário (aproximadamente metade) (SOUZA & COUTO, 1998). Este comportamento se deve principalmente à morfometria do canal. Enquanto a porção superior do estuário até a grande Ilha das Tartarugas compreende um canal estreito e raso ($z_m < 2$ m), a porção média e inferior possui uma profundidade média maior ($z_m \sim 5$ m), e uma calha bem delimitada e profunda (6 - 15 m), atingindo a 21 m em alguns pontos. Isto possibilita que a água doce seja represada neste canal raso e estreito, e sua mistura não forme uma estratificação significativa, devido ao seu pequeno volume diante do prisma de maré, e à difusão turbulenta em um volume muito maior. Desta forma, o gradiente entre água doce e salina ocorre abrupto, em uma pequena extensão longitudinal.

Fauna

A fauna terrestre da bacia é pobremente conhecida. Levantamento realizado no remanescente de mata localizado na região do Povoado do Crasto registrou 245 espécies de aves, 26 de mamíferos, 11 de répteis e 9 de anfíbios (HUSBAND & ABEDON, 1992). Das espécies de mamíferos duas são, possivelmente, novas para a ciência. ARZABE *et al.* (1998) ampliaram a lista de anfíbios em dezessete novas citações. Entre os invertebrados BRESCOVIT *et al.* (1997) realizaram um levantamento preliminar da fauna aracnológica enquanto RODRIGUES & COUTO (1999) estudaram a acarofauna presente no folhíço. Levantamentos gerais foram realizados por BISPO *et al.* (1998) para a fauna associada à bromélia-tanque *Aechmea aquilega* e por RODRIGUES & COUTO (1998) para a mesofauna edáfica do folhíço de restinga. MENDES & COUTO (1998) estudaram a distribuição do caranguejo *Armases angustipes* em bromélias da região do Crasto. Uma nova espécie de isópodo terrestre (*Atlantoscia rubromarginata*) foi descrita para esta mesma região por ARAÚJO & LEISTIKOW (1999). Para a parte superior da bacia ainda não foi realizado nenhum estudo, ao menos descritivo, da fauna terrestre.

A fauna dulceaquícola é virtualmente desconhecida. Levantamentos da fauna malacológica realizados na porção superior do Rio Piauí (dados não publicados) mostraram a presença dos bivalves *Gundlachia moricandi*, *Anodontites* sp. e *Diplodon* sp. e dos gastrópodos *Biomphalaria glabrata*, *Biomphalaria* sp., *Pomacea lineata*, *Pomacea* sp. e *Melanoides tuberculata*. *G. moricandi* apresenta densas populações sendo o organismo dominante nas associações estudadas na porção do Rio Piauí localizada a montante da Cidade de Estância. Os gastrópodos do gênero *Biomphalaria* apresentam importância epidemiológica uma vez que são hospedeiros do *Schistosoma mansoni*, causador da esquistossomose. Em toda a área da bacia, existem registros de focos da doença, tornando vital o conhecimento da distribuição espacial deste hospedeiro para seu efetivo controle. ANDRADE (1996) reportou a presença dos palaemonídeos *Macrobrachium carcinus* e *M. acanthurus*, além de seis espécies de peixes no trecho da represa de Estância. A distribuição destes e de outros grupos é desconhecida.

A fauna estuarina é melhor conhecida, embora imensas lacunas ainda possam ser apontadas. Levantamentos faunísticos foram realizados em áreas de manguezais por SOUZA (1988) e NASCIMENTO (1990) para os caranguejos ocipodídeos, ROCHA (1990) para os cirri-

pédios e COUTO (1997) para os “teredos” (Mollusca, Bivalvia). Um primeiro levantamento da megafauna bêntica estuarina mostrou a presença de 12 espécies de camarões, cinco de siris, quatro de caranguejos e três de moluscos (UFS, 1989).

Trabalhos específicos foram desenvolvidos para o crustáceo *Ucides cordatus* (ADEMA, 1984 b), enfocando sua distribuição, biologia e produção secundária, para os bivalves *Anomalocardia brasiliiana* (ADEMA, 1988) e *Crassostrea rhizophorae* (CRUZ, SILVA & NASCIMENTO, 1985), que analisaram suas distribuições espaciais, e para o poliqueta *Laeonereis acuta* (COUTO & FERNANDES, 1998) que estudaram sua dinâmica populacional.

Padrões de distribuição e diversidade do macrobentos presente em planícies intermareais foram analisados ao longo do estuário. Análises de classificação e ordenação evidenciaram cinco associações principais claramente condicionadas pelo gradiente hidrológico, pela alternância de ambientes deposicionais de baixa e alta energia e pela presença ou ausência de macroalgas e fanerógamas (CARVALHO *et al.*, 1996). No sub-litoral, SANTOS *et al.* (1994) encontraram duas associações distintas formadas por anelídeos poliquetas, em resposta ao gradiente hidrológico.

Trabalhos mais abrangentes procurando compreender a funcionalidade do sistema, foram realizados para a compreensão da dinâmica de decomposição das folhas de diferentes espécies de mangue, considerando-se a fauna ligada ao processo (COUTO & LIMA, 1996; LIMA, 1997; LIMA & COUTO, 1996 e 1998; LIMA *et al.*, 1997; OLIVEIRA & COUTO, 1996), e para o papel das influências antrópicas (principalmente entrada de efluentes químicos) sobre as comunidades entremareais da porção mediana do estuário (SOUZA, 1997; SOUZA *et al.*, 1996).

De forma geral, pode-se concluir que os substratos inconsolidados entre marés e sub-litorais foram mais extensivamente amostrados que os substratos consolidados.

Na coluna d'água, estudos sobre o zooplâncton estão restritos à porção estuarina do sistema. ARAÚJO (1996) realizou o levantamento da composição específica e da estrutura espaço-temporal da comunidade, concluindo que esta é composta por 116 taxa, sendo o grupo Copepoda o mais importante. A área limnética foi dominada por rotíferos, cladóceros e copépodos do gênero *Halicyclops*, a porção intermediária apresentou os valores mais elevados de abundância

e biomassa e apresentando como elementos mais conspícuos os copépodos *Paracalanus crassirostris*, *Oithona oswaldocruzi*, *O. hebes* e larvas do meroplâncton, enquanto a porção sob maior influência marinha apresentou marcada sazonalidade na produção secundária com picos no período de estiagem e predomínio dos copépodos *P. quasimodo*, *O. simplex* e *O. nana*. Não existem trabalhos que enfoquem o papel trófico das espécies, embora a área de maior produtividade zooplanctônica seja concordante com a de maior produtividade fitoplanctônica (FRANCO, 1991).

Foraminíferos e tecamebas componentes do microbentos heterotrófico foram estudados na porção estuarina do sistema, tendo sido identificados 116 taxa (ZUCON, 1989). *Ammonia beccarri* foi a espécie mais abundante e *Arenoparrella mexicana* a mais constante. Foi proposta uma divisão do estuário em três seções em função da composição deste compartimento (ZUCON & LOYOLA E SILVA, 1992/93).

A ictiofauna presente, apesar de sua grande importância para a população ribeirinha, não foi adequadamente estudada. Apenas um levantamento preliminar (UFS, 1989) foi realizado, tendo sido registradas 49 espécies. O único estudo mais detalhado foi desenvolvido por FARIAS (1992). Em um ponto fixo, foi acompanhada a variação nictimeral no período seco e chuvoso. Foram registradas 74 espécies, distribuídas em 30 famílias. *Stellifer rastrifer* (Scianidae) foi a espécie mais abundante. O período chuvoso apresentou maior riqueza de espécies, maior abundância e dominância. A ictiofauna foi mais influenciada pelo fotoperíodo que pela ação das marés, sendo o período diurno o de maior abundância de indivíduos e espécies.

O predomínio de espécies comedoras de detritos na ictiofauna (UFS, 1989), no megabentos de interesse comercial (UFS, 1989) e no macrobentos (SANTOS *et al*, 1995; CARVALHO *et al.*, 1996) locais, sugerem que o mangue funciona como fonte de material orgânico particulado para esta área.

Histórico de Ocupação

A região litorânea possui um longo histórico de ocupação tendo sido o primeiro núcleo demográfico fundado em 1557 na região de Itaporanga d'Ajuda (INEP, 1983 b e c).

Em termos históricos, a área teve sua economia baseada na agricultura, excetuando-se a região de Estância, cujos elementos naturais, além da presença de um pequeno porto – hoje desativado, transformaram-na de pequeno entreposto comercial em pólo industrial alavancado pela indústria têxtil, que, associada a outros produtos, promoveu o município a segundo centro urbano mais importante do estado, suplantado apenas pela capital (Aracaju) (PNMA, 1995).

No período compreendido entre 1975 e 1985, foram expandidas a cultura do coco (na zona litorânea), as pastagens e as culturas de laranja e maracujá (ao longo da bacia). Estas últimas refletiram o grande interesse na instalação de fábricas de suco concentrado para abastecimento do mercado externo, localizadas no Município de Estância. Esta incorporação de terras ao processo agrícola levou este e os municípios de Santa Luzia do Itanhhy e Indiaroba – conhecidos até a década de 60 pela expressiva cobertura de suas reservas naturais de matas, a um processo sem precedentes de desmatamento.

Exploração de Recursos Renováveis

Recursos Hídricos

Quanto aos recursos hídricos, esta é a terceira bacia mais importante no Estado. Seus tributários constituem os principais recursos hídricos da região sul do Estado de Sergipe. Seus mananciais são utilizados para o abastecimento de água da população residente não só na própria bacia (que corresponde a cerca de 275.000 habitantes), como em outras da vizinhança, no abastecimento industrial, na irrigação e na geração de energia da região Centro - Sul do Estado. No Município de Itaporanga d’Ajuda, existe a exploração de água mineral.

A água superficial tem se tornado um recurso cada vez mais escasso, devido à progressiva diminuição da vazão causada pelo desmatamento das regiões de nascentes e mata ciliar. Para a expansão do sistema de abastecimento, tem-se recorrido também à utilização de água de subterrânea (J. Walter Aragão Menezes, comunicação pessoal).

Contudo, apenas alguns de seus afluentes apresentam água com qualidade suficiente para o consumo humano, devido à alta condutividade e teor de cloretos e irregularidade da vazão (J. Walter Aragão Menezes, comunicação pessoal). Além disso, a construção de

uma represa no Rio Piauitinga, na altura da Cidade de Salgado, e de três represas na área de confluência deste com o Piauí (na altura da cidade de Estância), promovem flutuações no fluxo de água doce para o estuário (LEME Eng., 1980). Embora não tenha sido objeto de estudos, a conseqüente diminuição do nível piezométrico à jusante deve propiciar um aumento da intrusão de água salina no lençol freático.

Recursos Pesqueiros

A pesca de subsistência é praticada na porção superior da bacia por famílias de baixa renda e visando basicamente a complementação da dieta familiar. As espécies obtidas são principalmente aquelas de baixo valor de comercialização como os acarás (*Geophagus brasiliensis*), as traíras (*Hoplias malabaricus*) e os cascudos (Família Loricariidae).

Entre os invertebrados dulceaqüícolas, são explorados os arauás (*Pomacea lineata* e *Pomacea* sp.) e os pitús (*Macrobrachium carcinus* e *M. acanthurus*), sendo estes últimos intensamente comercializados nos povoados, enquanto os primeiros servem apenas à alimentação familiar.

Na porção estuarina, a coleta de mariscos é, inegavelmente, um significativo recurso econômico para as famílias de baixa renda. Como “mariscos” são englobados crustáceos e moluscos. Entre os primeiros encontram-se o “siri do mangue” (*Callinectes exasperatus*), o “guaiamun” (*Cardisoma guanhumi*), o “caranguejo-uçá” ou “verdadeiro” (*Ucides cordatus*) e os aratus (*Goniopsis cruentata* e *Aratus pisonii*). A atividade dos caranguejeiros é maior durante o verão embora seja o período de inverno o de maior abundância e desenvolvimento (ADEMA, 1984 a). Entre os moluscos, são coletados o “sururu” (*Mytella charruana* e *M. guyanensis*), o “massunim” (*Anomalocardia brasiliiana*) e a “ostra” (*Crassostrea rhizophorae*). Grande parte dos mariscos coletados neste estuário abastece as cidades de Aracaju e Salvador.

Peixes são um recurso importante para a população ribeirinha. Dentro do estuário, são capturados peixes para consumo familiar e comercialização menor nos povoados interioranos. Parte desta pesca é apoiada nos peixes “miúdos” (pilombeta e milongo) seco em esteiras nas portas das casas e vendidos nas feiras pelas mulheres (ARAÚJO, 1988; VIVI, 1996; COUTO *et al.*, 2000). Na plataforma adjacente, são capturados os peixes de maior valor comercial e os camarões e siris. As espécies de camarão branco (*Litopenaeus schimitti*), camarão rosa (*Farfantapeneaus subtilis* e *F. notialis*) e sete barbas (*Xiphopenaeus*

kroyeri) além dos siris (principalmente *Callinectes danae*) apresentam maior abundância no inverno, assim como o pescado, de maior valor de revenda. No povoado de Crasto, maior entreposto pesqueiro da bacia, está situada uma fábrica de gelo e entreposto de pesca nos quais são processados estes produtos, que visam atender aos mercados de Aracaju (Se) e Salvador (Ba).

Recursos da Flora

A vegetação original de restinga ocupa área ainda expressiva e abriga a mangaba (*Hancornia speciosa* - Apocynaceae), cujo fruto é coletado e comercializado dentro e fora da região, representando um importante meio de sobrevivência para as populações nativas do meio rural (PNMA, 1995).

Na faixa sub-litorânea, manchas de mata com composição modificada pela extração seletiva de madeira ainda resistem. Espécies como a peroba, o angelim e a sucupira são exploradas nos remanescentes.

Os bosques de mangue dos rios Piauí, Fundo e Real têm sofrido a ação de coletores de madeira, utilizada principalmente na construção de casas e na produção de energia. O impacto causado pelo corte seletivo de madeira foi considerado baixo até o início da década de 90 (ADEMA, 1984 a; SANTOS & SCHAEFFER-NOVELL, 1989) e tem-se acentuado recentemente. O conhecimento das macroalgas presentes é ainda incipiente. A importância econômica é desconhecida embora estejam presentes espécies potencialmente exploráveis.

Impactos Antropogênicos

Utilização inadequada da terra

Em toda a bacia de drenagem, são observados problemas decorrentes do acentuado processo de desmatamento, uso inadequado do solo, e eliminação de mata ciliar (J. Walter Aragão Menezes, comunicação pessoal)

Na região do agreste, drenada pelos rios Piauí e Piauitinga estão presentes áreas de lavoura de cítricos, expandindo-se em torno de Lagarto e Boquim. A citricultura se expandiu principalmente nos municípios de Umbaúba, Santa Luzia do Itanhhy e Estância. Este último constitui-se no segundo centro industrial de Sergipe. A utilização de

adubos inorgânicos é crescente nesta região (SANTOS & ANDRADE, 1992). O plantio de laranjas (família Rutacea) nestas áreas acentua os problemas de mau uso do solo, além de permitir a entrada no lençol freático de substâncias alelopáticas presentes nas espécies cultivadas.

No interior, a incorporação de terras ao processo agropecuário levou as reservas de mata a um processo expressivo de devastação. Predominam, no sertão, as pastagens, com pequeno cultivo de subsistência (feijão, milho e mandioca). De forma geral, a pecuária bovina com técnicas extensivas (1,5 - 2,0 cab./ha) prevalece sobre a lavoura. A ocorrência de terras em descanso ou improdutivas é superior a 20% (UFS, 1979).

Na área litorânea predomina o cultivo de coco, laranja, maracujá e mandioca, além de extensas áreas transformadas em pastagens. Coexistindo com extensões de coqueirais e pastagens, a vegetação de restinga e manguezal ainda ocupa área expressiva apesar de sua inexorável substituição (ABDON *et al.*, 1988).

Os padrões de ocupação do solo, no litoral, refletem sua condição natural de polo de turismo, lazer e segunda residência. Os interesses imobiliários resultantes desse quadro manifestam-se em loteamentos – muitos deles irregulares, com rápido processo de ocupação, ações clandestinas de devastação das áreas de manguezal e desmonte de dunas para a extração irregular de areias (PNMA, 1995).

Embora ocorra em toda a bacia a extração de areia e argila nas margens (*barreiros*), esta última é mais intensa na sub-bacia do Rio Arauá, com conseqüente degradação da qualidade da água. Além da alteração da dinâmica sedimentar e hidrológica, esta perturbação física remove as comunidades bênticas e ciliares. Esta completa desestruturação do meio promove mudanças significativas nos ciclos biogeoquímicos e na especiação química na água dos rios. Exemplificando este efeito, foi observada concentração de sólidos em suspensão superior a 600 mg/L nas barragens do Município de Estância, e a 500 mg/L ao longo do estuário do Rio Piauí e no Rio Piauitinga (SOUZA, 1999) .

Efluentes Domésticos e Industriais

A poluição dos mananciais é um grave problema ao longo de toda a bacia. Porém, com exceção do Município de Estância, ocorre de forma difusa devido à pequena magnitude dos aportes. Não há redes de esgoto sanitário na região, sendo muito comum o uso de fossa

negra, ou até mesmo ausência de qualquer tipo de fossa. Nas zonas urbanas, são utilizadas fossas negras e biológicas. O escoamento de águas pluviais também não tem recebido atenção, o que tem provocado o aumento da erosão (SANTOS & ANDRADE, 1992).

Em Estância, além do esgoto produzido por uma população de cerca de 300.000 habitantes, ocorre o lançamento de efluentes de diversas indústrias. Dentre as principais indústrias presentes neste complexo, estão duas fábricas de processamento de sucos de frutas, uma fábrica de fécula de mandioca e uma fábrica de tecidos, as quais lançam seus resíduos *in natura*, um cotonifício, cujo tratamento de efluentes consiste em uma caixa de retenção de goma, e uma indústria de acabamento têxtil, que possui uma planta de tratamento físico-químico. A SULGIPE, geradora de energia elétrica que gerencia a represa de Estância, mantém também uma unidade de montagem e conserto de transformadores que, no passado, foi responsável por vários lançamentos de *ascarel* ao rio (ANDRADE, 1996; ANDRADE *et al.*, 1998).

Experimento *in situ* realizado no Rio Piauitinga (ANDRADE *et al.*, 1998) mostra que a adição dos efluentes do complexo de Estância tem o potencial de promover a eutrofização, transição de um estado de heterotrofia a autotrofia líquida, aumento de taxas de desnitrificação e perda de nitrogênio para a atmosfera.

A porção superior do estuário do Rio Piauí, próximo à cidade de Estância, está sujeita a um crescente e sazonal aporte destes efluentes oriundos do Complexo Industrial de Estância. Eventos episódicos de chuvas fortes, após um período de estiagem, podem provocar a entrada abrupta desta carga tóxica retida nas represas para o estuário. Este aporte é responsável por altas concentrações de nutrientes na porção superior do estuário do Rio Piauí (GOMES *et al.*, 1998).

A entrada de efluentes reflete-se na composição da comunidade fitoplanctônica e na sua produtividade. Na área dulceaquícola, localizada acima da Cidade de Estância, a diatomácea *Synedra ulna* foi a espécie mais abundante. Embora, de forma geral, tenham sido mais diversificadas as clorofíceas. Na porção estuarina sob a influência direta dos efluentes foram co-dominantes espécies do gênero *Oscillatoria*, enquanto diatomáceas (gêneros *Chaetocerus* e *Rizolenia*) dominaram a região sob influência marinha. Além do enriquecimento em carbono orgânico, o aporte antropogênico caracterizou-se por uma redução das relações C:N e N:P e por uma maior biomassa (COUTO *et al.*, 1999).

Represamento

A presença de inúmeras pequenas barragens, regularizando a vazão e aumentando a evaporação, vai alterar o regime de descarga de água doce ao longo da bacia, com reflexos na qualidade da água. O sistema de barragens situado no município de Estância exemplifica bem esta influência.

O Rio Piauitinga é represado na altura da cidade de Salgado e, no período de estiagem, seu volume torna-se muito pequeno (LEME Eng., 1980).

A barragem de captação para abastecimento da cidade de Estância é muito pequena, com uma altura de cerca de 2 m, e extravasamento apenas por um vertedor com soleira normal (ou de escoamento livre). Devido ao seu assoreamento (profundidade máxima a montante ~1,5 m) e pequeno volume, possui um tempo de residência baixo e não deve ter influência considerável sobre o regime fluvial.

À jusante, encontra-se um reservatório de amortecimento. Esta é uma barragem com um volume e área inundada bem maior, cuja função é armazenar um volume de água suficiente para alimentar a turbina da hidroelétrica à jusante durante o período de estiagem. Esta possui uma pequena comporta de deslizamento vertical à montante, que permite uma vazão quando totalmente aberta de cerca de $1 \text{ m}^3 / \text{seg}$, além do vertedor com soleira normal.

A hidrelétrica, situada sobre a cachoeira Santa Cruz, possui um canal (rápido) que alimenta a turbina, com descarga controlada por comporta plana de deslocamento vertical à montante, além de vertedor com extravasor. Os únicos dados disponíveis mencionam uma geração de apenas 200 CV, aproveitados integralmente pela fábrica de tecidos Santa Cruz (IBGE, 1959). Desta forma essa obra poderia ser enquadrada entre as pequenas centrais hidrelétricas (Portaria DNAEE 109, 24.11.1982), de acumulação, *i.e.*, nas quais a vazão é insuficiente para suprir o sistema gerador, e há acumulação de água durante períodos de estiagem. Apesar de terem profundos efeitos sobre a biota e a qualidade da água, inclusive ocasionalmente tornando o fluxo à jusante intermitente, este tipo de empreendimento é incentivado pelo Programa Nacional de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PNPCH) da ELETROBRÁS (MÜLLER, 1995). A legislação, através da Resolução CONAMA 01, de 23.01.1986 isenta estas obras de estudos de avaliação

e relatório de impactos ambientais.

O lançamento destes rejeitos situa-se no trecho lótico imediatamente à montante do reservatório de amortecimento. No período chuvoso, esta carga poluente dilui-se neste reservatório, porém, durante a estiagem, acumula-se por meses no reservatório da hidrelétrica. Utilizando uma abordagem por balanço de massa, SOUZA (1999) verificou que a anoxia verificada neste compartimento faz com que a denitrificação seja o principal processo de respiração de matéria orgânica, resultando em uma retenção de carbono orgânico particulado e nitrogênio inorgânico dissolvido. Mesmo assim, mais de 50% do carbono orgânico particulado exportado para o estuário é de origem antrópica. A lavagem deste reservatório, no início do período chuvoso, estende os efeitos deletérios destes efluentes à porção superior do estuário, com extensiva mortalidade de peixes, moluscos e crustáceos (Souza *et al.*, 1997; Souza, 1997; SOUZA *et al.*, 1996) .

Cultivo de peixes e camarões

Na bacia têm sido implementados cultivos semi-intensivos e extensivos, geralmente realizados em águas represadas de forma rústica. Viveiros de diferentes volumes têm sido instalados em muitas das fazendas existentes na bacia. A maioria dos produtores tem optado por espécies exóticas. Os peixes cultivados são principalmente a tilápia (*Oreochromis niloticus*), o tambaqui (*Colossoma tambaqui*) e o tucunaré (*Cichla ocellaris*). A presença de populações do bivalve *Diplodon* sp., na bacia, deve ser avaliada cuidadosamente uma vez que suas larvas são parasitas de peixes podendo inviabilizar o sucesso do cultivo.

Alguns produtores iniciaram o cultivo de pitus (camarões de água doce), embora não tenham obtido sucesso comercial. As espécies cultivadas foram, principalmente, os palaemonídeos *Macrobrachium amazonicum* e *M. carcinus*. Camarões marinhos e ostras foram objeto de projetos desenvolvidos para a porção estuarina do sistema. Entretanto, nenhum empreendimento chegou a ser implementado.

Sobrepesca

Os manguezais da bacia do Rio Piauí, juntamente com a bacia do Rio Real, representavam na década de 80 a área mais produtiva para a pesca estuarina e do caranguejo-uçá (*Ucides cordatus*), respondendo por mais de 70 % de toda a produção de caranguejos consumido em Sergipe e 100 % do exportado para outros estados. Atualmente re-

presenta menos de 30 % da produção total do estado (IBAMA, 1998), evidenciando um declínio na obtenção deste recurso.

A exploração artesanal da pesca é a principal atividade dos moradores dos pequenos povoados situados ao longo do estuário. A frota registrada para este complexo é composta por 388 canoas e 10 barcos, evidenciando o perfil de subsistência da população de pescadores. Em 1997, o IBAMA realizou o último levantamento de produção do pescado. Comparando esses resultados com os apresentados no ano de 1994, pode-se observar um aumento no registro total (de 206,5 ton/ano para 536,5 ton/ano). Entretanto deve-se destacar que a participação percentual dos componentes estuarinos alterou-se de forma substancial. Em 1994, o pescado de plataforma (denominado de “alto mar”) respondia por 13 % do total de desembarque, enquanto que, em 1997, passou a representar 22,4 %. A maior alteração, entretanto, ocorreu entre a participação dos camarões (1,5 % para 56,1 %) e a dos caranguejos (85,5 % para 20,6 %), refletindo um sensível decréscimo na atividade de coleta deste organismo e/ou na sua produção neste sistema. É possível que os dados subestimem a produção real do complexo, uma vez que referem-se apenas aos produtos desembarcados no povoado do Crasto. Entretanto COUTO *et al.* (2000) observaram que a própria comunidade de pescadores relata a queda na produção de caranguejo associando-a ao desmatamento dos manguezais e a entrada de produtos químicos originados no pólo industrial de Estância.

Introdução de Espécies Exóticas

A piscicultura é considerada como o principal mecanismo de dispersão de espécies exóticas em ambientes. Acompanhando a ictiofauna é também significativa a introdução de espécies ditas acompanhantes, sejam outros peixes ou plantas aquáticas e invertebrados, inclusive parasitos. Na bacia, foram introduzidos, visando o cultivo, os ciclídeos tilápia ou cará branco (*Oreochromis niloticus*) e o cará preto (*Astronotus ocellatus*), além do tambaqui (*Colossoma tambaqui*) e do tucunaré (*Cichla ocellaris*). Os dois primeiros competem com espécies nativas por alimento, promovendo a redução das populações de espécies nativas, enquanto os dois últimos podem promover extinção local através da predação. Não existem estudos sobre os efeitos destas introduções nem o registro de quantos exemplares foram introduzidos em cada segmento da bacia. O gastrópodo *Melanoides tuberculata* foi registrado em diferentes

pontos da bacia. Essa espécie, acidentalmente introduzida no Brasil, reproduz-se numa velocidade elevada e pode promover a extinção de espécies locais através da competição por espaço. Na altura da cidade de Estância, já é a espécie de molusco mais abundante na bacia.

