

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Florestas
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Documentos 182

Relação entre Índices Morfométricos de Bacias Hidrográficas e Índices de Integridade de Floresta Ciliar na Bacia do Alto Capivari, Primeiro Planalto Paranaense

Elenice Fritzsos

Luiz Eduardo Mantovani

Nivaldo Eduardo Rizzi

Embrapa Florestas

Colombo, PR

2009

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Florestas

Estrada da Ribeira, Km 111, Guaraituba,
83411 000 - Colombo, PR - Brasil
Caixa Postal: 319
Fone/Fax: (41) 3675 5600
Home page: www.cnpf.embrapa.br
E-mail: sac@cnpf.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: Patrícia Póvoa de Mattos
Secretária-Executiva: Elisabete Marques Oaida
Membros: Antonio Aparecido Carpanezi, Cristiane Vieira Helm,
Dalva Luiz de Queiroz, Elenice Fritzsos, Jorge Ribaski, José
Alfredo Sturion, Marilice Cordeiro Garrastazu, Sérgio Gaiad

Supervisão editorial: Patrícia Póvoa de Mattos
Revisão de texto: Mauro Marcelo Berté
Normalização bibliográfica: Elizabeth Denise Câmara Trevisan
Editoração eletrônica: Mauro Marcelo Berté
Foto da capa: Elenice Fritzsos

1ª edição

1ª impressão (2009): sob demanda

Todos os direitos reservados

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Florestas

Fritzsos, Elenice.

Relação entre índices morfométricos de bacias hidrográficas e índices de integridade de floresta ciliar na Bacia do Alto Capivari, Primeiro Planalto Paranaense [recurso eletrônico] / Elenice Fritzsos, Luiz Eduardo Mantovani e Nivaldo Eduardo Rizzi. - Dados eletrônicos. - Colombo : Embrapa Florestas, 2009.

1 CD-ROM. - (Documentos / Embrapa Florestas, ISSN 1679-2599 ; 182)

1. Bacia hidrográfica - Paraná. 2. Geomorfologia. 3. Mata ciliar. I. Mantovani, Luiz Eduardo. II. Rizzi, Nivaldo Eduardo. III. Título. IV. Série.

CDD 551.483098162 (21. ed.)

© Embrapa 2009

Autores

Elenice Fritzsons

Engenheira Agrônoma, Doutora,
Pesquisadora da *Embrapa Florestas*
elenice@cnpf.embrapa.br

Luiz Eduardo Mantovani

Geólogo, Doutor,
Professor da UFPR
lem@ufpr.br

Nivaldo Eduardo Rizzi

Engenheiro Florestal, Doutor,
Professor da UFPR
niva@ufpr.br

Apresentação

A cobertura florestal é, reconhecidamente, um elemento fundamental para a proteção dos solos e recursos hídricos e isto é especialmente importante para o Brasil, um País de forte vocação florestal, e onde o componente arbóreo está presente em quase todos os ecossistemas.

A degradação dos solos é um problema global, sendo mais perceptível nas regiões tropicais e subtropicais, onde as precipitações podem atingir elevadas intensidades, impactando os solos que, desprotegidos pela falta de cobertura vegetal, são deslocados para as porções de menores altitudes da paisagem, causando a um tempo: erosão, abrasão e colmatção do terreno. Este processo leva também à degradação das águas superficiais, receptoras das agressões submetidas às bacias hidrográficas, além de normalmente dificultar a infiltração e assim a recarga dos aquíferos.

Neste contexto, este trabalho faz parte da tese da autora principal, desenvolvido sob a orientação e co-orientação dos respectivos co-autores, e procura estabelecer uma relação entre os índices morfométricos de bacia hidrográfica, normalmente utilizados na área de geomorfologia, e índices de floresta ciliar desenvolvidos no âmbito desse estudo.

A resultante das relações estabelecidas entre os índices evidencia os pontos mais suscetíveis à degradação da bacia hidrográfica, ou seja, os de maior fragilidade ambiental, e onde esforços conservacionistas deveriam ser prioritariamente alocados para minimizar os impactos sobre os solos, florestas e recursos hídricos.