Conclusões e Sugestões para Recuperação e Manejo

A mais grave agressão ambiental perpetrada nessa bacia foi a remoção quase que completa da cobertura vegetal original. Essa exposição do solo, naturalmente pouco profundo, a um regime pluvial torrencial promoveu a intensificação dos processos erosivos e em várias áreas a remoção de grande parte do regolito, com exposição do saprolito grosseiro. Além da perda de solo por erosão, aumento da turbidez, modificações na qualidade da água, e aumento da sedimentação em reservatórios e regiões estuarinas, observou-se a redução da disponibilidade de recursos hídricos com uma demanda crescente.

Com base nestas observações, a recomposição da vegetação ao menos nas cumeeiras, vertentes de maior declividade e margens dos cursos d'água seria uma medida urgente no sentido de proteger as nascentes e mananciais. A regulamentação de atividades de extração de areia/ argila, visando a preservação do leito e curso fluvial seria uma medida auxiliar necessária. A adoção de técnicas agrícolas mais adequadas às características morfoclimáticas da região seria desejável, reduzindo a erosão.

Estudos sobre o impacto das pequenas barragens e sua viabilidade econômica devem ser promovidos. A desativação de várias delas deve ser considerada, levando-se em conta estes estudos. Um efetivo controle do lançamento de efluentes domésticos e industriais propiciaria um incremento praticamente imediato da disponibilidade hídrica. Devem também ser eliminados os descartes imediatamente a montante de reservatórios.

Análise Integrada de Bacias de Drenagem Utilizando Sistemas de Informações Geográficas e Biogeoquímica de Águas Superficiais: A Bacia do Rio Piracicaba (São Paulo)

Maria Victoria Ramos Ballester; Alex Vladimir Krusche; Luiz Antonio Martinelli; Epaminondas Ferraz; Reynaldo Luiz Victoria; Marcelo Correia Bernardes; Jean Pierre Ometto; Carlos Eduardo Pellegrino Cerri; Andre Marcondes Andrade Toledo; Plinio Camargo & Fabiana Cristina Fracassi

Em uma paisagem, os ecossistemas aquáticos e terrestres estão interligados pelo movimento da água no ciclo hidrológico, derivando o conceito de rio como uma função da paisagem ao longo da qual flui (WARD, 1994; HASLER, 1975). Recentemente, a atenção da comunidade científica tem se focado novamente nas relações entre as características da bacia de drenagem e a composição química da água dos rios, como resultado do reconhecimento da importância das características espaciais da bacia como causadores e/ou moduladores das condições observadas no interior do canal (JOHNSON et al, 1997). Vários estudos demonstram fortes relações entre as características da paisagem e as concentrações e exportações de nutrientes (PEIERLS et al. 1991, HUNSAKER & LEVINE, 1995, PUCKETT, 1995; HOWARTH et al., 1996, ALLAN et al., 1997). A geomorfologia e uso do solo explicam de forma consistente a maior parte da variância observada na qualidade da água (WEAR et al., 1998; HUNSAKER et al., 1986; HUNSAKER & LEVINE, 1995). Por exemplo, o uso e cobertura do solo foram responsáveis pela maior parte da variância associada com concentrações de nitrogênio e fósforo em bacias hidrográficas da América do Norte (ORSBONE & WILEY, 1988; HUNSAKER & LEVINE, 1995; JOHNSON et al., 1997; SMITH et al., 1997). Resultados similares foram obtidos para íons maiores (OMETTO et al., 2000), carbono orgânico dissolvido e particulado (MEYER & TATE, 1983) e composição isotópica do carbono (MARTINELLI et al., 1999a).

Portanto uma caracterização compreensiva da configuração e composição da paisagem é um atributo chave para entender como o sinal biogeoquímico de um rio é gerado, mantido e alterado pela ação humana. Para estabelecer as relações entre os ecossistemas aquático e terrestre, os estudos de bacias de drenagem mais recentes têm utilizado várias técnicas, incluindo traçadores biogeoquímicos e isotópicos (SWANK & BOLSTAD, 1994; WEAR et al., 1998) e modelagem com Sistemas de Informações Geográficas (GOODCHILD et al., 1994). Os objetivos deste trabalho foram: (1) caracterizar a bacia de drenagem do rio Piracicaba em termos dos seus componentes estruturais e funcionais (topografia, rede de drenagem, solos, população, uso e cobertura do solo) e; (2) estabelecer as relações entre os fatores de grande escala da bacia de drenagem e a composição biogeoquímica do rio, pelo acoplamento de SIGs e traçadores biogeoquímicos, de modo a estabelecer relações estatísticas entre parâmetros medidos tanto no sistema terrestre quanto no aquático. Para testar as respostas biogeoquímicas aos impactos antropogênicos foram formuladas as seguintes perguntas: (1) Qual é a relação entre os atributos da bacia de drenagem e a química das águas superficiais? e; (2) Esta relação exibe uma variação sazonal?

Descrição da área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Piracicaba, localizada na região sudeste do Brasil (Figura 1), é um exemplo típico de como a ocupação do solo resultante do desenvolvimento em regiões tropicais tem resultado em um aumento na demanda de água, associado a um empobrecimento na qualidade da mesma (MORAES et al., 1998; KRUSCHE et al., 1997). Cobrindo uma área de 12.400 km², a bacia era ocupada por cerca de três milhões de habitantes em 1993 (SÃO PAULO, 1994), distribuídos heterogeneamente ao longo de 61 municípios. A ocupação do solo não é uniforme, com 91% da população concentrada em centros urbanos e 9% em áreas rurais. Mesmo no caso dos centros urbanos, observa-se uma concentração na porção central da bacia, onde vivem 67% da população urbana (Figura 2). As atividades econômicas são também heterogêneas, com áreas dominadas pela agricultura e outras por indústrias. Uma população em expansão, combinada com um contínuo desenvolvimento nos setores agrícola e industrial, são responsáveis

por profundas mudanças no uso e cobertura do solo que, por sua vez, causam impactos severos nos ecossistemas aquáticos.

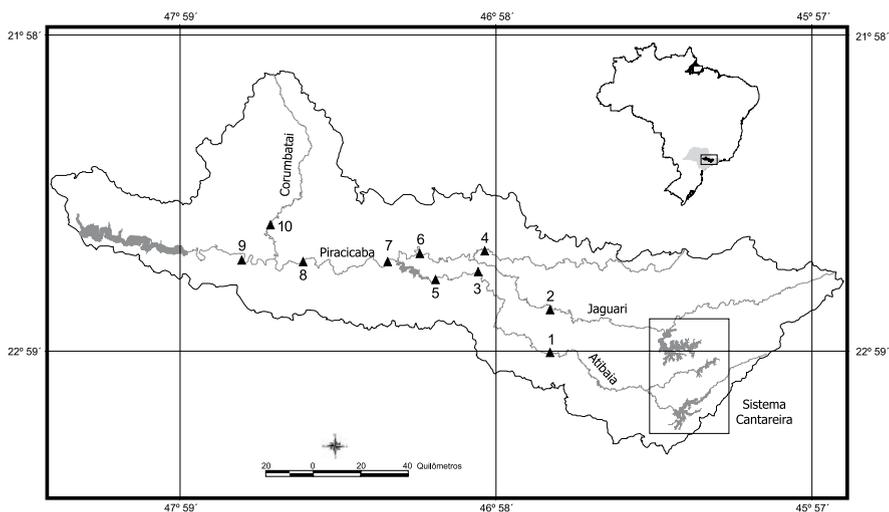


Figura 1 - Localização da bacia do rio Piracicaba e dos pontos de amostragem: 1- Bairro da Ponte; 2- Morungaba; 3- Desembargador Furtado; 4- Fazenda da Barra; 5- Paulínia; 6- Usina Ester; 7- Carioba; 8- Coperçúcar; 9- Artemis e 10- Recreio.

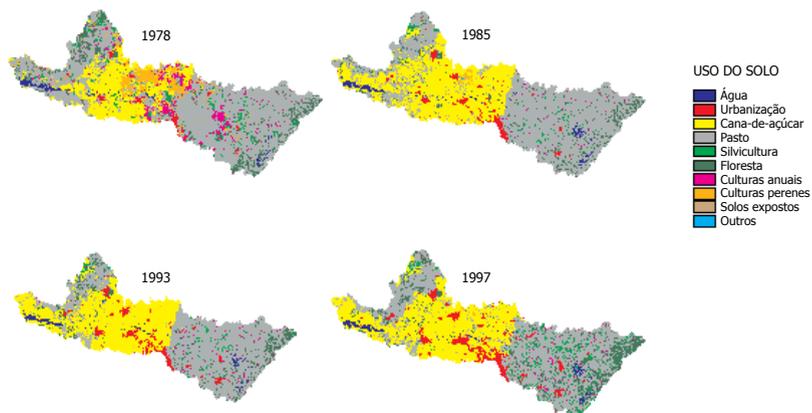


Figura 2 - Mapas de uso e cobertura do solo da bacia do rio Piracicaba em 1978, 1985, 1993 e 1997.

Análise da bacia de drenagem

As características físicas da bacia de drenagem foram derivadas das bibliotecas digitais georeferenciadas, compiladas no Projeto Piracena (www.cena.usp.br/piracena) através do uso do Sistema de Informações Geográficas Arc-Info (ESRI, 1997) e dos Processadores de Imagem Erdas-Image e Spring. Os planos de informação empregados incluíram: o modelo digital de elevação do terreno, a rede de drenagem e a localização dos pontos amostrais, solos e uso e cobertura do solo. A base cartográfica utilizada foi composta pelas Cartas do Brasil, escala 1:50000 (IBGE, 1980). Os planos de informação foram georeferenciados e projetados no sistema Universal Transversa de Mercator, zona 23, datum horizontal Córrego Alegre, esferóide Sulamericano de 1969, origem Equador, 45° W (10.000 km / 500 km).

Cada um dos setores de drenagem foi individualmente caracterizado em termos da topografia (delta altitude e declividade), solos, estrutura da rede de drenagem (densidade, frequência e número de confluências), população (densidade demográfica), uso e cobertura do solo e composição biogeoquímica das águas superficiais.

Mapas de uso e cobertura do solo foram gerados em quatro datas distintas: 1978, 1985, 1993 e 1997. A situação em 1978 foi obtida pela digitalização manual das cartas de uso da terra do Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo (1980), corrigidas com imagens Landsat-MSS visualmente interpretadas. Os mapas de 1985, 1993 e 1997 foram derivados pela classificação digital de seis cenas de Landsat-5-TM (bandas 1, 2, 3, 4 e 5) obtidas junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Inicialmente, as imagens foram segmentadas, de modo a extrair os objetos relevantes pela divisão da imagem em regiões que correspondem às áreas de interesse. Como técnica de agrupamento, foi utilizada a detecção de bordas por crescimento de regiões, na qual somente as regiões adjacentes espacialmente são agrupadas, com similaridade 8 e limiar 10 (SPRING, 1999). As imagens resultantes foram classificadas não supervisionadamente em 30 categorias que, por sua vez, foram agrupadas nas classes de uso: água, urbanização, cana-de-açúcar, pasto, silvicultura, floresta, culturas anuais, culturas perenes, solos expostos e outros. Os mapas de uso foram então submetidos a uma inspeção visual, na qual foram comparadas as classes obtidas com a interpretação visual das composições coloridas. A precisão de

classificação do usuário foi 88.6%.

Para estabelecer a relação entre o uso e cobertura do solo e a composição biogeoquímica das águas superficiais, a distribuição do uso do solo em cada setor de drenagem foi avaliada a partir do mapa de 1997. Foram extraídas as áreas de cada setor e calculadas as áreas de cada um dos tipos de uso da terra. Os resultados finais são expressos em termos de valores percentuais em relação à área drenada por cada setor.

Composição biogeoquímica dos sistemas fluviais

A composição biogeoquímica dos principais tributários da bacia do rio Piracicaba foi determinada entre junho de 1995 e setembro de 1997, ao longo de 10 pontos de coleta (Figura 1), totalizando 40 amostragens, 16 realizadas durante o período chuvoso e 24 no período seco. As amostras de água para análise química foram coletadas na superfície e no meio do canal com o auxílio de uma garrafa de Niskin. Imediatamente após a coleta, as amostras foram filtradas em filtros de fibra de vidro pré-calcinados (tipo GF/F, com porosidade nominal de 0.7 micrometros) para análise do carbono orgânico dissolvido e em filtros de acetato de celulose (com porosidade de 0,45 micrômetros) para as determinações inorgânicas. Após a filtração, todas as alíquotas foram acondicionadas em caixas de isopor contendo gelo. No campo, foram determinados o pH, com o auxílio de um medidor Orion 250A, a condutividade, com um condutivímetro Amber Science 2052 e o oxigênio dissolvido e a temperatura, determinados com um medidor Yellow Springs 58. O carbono inorgânico dissolvido e o carbono orgânico dissolvido foram determinados com equipamento TOC-5000A, Shimadzu. Os íons maiores e nutrientes inorgânicos (nitrato, sulfato, cloreto cálcio, magnésio, sódio, potássio e amônio) foram determinados em um período de até 24 horas após a coleta das amostras, utilizando um cromatógrafo de íons modelo LC-10AD da Shimadzu. As amostras de água para a determinação dos sólidos totais em suspensão foram coletadas no meio do canal com um amostrador que integra profundidade. Após a homogeneização com um “splitter” do US Geological Survey, 1 a 2 L de água foram coletados. No laboratório, 0,5 a 1 L de água foram filtrados em filtros de acetato de celulose pré-pesados. Após secagem do filtro a peso constante, a concentração de sedimentos

foi determinada gravimetricamente.

Análise estatística

A identificação das correlações estatisticamente significativas entre os componentes estruturais e funcionais da bacia e a composição química foi efetuada através do uso do teste estatístico não paramétrico de Spearman (no nível de 95 % de certeza). Os testes foram aplicados para as seguintes variáveis: declividade média do setor, delta altitude do setor (altitude máxima menos altitude mínima), densidade de drenagem, erodibilidade e percentual de área coberta por cada tipo de uso do solo.

Resultados e Discussão

Características físicas dos setores de drenagem

Uma série de reservatórios, usados para regular a descarga do rio e para transferir água para a região metropolitana de São Paulo, foi construída nas décadas de 70 e 80. Este sistema, chamado de Cantareira, inclui represas nos rios Cachoeira, Atibaia e Jaguarí (Figura 1). As duas primeiras tiveram sua construção iniciada em 1968, com a transferência interbacias iniciada por volta de 1975. No rio Jaguarí, a construção foi iniciada somente em 1976, e a transferência inter-bacias em 1982. Todos estes reservatórios estão interconectados por uma série de túneis e exportam, em média, 31 m³/s de água da bacia. Como resultado, existe uma tendência, estatisticamente significativa, de decréscimo na descarga na região das cabeceiras (MORAES et al, 1998).

As características físicas dos setores de drenagem da bacia do rio Piracicaba são apresentadas na Tabela 1. Em termos geomorfológicos, a bacia do rio Piracicaba pode ser dividida em dois grandes setores (SÃO PAULO, 1991): à montante de Campinas predominam as rochas cristalinas e, na porção restante, as rochas sedimentares e intrusivas da depressão periférica. O primeiro setor geomorfológico estende-se desde as cabeceiras até a porção média, compreendendo os setores de drenagem 1, 2, 3 e 4. O relevo é montanhoso e acidentado nestas áreas, com altitudes entre 2059 metros a.n.m. nas cabeceiras, podendo atingir

até 700 metros no fundo dos vales. A declividade média do terreno varia entre 8.5 e 10.1 graus. O relevo alto e inclinado, determina uma rede de drenagem do tipo treliçada muito densa, com frequência e a densidade de confluências elevadas e predomínio dos córregos de baixa ordem. A largura do canal dos principais tributários (rios Atibaia, Jaguarí e Camanducaia) varia entre 40 e 75 metros. À medida que o rio avança no segundo setor geomorfológico, o qual corresponde aos terrenos sedimentares que formam a depressão periférica, o relevo torna-se do tipo colinoso, com cotas variando de 700 metros até pouco abaixo de 500 metros de altitude. A declividade média diminui para valores entre 6.4 a 7.8 graus e a rede de drenagem torna-se menos densa e dendrítica. A frequência e o número de confluências também diminuem e a paisagem passa a ser dominada por canais maiores, formando um canal principal com largura superior (83 a 99 metros). O limite oeste da bacia é constituído por relevo característico de transição, com cuevas ou escarpas festonadas de declividade média entre 4.7 a 6.7 graus. A rede de drenagem é predominantemente do tipo dendrítica, apresentando os menores valores de densidade, frequência e densidade de confluência do sistema. Em termos de variabilidade nas características físicas, observa-se que a maior parte desta ocorre nos primeiros quatro setores amostrais, em trechos de 100 a 200 quilômetros de comprimento.

Tabela 1 - Características físicas dos setores de drenagem da bacia do rio Piracicaba

Setor	Área (km ²)	DM (graus)	EMx (metros)	EM (metros)	D	F	NC
1- Bairro da Ponte	1930	10.1	2059	701	2.55	5.18	1.96
2- Morungaba	1952	9.9	1980	740	2.07	3.39	1.67
3- Fazenda da Barra	993	8.7	1480	567	2.44	4.79	1.95
4- Desembargador Furtado	2572	9.1	701	580	2.43	4.85	1.93
5- Paulínia	2770	8.5	740	560	2.29	4.60	1.99
6- Usina Ester	3387	8.95	580	560	1.93	3.78	1.90
7- Carioba	7284	7.77	560	540	2.03	3.65	1.76
8- Coperçúcar	8649	6.95	540	537	1.87	3.24	1.69
9- Artemis	10799	6.4	537	460	1.71	2.81	1.6
10- Recreio	1597	4.7	1000	505	1.05	1.1	1.01

DM - Declividade média; Emx - Elevação máxima; EM - Elevação mínima; D - Densidade; F - Frequência; NC - Número de Confluências

Descrição dos diferentes setores

A análise do mapa de solos e dos perfis de solo da bacia do rio Piracicaba, indica que a mesma abrange vinte unidades de mapeamento, representadas pelas classes dos Latossolos, Podzólicos, Podzolizados, Litossolos, Regossolos, Hidromórficos, Aluvionais e Mediterrâneos. A porcentagem de ocupação de cada unidade mapeada mostra que os Latossolos Vermelho-Amarelo, Podzólicos Vermelho-Amarelo e Podzólicos Vermelho-Amarelo variação Laras são os mais expressivos em área, e correspondem a aproximadamente um terço do total mapeado. Os Regossolos, Podzolizados variação Marília, Latossolos Vermelho-Amarelo intergrade, Podzólico Vermelho-Amarelo e os Mediterrâneos Vermelho-Amarelo são os menos expressivos, onde cada unidade ocupa menos de 1% da área mapeada. Estes solos são geralmente ácidos e pobres em nutrientes, com características físicas favoráveis para o cultivo.

Evolução espaço-temporal do uso e cobertura do solo

A Figura 2 apresenta os mapas de uso do solo na bacia do rio Piracicaba em 1978, 1985, 1993 e 1997. Os valores percentuais de cada uso do solo nestes anos são apresentados na Tabela 2. Em 1978, a paisagem da bacia era composta por 55.4% de pasto, 18% de cana-de-açúcar, 3.4% de silvicultura, 4.6% de culturas anuais, 8% de floresta, 1.57% de áreas urbanas, 5.9% de culturas perenes e 1.9% de solos expostos. No período de 1978 a 1985, observa-se um pequeno aumento na área ocupada por água (0.3%), resultante do fechamento da represa do rio Jaguari, componente do Sistema Cantareira. As principais modificações em termos de área, contudo, estão relacionadas com a expansão da urbanização e do plantio de cana-de-açúcar, que aumentam 1.12% e 16.55%, respectivamente. As áreas de pasto diminuem 2.4%, floresta 2.31%, culturas anuais 4.1% e culturas perenes 5.3%. Entre 1985 e 1993, as mudanças foram menos acentuadas em termos do uso agrícola, observando-se novamente uma retração das áreas de pastagem (4.7%). O cultivo de cana-de-açúcar cresce apenas 1.48% neste período e as áreas de floresta aumentam em 1.35%. Os centros urbanos apresentam o maior crescimento observado nos intervalos analisados (78-85, 85-93, 93-97), 1.51%, equivalente a um crescimento de 46 km²/ano. No intervalo de 1993 a 1997, observa-se nova retração da área de pastagem de 5.12%. Estas áreas de pasto são substituídas principalmente pela

silvicultura, que aumenta 2.7% e por floresta (3.04% de aumento). Culturas perenes e anuais permanecem praticamente inalteradas. As cidades crescem novamente, 1.5%. A cana-de-açúcar sofre retração de 2.3% pela primeira vez durante os 29 anos analisados.

Tabela 2 - Áreas (expressas em percentuais) cobertas pelas categorias de uso do solo na bacia do rio Piracicaba.

	1978	1985	1993	1997
Água	1.37	1.67	1.67	1.67
Urbanização	1.57	2.7	4.2	5.66
Cana-de-açúcar	17.9	34.5	36	33.65
Pasto	55.4	53	48.3	43.2
Silvicultura	3.4	1.11	1.48	4.2
Floresta	7.99	5.68	7.0	10.1
Culturas anuais	4.64	0.55	1.06	1.12
Culturas perenes	5.87	0.6	0.1	0.13
Solos expostos	1.88	0.25	< 0.1	0.3
Outros	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1

Dados históricos quantitativos, especialmente distribuídos, sobre o uso e cobertura do solo na bacia do rio Piracicaba são escassos. Quando disponíveis, apresentam como fator limitante o uso de metodologias distintas às empregadas neste estudo e, em geral, encontram-se em escalas ou formatos que impedem uma análise espacial precisa. Entre os dados disponíveis, podem ser citados os censos agropecuários e o Inventário Florestal do Estado de São Paulo. Os censos agropecuários têm como principal limitante a utilização do Município como unidade de estudo, sendo os resultados apresentados em termos de totais para a área dos mesmos. Grande parte destes Municípios estão contidos apenas parcialmente dentro da unidade de estudo aqui adotada, isto é, a bacia de drenagem do rio Piracicaba. No caso do Inventário Florestal, os dados são apresentados em termos de totais por regiões administrativas e os mapas foram publicados em uma escala 10 vezes menor do que a utilizada neste estudo. Contudo, uma forma de obter indicativos úteis é analisar se as tendências nos levantamentos são semelhantes ou não entre os mesmos anos de estudo.

Os resultados dos censos agrícolas apresentam o mesmo tipo de tendência temporal observada neste estudo. As áreas de plantio de cana-de-açúcar expandem 9% entre 1980 e 1985 e 14.7% entre 1985 e

1992. As pastagens diminuem em 7.5% e 1.2%, respectivamente. Florestas nativas e plantadas (silvicultura) também apresentam tendências semelhantes às obtidas neste estudo, em termos de evolução temporal para a região. Segundo BORGONOVÍ & CHIARINI (1967), em 1962, 13.7% do Estado de São Paulo era coberto por florestas nativas. Em 1972, este valor foi reduzido para 8.3%. Na região de Campinas, observa-se um aumento da área com florestas entre o período de 1972 e 1992 de ~260 km². Portanto, enquanto no início da década de 80 foi observada uma retração da floresta nativa, no final da mesma e no início dos anos 90 houve um crescimento, padrão semelhante ao observado neste estudo. Com relação às áreas de silvicultura, o mesmo inventário florestal aponta para uma diminuição de 24.8% da área de florestas plantadas entre o período de 1971 a 1992, resultados estes também semelhantes ao obtidos neste estudo.

A evolução temporal da cobertura do solo na bacia pode ser associada com ciclos econômicos, principalmente no caso da cana-de-açúcar. Em 1975, teve início o programa Pró-álcool, como uma resposta à crise mundial do petróleo iniciada em 1973-74. Este programa de incentivos governamentais visava atingir a meta de produção de 10.7 bilhões de litros de álcool a partir de 1985 (PINAZZA & ALIMANDRO, 2000). A expansão da cana-de-açúcar observada entre 1978-1985 e 1985-1997 é consistente com os dados da produção de álcool da região centro-sul do país, área na qual está inserida a bacia do rio Piracicaba. No biênio 1978-1979, foram produzidos 2079352 m³ de álcool, valor este que aumentou 4.7 vezes no biênio 1985-1986, 1.12 vezes em 1993-1994 e 1.28 vezes em 1996-1997, quando foi atingido o valor de 12113607m³ (PINAZZA & ALIMANDRO, 2000). Além de incentivos econômicos oferecidos pelo governo, o plantio de cana-de-açúcar apresenta vantagens econômicas sobre outras culturas anuais e perenes. O cultivo é efetuado apenas uma vez a cada cinco anos, com colheitas anuais ou a cada ano e meio. Como práticas agrícolas são utilizadas basicamente a correção da acidez dos solos pela calagem e a fertilização com vinhaça, sub-produto do refino da própria cultura. A prática de colheita inclui até hoje a queima e o corte por “bóias-frias”, sendo a mecanização prática ainda em implantação. Na década de 90, a menor expansão está associada com o início do declínio deste programa.

Simultaneamente, a citricultura sofre ciclos rápidos de expansão e retração, associados às demandas do mercado internacional decorren-

tes das condições climáticas adversas que ocorrem em outras regiões produtoras de laranja no mundo. No caso silvicultura, o aumento observado no final da década de 90 está associado à instalação e ao crescimento da indústria de papel e celulose na região. Grandes fábricas passam a plantar suas próprias áreas para obtenção de matéria prima.

Além dos ciclos econômicos, as mudanças no uso do solo são determinadas pelos fatores físicos (clima, solos, topografia) da região. Por exemplo, em 1997, 97% da área de cultivo de cana-de-açúcar estava restrita às regiões com declividades menores que 20%. Uma rápida análise visual da Figura 2 permite identificar que, especialmente, a bacia apresenta diferenças marcantes em termos de uso e ocupação do solo. Apesar de um histórico de uso da terra inicial semelhante, a região das cabeceiras apresenta um padrão distinto do observado na região central e à jusante. No início do século XIX, quando o processo de desmatamento intensivo teve início, aproximadamente 82% da área de estudo era coberta por florestas (SÃO PAULO, 1993). A primeira mudança no uso e cobertura do solo foi a substituição da floresta por plantações de café. Na segunda década deste século, o café foi substituído por cana-de-açúcar na região da depressão periférica central, a qual tornou-se a cultura predominante até o presente momento. Nas nascentes, as culturas de café foram suplantadas por pasto, principalmente nos anos 60. Por sua vez nesta região as pastagens estão sendo substituídas, gradualmente, por silvicultura, a partir da segunda metade da década de 90. Paisagens refletem processos geomorfológicos, climáticos, estabelecimento da biota e especiação, desenvolvimento do solo e perturbações. Portanto, toda paisagem é formada por elementos que mudam ao longo do tempo. Assim, devem ser analisadas como um todo, considerando-se seus elementos e a relação entre os mesmos no tempo e no espaço. A análise das mudanças em termos de valores numéricos totais auxilia na identificação de grandes tendências temporais. Contudo, informações adicionais podem ser obtidas quando os aspectos espaciais e temporais são avaliados simultaneamente.

Entre 1978 e 1985, cerca de 30% da área da bacia sofreu algum tipo de conversão no uso do solo, com a maior parte das modificações ocorrendo a partir da porção central da bacia. Dos 3725 km² alterados, 2.48% foram convertidos em urbanização e 52.6% em cana-de-açúcar. As cidades substituíram principalmente áreas de cana-de-açúcar (0.6%), o pasto (1.37%) e culturas perenes (0.24%). A cana-de-açúcar

passa a ocupar áreas de pasto (31%), culturas perenes (14%), culturas anuais (7.2%), florestas (3.94%) e silvicultura (3.3%). Esta expansão canavieira está associada ao segundo ciclo do Programa Pró-álcool, que teve início em 1975. Espacialmente, as condições topográficas do terreno parecem ser o principal fator limitante para a expansão desta cultura. Os 2210 km² que passam a ser ocupados pela cana estão localizados exclusivamente a partir do início da depressão periférica central. Na região das nascentes o pasto substitui áreas de floresta (1.2%), silvicultura (5.4%) e culturas anuais (7.2%). Contudo, em termos líquidos, observa-se uma diminuição da área coberta por pastos de 21% em relação a área total modificada, devido às conversões pasto para cana-de-açúcar que ocorrem na região central.

Entre 1985 e 1993, as modificações são menos acentuadas em termos de área total modificada, com 2667 km², ou 21% da área da bacia, apresentando algum tipo de conversão no uso do solo. As cidades crescem novamente, comprometendo 3.64% da área modificada. Dos 97.2 km² convertidos em cidades, 2.72% eram áreas de pastos e 0.83% de cana-de-açúcar. O cultivo de cana cresce novamente, porém a uma taxa menos acentuada, resultando em uma expansão líquida de ~11%, ou 832km². Novamente, as áreas de pasto da porção central são as mais afetadas por este tipo de conversão (25%), seguidas por florestas (3.1%) e culturas perenes (2.6%). Na região das nascentes, a silvicultura apresenta um ganho líquido de 1.76%, ocupando principalmente pastagens (3.65%). As florestas e as culturas anuais também apresentam crescimento, 6.3% e 2.35%, respectivamente.

Entre 1993 e 1997, 2127 km² sofreram algum tipo de modificação, comprometendo 16.8% da área da bacia, o menor valor observado durante os 29 anos em análise. As cidades continuam crescendo a um ritmo semelhante ao do período anterior. Da área total modificada, 8.7% (ou 184.34km²) foram urbanizados, dos quais 4.4% eram áreas de cana e 3.3% áreas com pastos. O cultivo de cana-de-açúcar apresenta uma retração pela primeira vez, com uma perda líquida de 13.65%. A silvicultura e a floresta continuam seu ciclo de expansão nas cabeceiras, aumentando 18% e 16%, respectivamente. Os pastos são os mais afetados, 17% da área dos mesmos foram convertidos para silvicultura e 27% para floresta.

A tendência de crescimento das áreas florestadas também foi evidenciado em outros estudos e em escalas mais detalhada (OMET-

TO et al, 2000). Estes resultados podem ser explicados pelo fato da legenda utilizada incluir na categoria de floresta áreas de capoeira e de crescimento secundário. Portanto, indicam uma possível recuperação de áreas com floresta nativa, as quais se encontrariam em estágios de sucessão iniciais.

Evolução espaço-temporal da população e das áreas urbanizadas

Outro padrão espacial interessante observado é a concentração dos grandes centros urbanos a partir do início da depressão periférica central. A análise dos dados populacionais indicou que, nos últimos 41 anos, a distribuição espacial da população na bacia do rio Piracicaba permaneceu praticamente inalterada. Os 2.800.000 habitantes estão heterogeneamente distribuídos ao longo da bacia, com a maior parte da população (67%) concentrada nas áreas urbanas localizadas ao longo do canal do rio, na porção central. A rede de drenagem representa uma fonte conveniente de água potável bem como um depósito para os rejeitos das atividades industriais e domésticas (lançamento de esgotos). Este tipo de padrão de crescimento das cidades ao longo dos rios ocorre em várias regiões do Brasil. Exemplos incluem as cidades de São Paulo, Manaus, Belém e Porto Alegre. Outro fator importante na determinação dos padrões de distribuição espacial da população na bacia é a topografia. Na porção oeste, onde o terreno é mais acidentado, a densidade demográfica é baixa, 68 habitantes/km². Na porção central, onde os vales são mais amplos e o terreno menos acidentado, a população aumenta consideravelmente, atingindo a densidade demográfica mais elevada de toda a bacia, 250 habitantes/km². A área de transição na porção noroeste da bacia apresenta uma densidade demográfica intermediária de 106 habitantes/km². Uma relação inversa, estatisticamente significativa, foi observada entre a declividade do terreno e o número de habitantes ($R_s = -0.70$, $p < 0.05$) e o delta altitude e o número de habitantes ($R_s = -0.86$, $p < 0.01$).

Composição biogeoquímica das águas superficiais

Em termos de qualidade da água, a análise da série histórica de 18 anos (KRUSCHE et al., 1997) revelou que, espacialmente, existe um decréscimo na mesma medida que o rio progride em direção à foz, resultando em um aumento marcante na demanda bioquímica

de oxigênio e nos teores de nitrato e carbono total, associados a uma queda nos teores de oxigênio dissolvido. Tais padrões resultam do lançamento de esgotos industriais e domésticos. Devido às entradas de esgoto, as concentrações de carbono orgânico dissolvido (COD), carbono inorgânico dissolvido (CID), e íons maiores e menores aumentam significativamente das cabeceiras rio abaixo.

A concentração média dos analitos estudados observada nas estações de amostragem nos períodos de seca e cheia são apresentadas na Tabela 3. Os valores médios de condutividade, sulfato, cloreto, sódio, cálcio, carbono inorgânico dissolvido e nitrogênio inorgânico dissolvido foram estatisticamente distintos quando comparados com àqueles do período chuvoso para <0.01 . Oxigênio dissolvido e CO_2^* não apresentaram diferenças sazonais estatisticamente significativas ($p > 0.05$). As concentrações médias dos solutos foram, em geral, 1 a 2 vezes maiores durante o período seco. Estudos prévios efetuados na bacia do rio Piracicaba (MARTINELLI et al., 1999b) demonstraram que íons conservativos apresentam uma correlação inversa com a descarga do rio, efeito este resultante da mistura de três fontes distintas. Durante o período chuvoso, água de precipitação empobrecida em íons e o escoamento superficial predominam. Durante a estação seca, águas enriquecidas em íons pela drenagem dos solos e o lançamento de efluentes domésticos tornam-se a fonte mais importante.

Durante ambos os períodos, o mesmo tipo de distribuição espacial foi observado ao longo da bacia, com as concentrações aumentando constantemente a partir das cabeceiras (estações 1 a 4 e 10) em direção à porção rio abaixo (estações 5, 6, 7, 8 e 9). O oxigênio dissolvido apresenta um padrão inverso. Um pequeno decréscimo foi observado na estação 7, o qual pode ser atribuído ao efeito do reservatório de Salto Grande localizado à montante deste ponto.

Tabela 3 - Concentrações médias (expressas em mM) por setores dos analitos nos períodos de seca e cheia.

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Condutividade	Seca	51.6	59.6	97.5	85.7	87.7	250.5	136.1	225.2	214.4	113.7
	Cheia	54.8	51.5	76.7	74.1	66	171.8	98.45	145.5	134.3	110.1
COD	Seca	212.7	197.2	225.5	265.9	227.7	325.3	268.8	418	421.5	223.5
	Cheia	225.8	225.1	251	265.3	251.2	279	261.4	291	297.1	293.2
CID	Seca	332	358.6	582.5	494.7	474.3	771.6	584.8	883.6	833.5	546.8
	Cheia	361.7	329.2	500.1	440.2	400	605.2	518.2	648	614	506.6
SO4	Seca	13	26	45.3	45.2	47.4	499.1	172.9	321.5	282.2	161.5
	Cheia	15.4	20.5	35.4	36.5	31.2	282	114	169	183.5	192.4
Cl	Seca	83.5	78	120.1	151	134.4	378	202	473.3	435.3	155.3
	Cheia	83.3	59	32	121.4	99.8	237	142.8	261.2	232.3	118.8
NID	Seca	28.5	62	72	70	89	191	78.3	120.6	112	66
	Cheia	25.2	33.4	61	49.6	58.5	107.5	64.3	74.4	69.2	35
OD	Seca	92	93	100.5	90.2	103	69.5	23.6	80.3	49.8	80
	Cheia	90	97.5	102.7	91	103	79.9	51	78.9	67.8	81
CO2*	Seca	52	76.1	40.9	67.8	29.2	90.2	185.7	89	133.8	70.3
	Cheia	115.4	65.3	42.5	73.7	36	103.5	147.9	98.4	133	90
Ca	Seca	78.3	99.6	147.4	122	124	192	150	224	239.8	153.2
	Cheia	83.4	82	120	109.4	101	153.8	126.2	161	175	156
Mg	Seca	50.3	46.3	94.3	68.1	73.2	82.9	76.6	90.5	119.2	169.2
	Cheia	54.9	43.8	81.7	64.1	62	76.1	69.2	82	122.2	183
STS	Seca	21	21	32.2	26	22.5	22.5	11	29.4	26	31
	Cheia	51.1	64.5	158.3	181.4	149	221.3	133.4	76.7	150.6	210

Efeitos das características da bacia na composição química das águas superficiais

A análise estatística efetuada evidenciou que a topografia (expressa como delta altitude) apresenta uma relação significativa, negativa, com todos os parâmetros analisados, com exceção do CO2* e sólidos totais em suspensão (STS) (Tabela 4). Dois processos podem estar associados com este tipo de comportamento, a urbanização, em função das características do terreno, e as propriedades hidrológicas da área.

Uma boa correlação entre erodibilidade e STS ($R^2 = 0.69$, $p < 0.05$) foi obtida para o período de seca. Nenhuma correlação foi observada com o uso do solo para este parâmetro. Tais resultados permitem inferir que as características físicas, notadamente as propriedades do solo da bacia, têm papel predominante na determinação da quantidade de material em suspensão carregado pelo rio. A erodibilidade também apresentou uma boa correlação com os teores de cálcio, magnésio, carbono inorgânico dissolvido (CID) e condutividade, tanto no período de seca quanto no chuvoso (Tabela 4). Solos arenosos e práticas de manejo do solo, podem ser associadas com estes resultados. Concen-

trações mais elevadas de Ca, Mg e CID foram observadas nas áreas onde predominam os solos arenosos e o cultivo de cana-de-açúcar. O manejo do solo nestas áreas consiste, usualmente, na adição de calcário para a correção da acidez, que podem constituir uma fonte adicional destes íons para os rios.

Tabela 4 - Correlações de Spearman para delta altitude e erodibilidade (n = 10)

	DELTA ALTITUDE				ERODIBILIDADE			
	Seca		Cheia		Seca		Cheia	
	Rs	nível de p	Rs	nível de p	Rs	nível de p	Rs	nível de p
Condutividade	_-0,850	0,002	_-0,8	0,006	0,6	0,050	0,7	0,026
COD	_-0,900	0,000	_-0,6	0,052	38,0	0,275	0,5	0,116
CID	_-0,850	0,002	_-0,9	0,002	0,6	0,047	0,7	0,037
SO4	_-0,880	0,001	_-0,7	0,024	0,7	0,080	0,7	0,030
Cl	_-0,910	0,000	_-1,0	2*10 ⁻⁷	0,5	0,111	0,4	0,220
NID	_-0,860	0,002	_-0,9	0,001	0,4	0,235	0,5	0,172
OD	0,640	0,047	0,7	0,034	_-0,3	0,434	_-0,2	0,498
CO2*	_-0,650	0,042	_-0,4	0,240	0,1	0,789	0,0	0,947
Ca	_-0,760	0,011	_-0,7	0,022	0,8	0,012	0,8	0,007
Mg	_-0,360	0,300	_-0,5	0,180	1,0	2*10 ⁻⁷	0,9	0,000
STS	_-0,060	0,870	_-0,3	0,630	0,8	0,012	0,6	0,077

Efeitos das mudanças no uso do solo na composição química das águas superficiais

As modificações no uso e cobertura do solo vêm sendo consideradas como um dos principais fatores que determinam mudanças na composição química das águas superficiais (WEAR et al., 1998). A remoção das florestas nativas, associada à expansão das áreas agrícolas e urbanas resultam na alteração das entradas e ciclos de nutrientes e no regime hidrológico. Os resultados obtidos neste estudo indicam que as fontes pontuais de poluição, expressas como percentual de urbanização, representam a característica da paisagem que mais afeta a qualidade da água do rio. Estes resultados são comparativamente distintos quando comparados com os observados em estudos realizados em países desenvolvidos de regiões temperadas, nos quais as fontes não pontuais de poluição (áreas agrícolas) são o principal contribuidor da poluição (NAIMAN, 1995; PUCKETT, 1995).

A maior parte dos parâmetros analisados apresentou uma correlação estatisticamente significativa com o percentual de urbanização,

tanto para o período de seca quanto para o de cheia. A expansão dos centros urbanos ocorre principalmente na porção central da bacia e está diretamente correlacionada com o aumento observado nas concentrações dos analitos estudados, com exceção do oxigênio dissolvido que decresce. No período de seca, foi observada uma correlação estatisticamente significativa entre condutividade, sulfato, cloreto, sódio, cálcio, carbono inorgânico dissolvido, nitrogênio inorgânico dissolvido e urbanização ($p < 0.01$; Figuras 3 e 4, Tabela 5). No caso dos gases dissolvidos (oxigênio e CO_2^*), as correlações foram significativas para $p < 0.05$ ($R_s = -0.65$ e 0.64 , respectivamente). Na estação chuvosa, foi observado um padrão similar, exceto para o CO_2^* , o qual não apresentou correlação significativa ($p > 0.05$). Entre os onze parâmetros analisados, cloreto, condutividade, sulfato e nitrogênio inorgânico dissolvido foram os que melhor se correlacionaram com a urbanização em ambos os períodos hidrológicos. Este resultados são consistentes com estudos prévios que identificaram o aumento da urbanização, e o conseqüente aumento da quantidade de esgotos domésticos lançados no rio, como o principal fator na determinação das concentrações deste elementos (OMETTO et al., 2000; BALLESTER et al., 1999; MARTINELLI et al, 1999b).

As concentrações de nitrogênio em rios geralmente apresentam uma boa correlação com o uso do solo, principalmente com áreas cultivadas devido à adição de fertilizantes nitrogenados. As concentrações de nitrogênio apresentaram uma correlação estatisticamente significativa com a extensão da área cultivada no rio Rasin no sudeste de Michigan, EUA (ALLAN et al., 1997) e em várias bacias localizadas na planície costeira da baía de Chesapeake (JORDAN et al, 1997). Este tipo de comportamento, contudo, não foi observado na bacia do rio Piracicaba, onde correlações estatisticamente significativas são observadas apenas entre o percentual de urbanização e os teores de nitrogênio inorgânico dissolvido. Tais resultados indicam que o lançamento de esgotos possui um papel importante no ciclo do nitrogênio. Estes resultados são semelhantes aos obtidos pelo balanço de nitrogênio efetuado para a área de estudo (FILOSO et al., no prelo), o qual demonstrou que a principal fonte de N é o esgoto doméstico.

Estudos prévios da bacia do Piracicaba indicaram, empiricamente, que o esgoto lançado no rio é a principal fonte de alteração na composição biogeoquímica do mesmo ao longo da bacia (MARTINELLI

et al, 1999b; BALLESTER et al., 1999). O acoplamento do SIG com os traçadores biogeoquímicos permitiu avançar mais um passo, uma vez que foi possível estabelecer relações estatísticas entre a composição química das águas e as características da paisagem que as geram. A caracterização quantitativa da configuração e composição da paisagem foi um atributo chave para identificar entre os parâmetros físicos e antrópicos os melhores previsores da composição química da água.

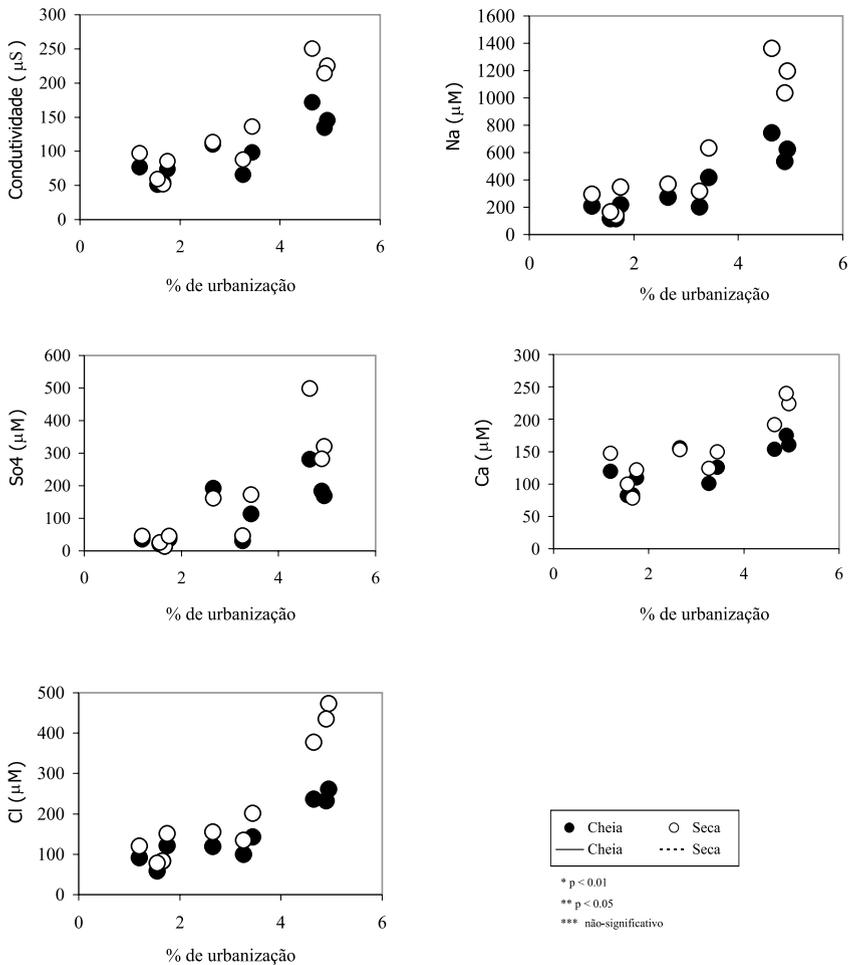


Figura 3 - Valores médios de condutividade, sódio, sulfato, cálcio, e cloreto nos períodos de seca e cheia na bacia do rio Piracicaba em relação ao percentual de urbanização

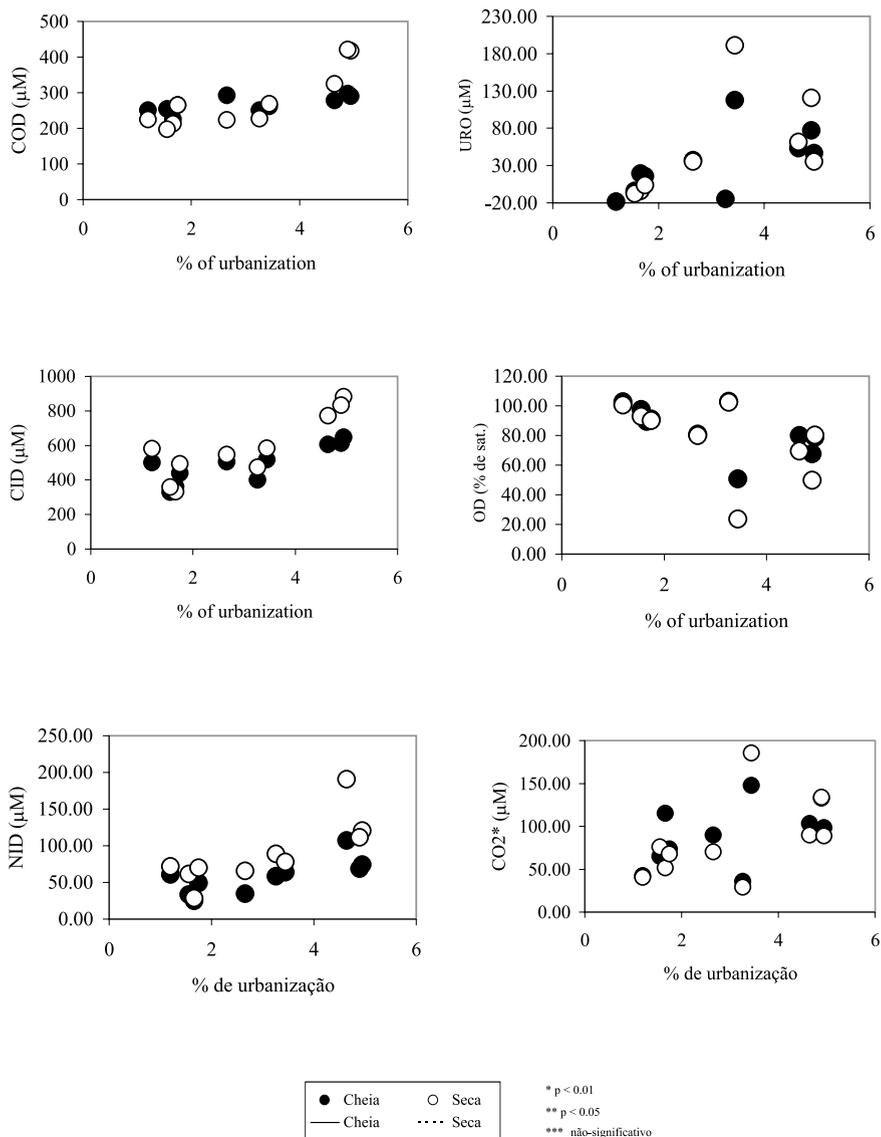


Figura 4 - Valores médios de carbono orgânico dissolvido, utilização relativa de oxigênio, carbono inorgânico dissolvido, oxigênio dissolvido, nitrogênio inorgânico dissolvido e produção relativa de dióxido de carbono nos períodos de seca e cheia na bacia do rio Piracicaba em relação ao percentual de urbanização.

Tabela 5 - Correlações de Spearman para percentual de urbanização (n = 10)

	SECA		CHEIA	
	Rs	Nível de p	Rs	nível de p
Condutividade	0.93	0	0.77	0.009
CO	0.87	0.001	0.71	0.022
CID	0.77	0.009	0.83	0.003
SO4	0.87	0.001	0.67	0.033
Cl	0.93	0	0.9	0
NID	0.81	0.005	0.76	0.011
OD	_-0.7	0.043	_-0.7	0.018
CO2*	0.64	0.048	0.53	0.117
Ca	0.81	0.005	0.76	0.011
Mg	0.41	0.24	0.49	0.15
STS	_-0.2	0.63	0.13	0.726

Considerações finais

As principais modificações na cobertura e uso da terra quantitativamente significativas que a bacia sofreu nos últimos 30 anos foram a expansão do plantio de cana-de-açúcar, associada à uma retração das áreas de pastagens, culturas anuais e perenes. Nos últimos quatro anos analisados, observa-se uma tendência de aumento das áreas florestadas (incluindo as espécies e exóticas), a qual merece atenção e estudos futuros. A urbanização, apesar de apresentar um crescimento pequeno quando comparada com a área total da bacia, expande-se significativamente, formando um eixo de conurbação entre as cidades de Campinas, Americana e Piracicaba.

As características dos terrenos determinam dois padrões de distribuição espacial bem distintos na bacia. Nas cabeceiras, predominam os pastos e a silvicultura, enquanto a porção central está comprometida pela agroindústria. Estes padrões são refletidos na biogeoquímica das águas superficiais desta bacia de drenagem.

Ecologia da Bacia Hidrográfica do Rio Itanhaém

Antonio Fernando Monteiro CAMARGO,
Lucio Alberto PEREIRA &
Alexandre de Mattos Martins PEREIRA

Introdução

A bacia do rio Itanhaém está localizada no litoral sul do Estado de São Paulo entre os paralelos 23° 50' e 24° 15' de latitude sul e entre os meridianos 46° 35' e 47° 00' de longitude a oeste de Greenwich. Possui 930 km² de área e é a segunda maior bacia litorânea do estado, inferior, em área, apenas à do rio Ribeira de Iguape. Abrange os municípios de Peruíbe, Mongaguá, Praia Grande, São Vicente, São Paulo e Itanhaém, pertencendo a este último a maior parte da bacia.

A bacia está envolvida por duas regiões metropolitanas, a Região Metropolitana da Baixada Santista a nordeste, e a Região Metropolitana da Grande São Paulo ao norte, que necessitam de grande quantidade de água para abastecimento doméstico e industrial (Figura 1). A parte superior da bacia hidrográfica está contida dentro dos limites do Parque Estadual da Serra do Mar e, portanto, possui a maioria das nascentes em área bem preservada. A parte inferior é intensamente ocupada, contendo a área urbana do município que provoca intensos impactos antrópicos, tais como, desmatamento, aterros, retificação de canais de rios, lançamento de efluentes urbanos etc. A parte intermediária da bacia está submetida a impactos menos intensos devido a grandes propriedades rurais com predomínio do cultivo de banana, pequenas propriedades com culturas de subsistência e mineração de areia no leito de alguns rios.