Ivar Wendling
Chefe de Pesquisa e Desenvolvimento
Embrapa Florestas

Sumário

Introdução	9
Caracterização Ambiental	11
Inserção Geográfica.....	11
Vegetação e Uso do Solo.....	15
Clima	16
Vazão do Rio Capivari.....	17
Coeficiente médio de escoamento da bacia	18
Subdivisão e Descrição das Sub-Bacias do Alto Capivari	19
Caracterização Morfométrica das Sub-Bacias – Fórmulas e Aspectos Teóricos	28
Densidade de drenagem.....	37
Rio principal	38
Floresta Ciliar	40
Análise da floresta ciliar – desenvolvimento e aplicação de índices de integridade de floresta ciliar	42
Relação entre densidade de drenagem, extensão média do percurso superficial e floresta ciliar.....	52
Considerações Finais	54
Referências	56

Relação entre Índices Morfométricos de Bacias Hidrográficas e Índices de Integridade de Floresta Ciliar na Bacia do Alto Capivari, Primeiro Planalto Paranaense

Elenice Fritzsons

Luiz Eduardo Mantovani

Nivaldo Eduardo Rizzi

Introdução

A degradação dos recursos hídricos é um problema global e a questão fundamental consiste na relação da água com o ambiente de onde ela provém, o que torna clara a necessidade do planejamento regional que discipline a ocupação urbana, industrial e agropecuária e proteja os mananciais, para que haja disponibilidade de água em quantidade e qualidade.

Assumindo essa perspectiva, este trabalho é parte revista e sintetizada da tese de doutoramento (FRITZSONS, 2003) onde foram desenvolvidos procedimentos metodológicos para o estudo da relação entre estes dois aspectos fundamentais e indissociáveis, ou seja, o ambiente e a qualidade da água, aqui representados pelo exemplo da bacia hidrográfica do Alto Capivari e a qualidade da água do Rio Capivari e seus afluentes.

Tratando estes dois aspectos de forma mais específica, apresenta-se a avaliação ambiental da bacia hidrográfica por meio de coeficientes morfométricos e índices de integridade de floresta ciliar. Os primeiros são normalmente utilizados na caracterização física das bacias,

enquanto os últimos foram elaborados para o trabalho de tese, e apresentam um caráter inovador. Entretanto, deve ser enfatizado que para estudos conclusivos, considerando a proteção dos recursos hídricos, os solos e também o uso e ocupação das terras devem ser discriminados e estudados quanto à fragilidade, dinâmica hídrica e risco de erosão.

Este documento primeiramente caracteriza o ambiente da bacia por meio de uma descrição elaborada por checagens de campo, consultas bibliográficas e pela interpretação de análises efetuadas (erosividade, coeficiente médio de escoamento, relação entre vazão e precipitação, etc.).

A escolha desta área foi motivada pelos seguintes fatos:

- a) A bacia do Alto Capivari é representativa do Carste Paranaense, região de grande potencial hídrico superficial e subterrâneo;
- b) O rio Capivari é considerado, por muitos técnicos da área de abastecimento e saneamento, como um dos últimos rios limpos da região metropolitana, especialmente devido à sua bacia de origem se situar, em sua maior parte, sob uso agrossilvopastoril, sem presença de agricultura intensiva, indústrias ou grandes concentrações urbanas.
- c) Pelo fato desta bacia pertencer à microrregião de Curitiba, onde ocorre a maior densidade demográfica do estado. De acordo com Rede Interagencial de Informações para a Saúde (2009), a taxa anual de crescimento populacional na região se elevou para 2,74 % no período de 2001 a 2006. Isto aumenta os riscos potenciais de poluição fluvial, necessitando-se assim de um diagnóstico que subsidie ações futuras de proteção;
- d) A representatividade desta bacia de médio porte, em termos do Planalto Meridional Brasileiro, sobre substrato de rochas cristalinas e metadomômicas e sob o domínio da Floresta Ombrófila Mista (FOM),

Caracterização Ambiental

Inserção Geográfica

Este trabalho foi desenvolvido numa porção da Bacia Rio Ribeira, que pertence à Bacia do Atlântico Leste, no norte do Primeiro Planalto Paranaense. A Bacia do Alto Capivari, como definida neste trabalho, compreende a região das nascentes do Rio Capivari, até a sessão de controle do trabalho: a Estação de Tratamento de Água da Sanepar (ETA) de São Dimas. Está situada a norte/nordeste da cidade de Curitiba, apresenta ao sul os divisores comuns às bacias Ribeira e Iguaçu, a oeste os divisores de água da Bacia do Rio Açungui, cuja drenagem dominante é direcionada para o norte, para o Rio Ribeira. Assim, nota-se nesta região o relevo ondulado a forte ondulado com altitudes elevadas (maiores de 900 m a 1.200 m), próprias dos locais de divisores de águas.