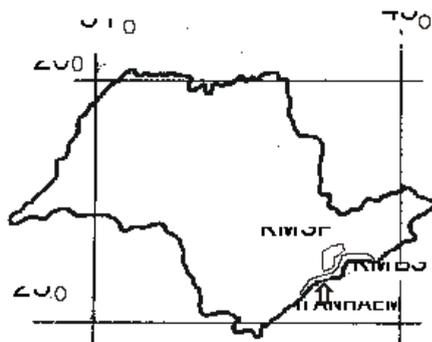


Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica do rio Itanhaém e das regiões metropolitanas de São Paulo (RMSP) e baixada santista (RMBS)

Além da diversidade do uso do solo e densidade populacional, a bacia também apresenta características geológicas, de relevo e vegetação diversificadas. Esta diversificação se reflete nas características limnológicas da água dos rios (CAMARGO et al, 1996) que podem ser classificados em rios de água preta, branca e clara, tal como a definição das águas dos rios amazônicos estabelecida por SIOLI (1968).

Este capítulo apresenta uma descrição de características fisiográficas da bacia do rio Itanhaém, incluindo aspectos do clima, relevo, geologia, vegetação, hidrologia e uso e ocupação do solo. Além disso, também descreve as características limnológicas de alguns rios com diferentes tipos de água, incluindo variáveis físicas, químicas e biológicas. Finalmente, destacamos as interrelações entre as características fisiográficas e limnológicas, baseados na hipótese de que as características limnológicas dos rios refletem as características das áreas por eles drenadas.

Características fisiográficas

Clima

O clima da região na qual se localiza a bacia hidrográfica do rio Itanhaém tem pequena amplitude de variação sazonal em relação a outras áreas da região sudeste. A temperatura varia de 15,3° C em julho a 30° C em fevereiro. A taxa de umidade relativa do ar é alta durante todo o ano, sempre superior a 80% devido à constante influência do

oceano Atlântico e das massas equatoriais e marítimas que atuam continuamente na região. A pluviosidade média anual é elevada (2000 a 2500 mm), com maior concentração nos meses de verão, sem, entretanto, apresentar uma estação seca (Figura 2). Observa-se também uma grande variabilidade entre os totais mensais máximos e mínimos (LAMPARELLI & MOURA, 1998). E segundo Koeppen (SETZER, 1966), é classificado como tropical úmido sem estação seca ou Ap.

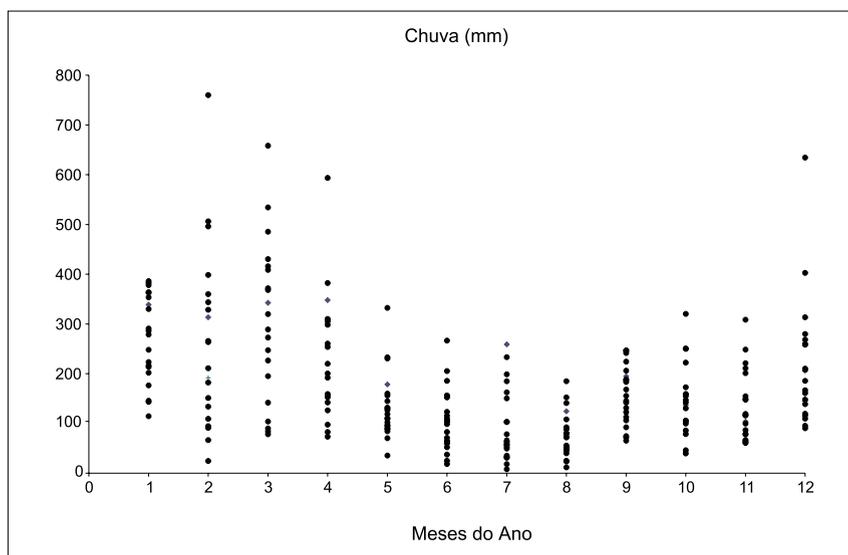


Figura 2 - Totais mensais de chuva em milímetros correspondente aos anos de 1938 a 1999 na estação F3-005 localizada a 3m de altitude na Bacia do Rio Itanhaém

Geomorfologia

Esta planície é balizada pela serra de Peruíbe a SW e pela serra de Mongaguá a NE, com dimensões aproximadas de 48 por 16 km na porção mais ampla. Segundo FÚLFARO et al (1974), a área está inserida no compartimento morfológico denominado compartimento Santos-Itanhaém-Peruíbe, que vai da Serra de Itatins até a ponta do Una (Serra do Juquiriquerê). Apresenta grande diversidade de antigas enseadas colmatadas, com amplo desenvolvimento de formações flúvio-lagunares, cordões litorâneos, dunas, mangues e estuários.

resultantes principalmente das influências tectônicas.

O Planalto cristalino brasileiro, na região costeira paulista, segundo RAMALHO (1982), é esculpido essencialmente sobre litologias pertencentes ao escudo pré-cambriano, onde dominam rochas migmatóides, granitóides e rochas metassedimentares, principalmente xistosas e filíticas do Grupo Açungui. Estas rochas, submetidas a um clima favorável à alteração superficial, liberaram grande quantidade de material fino, que, transportado para o meio marinho, foi retrabalhado e distribuído pela ação de correntes marinhas ao longo da linha da costa em águas de pouca profundidade. Os rios que cortam o planalto, mesmo não conseguindo recuar suas cabeceiras para o interior, possuem enorme poder destrutivo, como conseqüência do clima de alta pluviosidade e de relevo de forte declividade, sendo capazes de carrear grande quantidade de material e de abrir largas planícies, regularizando, em parte, uma costa de contornos sinuosos

O subcompartimento Peruíbe-Itanhaém-Mongaguá compreende ampla planície de sedimentação quaternária que alcança cerca de 16 km de largura. A planície apresenta uma sedimentação variada, sendo grande parte dela representada por depósitos aluviais, os quais recobrem sedimentos marinhos que antes eram expostos até próximos à base da escarpa. Como exemplo, o terraço com cobertura eólica se identifica como um terraço marinho recoberto por faixas longitudinais de dunas, possibilitando estabelecer dois níveis altimétricos bem definidos. Estes terraços eólico-marinhos estendem-se desde Peruíbe até próximo a Mongaguá, com o melhor desenvolvimento de dunas na área de Bopiraga. A formação de dunas parece ter sido mais extensa antes do Holoceno, em períodos em que imperavam climas mais secos, pois a umidade excessiva do clima atual favorece o desenvolvimento da cobertura vegetal e conseqüentemente fixa o material arenoso, evitando sua mobilização, ou então, nas praias atuais, onde a cobertura vegetal insuficiente admite a formação de depósitos eólicos.

A área apresenta três compartimentos geomorfológicos distintos: 1) Planalto constituído por morrotes baixos (700 - 800m com declividade média); 2) Serras compostas de espigões e topos angulosos (100 - 700m declividade alta) e 3) Planície costeira formada por terraços baixos, pouco metros acima do nível do mar (0 - 90m com baixa energia).

A evolução morfogenética da região está ligada a três fatores principais: erosão diferencial (tipo de substrato), tectonismo tafrogênico

wealdeniano e oscilações eustáticas relacionadas, entre outros fatores, às glaciações quaternárias.

Cobertura Sedimentar

GIANNINI (1987), cita que, os sedimentos superficiais da Planície de Itanhaém ocorrem em uma faixa descontínua entre as serras de Itatins e Mongaguá. A planície é tida como formada em maior parte por depósitos arenosos quaternários que não chegam a atingir o sopé da zona serrana, dela se separando por sedimentos coluviais e, eventualmente, por zonas pantanosas, presentes nos vales de drenagem dos rios Preto e Branco. Os sedimentos coluviais encontram-se associados, como áreas-fonte, aos sedimentos aluviais desses rios que atravessam a planície. As águas fluviais, durante os períodos de enchente, distribuem material de intemperismo do embasamento cristalino por suas planícies de transbordamento, apesar do gradiente energético reduzido. Este mecanismo de transporte é evocado por FÚLFARO et al (1979) para explicar a elevada porcentagem de argila e de mica que caracteriza os sedimentos aluviais. A cor escura das águas do Rio Preto e o alto teor de matéria coloidal e matéria orgânica encontrado em seus sedimentos fazem supor, todavia, que a grande quantidade de matéria suspensa não se deva apenas à contribuição de argilas continentais, mas também, em significativa parcela, à matéria argilo-orgânica formada em ambiente redutor, como mangues e pântanos. É provável, portanto, que a faixa atravessada por estes rios não seja apenas coberta por sedimentos de inundação da fase atual de deposição fluvial, mas também, conforme citado por SUGUIO & MARTIN (1978), por sedimentos flúvios-lagunares preexistentes.

Contexto Geológico

O contexto geológico regional (SUGIO & MARTIN, 1978) apresenta duas formações básicas: o Complexo Cristalino do Pré Cambriano, compreendendo a parte alta da bacia - Planalto e a Serra; e o Quaternário, formado pela Planície Costeira, com 15 km de largura por 40 km de extensão, formada essencialmente por depósitos marinhos ou flúvio lagunares, originados por transgressões marinhas. Essas transgressões ocorreram na história geológica recente (período quaternário) e foram identificadas duas fases em que o nível do mar esteve mais alto que o atual. No evento mais transgressivo, o mar cobriu toda a

planície, alcançando o sopé da Serra. Nessas áreas, foram encontrados sambaquis, confirmando a existência de uma antiga laguna.

Na região compreendida entre as cidades de Peruíbe e Itanhaém, foram individualizadas três faixas de sedimentos arenosos de praia sendo elas, da praia para o interior: faixa de praia atual, faixa holocênica e a faixa pleistocênica. A faixa de praia pleistocênica, com grande expressão areal, apresenta aspectos morfológicos distintos, destacando-se uma zona de cordões litorâneos e uma zona arrasada, entrecortada por terraços aluviais argilosos e campos de dunas localizados. Os terraços pleistocênicos possuem costas de 5 a 9 m, e de 2 a 4 m para os do Holoceno. Os principais campos de dunas se localizam junto do rio Itanhaém. A discriminação dessas áreas como campo de dunas deve-se exclusivamente a critérios morfológicos e topográficos, uma vez que as formações arenosas ali existentes não apresentam qualquer estrutura de origem eólica.

A faixa de cordões litorâneos pleistocênicos apresenta, até a profundidade investigada, basicamente níveis de coloração branca, preta e marrom, do topo para a base. Nota-se, através de furos de sondagem, que a passagem da coloração preta para a marrom é gradativa e está relacionada a um processo pedogenético envolvendo a presença de matéria orgânica.

Entre a Serra do Mar e os terraços arenosos pleistocênicos ocorre ampla faixa de sedimentos argilosos, ricos em matéria orgânica, que abrange as bacias dos rios Itanhaém, Tambotica, Branco e Aguapeú, todos afluentes do rio Itanhaém. Estes sedimentos foram associados a um ambiente flúvio-lagunar indiferenciado, possivelmente relacionado à transgressão "Santos", do Holoceno. No rio Aguapeú, foram encontradas areais de praia à profundidade de 3m, subjacentes a sedimentos argilosos.

Na região dos morros Jatubatuba e da Lagoa, afloraram os mais expressivos sedimentos fluviais e de encosta desta planície, que ocorrem interdigitados ou recobrimo os sedimentos flúvios-lagunares.

A ocorrência de mangues na planície está restrita à foz dos rios Preto e Itanhaém, locais em que são encontrados sedimentos argilo-arenosos.

De Itanhaém até Mongaguá, a faixa das areias tidas como pleistocênicas apresenta uma largura média de 1 km, enquanto no trecho Itanhaém-Peruíbe a largura é de 500m. A partir da linha que une os

morros Grande e Melico estão presentes areias relacionadas à transgressão pleistocênica e extensas áreas de sedimentos flúvio-lagunares. Os terraços arenosos pleistocênicos apresentam-se com morfologia de cordões retilíneos na porção SW da área de sua ocorrência e sinuosos na porção NE, consequência de possíveis eventos superimpostos. Na planície do rio Aguapeú, foram encontradas, na unidade flúvio-lagunar, cotas que variam de 2 a 3 m. A facie praial foi erodida, restando apenas pequenos corpos isolados, ladeados por sedimentos argilosos. Encontraram-se também, areias de praia a uma profundidade de 4m. Nesse local, o topo da unidade flúvio-lagunar está representado por turfa e argila turfácea.

Sistema Hidrológico

A bacia possui 1.152 canais que, somadas suas extensões, totalizam aproximadamente 1.400 km. A densidade de drenagem e a densidade hidrográfica são respectivamente: 1,48 e 1,21 que, de acordo com STRHALER (1964), é baixa. Esses índices auxiliam na avaliação dos recursos hídricos, pois, ao avaliarmos a densidade de drenagem e a densidade hidrográfica, conhecemos o potencial da bacia e seus sub sistemas de permitir maior ou menor escoamento superficial da água, podendo assim inferir sobre a intensidade dos processos hídricos como, por exemplo, os processos erosivos. A Figura 3 mostra a rede hidrográfica da bacia sobreposta a um modelo digital do terreno.

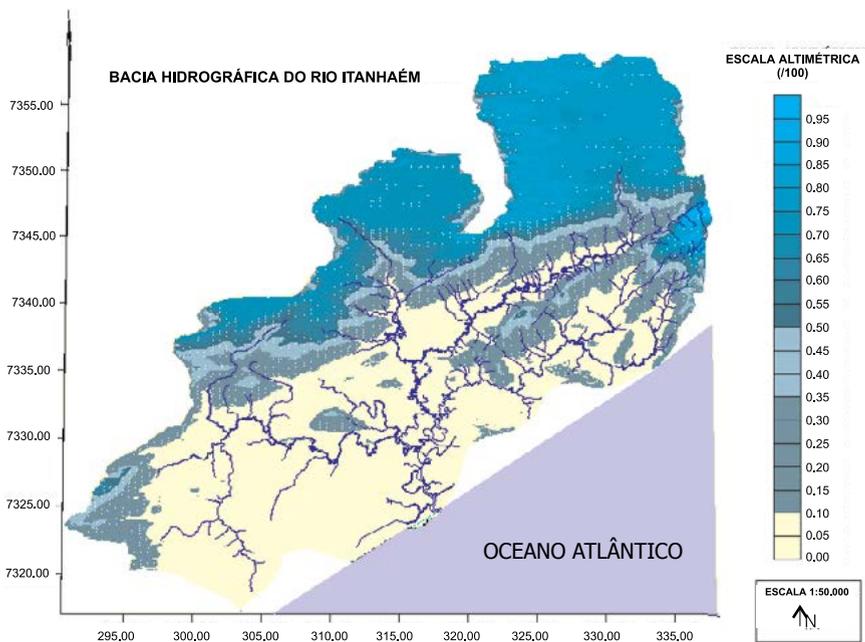


Figura 3 - Rede hidrográfica da bacia do rio Itanhaém sobreposta a um modelo digital do terreno

Características dos principais sub sistemas

Rio Itanhaém

Esse rio é formado pela confluência dos rios Branco e Preto, possuindo características estuarinas. É um rio de sexta ordem tendo um total de 7 canais em uma área de drenagem com 26 km². Seu canal principal possui 6 km de extensão e, somando com seus tributários, apresenta 17 km.

Na região do estuário, há presença de *Hibiscos pernambucensis* e componentes da mata de restinga; à jusante ocorre o manguesal, com sedimentos argilo-arenosos, classificado de acordo com a estrutura física dos mangues como mangue baixo, mangue alto e mangue degradado (HERZ, 1991).

Rio Branco

Esse rio origina-se e percorre grande parte de sua extensão em terrenos pré-cambrianos da Serra do Mar, em altitudes entre 600 e

800 metros; posteriormente percorre a planície costeira. Possui águas brancas ou barrentas e, de acordo com a classificação de NAVARRA (1988) para rios da região costeira do Estado de São Paulo, é um Rio de Planalto. Seu canal principal é de quinta ordem, sendo o de maior extensão da bacia (68 km) e com a segunda maior área de drenagem 285 km². Apresenta o maior número de canais (542) e a soma da extensão total desses canais é de 630 km.

Rio Preto

Nasce em terrenos pré-cambrianos da Serra do Mar, possuindo tributários que nascem na planície costeira também. Diferentemente do Rio Branco, percorre a maior parte de sua extensão na planície costeira. A cor escura deste “rio de águas pretas” é atribuída à presença de ácidos orgânicos, como os ácidos húmicos. É considerado um exemplo de rio de Baixada (NAVARRA, 1988). É um rio de quinta ordem, possui 165 canais, com o canal principal apresentando 40 km de extensão e, na soma da extensão de todos os canais apresenta 300 km. Esse subsistema possui a maior área de drenagem da bacia, com 332 km². No alto curso, a vegetação da área de entorno é de mata atlântica, posteriormente substituída por mata de restinga.

Rio Aguapeú

Este rio possui suas nascentes no pré-cambriano da Serra do Mar, mas percorre a maior parte de seu curso na planície costeira. Apresenta águas de cor escura, sendo denominado um rio de águas pretas de acordo com a classificação de rios baseada na cor e nas características do material em suspensão (SIOLI, 1968). Segundo NAVARRA (1988), seria um exemplo de rio de baixada. É afluente do Rio Branco, e o encontro de ambos exibe o contraste entre os diferentes tipos de água. Sua área de drenagem é de 139 km². Este rio é de quarta ordem, possui 61 canais num total de 130 km de extensão, sendo que o canal principal apresenta 33 km.

Rio Mambú

O rio Mambú nasce nas encostas da Serra do Mar, entre 700-800 m de altitude. Este rio de águas claras, típico de escarpa segundo a classificação de NAVARRA (1988), deságua no rio Branco logo após atingir a Planície Costeira. É, portanto, um rio característico de mon-

tanha, com pouca profundidade, fundo pedregoso, apresentando cachoeiras e corredeiras. Encontra-se em estado quase natural e suas águas são captadas para abastecimento dos municípios de Itanhaém, Mongaguá e Praia Grande. É um rio de quinta ordem também, com área de drenagem de 136 km², possui 373 canais, cobrindo uma extensão total de 310 km e seu canal principal tem 21 km.

Rio Guaú

Este rio e seus tributários originam-se na planície costeira, e seus canais percorrem a maior parte em área urbana, até desaguar próximo à foz do Rio Itanhaém. Possui somente 4 canais que, somadas suas extensões, totalizam 10 km, sendo que o canal principal possui 7 km e uma área de drenagem com 31 km².

Características limnológicas

Na bacia do rio Itanhaém, ocorrem diferentes tipos de água: salobra, preta, clara e branca, além de águas poluídas. A Tabela 1 apresenta os valores médios (médias dos valores obtidos nas quatro estações do ano no período entre 1994 e 1999), máximos e mínimos das variáveis físicas e químicas da água.

Na bacia do rio Itanhaém, as águas salobras ocorrem na parte baixa da bacia, ou seja, região estuarina, onde a influência marinha é maior. Nesta região, observam-se valores médios de salinidade de 2252,6 ppm (rio Itanhaém). A água estuarina se caracteriza por apresentar valores de pH em torno de 7,0, com o máximo observado de 7,90 (Tabela 1). Entretanto, na maior parte da bacia observam-se águas ácidas, especialmente as águas pretas, com menor valor de pH observado no rio Castro (3,08). Os rios da bacia Amazônica também possuem águas que variam do neutro a ligeiramente ácidas (pH entre 7,50 a 4,30) segundo PAYNE (1986).

As águas claras da bacia do rio Itanhaém (rio Mambú) são as que apresentam maiores valores de porcentagem de saturação de oxigênio (98,2% em média). As águas brancas são as que apresentam valores intermediários (rio Branco) com 78,6% em média. E os menores valores são observados nos rios de águas pretas, com 23,0% e 59,5% em média (rios Castro e Preto, respectivamente) (Tabela 1). Altos valores

Tabela 1 - Valores médios, mínimos e máximos das variáveis limnológicas nos diferentes tipos de águas da bacia do rio Itanhaém

	RIO MAMBU			RIO CASTRO			RIO PRETO			RIO BRANCO			RIO ITANHAÉM			RIO GUAJÁ		
	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx
T(°C)	19,06	13,80	22,80	21,23	15,20	26,00	21,47	16,20	27,30	21,97	16,70	28,30	22,38	17,30	27,00	22,92	17,60	29,00
pH	5,75	4,72	7,55	4,69	3,08	7,54	5,08	4,14	7,30	5,76	4,95	6,76	6,76	5,53	7,90	6,62	5,77	8,05
Cond(µS/cm)	13,58	0,00	90,00	39,19	0,00	250,00	25,88	0,00	49,00	120,24	3,00	532,00	11594,1	0,00	56100,0	6318,7	0,00	21500
Sal(ppm)	2,71	0,00	30,00	5,63	0,00	30,00	4,29	0,00	20,00	19,61	0,00	200,00	2252,62	0,00	14600,0	1676,7	0,00	13400
O2(%)	98,19	72,42	114,92	23,03	0,00	64,23	59,49	23,58	79,54	78,61	59,52	100,10	68,21	42,55	95,87	19,24	1,10	88,11
Alc(Meq/L)	0,20	0,02	1,15	0,06	0,00	0,22	0,20	0,00	1,14	0,24	0,02	1,15	0,90	0,00	2,33	1,11	0,09	1,74
CAL	1,64	0,32	5,38	5,41	2,27	9,46	4,04	1,05	7,71	2,47	0,101	6,07	3,51	1,12	9,53	7,06	2,01	18,91
MatS(mg/L)	2,86	0,11	13,20	6,34	0,00	191,20	5,47	1,00	17,60	8,67	0,63	66,33	29,51	4,60	132,00	26,10	5,83	65,00
NO2(µg/L)	4,31	0,00	20,81	9,92	0,00	24,70	12,20	0,00	104,80	8,39	0,01	99,48	12,32	0,00	213,70	20,85	0,02	53,20
NO3(µg/L)	90,20	0,00	447,21	40,92	0,00	222,10	34,74	0,00	181,85	72,31	0,00	331,46	47,97	0,00	284,90	56,84	0,06	259,02
NH4(µg/L)	2,40	0,00	21,60	12,29	0,00	165,90	7,40	0,00	107,90	3,71	0,00	24,29	6,26	0,00	20,43	102,25	1,15	622,5
ND(mg/L)	0,22	0,07	0,35	0,25	0,00	0,40	0,25	0,08	0,40	0,23	0,00	0,35	0,31	0,11	1,10	1,20	0,28	2,52
NT(mg/L)	0,31	0,07	0,63	0,34	0,14	0,56	0,33	0,14	0,56	0,32	0,00	0,70	0,47	0,00	1,45	1,42	0,42	2,94
PO4(µg/L)	18,46	0,00	90,00	15,77	0,00	77,00	17,55	0,00	88,00	20,13	0,00	92,00	15,76	0,00	88,00	54,49	0,12	174,2
PD(µg/L)	27,01	0,00	91,82	27,88	0,38	68,00	30,57	3,31	125,00	26,50	2,16	85,00	29,97	5,97	77,57	97,35	11,21	300,4
PT(µg/L)	39,07	2,62	194,10	36,77	4,57	80,83	45,63	6,60	179,90	44,54	5,15	142,10	58,83	9,35	417,80	152,04	19,75	545,6

de oxigênio em águas claras também foram obtidos por PETRUCIO (1998) em lagoas costeiras do norte do Rio de Janeiro. Os valores da porcentagem de saturação de oxigênio em torno de 100% nos rios de águas claras da bacia podem ser atribuídos aos solos pobres, à grande declividade do terreno e ao pequeno número de produtores primários, consumidores e decompositores, além da grande turbulência da água. Baixos valores de oxigênio em águas pretas foram destacados por JANZEN (1974) para os rios Amazônicos, e POR (1986) para o rio Una do Prelado. Estes baixos valores podem ser atribuídos à baixa penetração de luz que restringe a produção primária e/ou ao alto consumo de oxigênio por organismos decompositores de matéria orgânica (substância húmicas).

Em relação ao coeficiente de atenuação de luz na bacia do Itanhaém, os maiores valores, ou seja, onde há menor penetração de luz na coluna d'água, foram observados nos rios de águas pretas. Valores intermediários foram observados para rios de águas brancas e menores valores para rios de águas claras. Estas diferenças se devem, principalmente, pela coloração da água que absorve e/ou reflete maior ou menor quantidade de luz. Outra variável que pode influenciar na absorbância e na refletância da luz é a quantidade de material em suspensão. Os valores desta variável na bacia do rio Itanhaém não apresentam diferença significativa ($p < 0,05$) entre o rio Preto e o rio Branco (5,47mg/L e 8,67mg/L, em média respectivamente (Tabela 1). PETRUCIO (1998) também observou que a diferença de penetração de luz em lagoas costeiras classificadas como de águas brancas e pretas do norte do Rio de Janeiro se dá pela coloração da água, pois não observou diferença significativa entre os valores de material em suspensão.

Nos rios Amazônicos, as maiores valores de transparência ocorrem nos rios de águas claras, valores intermediários nas águas pretas e menores nas águas brancas (SIOLI, 1968). A diferença de transparência entre os rios de águas claras e pretas se deve à diferença de cor, e destes dois para as águas brancas, pela maior quantidade de material em suspensão nas águas brancas (PATEL et al, 1999).

As águas poluídas na bacia do rio Itanhaém, representado pelo rio Guaú, caracterizam-se por baixos valores de porcentagem de saturação de oxigênio, que chegam a ser de 0% em algumas amostragens, altos valores de coeficiente de atenuação de luz e material em suspensão e altas concentrações de nitrogênio e fósforo.

Variação espacial das características físico-químicas e biológicas da água

Os diferentes rios da bacia do rio Itanhaém foram ordenados por uma análise de componentes principais, utilizando variáveis limnológicas coletadas entre 1994 e 1999.

Nesta análise, foram obtidos três fatores (Fator 1, 2 e 3) que explicam, somados, 82% da variação total dos dados. Na representação gráfica (Figura 4) foram utilizados os dois primeiros fatores que explicam 65% da variação total dos dados.

Em relação ao Fator 1, os pontos de coleta que estão mais a direita do gráfico (1, 2 e 3) são os pontos que apresentam maiores valores de pH, condutividade elétrica, turbidez, material em suspensão e nitrogênio total, ou seja, os pontos localizados na parte inferior da bacia hidrográfica. Estas variáveis correlacionam-se positivamente com o Fator 1.

Os pontos localizados na região central da bacia (4, 5, 6, 7 e 11) apresentam valores intermediários de pH, condutividade elétrica, turbidez, material em suspensão e nitrogênio total. E os pontos situados mais distantes da foz da bacia (8, 9, 10 e 12) são os que apresentam os menores valores de pH, condutividade elétrica, turbidez, material em suspensão e nitrogênio total.

Em relação ao Fator 2, as variáveis porcentagem de saturação de oxigênio e nitrato correlacionam-se positivamente e a variável coeficiente de atenuação de luz correlaciona-se negativamente com o Fator 2.

O ponto 8 é o que apresenta valores mais elevados de coeficiente de atenuação de luz, e menores valores de porcentagem de saturação de oxigênio e nitrato. Os pontos localizados na parte central do gráfico apresentam valores intermediários de coeficiente de atenuação de luz, porcentagem de saturação de oxigênio e nitrato, como, por exemplo, o ponto 12. O ponto 9 é o que apresenta os menores valores de coeficiente de atenuação de luz, e maiores valores de porcentagem de saturação de oxigênio e nitrato.

Os resultados obtidos mostram diferenças espaciais na bacia hidrográfica do rio Itanhaém. O Fator 1 (eixo "x") da análise de componentes principais evidencia um gradiente de características físicas e químicas na bacia hidrográfica, relacionado com a distância da foz da bacia hidrográfica.

Existe, portanto, um gradiente negativo de influência marinha no sentido foz - cabeceira, resultado este observado, também, em algumas lagoas costeiras do norte do Rio de Janeiro, por PETRUCIO (1998).

O Fator 2 ordena os diferentes tipos de águas existentes na bacia do rio Itanhaém. Os pontos localizados na parte inferior esquerda da Figura 4 (6, 7, 8, 10 e 11) são os localizados nos rios de água preta, os pontos (4 e 5) situados na parte intermediária são os localizados no rio Branco e o ponto localizado na parte superior (9) é o correspondente à água clara (rio Mambú). A Análise de Componentes Principais, aplicada aos valores das variáveis físicas e químicas, evidencia o gradiente longitudinal na bacia hidrográfica, sugerindo que o conceito do contínuo fluvial (VANNOTE et al, 1980) pode explicar o funcionamento da bacia do rio Itanhaém. No entanto, como demonstrado por outros autores (COLONNELLO, 1990; SKOULIKIDIS, 1993) a geologia é um importante elemento fisiográfico que define as características limnológicas. Para a bacia do rio Itanhaém, CAMARGO et al (1997a) demonstraram a influência da geologia sobre as características limnológicas de alguns rios.

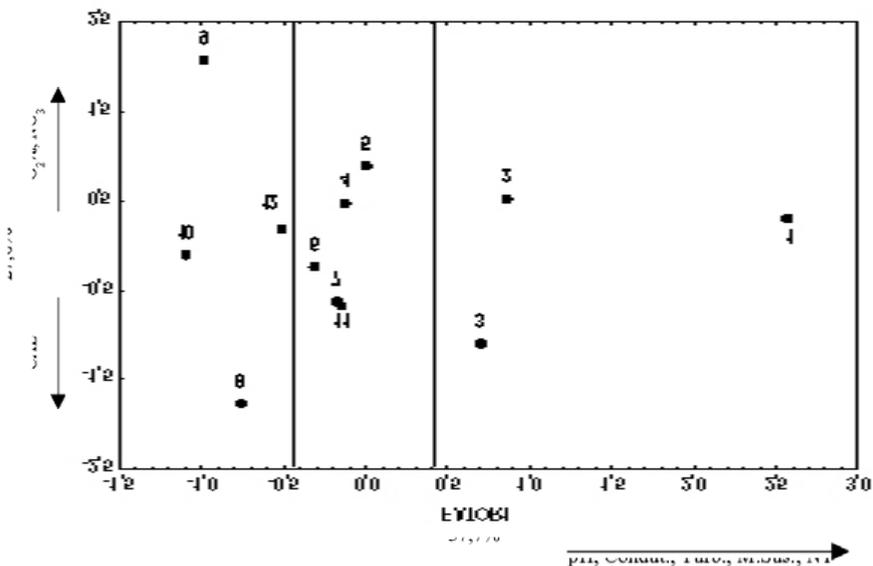


Figura 4 - Análise de Componentes Principais dos diferentes pontos de coleta da Bacia do Rio Itanhaém

Variação temporal das características físico-químicas e biológicas da água

As características limnológicas na Bacia do Rio Itanhaém não apresentam um padrão sazonal bem definido, e algumas variáveis apresentam grande amplitude de variação dentro de uma mesma época do ano, ao contrário de rios de regiões temperadas e rios com grandes planícies de inundação em regiões tropicais, que apresentam um padrão de variação sazonal bem definido. Podem-se citar como exemplos os rios estudados no norte da Suécia (IVARSSON & JANS-SON, 1994), onde as principais funções de força que definem as variações das características limnológicas são a temperatura e o fotoperíodo (PAYNE, 1986), e os grandes rios amazônicos (JUNK, et al, 1989), os rios da bacia do rio Paraná (THOMAZ et al, 1997) e rio Mogi Guaçu (CAMARGO & ESTEVES,1995), que apresentam um padrão sazonal de variação controlado pelo pulso de inundação. O clima na região onde se localiza a bacia do rio Itanhaém tem pequena amplitude de variação sazonal, resultando em pequena variação sazonal das características limnológicas nos rios.

A principal amplitude de variação temporal das características limnológicas na bacia do rio Itanhaém é devido aos padrões de variação das marés e da intensidade das chuvas. As marés flutuam diariamente, fazendo com que os valores de salinidade na região do estuário variem de 580 ppm na maré baixa a 28800 ppm na maré alta (CARNAVALI, 1997). A influência das marés será mais intensa se coincidirem altas marés com baixos valores de pluviosidade.

Com relação às chuvas, elas apresentam um padrão sazonal de variação, com verões mais chuvosos e invernos mais secos. Embora a probabilidade de se obter dados limnológicos em períodos chuvosos seja maior no verão, existe também a possibilidade de se obter dados limnológicos, nos meses de inverno, sob a influência de fortes chuvas e nos meses de verão em períodos de pouca pluviosidade. Como as características limnológicas são influenciadas pela quantidade de chuvas (THOMAZ et al, 1997) e como o padrão sazonal de chuvas na região de Itanhaém não é bem definido, as características limnológicas também não apresentam este padrão.

As características biológicas reforçam as evidências apresentadas pelas características físicas e químicas. OLIVEIRA (1999) em um estudo

sobre tecamebas e foraminíferos associados ao sedimento superficial de rios da bacia do rio Itanhaém, verificou um gradiente de distribuição destes organismos no sentido longitudinal da bacia, relacionado ao gradiente de características físicas e químicas. Um estudo sobre distribuição de macrófitas aquáticas na bacia hidrográfica também evidencia um gradiente de distribuição destes vegetais no sentido foz-cabeceira e a relação entre características físicas e químicas da água com sua presença ou ausência. A Figura 5 mostra os dendogramas de agrupamento dos locais de coleta baseado em características físicas e químicas e o baseado na ocorrência de macrófitas aquáticas. Pode-se observar que os agrupamentos apresentam grande semelhança.

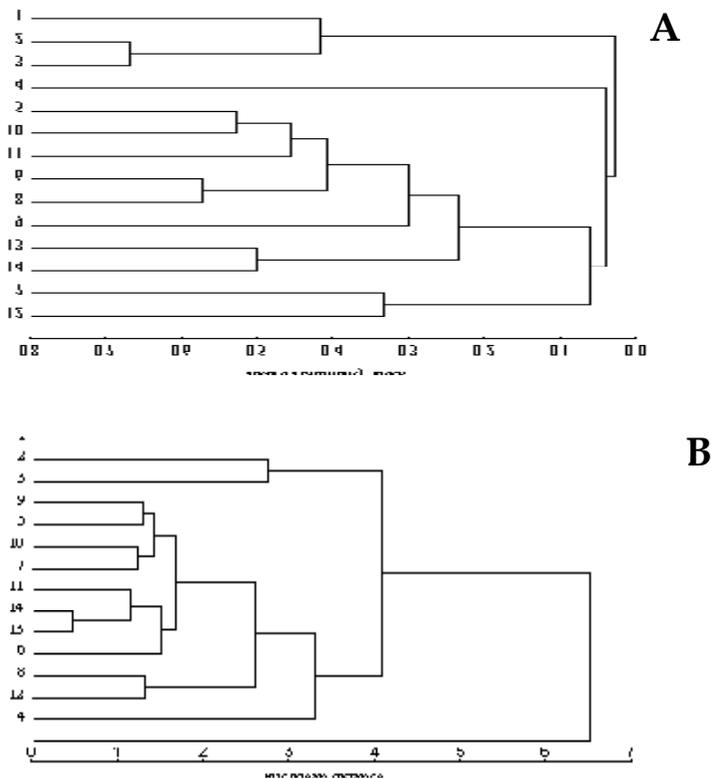


Figura 5 - Dendrograma da classificação de 14 pontos de amostragem baseado na ocorrência de macrófitas aquáticas (A) e nas características físicas e químicas da água (B)

De fato, na região do estuário ocorrem *Spartina alterniflora* e *Scirpus californicus*, na parte média *Eichhornia azurea*, *Salvinia molesta*, *Pistia stratiotes*, *Utricularia foliosa*, *Nymphaea rudgeana*, dentre outras e, na parte superior, região próxima à Serra do Mar, as espécies submersas *Egeria densa* e *Cabomba furcata*.

Os gradientes de distribuição de organismos na região estuarina também foram evidenciados por PEREIRA (2000) estudando copépodos planctônicos. Esse autor observou um gradiente, com maior abundância de espécies marinhas e estuarinas na parte inferior do estuário e maior abundância de espécies de água doce na parte superior do estuário; além disso, também observou um gradiente decrescente no índice de diversidade neste mesmo sentido.

Além dos gradientes longitudinais, os estudos sobre comunidades biológicas têm evidenciado a influência dos diferentes tipos de água na distribuição das espécies. SIQUEIRA (1993), estudando a fauna de macroinvertebrados associados a macrófitas aquáticas nos rios Branco e Preto, observou uma associação dependente tanto da espécie vegetal como do tipo de água.

Os impactos antrópicos nos rios da bacia também têm mostrado como os impactos influenciam nas comunidades bióticas. RIZZO (1994) observou número extremamente elevado de bactérias heterotróficas e coliformes fecais no rio Guaú, que recebe grande carga de esgotos domésticos, e número reduzido destas bactérias no rio Mambú, que drena uma área de conservação e tem águas captadas para abastecimento urbano. PEREIRA (2000), em uma análise qualitativa e quantitativa da comunidade de copépodos planctônicos na região do estuário do rio Itanhaém, verificou diferenças significativas ($p < 0,05$) entre o número de nauplius em um local submetido ao lançamento de esgotos, em comparação com locais não impactados. CAMARGO et al (1997b) também evidenciaram o efeito da atividade de mineração de areia sobre a estrutura da comunidade de macrófitas aquáticas. Os autores mostram que, no rio Branco, onde a atividade de mineração de areia é intensa, há uma dominância de *Eichhornia azurea*, enquanto no rio Preto, no qual a atividade é pequena e esporádica, há uma maior equitabilidade entre as espécies.

Considerações finais

Os estudos ecológicos que vêm sendo desenvolvidos na bacia hidrográfica do rio Itanhaém têm demonstrado que existe uma relação entre características de relevo, geologia e uso e ocupação do solo, com as características limnológicas dos rios, tanto características físicas e químicas como características de algumas comunidades aquáticas. Pode-se também observar que a bacia apresenta um gradiente longitudinal de características físicas, químicas e biológicas, o que permite supor que o conceito do contínuo fluvial proposto por VANNOTE et al (1980) aplica-se à bacia do rio Itanhaém. No entanto, características particulares das sub-bacias, especialmente as geológicas, determinam características limnológicas particulares, especialmente os diferentes tipos de água. Além disso, como já evidenciado para outras bacias, os fortes impactos antrópicos, tais como o lançamento de esgotos orgânicos, descaracterizam tanto os gradientes, como a influência das características fisiográficas. Devido às características diversificadas da bacia do rio Itanhaém, esta bacia hidrográfica tem sido um excelente local para estudos de relações ecológicas e de desenvolvimento de técnicas para estudos de inter relações entre características dos ambientes terrestres e aquáticos. Finalmente, destacamos que a abordagem que considera a bacia hidrográfica como unidade de estudo e a visão ecológica neste tipo de estudo produz informações de aplicabilidade imediata para o uso racional dos ecossistemas e o desenvolvimento teórico de conceitos ecológicos.

Referências Bibliográficas

CAPÍTULO 1

- BORMANN, F. H. & LIKENS, G. E.. Nutrient cycling. **Science** **155**:424-429. 1967.
- CONNELL, J. H. Diversity in tropical rain forests and coral reefs. **Science** **199**:1302-1310. 1978.
- DASMANN, R. F.; MILTON, J. P. & FREEMAN, P. H.. **Ecological Principles for Economic Development**. Washington D. C., USA. John Wiley & Sons Ltd. 1973.
- ELWOOD, J.W., NEWBOLD, J.D., O'NEILL, R.V. & VAN WINKKLE, V. Resource Spiralling an Operational Paradigm for Analysing Lotic Ecosystem. pp 3-27 In: T.D. Fontaine & S.M. Bartell (Eds) Ann Arbor Science Publishers, An Arbor, 1983.
- FORBES, F. J. & HODGES, R. C.. New Approaches to Comprehensive Planning in Canada. **Water Resources Bulletin**, **7**:(5) ,1971.
- FORMAN, R.T.T. Land Mosaics. **The Ecology of Landscapes and Regions**. New York. Cambridge University Press. 1995.
- GOLLEY, F.B. **A History of the Ecosystem Concept in Ecology**. Yale University Press, New Haven, CT. 254 p. 1993.
- HANSSON, L., FAHRIG, L. & MERRIAM, G. (Eds) **Mosaic Landscape and Ecological Processes**. IALE Studies in Landscape Ecology 2, Chapman & Hall, London. 1995.
- JUNK, W.J., BAYLEY, P.B. & SPARKS, R.B. The Flood Pulse Concept in River-Floodplain Systems. pp 110-127. In: D.P. Dodge (Ed). **Proceedings of the International Large River Symposium**. Can. Spec. Pub. Fish. Aquat. Sci. 106, 1989.
- LIMA, M. A.. **Avaliação da Qualidade Ambiental de uma Microbacia no Município de Rio Claro - SP**. UNESP, Rio Claro, SP. 1994. 264 p. (Tese de Doutorado).
- LIKENS, G. **An Ecosystem Approach: Its Use and Abuse**. Excellence in Ecology, Book 3. Ecology Institute, Oldendorf/Luhe Germany. 1992.
- NAVEH, Z. & LIEBERMAN, A.S. **Landscape Ecology. Theory and Application**. 2. Ed. Springer-Verlag, New York, 1993.
- ODUM, E. P.. **Ecologia**. Rio de Janeiro, Interciências. 1985.
- ODUM, E. P.. **Ecology and Our Endangered Life-supot Systems**. 2ª Ed. Sinauer Associates, Inc. Sunderland, 1993.
- O'SULLIVAN, P. E.. The Ecosystem - Watershed Concept in the Environmen-

- tal Sciences - A Review. **Intern. J. Environmental Studies**, 13:273-281. 1979.
- PIRES, J. S. R. & SANTOS, J. E.. Bacias Hidrográficas - Integração entre meio ambiente e desenvolvimento. **Ciência Hoje**. 19(110):40-45. 1995.
- PIRES, J.S.R. **Análise Ambiental voltada ao Planejamento e Gerenciamento do Ambiente Rural: Abordagem Metodológica Aplicada ao Município de Luiz Antônio - SP**. (Tese de Doutorado), PPG-ERN, UFSCar, 1995.
- POLLETE, M.. **Planície do Perequê/Ilha de São Sebastião - SP. Diagnóstico e Planejamento Ambiental Costeiro**. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 1993. (Dissertação de Mestrado).
- ROCHA, O.; PIRES, J.S.R. & SANTOS, J.E. A Bacia Hidrográfica como unidade de estudo e planejamento. Cap 1: 1-16, In: Espíndola, E.L.G.; SILVA, J.S.V.; MARINELLI, C.E. & ABDON, M.M. (Orgs). **A Bacia Hidrográfica do Rio Monjolinho**. Rima. São Carlos, 2000.
- ROSS, J. L. S. & DEL PRETTE, M. E. Termo de Referência do Zoneamento Ecológico-Econômico da Área de Influência da BR 174 - NE-AM e Roraima, In: MMA - Ministério de Meio Ambiente - SCA - Secretaria da Amazônia - Brasília, 90p. 1997.
- ROSS, J.L.S. & DEL PRETTE, M.E. Recursos Hídricos e as Bacias Hidrográficas: âncoras do planejamento e gestão ambiental. **Revista do Departamento de Geografia n° 12**, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, Humanitas, 1998.
- STEINITZ, C. A framework for theory applicable to the education of landscape architects and other environmental design professionals. **Landscape Journal**, October 1990a.
- STEINITZ, C. "Toward a sustainable landscape with high visual preference and high ecological integrity: The loop road in Acadia National Park, USA" **Landscape and Urban Planning**, 19:213-50, 1990b.
- STEINITZ, C. et al. (eds.), **Alternative futures for the Snyderville Basin, Summit County, Utah**. Cambridge, MA, Harvard University Graduate School of Design, 1991.
- TANSLEY, A.G. The use and abuse of vegetational concepts and terms. **Ecology** 16:284-307. 1935.
- VANOTE, R.L., MINSHALL, G.W., CUMMINS, K., SEDELL, J.R. & CUSHING, C.E. The River Continuum Concept. **Can J.Fish. Aquat. Sci.**, 37:130-137.

CAPÍTULO 2

- ALLISON, F. E. **Soil organic matter and its role in crop production**. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, 1973. 637p.
- ARCEIVALA, S. J. **Wastewater treatment and disposal. Engineering and ecology in pollution control**. New York, Marcel Dekker, 1981.

- AYOADE, J.O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 5ª edição. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 1998. 332p.
- BARRY, R. G. & CHORLEY, R. J. **Atmosphere, weather and climate**. 3ª edição. Methuen, Londres, 1976.
- BRUNDTLAND, G. H. **Global Change and Our Common Future**. Global Change and Our Common Future Forum, Washington DC, 1989.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. Editora Edgard Blücher, São Paulo, 1999.
- FERREIRA, A. B. H. **Dicionário Aurélio Básico da Língua Portuguesa**. J. E. M. M. Editores Ltda, São Paulo, 1988.
- FONSECA, E. **Iniciação ao Estudo dos Resíduos Sólidos e da Limpeza Pública**. Gráfica e Editora A União, João Pessoa, 1999.
- GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 3ª edição. Bertand Brasil, Rio de Janeiro, 1998. 472p.
- HADLEY et al. **Recent developments in erosion and sediment yield studies**. Technical documents in hydrology. International Hydrological Programme, UNESCO, Paris, 1985. 127p.
- HUDSON, N. W. **An introduction to the mechanics of soil erosion under conditions of sub-tropical rainfall**. Proc. Trans. Rhod. Sci. Ass., 49, 1961. p:15-25.
- IPT. **Lixo Municipal – Manual de gerenciamento integrado**. São Paulo: IPT/ Cempre, 1995.
- LANDSBERG, H. E. **Climates and Urban Planning**. In: Urban Climates. Geneva, World Meteorological Organization, 1970.
- MAIDMENT, D.R. **Handbook of Hidrology**. McGraw-Hill, New York, 1992.
- METCALF & EDDY, Inc., Boston. **Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse**. Metcalf & Eddy, Inc., 3ª ed., 1991.
- MOTA, S. **Preservação e conservação dos recursos hídricos**. 2ª edição. ABES, Rio de Janeiro, 1995. 200p.
- MOTA, S. **Urbanização e meio ambiente**. ABES, Rio de Janeiro, 1999. 352p.
- NAIMAN, R.J.; LONZARICH, D.G.; BEECHIE, T.J. & RALPH, S.C. General Principles of Classification and the Assesment of Conservation Potential in Rivers. In: BOOM, P.J.; CALOW, P.; PETTS, G.E. (eds). **River Conservation and Management**. John Wiley & Sons Ltd., 1992. p. 95-122.
- OLIVEIRA, A. M. S. & BRITO, S. N. A. (Editores). **Geologia de Engenharia**. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, São Paulo, 1998. 586p.
- PEAVY, H. S., HOWE, D. R. & TCHONOGLOUS, G. **Environmental Engineering**. New York, McGraw-Hill, 1985.
- PEIXOTO, J. P. e OORT, A.H. **Le cycle de l'eau et le climat**. La Recherche Spécial: L'eau, 1990, v.21, p. 570-579.
- PORTO, R.L.L. (org.). **Hidrologia Ambiental**. São Paulo: Editora da Uni-

versidade de São Paulo: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1991.
- (Coleção ABRH de Recursos Hídricos; V.3)

PESSOA, C. A. & JORDÃO, E. P. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 2ª ed. Rio de Janeiro, ABES, 1982.

QASIM, S. R. **Wastewater treatment plants: planning, design and operation**. Holt, Rinehart and Winston, New York, 1985.

REED, A.H. **Accelerated erosion of arable soils in the United Kingdom by rainfall and runoff**. Outlook on Agriculture, 10, 1, 1979, p:41-48.

SÃO PAULO. **Plano Estadual de Recursos Hídricos**. Conselho Estadual de Recursos Hídricos, 1990. Síntese. 97p.

SATO, M. E. e SANTOS, J. E. **Agenda 21: em sinopse**. - São Carlos: EdUFS-Car, 1999. 60p.

TUCCI, C. E. M. (Org.) **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Ed. da Universidade: ABRH: EDUSP, 1993.

VERHAEGHE, R. J. e KROGT, W. N. M. van der. **Decision support system for river basin planning**. In Hydroinformatics '96 (MÜLLER, A., Ed.). Rotterdam, A. A. Balkema, 87-94, 1996.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Marcos von Sperling. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 1995.

CAPÍTULO 3

BONTA, J.V., RAO, A.R. Estimating peak flows from small agricultural watersheds. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 118, n. 1, p. 122 - 137, 1992.

BOSCH, J. M., HEWLETT, J.D. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. **Journal of Hydrology** 55:3 - 23. 1982.

CALASANS, N.A.R. **Analysis of the Rainfall-Runoff Relationship for the Rio Canar Watershed (Ecuador) Using Monthly Values**. Master's Dissertation nr.66. Katholieke Universiteit Leuven - Centre For Irrigation Engineering. Leuven - Belgium. 1989. 87 p.

DINGMAN, S. L. **Physical Hydrology**. Prentice Hall, Inc, 1994. 575 p.

DOORENBOS, J., PRUITT, W. O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Irrigation and Drainage Paper 24, FAO, Rome, 179p. 1977.

GARCEZ, L. M., ALVAREZ, G.A. **Hidrologia**. 2 ed. Editora Edgard Bluscher LTDA, 1988. 291p.

HEWLETT, J.D., HIBBERT, A. R. Increase in water yield after several types

of forest cutting. **International Association of Scientific Hydrology Bulletin** 6:5 – 17. 1961.

HEWLETT, J.D., HIBBERT, A. R. Moisture and energy conditions within a sloping soil mass during drainage. **Journal of Geophysical Research** 68:1081 – 1087. 1963.

JENSEN, M. E., BURMAN, R. D., Allen, R. G. **Evapotranspiration and irrigation water requirements**. New York, ASCE. 1990. 332p (Manuals and reports 70).

MCMILLAN, W.D., BURGY, R.H. Interception loss from grass. **Journal of Geophysical Research** 65:2387 – 2394. 1960.

PRUSKI, F.F., SILVA, D.D. Escoamento Superficial. **Caderno Didático n. 26**. UFV, Imprensa Universitária. 1997.

SINGH, V.P. **Elementary Hydrology**. Prentice Hall, Englewood, NJ07632, 1992. 973 p.

SHAWAB, G.O., FREVERT, R.J., EDMINSTER, T.W. et al. **Soil and Water Conservation Engineering**. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1966. 683p.

VIANELLO, R. L., ALVES, A.R. **Meteorologia Básica e Aplicações**. Viçosa, UFV, Imprensa Universitária, 1991.

WOODWARD, F. I. **Climate and Plant Distribution**. Cambridge, U.K.: Cambridge University Press.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Guide to Hydrometeorological Practices**. 3 ed.. Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization Technical Paper 82.

CAPÍTULO 4

AGOSTINHO, A.A.; JÚLIO JR, H.F.; BORGHETTI, J.R. Considerações sobre os impactos dos represamentos na ictiofauna e medidas para sua atenuação. Um estudo de caso: Reservatório de Itaipu. **Revista Unimar**, v. 14, p. 90-107. 1992.

AGOSTINHO, A.A.; JÚLIO JR, H.F.; GOMES, L.C.; BINI, L.M.; AGOSTINHO, C.S. Composição, abundância e distribuição espaço-temporal da ictiofauna. In: VAZZOLER, A.E.A.M., et al, (eds.). (eds.). **A planície de inundação do Alto Rio Paraná. Aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos**. Maringá: EDUEM: NUPÉLIA, 1997. p. 179-208.

AGOSTINHO, A.A.; ZALEWSKI, M. **A Planície Alagável do Alto Rio Paraná: Importância e Preservação**. Maringá: EDUEM-NUPÉLIA, 100 p.

ALLAN, J.D. & FLECKER, A.S. Biodiversity and conservation in running waters. **Bioscience**, v. 43, n. 1, p. 32-43. 1993.

ALLAN, J.D. & JOHNSON, L.B. Catchment-scale analysis of aquatic ecosystems. **Freshwater Biology**, v. 37, p. 107-111. 1997.

- ALLAN, J.D.; ERICKSON, D.L.; FAY, J. The influence of catchment land use on stream integrity across multiple spatial scales. **Freshwater Biology**, v. 37, p. 149-161. 1997.
- ASPINALL, R.J. & PEARSON, D. Integrated geographical assessment of environmental condition in water catchments: linking landscape ecology, environmental modelling and GIS. **Journal of Environmental Management**, v. 59, p. 299-319. 2000.
- ASSAD, E.D. & SANO, E.E. **Sistema de Informações Geográficas - Aplicações na Agricultura**. 2 ed. Brasília: EMBRAPA. 1998. 434 p.
- AUGUST, P.; BAKER, C.; LABASH, C.; SMITH, C. The Geographic Information System for storage and analysis of biodiversity data. In: WILSON, D.E., et al, (eds.). **Measuring and Monitoring Biological Diversity. Standard Methods for Mammals**. Washington: Smithsonian Institution Press, 1996. p. 235-24.
- BRYCE, S.A. & CLARKE, S.E. Landscape-level ecological regions: linking state-level ecoregion frameworks with stream habitat classifications. **Environmental Management**, v. 20, n. 3, p. 297-311. 1996.
- COCHRANE, T.A. & FLANAGAN, D.C. Assessing water erosion in small watersheds using WEPP with GIS and digital elevation models. **J. Soil Water Conserv.**, p. 678-685. 1999.
- COOPER, S.D.; DIEHL, S.; KRATZ, K.; SARNELLE, O. Implications of scale for patterns and processes in stream ecology. **Australian Journal of Ecology**, v. 23, p. 27-40. 1998.
- CUNJAK, R.A. Winter habitat of selected stream fishes and potential impacts from land-use activity. **Canadian Journal Of Fisheries And Aquatic Sciences**, v. 53, p. 267-282. 1996.
- DAVIS, F.W.; STOMS, D.M.; ESTES, J.E.; SCEPAN, J.; SCOTT, J.M. An information systems approach to the preservtion of biological diversity. **International Journal of Geographical Information Systems**, v. 4, p. 55-78. 1990.
- EASTMAN, J.R. 1997. **IDRISI for Windows: User's Guide version 2.0. Introduction**. Worcester: Graduate School of Geography, Clark University. p.1-1 a 3-19.
- EHLERS, M., Remote Sensing and Geographic Information Systems: Advanced Technologies for Environmental Monitoring and Management, In: Singroy, V.H., D.D. Nebert, and A.I. Johnson (Eds.), **Remote Sensing and GIS for Site Characterization: Applications and Standards**, ASTM STP 1279, West Conshohocken, PA, pp. 17-25. 1996.
- FAO Planificación y ordenación de cuencas hidrográficas con ayuda de computadora. Tecnologías para planificación nacional. **Cuadernos Técnicos de la FAO. Guías FAO: Conservación**, v. 28, n. 1, p. 1-94. 1996.
- FARINA, A. **Principles and methods in landscape ecology**. London: Chapman & Hall. 1998. 235 p.

- FITZGERALD, J.; HARDY, T.; GEIER, T. Development of a geomorphic risk assessment and use of GIS applications in the Middle Fork Payette river subbasin, Idaho. In: SLAUGHTER, C.W., (ed.) **Proceedings of the 7th Biennial Watershed Management Conference: Western Watersheds - Science, Sense, Strategies**. Davis: University of California, 2000. p. 131-134.
- GARNIER, J. & MOUCHEL, J.-M. A basin scale framework for the study of human pressure on river system functioning. **Hydrobiologia**, v. 410, p. ix-xii. 1999.
- GOODCHILD, M.F. & QUATTROCHI, D.A. **Scale in Remote Sensing and GIS**. Boca Raton: CRC Lewis. 1997.
- GRIFFITH, G.E.; OMERNIK, J.M.; WOODS, A.J. Ecoregions, watersheds, basins and HUCs: How state and federal agencies frame water quality. **J. Soil Water Conserv.**, p. 666-677. 1999.
- GUSTAFSON, A.; FLEISHER, S.; JOELSSON, A. A catchment-oriented and cost-effective policy for water protection. **Ecological Engineering**, v. 14, p. 419-427. 2000.
- HILDEBRAND, R.H. & KERSHNER, J.L. Conserving inland cutthroat trout in small streams: how much stream is enough? **North American Journal of Fisheries Management**, v. 30, p. 513-520. 2000.
- HUNSAKER, C.T. & LEVINE, D.A. Hierarchical approaches to the study of water quality in rivers. **Bioscience**, v. 45, n. 3, p. 193-203. 1995.
- JOHNSON, L.B. & GAGE, S.H. Landscape approaches to the analysis of aquatic ecosystems. **Freshwater Biology**, v. 37, p. 113-132. 1997.
- JOHNSON, L.B.; RICHARDS, C.; HOST, G.E.; ARTHUR, J.W. Landscape influences on water chemistry in mid-western stream ecosystems. **Freshwater Biology**, v. 37, p. 193-208. 1997.
- JOHNSTON, C.A. 1993. Introduction to quantitative methods and modeling in community, population, and landscape ecology. pp. 276-283. In M.R. Goodchild, B.O. Parks, and L.T. Steyaert (eds.) **Environmental Modeling with GIS**. Oxford University Press.
- JOHNSTON, C.A. **Geographic Information Systems in Ecology**. Oxford: Blackwell Science Ltd. 1998. 239 p.
- LEWIS, C.A.; LESTER, N.P.; BRADSHAW, A.D.; FITZGIBBON, J.E.; FULLER, K.; HAKANSON, L.; RICHARDS, C. Considerations of scale in habitat conservation and restoration. **Canadian Journal Of Fisheries And Aquatic Sciences**, v. 53, n. Suppl.1, p. 440-445. 1996.
- MALTHUS, T.J.; BENNET, S.; NORTH, S.; ACE, C.J. Remote Sensing as a Tool for Monitoring Inland Waters. In: BOON, P.J.; HOWELL, D.L., (eds.). **Freshwater Quality: Defining the Indefinable?** London: Scottish Natural Heritage/H.M.S.O., 1996. p. 181-187.
- MASON, D.M. & BRANDT, S.B. Space, time, and scale: new perspectives in

fish ecology and management. **Canadian Journal Of Fisheries And Aquatic Sciences**, v. 56, n. Suppl. 1, p. 1-3. 1999.

MATHER, M.E.; PARRISH, D.L.; FOLT, C.L.; DEGRAAF, R.M. Integrating across scales: effectively applying science for the successful conservation of Atlantic salmon. **Canadian Journal Of Fisheries And Aquatic Sciences**, v. 55, n. Suppl. 1, p. 1-8. 1998.

MEIXLER, M. S.; BAIN, M. B.; GALBREATH, G. H. **Aquatic Gap Analysis: tool for watershed scale assessment of fluvial habitat and biodiversity**. International Association for Hydraulic Research, Quebec, 1996, p. A665-A670.

MENDES, C.A.B.; GREHS, S.A.; JOHNSON, J. Uso Eficiente dos Recursos Hídricos com Apoio de Técnicas de Geoprocessamento. In: **GIS Brasil 99 - IV Congresso e Feira para usuários de geoprocessamento, Anais em CD-ROM**. Curitiba/PR. 1999.

MONTGOMERY, D.R.; Grant, G.E.; Sullivan, K. Watershed analysis as a framework for implementing ecosystem management. **Water Resources Bulletin**, v. 31, n. 3, p. 369-386, 1995.

NAIMAN, R.J.; TURNER, M.G. A future perspective on North America's freshwater ecosystems. **Ecological Applications**, v.10, p. 958-970, 2000.

NILSSON, C.; BERGGREN, K. Alterations of riparian ecosystems caused by river regulation. **BioScience**, v.50, n.9, p. 783-792, 2000.

NOVO, E.M.L.M.; LOBO, F.; CALIJURI, M.C. Remote sensing and geographical information system application to inland water studies. In: TUNDISI, J.G., et al, (eds.). (eds.) **Limnology in Brazil**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências/Sociedade Brasileira de Limnologia, 1995. p. 283-304.

OSBORNE, L.L. & WILEY, M.J. Empirical relationships between land use/cover and stream water quality in an agricultural watershed. **Journal of environmental management**, v. 26, p. 9-27. 1988.

RAHEL, F.J. & NIBBELINK, N.P. Spatial patterns in relations among brown trout (*Salmo trutta*) distribution, summer air temperature, and stream size in Rocky Mountains streams. **Canadian Journal Of Fisheries And Aquatic Sciences**, v. 56, n. Suppl. 1, p. 43-51. 1999.

RICHARDS, C.; JOHNSON, L.B.; HOST, G. Landscape-scale influences on stream habitats and biota. **Canadian Journal Of Fisheries And Aquatic Sciences**, v. 53, n. Suppl. 1, p. 295-311. 1996.

RICHARDS, C.; HARO, R.J.; JOHNSON, L.B.; HOST, G.E. Catchment and reach-scale properties as indicators of macroinvertebrate species traits. **Freshwater Biology**, v. 37, p. 219-230. 1997.

RODRIGUEZ, M. T.; HASENACK, H.; PUNDT, H. ; NOELLE, O. 1998. Tratamento de dados químicos em sistemas de informação geográfica. In: **GIS Brasil 98 - IV Congresso e Feira para usuários de geoprocessamento, Anais em CD-ROM**. Curitiba/PR.

- ROTH, N.E.; ALLAN, J.D.; ERICKSON, D.L. Landscape influences on stream biotic integrity assessed at multiple spatial scales. **Landscape Ecology**, v. 11, p. 141-156. 1996.
- SCHUMANN, A.H. & GEYER, J. GIS-based ways for considering spatial heterogeneity of catchment characteristics. **Phys. Chem. Earth (B)**, v. 25, n. 7-8, p. 691-694, 2000.
- SEE, R.B.; NAFTAZ, D.L.; QUALLS, C.L. GIS-assisted regression analysis to identify sources of selenium in streams. **Water Resources Bulletin**, v. 28, n. 2, p. 125-140. 1992.
- SHENG, T.C.; BARRETT, R.E.; MITCHELL, T.R. Using geographic information systems for watershed classification and rating in developing countries. **J. Soil Water Conserv.**, v. 52, n. 2, p. 84-89. 1997.
- SCHIEMER, F.; ZALEWSKI, M.; THORPE, J.E. Land/Inland ecotones: intermediate habitats critical for conservation and management. **Hydrobiologia**, v. 303, p. 259-264, 1995.
- TOEPFER, C.S., FISHER, W.L.; WARDE, W.D. A Multistage Approach to Estimate Fish Abundance in Streams Using Geographic Information Systems. **North American Journal of Fisheries Management**, v.20, p. 634-645, 2000.
- TUNDISI, J. G. **Limnologia no século XXI: perspectivas e desafios**. Instituto Internacional de Ecologia, São Carlos, 1999, 24 p.
- TUNDISI, J.G.; BARBOSA, F.A.R. Conservation of aquatic ecosystems: present status and perspectives. In: TUNDISI, J.G., et al, (eds.). (eds.). **Limnology in Brazil**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências/Sociedade Brasileira de Limnologia, 1995. p. 365-371.
- VAZZOLER, A.E.A.M.; AGOSTINHO, A.A.; HAHN, N.S. **A planície de inundação do Alto Rio Paraná. Aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos**. Maringá: EDUEM: NUPÉLIA. 1997. 460 p.
- WEBER, E. J.; DUARTE, G. F; FRANK, M.; HOFF, R.; ZOMER, S.; BASSANI, E.; JUNQUEIRA, I. Estruturação de sistemas de informação ambiental em bacias hidrográficas: o caso da bacia hidrográfica do rio Caí - RS. In: **GIS Brasil 98 - IV Congresso e Feira para usuários de geoprocessamento, Anais em CD ROM**, Curitiba/PR, 1998.
- WHILES, M.R.; BROCK, B.L.; FRANZEN, A.C.; DINSMORE II, S.C. Stream invertebrate communities, water quality, and land-use patterns in an agricultural drainage basin of northern Nebraska, USA. **Environmental Management**, v.25, n.5, p. 563-576. 2000.
- WILEY, M.J.; KOHLER, S.L.; SEELBACH, P.W. Reconciling landscape and local views of aquatic communities: Lessons from Michigan trout streams. **Freshwater Biology**, v. 37, p. 133-148. 1997.
- WILSON, J.P.; MITASOVA, H.; WRIGHT, D.J. Water Resource Applications of Geographic Information Systems. **URISA Journal**, v. 12, n. 2, p. 61-79, 2000.
- ZIEMER, R.R. Temporal and Spatial Scales. In: WILLIAMS, J.E., et al, (eds.).

Watershed Restoration: Principles and Practices. Bethesda: American Fisheries Society, 1997. p. 80-95.

CAPÍTULO 5

BRASIL, Constituição, 1988 (1989). **Constituição da República Federativa do Brasil**, 1988. São Paulo, Ed. Revista dos Tribunais.

BRASIL, Leis. etc. (1981). **Política Nacional de Meio Ambiente: lei 6.938 de 31 de agosto de 1981.** Dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente, seus afins e mecanismos de formulação e aplicação, constitui o Sistema Nacional do Meio Ambiente – SISNAMA e institui o Cadastro de Defesa Ambiental. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 2 de set. de 1981.

BRASIL, Leis. etc. (1997). **Política Nacional de Recursos Hídricos: lei 9.433 de 8 de janeiro de 1997.** Dispõe sobre a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 9 de jan. de 1997.

BRASIL. MEC/SEF. (1998) **Parâmetros Curriculares Nacionais: meio ambiente e saúde.** Secretaria de Educação Fundamental. Brasília, DF.

BRASIL, Leis. etc. (1999). **Política Nacional de Educação Ambiental: lei 9.795 de 27 de abril de 1999.** Dispõe sobre educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 28 abr. 1999.

NACIF, P.G.S. (1997). Nota de abertura de monografia. In OLIVEIRA, M.C.R. **As relações ambientais do Rio Cachoeira (Sul da Bahia)**. Ilhéus, Editus.

NOVAES, W. (1998). Programa Roberto D´Ávila (entrevista). Direção Roberto D´Ávila, Rio de Janeiro.

SANTOS, S A M; RUFFINO, P H P e SCHIEL, D. (2000). Programa de educação ambiental com a visão integrada de bacia hidrográfica: experiências da formação de docentes da rede pública de ensino. In: TUNDISI, J G; YAMAMOTO, Y E DIAS, J A K., eds. **São Carlos – 3º milênio, perspectivas para o Século XXI.** São Carlos, Prefeitura Municipal de São Carlos.

CAPÍTULO 6

ALMEIDA, R.C.; KUNIEDA, E.; PRATES, K.V.M.C.; SÉ, J.A.S.; GONZAGA, J.L. Experiências em Educação Ambiental. In: ESPÍNDOLA, E.L.G. SILVA, J.S.V.; MARINELLI, C.E. & ABDON, M.M. (Orgs) **A bacia hidrográfica do Rio Monjolinho: uma abordagem ecossistêmica e a visão interdisciplinar.** São Carlos: Ed. Rima. 2000. pp. 163-175.

- ANTÔNIO, M. P.; SAN SOLO, D. G.; CARVALHO, C.; RIGOLINO, R.; SILVA, V. J.; SOUZA, C. A.; ORELLA, M. A. Educação Ambiental na bacia do Rio Aricanduva, zona leste de São Paulo. **Cadernos IV Fórum - Guarapari** - ES. Agosto, 1997 (Cdrom);
- BATALHA, B. H. L.; Ameaça microscópica na água potável. **Ciência Hoje** vol. 25, n.145, pp. 28-34. Dezembro, 1998.
- BENAYAS, J. del A. **Paysaje y Educación Ambiental - Evaluación de cambios y actitudes hacia el entorno**. MOPT, 1992.
- BOON, P.J. & HOWELL, D.L. (eds.) **Freshwater quality: defining the indefinable?** Edinburgh: The Stationery Office. 1997. 552p.
- BORGES, J.R.P. **Percepção social da água**. 1999.
- BORMANN, F.H. & LIKENS, G.E. Nutrient cycling. **Science**, vol.155, n.3461, pp. 4524 - 429, 1967.
- BORTOLOZZI, A. 1997. **Educação Ambiental e o ensino de Geografia: bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá**. Tese de Doutorado. Campinas: FE/ UNICAMP.
- BORTOLOZZI, A. Relação teoria e prática nas atividades de Educação Ambiental: diagnóstico realizado nas escolas públicas em 53 municípios, inseridos na área das bacias dos Rios Piracicaba, Capivari, Jundiá, SP. In: MATA, S. F. et al (orgs). **Educação Ambiental, desafio do século: um apelo ético**. Ed. Terceiro Milênio, RJ, pp. 32-37. 1998.
- BORTOLOZZI, A.; PEREZ FILHO, A. Diagnóstico da Educação Ambiental no ensino de geografia. **Cadernos de Pesquisa**, n.109, pp. 145-171. Março, 2000.
- BRESSAN, D. **Gestão racional da natureza**. Editora Hucitec. São Paulo, 1996.111p.
- BROWN, L. R.; Crescimento populacional condena milhões à indigência hidrológica. Worldwatch Institute (www.worldwatch.org.br), 2000.
- CAESB - Companhia de Água e Esgotos de Brasília. **Orientação das atividades de vigilância nas bacias de captação**. (s/ data, s/ paginação).
- CARVALHO, Y. M. C.; PAVÃO, L. A.; BERGAMASCO, T.; OLIVEIRA, P. A.; NUNES, V. P.; NOGUEIRA, M.; MARTINELLI, M.; NETO, J. P. F.; CARVALHO, V. J. **Planejamento local participativo: a Educação Ambiental como instrumento para o desenvolvimento sustentável. Primeiros passos em duas microbacias do Estado de São Paulo** (mimeo).
- CEAM - Coordenadoria de Educação Ambiental - Secretaria de Estado do Meio Ambiente. **Educação Ambiental - a qualidade das águas**. S.P., 1998. 44p.
- CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. São Paulo. **Cartilha de Educação Ambiental**. S.Paulo, CETESB, 1984. 20p.
- COMITESINOS/UNISINOS - **Curso de capacitação em Educação Ambiental**. 71 p. (s/ data).

- D'AMBRÓSIO, U. **Transdisciplinaridade**. S.P.: Editora Palas Athena. 1997.
- DI GIOVANNI, P.C. **Proposta de um Programa de Educação Ambiental junto à população residente na Microbacia do Ribeirão Canchim**, São Carlos, S.P. PPGSEA/USP. Projeto de Pesquisa. 1998.
- DI GIOVANNI, P.C.; COSTA, G.G.G.; OLIVEIRA, H.T.; PRIMAVESI, O.; ROCHA FILHO, J. A Bacia Hidrográfica como unidade de estudo no desenvolvimento de um projeto de educação ambiental em uma escola pública de São Carlos, S.P. In: CONGRESSO GIS-BRASIL/99, 1999, Salvador, Ba. **Anais...** 19-23/Julho/1999.
- EDWARDS, R.W. Introduction. In: BOON, P.J. & HOWELL, D.L. (eds.) **Freshwater quality: defining the indefinable?** Edinburgh: The Stationery Office. 1997. pp. 1-6.
- FERREIRA, M.A.V. **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**. PPGSEA/USP. Projeto de Pesquisa. 2000.
- FIEN, J. **Environmental Education: a pathway to sustainability**. Geelong: Deakin University Press. 1993.
- FIGUEIREDO, J.B.A. **Representações sociais da água e Educação Ambiental: uma contribuição à consciência ecológica**. PPGERN/UFSCar. Projeto de Pesquisa. 1999.
- Folha do Meio Ambiente - *FHC: é hora de discutir desperdício*. Brasília, Junho/2001. p. 7.
- FREIRE, P. **Pedagogia da Autonomia: saberes necessários à prática educativa**. 8ª ed. S.P.: Ed. Paz e Terra, 1998.
- GEERTZ, C. - **O saber local: novos ensaios em antropologia interpretativa**. 4ª ed. Vozes, 2001.
- GOUGH, S., OULTON, C., SCOTT, W., Environmental education, management education and sustainability: exploring the use of adaptive concepts. **Environmental education and information**, Salford, U.K., v.17, n.4, p.367-380, 1998.
- GUERRA, C.B. & BARBOSA, F.A.R. **Programa de Educação Ambiental na Bacia do Rio Piracicaba. Curso básico de formação de professores na área ambiental**. Belo Horizonte: UFMG/ICB - FNMA/MMA. 1996.
- KUNIEDA, E. **Estudo da percepção e sensibilidade ambiental numa comunidade rural (CPPSE-EMBRAPA, Microbacia do Ribeirão Canchim, São Carlos, S.P.)** PPGSEA/USP. Projeto de Pesquisa. 1999.
- LEFF, E. **Epistemologia Ambiental**. Cortez Editora. 2001.
- LIMA, R.T. **Estudo comparativo sobre a percepção e a atitude de usuários da água em áreas rurais e urbanas em duas bacias hidrográficas do estado de São Paulo**. PPGSEA/USP. Projeto de Pesquisa. 2001.
- LUCAS, A.M. The role of science education in education for the environment.

The Journal of Environmental Education, vol.2 (2): pp. 32-37.1980/81.

MARIN, A.A. **Estudo da percepção ambiental dos moradores das zonas rural (ao longo do Rio da Prata) e urbana do município de Jardim/MS**. PPGERN/UFSCar. Projeto de Pesquisa. 2000.

MARQUES, P.H.C. **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. PPERN/UFSCar. São Carlos. 2000.

MARQUES, P.H.C. **Topofilia e Educação Ambiental no processo de ocupação dos mananciais da Bacia do Alto Rio Iguaçu - PR**. PPGERN/UFSCar. Projeto de Pesquisa. 2000.

MATHEUS, C. E.; CALIJURI, M. C.; MORAES, A. J. Contribuições do CRHEA na área de Educação Ambiental. **Anais... II Simpósio de Ciências da Engenharia Ambiental**. CRHEA - EESC - USP. pp. 132-34. 1997.

MATHEUS, C.E. & SÉ. J.A.S. Educação Ambiental e recursos hídricos: uma abordagem holística e sistêmica de bacia hidrográfica - a experiência do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada da Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo. **(no prelo)**

MÁXIMO-ESTEVES, L. **Da teoria à prática: Educação Ambiental com as crianças pequenas ou o Fio da História**. Porto: Porto Ed. 1998.

MAYER, M. Educación Ambiental: de la acción a la investigación. **Enseñanza de las Ciencias**, vol. 16, n.2, pp. 217-231. 1998.

MORIN, E. **Ciência com consciência**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil. 1998.

MUSETTI, R. A. **Da proteção jurídico ambiental dos recursos hídricos**. Editora de Direito. 2001. 377 p.

NALE, N.; OLIVEIRA, H.T.; FREITAS, D. Ambientalização curricular na formação inicial de professores: análise comparativa de estratégias de ensino-aprendizagem. **Anais... Encontro Pesquisa em Educação Ambiental: tendências e perspectivas**. Rio Claro: UNESP/Rio Claro - USP/Ribeirão Preto - UFSCar, Julho/2001.

OLIVEIRA, H.T. Perspectivas da Educação Ambiental voltada ao manejo e conservação de Recursos Hídricos. **Boletim da Soc. Brasileira de Limnologia** n.26. pp . 8-11, 1999.

OLIVEIRA, H.T.; CINQUETTI, H.S.; FREITAS, D.; NALE, N. A educação ambiental na formação inicial de professores. 23ª Reunião Anual da ANPED - Associação Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Educação. **Anais... CD-Rom** - URL www.anped.org.br. Setembro/2000.

PEGORARO, J.L. **Varjão de Paulínia (Represa de Americana, S.P.): a recuperação ambiental, a conservação da avifauna e o desenvolvimento de atividades educativas**. PPGSEA/USP. Projeto de Pesquisa. 1999.

- RAFFAINI, G. B.; CORIGLIANO, M. C. La cuenca como recurso didáctico en Educación Ambiental. **Revista de Educación en Biología**. pp. 32-36. 1998.
- RAVAGNANI, A.S. **Desenvolvimento de programas de Educação Ambiental utilizando a bacia hidrográfica como método de abordagem e ensino**. Dissertação de Mestrado. Rio Claro: PPG Conservação e Manejo de Recursos/CEA/UNESP. 1999.
- RAVEN, P.J.; FOX, P.; EVERARD, M.; HOLMES, N.T.H.; DAWSON, F.H. River habitat survey: a new system for classifying rivers according to their habitat quality. In: BOON, P.J. & HOWELL, D.L. (eds.) **Freshwater quality: defining the indefinable?** Edinburgh: The Stationery Office. 1997. pp.215-234.
- REIGOTA, M. **Meio Ambiente e Representação Social**. São Paulo, SP: Cortez, 1995.
- REIGOTA, M. **A floresta e a escola: por uma educação ambiental pós-moderna**. Cortez Editora.1999.
- RIBEIRO, I.C. **Educação Ambiental: uma proposta metodológica para conservação de recursos hídricos**. PPGERN/UFSCar. Projeto de Pesquisa. 1999.
- ROBOTTOM, I. & HART, P. **Research in Environmental Education: engaging the debate**. Geelong: Deakin University Press. 1993.
- ROCHA, O.; PIRES, J.S.R.; SANTOS, J.E. A bacia hidrográfica como unidade de estudo e planejamento. In: ESPÍNDOLA, E.L.G. SILVA, J.S.V.; MARINELLI, C.E. & ABDON, M.M. (Orgs) **A bacia hidrográfica do Rio Monjolinho: uma abordagem ecossistêmica e a visão interdisciplinar**. São Carlos: Ed. Rima. 2000. pp. 1-16.
- RUTKOWSKI, E. Bacia Hidrográfica e Bacia Ambiental. **Ligação. Ano 3, n. 7**. jan/fev/2000. Encarte B. SABESP. 32p.
- SACHS, I. Qual desenvolvimento para o século XXI? In: BARRÈRE, M. (coord.) **Terra - Patrimônio Comum**. S.P.: Nobel, 1992.
- SANTOS, K.C. 1999 **Avaliação de um projeto de Educação Ambiental desenvolvido em escolas públicas do ensino fundamental ("EA através da visão integrada de bacia hidrográfica e resíduos sólidos" - CDCC/USP)**. Dissertação de Mestrado - São Carlos: PPG- Ecologia e Recursos Naturais/UFSCar.
- SANTOS, R.A. 1998a **Educação e a conservação da Bacia do Rio Coxipó - M.T.: uma abordagem no ensino fundamental**. Dissertação de Mestrado. PPG-Educação (Área de Meio Ambiente).
- SANTOS, S. A. M. 1998b **Bacia Hidrográfica e Qualidade da Água: as experiências de uma década de programas em Educação Ambiental desenvolvidos no CRHEA/CDCC-USP**. Dissertação de Mestrado - São Carlos: PPG-Ciências da Engenharia Ambiental/EESC/USP.
- SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente. **A água no olhar da história**. 1999. 142 p.
- SATO, M. **Educação para o ambiente amazônico**. Tese de Doutorado. São

- Carlos: PPG - Ecologia e Recursos Naturais/UFSCar. 1997. CONFERIR
- 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**. Tese de Doutorado - São Carlos: PPG-Ciências da Engenharia Ambiental/EESC/USP.
- SIMMONS, I.G. **Ecología de los recursos naturales**. Barcelona: Ed. Omega. 1982.
- STAPP, W.B.; WALS, A.E.J.; STANKORB, S.L. **Environmental Education for empowerment - action research and community problem solving**. Kendall/Hunt Publishing Company. 1996.
- SUTTI, S. Environmental Education in Italy: Mantova's Water Analysis Project (WAP). **Australian Journal of Environmental Education**, vol.6, pp. 93-103,1993.
- SWANWICK, C. Landscape assessment of freshwater. In: BOON, P.J. & HOWELL, D.L. (eds.) **Freshwater quality: defining the indefinable?** Edinburgh: The Stationery Office. 1997.pp. 407-422.
- TONISSI, R.M.T. **Educação ambiental e planejamento participativo para o uso sustentável da microbacia do córrego da Água Quente (São Carlos - SP)**. PPGSEA/USP. Projeto de Pesquisa. 2000.
- TUNDISI, J.G.; SCHIEL, D.; DINIZ, R.E.; SANTOS, M.J.; RIGOLIN, O.; SANTOS, B.; ELER, M.N. A utilização do conceito de bacia hidrográfica como unidade para atualização de professores de Ciências e Geografia: o modelo Lobo (Broa), Brotas/Itirapina. In: TUNDISI, J. G. (ed.). **Limnologia e manejo de represas**. 1988. pp. 311-355. (**Monografias em Limnologia, Vol. I, Tomo 2**).
- VALENCIO, N.F.L.S. & MENDONÇA, S.A.T. Impactos do processo de interiorização do desenvolvimento paulista sobre as condições de vida e trabalho do pescador-barrageiro. **Teoria e Pesquisa (24-27)**: pp.109-148. 1998.
- VARGAS, M. C. O gerenciamento integrado dos recursos hídricos como problema socioambiental. **Ambiente & Sociedade** - Ano II - N° 5 - 2° Semestre de 1999. Págs. 110-134.
- ZAGATTO, P. A.; Floração de algas tóxicas e problemas de saúde pública. In: Indicadores biológicos no controle de poluentes na represa de Guarapiranga (**seminário**). UNISA (Universidade Santo Amaro). pp. 62-64. Novembro, 1992.

CAPÍTULO 7

- ALMEIDA, R.C.; KUNEIDA, E.; PRATES, K.V.M.C.; SÉ, J.A.S. & GONZAGA, J.L. Experiências em educação ambiental. In: ESPÍNDOLA, E.L.G.; SILVA, J.S.V.; MARINELLI, C.E. & ABDON, M.M. (Orgs). **A Bacia Hidrográfica do Rio Monjolinho**, RiMa Editora, São Carlos: 163 - 175
- ANDRIGUETTO-FILHO, J.M.; KRUGUER, A.C. & LANGE, M.B.R. Caça,

biodiversidade e gestão ambiental na Área de Proteção Ambiental de Gua-
raqueçaba, Paraná, Brasil. **Biotemas**, **11(2)**: 133 - 156.

ARAÚJO, Q.R. & COSTA, L.M. 1992. **Meio físico e desenvolvimento na Bacia
Hidrográfica do Rio Cachoeira - Bahia**. UFV, mimeografado.

BROWN, R. 1970. **Social Psychology**. The Macmillan Company, New York.
609 p.

CALIJURI, M.C. & OLIVEIRA, H.T. 2000. Manejo da qualidade da água: uma
abordagem metodológica. In: E.G. CASTELLANO & F.H. CHAUDHRY (Eds.)
Desenvolvimento sustentado: problemas e estratégias, São Carlos, EESC,
USP: 39 - 58.

CAMPOS, W. O. 1999. A ação civil pública em matéria ambiental. **Curitiba**,
v.2(1), Jan/Jul: 62 - 68.

CARVALHO, a.R.; SCHITTLER, F.H.M. & TORNISIELO, V.L. 1998. Influência
da atividade agropecuária na concentração de coliformes fecais e compostos
organoclorados em ambientes lóticos (São Carlos, SP). **Acta Limnol Brasil**,
vol 10(2): 115-124.

COSTA, R.C.S. & SCHIAVETTI, A. (no prelo) Abordagem etnoecológica da
utilização dos recursos faunísticos e florísticos pelas comunidades ribeirinhas
da Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira, Sul da Bahia, Brasil.

EHRlich P.R. 1988. The loss of diversity: causes and consequences. In: E.O.
WILSON (Ed.) **Biodiversity**. National Academy Press, Washington. p: 21 -27

EMBRAPA 1993. **Zoneamento agroecológico do Nordeste: diagnóstico do
quadro natural e agrossocioeconômico**. Vol. 1, Petrolina, PE, 89 p.

IBGE. 1999. **Folha SD. 24 Salvador - Potencial de Recursos Hídricos**. Levanta-
mento de recursos ambientais, Vol. 24, suplemento. 236 p.

GILLINGHAM, S. & LEE, P.C. 1999. The impact of wildlife-related benefits on
the conservation attitudes of local peoples around the Selous Game Reserve,
Tanzania. **Environmental Conservation**, **26 (3)**: 218-228.

GUNATILAKE, H.M. 1998. The role of rural development in protecting tropical
rainforest: evidence from Sri Lanka. **Journal of Environmental Management**
53: 273-292.

HANNAH, L. ; LOHSE, D.; HUTCHINSON, C.; CARR, J.L & LANKERANI,
A. 1994. Apreliminary inventory of human disturbance of world ecosystems.
Ambio, **Vol. 23(4)**: 246 - 250.

MARTINS, L.M. 1999. Influência do saneamento ambiental como fator de
saúde: estudo de caso da cidade de Neópolis. **Curitiba**, **v.2(1), Jan/Jul**: 98-108

MESQUITA, H.A.; de PAULA, M.B. & ALVARENGA, M.I.N. Indicadores
de impactos das atividades agropecuárias. **Informe Agropecuário**, Belo Ho-
rizonte, **Vol. 21 (202)**: 57-62.

MIRANDE, V.; ROMERO, N.; BARRIONUEVO, M.A.; MEONI, G.S.B.; NA-
VARRO, M.G.; APELLA, M.C. & TRACANNA, B.C. 1999. Human impact on

some limnological characteristics of the Gastona River (Tucumán, Argentina). **Acta Limnol. Brasil.**, Vol. 11(2): 101-110

NACIF, P.G.S. 2000. **Ambientes naturais da Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira, com ênfase nos domínios pedológicos**. Tese de Doutorado, Viçosa, UFV,

ROCHA, O.; PIRES, J.S. & SANTOS, J.E. 2000. A bacia hidrográfica como unidade de estudo e planejamento. In: ESPÍNDOLA, E.L.G.; SILVA, J.S.V.; MARINELLI, C.E. & ABDON, M.M. (Orgs). **A Bacia Hidrográfica do Rio Monjolinho**, RiMa Editora, São Carlos: 1 - 16.

STRASKRABA, M. & TUNDISI, J.G. 2000. **Gerenciamento da qualidade da água de represas**. Diretrizes para o gerenciamento de lagos, Vol. 9, São Carlos, ILEC, IIE, 280 p.

SANTA FÉ, E. N. & SCHIAVETTI, A. (no prelo) Perfil histórico- epidemiológico da disseminação da cólera na Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira, Sul da Bahia, Brasil

SANTOS, S.A.M. 1998. **Bacia hidrográfica e qualidade de água: as experiências de uma década em programas de educação ambiental desenvolvidas no CRHEA/CDCC - USP**. Dissertação de mestrado, São Carlos, EESC, USP, 178 p.

SAUNDERS, D. A. 1990. The landscape approach to conservation: community involvement, the only practical solution. **Australian Zoologist**, Vol. 26(2): 49-53

SEVERO, M.I.G. 1999. **Etude de l'impact toxicologique des polluants (Cu, Cr) engendre par des rejets agricoles sur les crustacés de l'état de bahia - Brésil**. Tese de Doutorado, URCA, França. 151 p.

SHERWOOD, M. Impact of agriculture on surface water in Ireland Part II: prospects for the future. **Environ. Geol. Water Sci.**, Vol. 9 (1): 11 -14.

SPRADLEY, J.P. & McCURDY, D.W 1972 **The cultural experience; ethnography in complex society**. Tennessee, Kingsport Press, 287 p.

SOULÉ, M. E. 1986 Conservation biology and a real world. In: M.E. SOULÉ (Ed.) **Conservation Biology**. Sinaure Associates, Sunderland, Massachssetts, p 1-12.

THOMAZ, S.M. & BINI, L.M. Limnologia: enfoque e importância para o manejo dos recursos hídricos. **Cadernos de Biodiversidade**, Vol. 2(1): 11 - 26.

CAPÍTULO 8

ARAUJO, Q. R., MARROCOS, P. C. L., SERÓDIO, M. H. F. **Conservação do Solo (Folder)**. Ilhéus: CEPLAC/CEPEC/Seção de Solos. 2001 (No Prelo).

ASSAD, E. D. SANO, E. E. **Sistema de Informações Geográficas. Aplicações na Agricultura**. 2 ed. Brasília: Embrapa SPI / Embrapa Cerrados, 1998.

BERGSMA, E. **Rainfall erosion surveys for conservation planning**. ICT Journal, 2: 116-174, 1983.

COMISSÃO EXECUTIVA DO PLANO DA LAVOURA CACAUEIRA - CE-PLAC. Fotografias Aéreas do Serviço Aerofotogramétrico Cruzeiro de Sul, 1975.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS - CPRM, **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil** - Folha SD.24-Y-B-V, Ibicaraí, Estado da Bahia. Brasília, 1997a.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS - CPRM, **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil** - Folha SD.24-Y-D-II, Itajú do Colônia, Estado da Bahia. Brasília, 1997b.

DAVIDSON, D. A. **Application of Geographical Information Systems to land evaluation. Course of land evaluation, held at UIMP.** Valencia, Palau de Pinedaa, 1992. 29p.

DEPARTAMENTO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL - DDF. **Carta de Vegetação**, Folha SD.24-Y-B-V, Ibicaraí, Estado da Bahia. Brasília, 1997a.

DEPARTAMENTO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL - DDF. **Carta de Vegetação**, Folha SD.24-Y-D-II, Itajú do Colônia, Estado da Bahia. Brasília, 1997b.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa do Solo. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa Produtos de Informações. Rio de Janeiro. Embrapa Solos, 1999.

GUERRA, C. B. Programa Biodiversidade, População e Economia. In: Workshop do Projeto Piracena, A Bacia Hidrográfica como Unidade de Estudo: estrutura e processos. **Anais**. Piracicaba: CENA/USP, 1996.

MARTINELLI, L. A. Bacia do Rio Piracicaba: Ciência e Educação na Melhoria do Ambiente. In: Workshop do Projeto Piracena, A Bacia Hidrográfica como Unidade de Estudo: estrutura e processos. **Anais**. Piracicaba: CENA/USP, 1996.

PALMIERI, F. Planejamento Integrado da Microbacia Córrego da Cachoeira, Paty do Alferes - RJ. In: Workshop do Projeto Piracena, A Bacia Hidrográfica como Unidade de Estudo: estrutura e processos. **Anais**. Piracicaba: CENA/USP, 1996.

RHIN, D. **Why SIG? In: ESRI - Environment Systems Research Institute, Inc. Understanding GIS. The ARC/INFO Method.** Readlands, California, 1991. P1-29.

SANTANA, S. O. de, **Levantamento Semidatalhado dos Solos do Município de Ibicaraí - Bahia**. Ilhéus - Bahia, 1993, (Boletim Técnico 174).

SANTANA, S. O. de, **Levantamento Semidatalhado dos Solos do Município de Itajú do Colônia- Bahia**, Ilhéus - Bahia, 1994, (Boletim Técnico 176).

SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE - SUDENE. Folha SD.24-Y-B-V, Ibicaraí, Estado da Bahia. Brasília, 1977a.

SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE - SU-

DENE. Folha SD.24-Y-D-II, Itajú do Colônia, Estado da Bahia. Brasília, 1977b.

CAPÍTULO 9

ACHESON J.M. & WILSON J.A. (1996). Order out of Chaos. The case for Parametric Fisheries Management. **American Anthropologist**, **98**(3): 579-594.

BAYLEY, P.B. (1995). Understanding large river-foodplain ecosystems. **BioScience**, **45**(3): 153-158.

COWX, I.G. & WELCOMME, R.L. (1998). **Rehabilitation of rivers for fish**. FAO, Fishing News Books, 260pp.

FAUSCH, K.D.; LYONS, J; KARR, J.R.; ANGERMEIER, P.L. (1990). Fish communities as indicators of environmental degradation. **American Fisheries Society Symposium**, **8**: 123-144.

FORE, L.S.; KARR, J.R.; CONQUEST, L.L. (1994). Statistical properties of an index of biological integrity used to evaluate water-resources. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, **51**: 1077-1087.

GORMAN, O.T & KARR, J.R. (1978). Habitat structure and stream fish communities. **Ecology**, **59**: 507-515.

GOULDING, M. (1979). **Ecologia da pesca do rio Madeira**. CNPq/INPA.

HARRIS, J.H. (1995). The use of fish in ecological assessments. **Australian Journal of Ecology**, **20**: 65-80.

HILBORN, R. & WALTERS, C.J. (1992). **Quantitative Fisheries Stock Assessment: Choice, Dynamics and Uncertainty**. Chapman and Hall. New York.

HILBORN, R.; WALTERS, C.J. & LUDWIG, D. (1995). Sustainable exploitation of renewable resources. **Annu. Rev. Ecol. Syst.**, **26**:45-67.

JUNK, W.J.; BAYLEY, P.B.; SPARKS, R.E. (1989). The flood pulse concept in river-floodplain systems. **Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.**, **106**: 110-127.

KARR, J.R. (1981). Assessment of biotic integrity using fish communities. **Fisheries**, **6**: 21-27.

LANNA, A.E.L. (1995). **Gerenciamento de bacia hidrográfica: aspectos conceituais e metodológicos**. IBAMA, 171pp.

LOWE McCONNEL, R.H. (1987). **Ecological studies in tropical fish communities**. Cambridge University Press, Cambridge, 382pp.

MAGURRAN, A. E. (1988). **Ecological Diversity and Its Measurement**. Croom Helm. Australia. 179 pp.

MATTHEWS, W.J. (1998). **Patterns in Freshwater Fish Ecology**. Chapman & Hall. 756 pp.

PAIVA, M.P. (1983). **Peixes e Pescas de Águas Interiores do Brasil**. Editerra, Brasília-DF, Brasil, 158pp.

RIBEIRO, M.C.L.B. (1994). **Conservação da Integridade Biótica das Comunidades de Peixes do Ribeirão do Gama: Área de Proteção Ambiental (APA) Gama/Cabeça do Veado, Brasília, D.F.** Tese de Doutorado apresentada na UNESP-Rio Claro.

SIMON, T.P. & EMERY, E.B. (1995). Modification and assessment of an index of biotic integrity to quantify water resource quality in great rivers. **Regulated Rivers-Research & Management**, **11**: 283-298.

SPARRE, P & VENEMA, S.C. (1997). **Introdução à avaliação de mananciais de peixes tropicais. Parte 1: Manual.** FAO, Roma, 404pp.

VANNOTE, R.L.; MINSHALL, G.W.; CUMMINS, K.W.; CUSHING, C.E. (1980). The river continuum concept. **Can. J. Fish. Aquat. Sci.**, **37**:130-137.

WARD, J.V. (1989). The four-dimensional nature of lotic ecosystems. **J. N. Am. Benthol. Soc.**, **8**: 2-8.

WARD, J.V. (1992). A mountain river. *In*: Calow, P. & Petts, G.E. (eds.): **The River Handbook, Volume 1: Hydrobiological and Ecological Principles.** Oxford, Blackwell.

WELCOMME, R.L. (1985). **River Fisheries.** FAO. Technical paper. Rome.

CAPÍTULO 10

ABDON, M. M.; VIEIRA, E. G. & ESPINDOLA, C. R. S. 1988. **Avaliação da extensão e degradação de manguezais no sul do estado de Sergipe através de sensoriamento remoto.** Aracaju. Não paginado. Mimeografado.

Administração Estadual do Meio Ambiente (ADEMA) 1988. **Estudo da Anomalouscardia em manguezais de Sergipe.** Aracaju, Mimeografado.

Administração Estadual do Meio Ambiente (ADEMA). 1984 *a*. **Levantamento sócio-econômico da população humana envolvida com a pesca nos manguezais de Sergipe.** Aracaju, Mimeografado.

Administração Estadual do Meio Ambiente (ADEMA). 1984 *b*. **Bioecologia do caranguejo uçá *Ucides cordatus* Linnaeus. "Varreduras" em manguezais de quatro estuários do Estado de Sergipe.** Aracaju, Mimeografado.

Administração Estadual do Meio Ambiente (ADEMA). 1984 *c*. **Estudo comparativo dos bosques de mangue das regiões norte e sul do estado de Sergipe.** Aracaju, Mimeografado.

Administração Estadual do Meio Ambiente (ADEMA). 1984 *d*. **Levantamento da flora e caracterização preliminar dos bosques de mangue do Estado de Sergipe - fev. 84.** Aracaju, Mimeografado. 208 pp

ALMEIDA, M. C. T.; CARVALHO, M. E. S.; COUTO, E. C. G.; GÓIS, C. O. LIMA, G. C.; RODRIGUES, W. K. & SANT'ANNA, S. A. C. 1997. Distribuição espacial da macrofauna benthica em um banco arenoso entre-marés na foz do

Rio Real: áreas vegetadas X áreas não vegetadas (Sergipe, Brasil). **Resumos do XI Encontro de Zoologia do Nordeste**, Fortaleza - Ce, 95

ANDRADE, R.C.B. 1996. **Influência dos Efluentes do Complexo Industrial de Estância, SE, no Metabolismo e Propriedades Físicas e Químicas do Rio Piauitinga**. Monografia de Bacharelado. Universidade Federal de Sergipe, Departamento de Química. São Cristóvão - SE, 51 pp

ANDRADE, R. C. B.; SOUZA, M. F. L. & COUTO, E. C. G. 1998. Influência de Efluentes Têxteis e Alimentícios sobre o Metabolismo e Propriedades Físicas e Químicas do Rio Piauitinga (Sergipe). **Química Nova**, 21 (4): 424 - 427

ARAÚJO, H. M. 1988. **As atividades da mulher e suas interações com as condições sócio-ecológicas no povoado de Crasto/SE**. Monografia de Bacharelado. Universidade Federal de Sergipe. Departamento de Geografia, São Cristóvão - Se.

ARAÚJO, H. M. P. 1996. **Zooplâncton do estuário dos Rios Piauí e Fundo (Sergipe, Brasil): flutuações espaciais, sazonais e tidais**. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Paraná, Departamento de Zoologia, Curitiba - Pr, 193 p + anexos.

ARAÚJO, P.B. & LEISTIKOW, A. 1999. Philosciids with pleopodal lungs from Brazil, with description of a new species (Crustacea, Isopoda). **Contributions to Zoology**, 68 (2): 109 - 141

ARZABE, C.; CARVALHO, C. X. & COSTA, M.A. G. 1998. Anuran assemblages in Crasto Forest ponds (Sergipe State, Brazil): comparative structure and calling activity patterns. **Herpetological Journal**, 8: 111 - 113

BISPO, S.M.; ANJOS, E.C.T.; ZYNGIER, N.A.C.; SANTOS, L.T.; TRINDADE, M.C.; DIAS, S.C. & COUTO, E.C.G. 1998. Macrofauna associada à Bromeliaceae *Aechmea aquilega* (Salisb.) Griseb., em área de restinga no Povoado do Crasto / Santa Luzia do Itanhy (Se): período seco X período chuvoso. **Resumos do II Simpósio Brasileiro de Restingas e Lagoas Costeiras**, Macaé - RJ, 53

BRESCOVIT, A. D.; FERNANDES, A. C. M. & COUTO, E. C. G. 1997. Aranhas da "Mata do Crasto" (Santa Luzia do Itanhy - Se). **Resumos do 7º Congresso Nordestino de Ecologia**, EDITUS/Ilhéus - Ba, 108 - 110

CARVALHO, M. E. S.; FERNANDES, A. C. M. & COUTO, E. C. G. 1996. Estrutura espacial de associações macrobênticas de planícies entre-marés da porção estuarina do Rio Piauí (Sta Luzia do Itanhy - SE). **Resumos do III Simpósio de Oceanografia-IOUSP**, São Paulo - SP, 212

CONDESE (Conselho de Desenvolvimento de Sergipe) .1973. **Levantamento dos recursos hídricos de superfície do Estado de Sergipe**. Aracaju: Instituto de Tecnologia e Pesquisa de Sergipe.

COUTO, E. C. G. 1997. Distribuição das espécies de "teredos" (Mollusca: Bivalvia: Teredinidae) em troncos e raízes aéreas do mangue vermelho (*Rhizophora mangle* L.) ao longo do Rio Piauí (Se, Brasil). **Resumos do II Encontro de Bioincrustação, ecologia bêntica e corrosão**, Arraial do Cabo - RJ,

- COUTO, E. C. G. & FERNANDES, A. C. M. 1998. The ecology of *Laeonereis acuta* (Treadwell, 1923) (Polychaeta:Nereididae) in the river Sergipe and Piauí estuaries (Northeastern, Brazil). **Program and abstracts of the Sixth International Polychaete Conference**, Curitiba - Brasil, 32
- COUTO, E. C. G. & LIMA, G. C. 1996. Decomposição de *Laguncularia racemosa* Gaertn. em diferentes regimes de inundação no manguezal da Ilha das Tartarugas (Sta. Luzia do Itanhý - SE). **Anais do IV Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa/X Semana de Geoquímica**, Braga - Portugal, 429 - 432
- COUTO, E. C. G., SHIRATA, M. T. & SOUZA, M. F. L. 1999. Efeito da entrada de efluentes na composição e abundância da comunidade fitoplanctônica do Rio Piauítinga, barragens e estuário do Rio Piauí. Sergipe. **Resumos do Congresso Brasileiro de Limnologia**, Florianópolis - SC, 435
- COUTO, E. C. G., VIVI, S. V. & MENDES, V. M. T. 2000. **Exploração dos recursos faunísticos por famílias de pescadores do Povoado do Crasto (Santa Luzia do Itanhý - Se)**. *Rev. Nordest. Zool.*, Ilhéus - Ba, 2 (2):
- CRUZ E SILVA, M.L.M.; NASCIMENTO, M.H.M. 1985. **Distribuição espacial da *Crassostrea rhizophorae* em uma área do estuário do Rio Piauí, no Crasto, município de Santa Luzia do Itanhý**. Monografia de Especialização em Biologia de Estuários - Núcleo de pós-graduação em estuários e manguezais, Universidade Federal de Sergipe. 35 pp
- FARIAS, M.C.V. 1992. **Variações nictemerais da ictiofauna do estuário do Rio Piauí**. Aracaju. Monografia de Especialização em Biologia de Estuários - Núcleo de pós-graduação em estuários e manguezais, Universidade Federal de Sergipe.
- FORTES, A. C. M. 1992. **Estudo taxonômico e aspectos ecológicos das Rhodophyta no manguezal da Ilha de Santos (Complexo estuarino Piauí - Fundo - Real, Sergipe)**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, 194 pp
- FRANCO, C.R.P. 1991. **Plankton diatoms of the Piauí River estuary (Brazil): seasonal distribution and biogeographic affinities**. Master thesis, University of Rhode Island, Kingston, 169 pp
- GOMES, V.R.; FREITAS, S.S.; ANDRADE, R.C.B. & SOUZA, M.F.L. 1998. Influence of industrial effluent discharge in dissolved nutrient concentrations in river Piauí, Se (Northern, Brazil). *R. Esc. Minas*, 51 (3): 24 - 27
- HUSBAND, T. P. & ABEDON, D. H. 1992. **Brazilian American Research Expedition: a survey of the fauna of the Atlantic Forest of sergipe, Brazil - final report**. Relatório apresentado ao CNPq, Brasília, 19 p
- INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). 1998. **Boletim estatístico da pesca marítima e estuarina - 1997 - Sergipe**. Aracaju - Se, 19 p + tabelas
- INSTITUTO DE ECONOMIA E PESQUISA (INEP). 1983 *a*. Estância. **Série**

- Monografias Municipais, 1.** Aracaju. 100 pp
- INSTITUTO DE ECONOMIA E PESQUISA (INEP). 1983 *b.* Indiaroba. **Série Monografias Municipais, 1.** Aracaju. 68 pp
- INSTITUTO DE ECONOMIA E PESQUISA (INEP). 1983 *c.* Itaporanga d' Ajuda. **Série Monografias Municipais, 1.** Aracaju. 74 pp
- JICA (1998) **The study on water resources development in the state of Sergipe.** Progress Report (1), December 1998. JICA/SEPLANTEC. Yachiyo Engineering Co. Ltd. 166 p.
- KJERFVE, B. 1989. Estuarine Geomorphology and Physical Oceanography. In: DAY, J.W.Jr.; HALL, C.A.S.; KEMP, W.M.; YÁÑEZ-ARANCIBIA, A. (eds.) **Estuarine Ecology.** Chapter 2. New York: John Wiley & Sons. 558 p.
- LEME ENGENHARIA, 1980. **Sistema Rio Piauitinga - Projeto Básico Executivo.** Leme Engenharia - Empresa Brasileira de Consultoria Ltda / Companhia de Saneamento de Sergipe, Aracaju, Mimeografado, 41 pp
- LIMA, G. C. 1997. **Composição e estrutura temporal da macrofauna bêntica associada à dinâmica de decomposição das folhas de *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa* e *Avicennia schaueriana* em um manguezal do estuário do Rio Piauí (Sergipe - Brasil).** Relatório Final CNPq/PIBIC/UFS, 62 pp
- LIMA, G. C. & COUTO, E. C. G. 1998. Macrofauna bêntica associada à dinâmica de decomposição de folhas de *Laguncularia racemosa* em diferentes regimes de inundação em um manguezal (Rio Piauí - SE). **Resumos do XXII Congresso Brasileiro de Zoologia,** Recife - Pe, 53
- LIMA, G. C. & COUTO, E. C. G. 1996. Estrutura espaço-temporal da fauna bêntica associada à dinâmica da decomposição de *Laguncularia racemosa* Gaertn. em um manguezal (Rio Piauí - SE). **Resumos do III Simpósio de Oceanografia-IOUSP,** São Paulo - SP, 151
- LIMA, G. C., SANTOS, M. A. & COUTO, E. C. G. 1997. Composição e estrutura temporal da macrofauna bêntica associada à dinâmica de decomposição de folhas em um manguezal do estuário do Rio Piauí (Sergipe, Brasil). **Anais da 43º Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência,** Belo Horizonte - MG, 944
- MENDES, V.M.T. & COUTO, E.C.G. 1998. Ocorrência de *Armases angustipes* (Dana, 1852) (Crustacea : Decapoda : Brachyura) na bromélia-tanque *Aechmea aquilega*, no sul do Estado de Sergipe - Brasil. **Resumos do II Simpósio Brasileiro de Restingas e Lagoas Costeiras,** Macaé - RJ, 53 - 54
- MMA (Ministério do Meio Ambiente) 1983. **Projeto RADAM Brasil.** Levantamento de recursos minerais. Folhas Sc 24/25. Aracaju/Recife. Vol. 30. Rio de Janeiro. 856 p + mapas.
- MÜLLER, A.C. 1995. **Hidrelétricas, meio ambiente e desenvolvimento.** São Paulo: Makron Books. 412 p.
- NASCIMENTO, L. T. 1990. **Distribuição horizontal dos ocipodídeos do**

gênero *Uca* nos manguezais da Ilha de Santos, Rios Piauí - Fundo - Real, Sergipe. Monografia de Bacharelado em Ciências Biológicas, Departamento de Biologia, Universidade Federal de Sergipe, 32 p.

OLIVEIRA, L. M. & COUTO, E. C. G. 1996. Composição e estrutura temporal da macrofauna bêntica associada à dinâmica de decomposição de folhas de *Rhizophora mangle* em diferentes níveis de emersão em um manguezal do estuário do Rio Piauí (Sergipe - Br). **Resumos do XXI Congresso Brasileiro de Zoologia**, Porto Alegre - RS, 13

PROGRAMA NACIONAL DE MEIO AMBIENTE - PNMA. 1995. **Perfil dos estados litorâneos do Brasil: subsídios à implantação do Programa Nacional de Gerenciamento Costeiro.** Brasília - DF. 211 pp

ROCHA, A. L. L. 1990. **Distribuição horizontal e vertical dos cirripédios na Ilha Santos, Bacia de Mangue Seco, Sergipe.** Monografia de Bacharelado, Departamento de Biologia, Universidade Federal de Sergipe. 35 pp

RODRIGUES, W.K. & COUTO, E.C.G. 1999. Acarofauna de uma área de restinga no Povoado do Crasto / Santa Luzia do Itanhy (Se): período seco X período chuvoso, **Resumos do XII Encontro de Zoologia do Nordeste**, Feira de Santana - Ba, 234

RODRIGUES, W.K. & COUTO, E.C.G. 1998. Composição da mesofauna edáfica numa área de restinga no Povoado do Crasto / Santa Luzia do Itanhy (Se): seca X chuva. **Resumos do II Simpósio Brasileiro de Restingas e Lagoas Costeiras**, Macaé - RJ, 54

SANTOS A.F. ; ANDRADE, J.A. 1992. **Delimitação e regionalização do Brasil semi-árido.** Sergipe. Aracaju: UFS. 232 p.

SANTOS, M. A.; SANTOS, C. S. G. & OLIVEIRA, C. M. M. 1994. Polychaete in the estuary of the Piauí River, Sergipe, Brazil. In: J. C. DAUVIN, LAUBIER, L. & REISH, D.J. (eds.), Actes de la 4ème Conférence Internationale des Polychètes. **Mém. Mus. natn. Hist. nat.**, 162: 541 - 547

SANTOS, M. M. & SCHAEFFER-NOVELLI, Y. 1989. Levantamento da flora e caracterização dos bosques de mangues do Estado de Sergipe. **Anais do III Encontro Brasileiro de Gerenciamento Costeiro**, Fortaleza, p. 325 - 335.

SOUZA, M.F.L. 1999. **Balanço de Massa e Metabolismo do Estuário do Rio Piauí.** Tese de doutoramento - Departamento de Geoquímica/Universidade Federal Fluminense, Niterói. 145 pp

SOUZA, M.F.L. 1997. Distribuição e sazonalidade das concentrações de elementos biogênicos no Sistema estuarino Piauí-Fundo-Real, Sergipe, Brasil. **Anais do IV Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa**, Braga, Portugal, p. 525-528.

SOUZA, M. F. L. & COUTO, E. C. G. 1998. Short-term Changes and Longitudinal Distribution of Carbon Metabolism in the Piauí River Estuary (Sergipe - Brazil). **Rev. Bras. Biol.**, 59 (2): 195 - 202

SOUZA, M. F. L.; COUTO, E. C. G.; ANDRADE, R. C. B.; FREITAS, S. S.;

GOMES, V. R. & KNOPPERS, B. A. 1997. Estuarine fish slaughter: joint role of industrial effluent discharge and hydroelectric dam system. **XIII ISEB - International Symposium on Environmental Biogeochemistry**, Bari - Itália, 127 (abstracts)

SOUZA, M.S. R. **Ocypodidae do gênero *Uca* Leach, 1814 (Crustacea, Decapoda, Brachyura) nas diferentes faixas de bosque de manguezal da Ilha das Tartarugas, Rio Piauí, Sergipe**. 1988. Monografia de Especialização em Biologia de Estuários - Núcleo de pós-graduação em estuários e manguezais, Universidade Federal de Sergipe.

SOUZA, S. M. O. 1997. **Influência de perturbações antrópicas sobre a estrutura espaço-temporal de associações macrobênticas no estuário do Rio Piauí (Sergipe - Brasil)**. Relatório final PIBIC/CNPq/UFS, São Cristóvão, 35 pp + anexos

SOUZA, S. M. O.; FERNANDES, A. C. M. & COUTO, E. C. G. 1996. Influência de perturbações antrópicas sobre a estrutura espaço-temporal de associações macrobênticas no estuário do Rio Piauí (Sergipe - Brasil). **Resumos do XXI Congresso Brasileiro de Zoologia**, Porto Alegre - RS, 14

Universidade Federal de Sergipe (UFS) / Secretaria de Planejamento de Sergipe (SEPLAN). 1979. **Atlas de Sergipe**. Aracaju. 95 pp + ilustr.

Universidade Federal de Sergipe (UFS) / Comissão Interministerial de Recursos do Mar (CIRM). 1989. **Relatório final do Projeto integrado para avaliação da potencialidade do Estuário dos Rios Piauí - Fundo - Real**. São Cristóvão - Se, 6 Vols.

VIVI, S. V. 1996. **Exploração dos recursos naturais por famílias de pescadores do Povoado do Crasto (Santa Luzia do Itanhy - Se)**. Relatório final PIBIC/CNPq/UFS, São Cristóvão, 17 pp

YOSHIMURA, C. Y. & SHIRATA, M. T. 1996. Levantamento das macroalgas do complexo estuarino do Rio Fundo - Real - Piauí, Estado de Sergipe, Brasil. **Resumos do III Simpósio de Oceanografia-IOUSP**, São Paulo - SP, 212

ZUCON, M.H. 1989. **Distribuição dos foraminíferos e tecamebas do estuário do Rio Piauí - Sergipe**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Zoologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 54 pp

ZUCON, M.H. & LOYOLA E SILVA, J. 1992/93. Distribuição espacial dos foraminíferos e tecamebas do estuário do Rio Piauí - Sergipe. **Nerítica**, 7 (1-2): 57 - 69

CAPÍTULO 11

ALLAN J.D., ERICKSON D.L. & FAY J. The influence of catchment land use on stream integrity across multiple spatial scales. **Freshwater Biology**, 37, 149-161. 1997.

- BALLESTER, M. V.; MARTINELLI, L. A.; KRUSCHE, A. V.; VICTORIA, R. L.; BERNARDES, M. & CAMARGO, P. B. Effects of increasing organic matter loading on the dissolved O₂, free dissolved CO₂ and respiration rates in the Piracicaba river basin, southeast Brazil. **Water Research**, **33(9)**:2119-2129. 1999
- BORGONOVI, M. & CHIARINI, J.V.. Cobertura vegetal do Estado de São Paulo. I Levantamento por fotointerpretação das áreas cobertas com cerrado, cerrado e campo, em 1962. **Bragantia (14)**: 159-179. 1967.
- ESRI. **Arc-Info** version 7.3. Redlands, California. 1997.
- FILOSO, S.; MARTINELLI, L.A.; LARA, L.L.; KRUSCHE, A.V.; BALLESTER, M.V.R. AND VICTORIA, R.L. The nitrogen budget of a developed meso-scale river basin in Southern Brazil. **Biogeochemistry**. No prelo.
- GOODCHILD, M.F.; STEYAERT, T.L.; PARKS, B.O.; JOHNSON, C.; MAIDMENT, D.; CRANE, M. AND GLENDINNING, S. **GIS and environmental modeling: progress and research issues**. GIS World, Inc. Colorado, USA. 1994.
- HASLER, A.D. **Coupling of land and water systems**. Springer-Verlag. New York, USA. 309p. 1975.
- HOWARTH R.W., BILLEN G., SWANEY D., TOWNSEND A., JAWORSKI N., LAJTHA K., DOWNING J.A., ELMGREN R., CARACO N., JORDAN T., BERENDESE F., FRENEY J., KUDEYAROV V., MURDOCH P., & ZHAO-LIANG Z. Regional nitrogen budgets and riverine N & P fluxes for the drainages to the North Atlantic Ocean. Natural and human influence. **Biogeochemistry**, **35**, 75-139. 1996.
- HUNSAKER, C.T.; MALANCHUK, J.L.; OLSON, R.J.; CHRISTENSEN, S.W. AND TURNER, R.S. Adirondack headwater lake chemistry relationships with watershed characteristics. **Water, Air, and Soil Pollution**, **31**: 79-88. 1986.
- HUNSAKER, C. T. & D. A. LEVINE. Hierarchical approaches to the study of water quality in rivers. **BioScience** **45**:193-203. 1995.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico**. 1980.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO DO ESTADO DE SÃO PAULO - IGC. **Carta de utilização da terra do Estado de São Paulo. Folhas de Campinas, Guaratinguetá e Santos**. Escala de 1:250.000. São Paulo, 1980.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO DO ESTADO DE SÃO PAULO - IGC. **Carta de utilização da terra do Estado de São Paulo**. Folhas de Bauru e São Paulo. Escala de 1:250.000. São Paulo. 1981.
- JOHNSON L.B., RICHARDS C., HOST G.E. & ARTHUR J.W. Landscape influences on water chemistry in Midwestern stream ecosystems. **Freshwater Biology**, **37**, 193-208. 1997.
- JORDAN T.E., CORREL D.L. & WELLER D.E. Effects of Agriculture on Discharges of Nutrients from Coastal Plain Watersheds of Chesapeake Bay. **Journal of Environmental Quality**, **26**: 836-848.1997.
- KRUSCHE, A. V.; CARVALHO, F. P.; MORAES, J. M.; CAMARGO, P. B.;

- BALLESTER, M. V. R.; HORNINK, S.; MARTINELLI, L. A. & VICTORIA, R. L. Spatial and temporal water quality variability in the Piracicaba River Basin, Brazil. **Journal of the American Water Research Association**, **33(5)**:1117-1123. 1997
- MARTINELLI, L. A.; BALLESTER, M. V.; KRUSCHE, A. V.; VICTORIA, R. L.; CAMARGO, P. B.; BERNARDES, M. & OMETTO, J. P. H. Landcover changes and $\delta^{13}C$ composition of particulate organic matter in the Piracicaba river basin (Southeast region of Brazil). **Limnol. and Oceanogr.**, **44(7)**:1826-1833. 1999a.
- MARTINELLI, L. A.; KRUSCHE, A. V.; VICTORIA, R. L.; CAMARGO, P. B.; BERNARDES, M.; FERRAZ, E. S.; MORAES, J. M. & BALLESTER, M. V. Effects of sewage on the chemical composition of Piracicaba River, SouthEast Brazil. **Water, Air and Soil Pollution**, **110**:67-79. 1999b.
- MEYER, J. L. & C. M. TATE. The effects of watershed disturbance on dissolved organic carbon dynamics of a stream. **Ecology**, **64**:33-44. 1983
- MORAES, J. M.; PELLEGRINO, G. Q.; BALLESTER, M. V.; MARTINELLI, L. A.; VICTORIA, R. L. & KRUSCHE, A. V. Trends in Hydrological Parameters of a Southern Brazilian Watershed and its Relation to Human Induced Changes. **Water Resources Management**, **12**:295-311. 1998
- OMETTO, JEAN PIERRE H. B.; MARTINELLI, L. A.; BALLESTER, M. V. R.; GESSNER, A.; KRUSCHE, A. V.; VICTORIA, R. L. & WILLIAMS, M. Effects of land use on water chemistry and macroinvertebrates in two streams of the Piracicaba river basin, south-east Brazil. **Freshwater Biology**, **44**:327-337. 2000.
- ORSBONE, L.L. AND WILEY, M.J. Empirical relationships between land use/cover and stream water quality in an agricultural watershed. **Journal of environmental Management**, **26**: 9-27. 1988.
- PINAZZA, L.A. & ALIMANDRO, R. Brasil, açúcar e álcool. A era da emancipação. Via crucis. **Agroanalysis** **20(3)**:14-20. 2000.
- PEIERLS B.L., CARACO N.F., PACE M.L. & COLE J. Human influence on river nitrogen. **Nature**, **350**, 386-387.1991.
- PUCKETT, L. Identifying the Majors Sources of Nutrient Water Pollution. **Environmental Science and Technology**, **29**, 408A-414A. 1995.
- SÃO PAULO. CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS. **Plano Estadual de Recursos Hídricos: Primeiro Plano do Estado de São Paulo**, DAEE, p77. 1991.
- SÃO PAULO. **Inventário Florestal do Estado de São Paulo**. Instituto Florestal. 199p. II.1993.
- SÃO PAULO. **Estabelecimento de metas ambientais e reenquadramento dos corpos d'água: Bacia do Rio Piracicaba**, Secretaria do Meio Ambiente, p81. 1994.
- SMITH, R.A.; SCHWARZ, G.E. and Alexander, R.B. Regional interpretation of water-quality monitoring data. **Water Resources Research**, **33(12)**: 2781-2798. 1997.

SPRING. **Manual do usuário.** www.inpe.br. 1999.

SWANK, W.T. AND BOLSTAD, P.V. Cumulative effects of land use practices in water quality. In: N.E. PETERS; R.J. ALLAN, AND V.V. TSIRKOV, eds. **Hydrogeochemistry 1993: hydrological chemical and biological processes affecting the transformation and transport of contaminants in aquatic environments.** Proceedings of the Rostov-on-don Symposium, May 1993. IAHS Publication 219, IAHS Press, Oxfordshire, UK. 1994.

WARD, J.V. The structure and dynamics of the lotic ecosystems. In: **Limnology Now: a paradigm of planetary problems.** R. Margalef Ed. Elsevier Science B.V. pp. 195-219. 1994.

WEAR, D.N.; TURENER, M.G. AND NAIMAN, R.J. Landcover along an urban-rural gradient: implications for water quality. **Ecological Applications**, **8(3)**: 619-630. 1998.

CAPÍTULO 12

CAMARGO, A.F.M.; SCHIAVETTI, A. & CETRA, M. 1997 Efeito da mineração de areia sobre a estrutura da comunidade de macrófitas aquáticas em um ecossistema lótico do litoral sul paulista. **Revista Brasileira de Ecologia**. Rio Claro, SP, Sociedade de Ecologia do Brasil, **01 (2)**: 54-59.

CAMARGO, A.F.M.; FERREIRA, R.A.R.; SCHIAVETTI, A. & BINI, L.M. 1996. Influence of physiography and human activity on limnology characteristics of lotic ecosystems of the south coast of São Paulo, Brasil. **Acta Limnológica Brasiliensia**, **8**: 231-243.

CAMARGO, A.F.M.; NUCCI, P.R.; BINI, L.M. & SILVA Jr., U.L. 1997. The influence of the geology on the limnological characteristics of some lotic ecosystems of the Itanhaém River Basin, SP-Brasil. **Internat. Verein. Limnol**, Stuttgart, **26**: 860-864..

CAMARGO, A.F.M. & ESTEVES, F.A. 1995. Influence of water level variation on fertilization of an oxbow lake of Rio Mogi-Guaçu, state of São Paulo, Brazil. **Hydrobiologia**, **299**: 185-193.

CARNAVALLI, V. 1997 **Varição nictemeral de algumas variáveis limnológicas em dois ecossistemas lóticos da Bacia do Rio Itanhaém, litoral centro-sul paulista.** Trabalho de formatura. IB-UNESP. Rio Claro.

COLONNELLO, G. 1990: Elementos fisiográficos y ecológicos de la cuenca del río Orinoco y sus rebalses. **Interciencia**, **15 (6)**: 476 - 485 p.

FÚLFARO, V.J.; SUGUIO, K. & POÇANO, W.L., 1974: A Planície de Itanhaém, SP. **Atas do II Simp. Reg. Geol.**, Rio Claro, SP, 1: 279-290.

FÚLFARO, V. J.; POÇANO, W. L. & CIANTELLI Jr., C. A., 1979: A Planície de Itanhaém, SP. **Atas do II Simpósio Regional de Geologia**, Rio Claro. 1: 279-290p

GIANNINI, P. C. F., 1987: **Sedimentação quaternária na planície costeira**

- de Peruíbe-Itanhaém (SP)**. Dissertação de Mestrado. USP. Instituto de Geociências, I. São Paulo.
- HERZ, R. 1991. **Manguezais do Brasil**. Instituto Oceanográfico, USP/SP, 233 p.
- IVARSSON, H. & JANSSON, M. 1994. Regional variation of dissolved organic matter in running waters in central northern Sweden. **Hydrobiologia**, **286**: 37-51.
- JANZEN, D. H. 1974. Tropical Blackwater Rivers, Animals, and Mast Fruiting by the Dipterothraupidae. **Biotropica**, **6(2)**: 69-103.
- JUNK, W. J.; P. B. BAYLEY; & R. E. SPARKS. 1989. The flood pulse concept in river - floodplain systems. **Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.**, **106**: 110.
- NAVARRA, C.T. 1988: Fácies hidroquímicas dos rios da Planície Costeira Sul Paulista.- **Acta Limnol. Brasiliensia**, **2**: 931-942.
- OLIVEIRA, D. 1999. **Análise ambiental dos canais da Bacia Hidrográfica do Rio Itanhaém -SP, Brasil, com base em tecamebas e foraminíferos**. Instituto de Geociências, Unesp-Rio Claro. Dissertação de Mestrado.
- LAMPARELLI, C. C. & MOURA, D. O. (Coord.) 1998. Mapeamento dos ecossistemas costeiros do Estado de São Paulo. São Paulo: **Secretaria do Meio Ambiente, CETESB**, 108p.
- PATEL, N., MOUNIER, S., GUYOT, J.L., BENAMOU, C., BENAÏM, J.Y. 1999. Fluxes of dissolved and colloidal organic carbon, along the Purus and Amazonas rivers (Brazil). **The Science of the Total Environment**, **229** : 53-64.
- PAYNE, A.I. 1986 **The ecology of tropical lakes and rivers**. Library of Congress Cataloging in Publication Data. John Wiley & Sons Ltd., Great Britain, p.301.
- PEREIRA, P.E.S. 2000. **Avaliação do efeito do esgoto orgânico sobre a comunidade de copépodos no Rio Itanhaém, litoral sul de São Paulo**. Dissertação de Mestrado, CEA-UNESP, Rio Claro, 151p.
- PETRUCIO, M.M. 1998. Caracterização das Lagoas Imboassica, Cabiúnas, Comprida e Carapebus, à partir da temperatura, salinidade, condutividade, oxigênio dissolvido, pH, transparência e material em suspensão. In: ESTEVES, F.A. **Ecologia das Lagoas Costeiras do Parque Nacional de Juruatiba e do município de Macaé (RJ)**. P.109-122.
- POR, F.D. 1986 Stream type diversity in the Atlantic lowland of the Jureia area (Subtropical Brazil). **Hydrobiologia**, **139**: 39-45.
- RAMALHO, R., 1982: **Projeto "Planejamento minerário na ocupação do solo em áreas de atuação de SUDELPLA (Anexo I - Geomorfologia, texto e Mapas)**. São Paulo, DNPM/CPRM, Vol. 2.i
- RIZZO, A.E. 1994 **Análise microbiológica e impactos provocados pelo lançamento de esgotos na bacia hidrográfica do Rio Itanhaém, litoral sul paulista**. Trabalho de Formatura, Instituto de Biociências, Unesp, Rio Claro, 37p.
- SETZER, J. 1966 **Atlas climático e ecológico do estado de São Paulo**. Comissão

Interestadual da Bacia Paraná-Uruguaí, CESP, São Paulo: 39-45.

SIQUEIRA, B. 1993 **Estudo da fauna associada às macrófitas aquáticas *Anacharis densa* e *Eichhornia azurea* em ecossistemas lóticos do litoral sul paulista**. Trabalho de Formatura Instituto de Biociências, Unesp-Rio Claro, 50 p.

SKOULIKIDIS, N. T., 1993: Significance evaluation of factor controlling water river composition. **Environmental Geology**. **22**: 178-185p.

SIOLI, H., 1968: Hydrochemistry and Ecology in the Brazilian Amazonian Region. **Amazoniana** **1**:267-277

STRAHLER, A.N. 1964. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. In: CHOW, V. T. **Handbook of Applied Hydrology**. New York, McGraw-Hill Book.

SUGUIO, K. & MARTIN, L., 1978: Formações quaternárias marinhas do litoral paulista e sul fluminense. **Inter. Symp. On Coastal Evol. In Quaternary**, São Paulo, Spec. **1**:55, IGCP, Project 61, 55p.

THOMAZ, S.M.; ROBERTO, M.C. & BINI, L.M. 1997 Caracterização limnológica dos ambientes aquáticos e influência dos níveis fluviométricos. In: VAZZOLER, A.E. DE M.; AGOSTINHO, A.A. & HAHN, N.S. (Editores). **A planície de inundação do alto rio Paraná: Aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos**. Maringá: Editora da UEM. p. 73-102.

VANNOTE, R. L., MINSHALL, G.W., CUMMINS, K.W., SEDELL, J.R. & CUSHING, C.E., 1980. The river continuum concept. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, **37**: 130-137.

Lista de Autores

Capítulo 1

José Salatiel PIRES

José Eduardo dos SANTOS

Departamento de Hidrobiologia (DHB) - Programa de Pós Graduação em Ecologia e Recursos Naturais / Universidade Federal de São Carlos. São Carlos - SP.

Marcos Estevan DEL PRETTE

Secretaria de Políticas para o Desenvolvimento Sustentável / Ministério do Meio Ambiente - Brasília - DF.

Capítulo 2

Reinaldo LORANDi

Departamento de Engenharia Civil (DECiv) - Programa de Pós Graduação em Ecologia e Recursos Naturais / Universidade Federal de São Carlos. São Carlos - SP.

Cláudio Jorge CANÇADO

Doutorando - Programa de Pós Graduação em Ecologia e Recursos Naturais / Universidade Federal de São Carlos. São Carlos - SP.

Capítulo 3

Neylor Alvez Calasans REGO

Maria do Carmo Tavarez LEVY

Maurício MOREAU

Núcleo de Bacias Hidrográficas - Departamento de Ciências Agrárias e Ambientais (DCAA) - Universidade Estadual de Santa Cruz. Ilhéus - BA

Capítulo 4

Fernado Gertum BECKER

Doutorando - Programa de Pós Graduação em Ecologia e Recursos Naturais / Universidade Federal de São Carlos. São Carlos - SP.

Capítulo 5

Paulo Henrique Peira RUFINO

Silvia Aparecida MARTINS

Setor de Biologia - Centro de Divulgação Cultural e Científica - Universidade de São Paulo. São Carlos - SP

Capítulo 6

Haydée Torres de OLIVEIRA

Departamento de Hidrobiologia (DHB) - Programa de Pós Graduação em Ecologia e Recursos Naturais / Universidade Federal de São Carlos. São Carlos - SP.

Capítulo 7

Alexandre SCHIAVETTI

Departamento de Ciências Agrárias e Ambientais (DCAA) - Universidade Estadual de Santa Cruz. Ilhéus - BA

Doutorando - Programa de Pós Graduação em Ecologia e Recursos Naturais / Universidade Federal de São Carlos. São Carlos - SP.

Ana Cristina SCHILLING

Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas (DCET) - Universidade Estadual de Santa Cruz. Ilhéus - BA

Haydée Torres de OLIVEIRA

Departamento de Hidrobiologia (DHB) - Programa de Pós Graduação em Ecologia e Recursos Naturais / Universidade Federal de São Carlos. São Carlos - SP.

Capítulo 8

Quintino Reis de ARAÚJO

Seção de Solos e Nutrição de Plantas - Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (CEPLAC). Departamento de Ciências Agrárias e Ambientais (DCAA) - Universidade Estadual de Santa Cruz. Ilhéus - BA

Marcelo Henrique Siqueira ARAÚJO

Laboratório de Geoprocessamento - Instituto de Estudos Sócio-ambientais do Sul da Bahia (IESB)

Joelia Oliveira SAMPAIO

Mestranda em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente - Universidade Estadual de Santa Cruz. Ilhéus - BA

Capítulo 9

Maurício CETRA

Doutorando em Ciências da Engenharia Ambiental. Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada Departamento de Hidráulica e Saneamento (SHS). Universidade São Paulo. São Carlos - SP

Capítulo 10

Marcelo Friederichs Landim de SOUZA

Núcleo de Estudos Oceanográficos - Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas (DCET) - Universidade Estadual de Santa Cruz. Ilhéus - BA

Erminda C. Guerreiro COUTO

Núcleo de Estudos Oceanográficos - Departamento de Ciências Biológicas (DCB) - Universidade Estadual de Santa Cruz. Ilhéus - BA

Capítulo 11

Maria Victoria Ramos BALLESTER

Alex Vladimir KRUSCHE

Luiz Antonio MARTINELLI

Epaminondas FERRAZ

Reynaldo Luiz VICTORIA

Marcelo Correia BERNARDES
Jean Pierre OMETTO
Carlos Eduardo Pellegrino CERRI
Andre Marcondes Andrade TOLEDO
Plinio CAMARGO
Fabiana Cristina FRACASSI
Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA) - Universidade de São Paulo. Piracicaba - SP

Capítulo 12

Antonio Fernando Monteiro CAMARGO
Departamento de Ecologia - Universidade Estadual Paulista. (UNESP) Rio Claro - SP
Lúcio Alberto PEREIRA
Doutor em Geociências e Meio Ambiente. Universidade Estadual Paulista. (UNESP) Rio Claro - SP
Alexandre de Matos Martins PEREIRA
Graduado em Ecologia. Universidade Estadual Paulista. (UNESP) Rio Claro - SP

A adoção das bacias hidrográficas como unidade de estudo traz consigo, implicitamente, o compromisso da abordagem interdisciplinar e do trabalho em equipe, duas premissas básicas, essenciais para atingir o almejado desenvolvimento sustentável.

É exatamente nesse aspecto que a obra ora levada a público pela Editus representa uma contribuição oportuna e de grande relevância. É relevante porque reúne a experiência de vários autores que oferecem, de forma didática e, ao mesmo tempo, primando pela qualidade científica, os elementos teóricos, conceituais e instrumentais básicos para o exercício da ciência do desenvolvimento, ilustrados com exemplos locais criteriosamente selecionados para essa finalidade. É oportuna, porque a temática abordada não poderia ser mais atual, e surge exatamente no momento em que ocorre uma verdadeira corrida contra o tempo no sentido de construir um novo paradigma de desenvolvimento.