Foi descrita como sendo uma região montanhosa, mais rebaixada em relação ao nível geral deste planalto, mas com entalhes profundos, provocados pelos afluentes do Rio Ribeira (BIGARELLA et. al., 1979). Na parte não entalhada e suavemente ondulada do Primeiro Planalto localiza-se Curitiba, sobre uma bacia sedimentar cenozóica.

A bacia dista aproximadamente 20 km da cidade de Curitiba, tendo como acessos principais a Estrada da Ribeira (BR 111) e a Rodovia da Uva (PR 417) e compreende quatro municípios da Região Metropolitana de Curitiba: Almirante Tamandaré à oeste, Bocaiúva do Sul, à leste da bacia; Colombo, ao sul, e Rio Branco do Sul ao norte. A bacia apresenta uma área de 125,19 km² (12.519 ha) de formato bastante irregular e pode ser dividida em duas grandes sub-bacias, correspondentes aos dois maiores rios que compõem essa rede de drenagem, o Rio Bacaetava e o Rio Capivari. O Rio Bacaetava é um afluente do Rio Capivari e ocupa a porção oeste da área estudada. Já a bacia do Capivari ocupa a porção norte/leste e compreende as nascentes do Rio Capivari (Fig. 1).

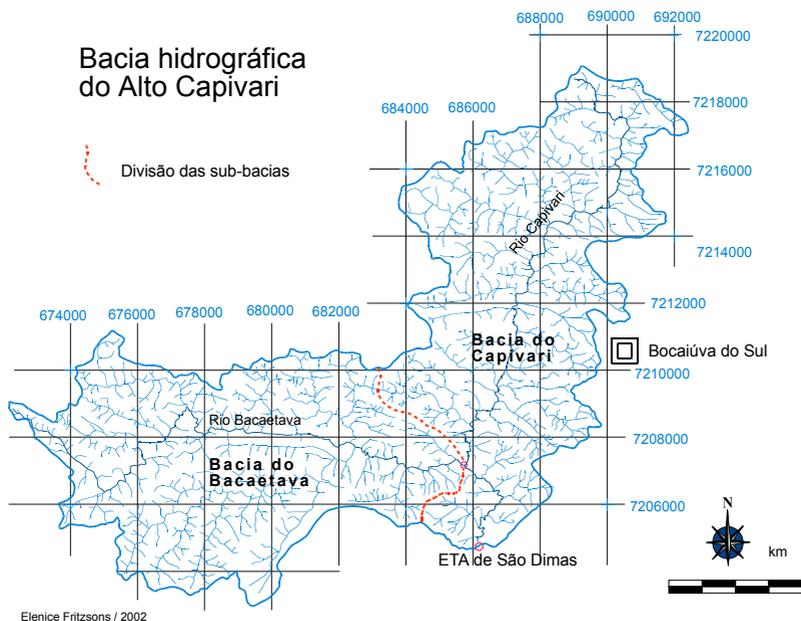


Fig. 1. Bacia hidrográfica do Alto Capivari. Coordenadas UTM em metros. ETA = Estação de Tratamento de Água.

O Rio Capivari, deixando a Bacia do Alto Capivari, segue a jusante recebendo tributários até a represa do Capivari. Nessa parte das águas são desviadas para um túnel que atravessa a Serra do Mar movendo as turbinas da Usina Hidrelétrica “Parigot de Souza”, indo encontrar o Rio Cachoeira nas proximidades do Bairro Alto, já na bacia hidrográfica de Antonina. A parte não desviada constitui um afluente do Rio Pardo, que por sua vez deságua no Rio Ribeira, com destino até o oceano, através do Lagamar já no Estado de São Paulo.

De acordo com a MINEROPAR (2001), na Bacia do Capivari estão presentes as seguintes formações litológicas: Formação Setuva ou Grupo Setuva – composta por rochas gnáissicas, rochas xistosas e quartzo-micaxistos; Grupo Açungui (ou Formação Capiru) – composta predominantemente por metacalcários dolomíticos, filitos e quartzitos e, secundariamente, por filitos grafitosos, metassilitos e metamargas; Rochas intrusivas básicas do limite Jurássico-Cretáceo – diques de

diabásio; Granitos intrusivos – com coloração acinzentada e localmente é recortado por dique de diabásio (Fig. 2).

Carta Geológica da Bacia do Alto Capivari Primeiro Planalto Paranaense

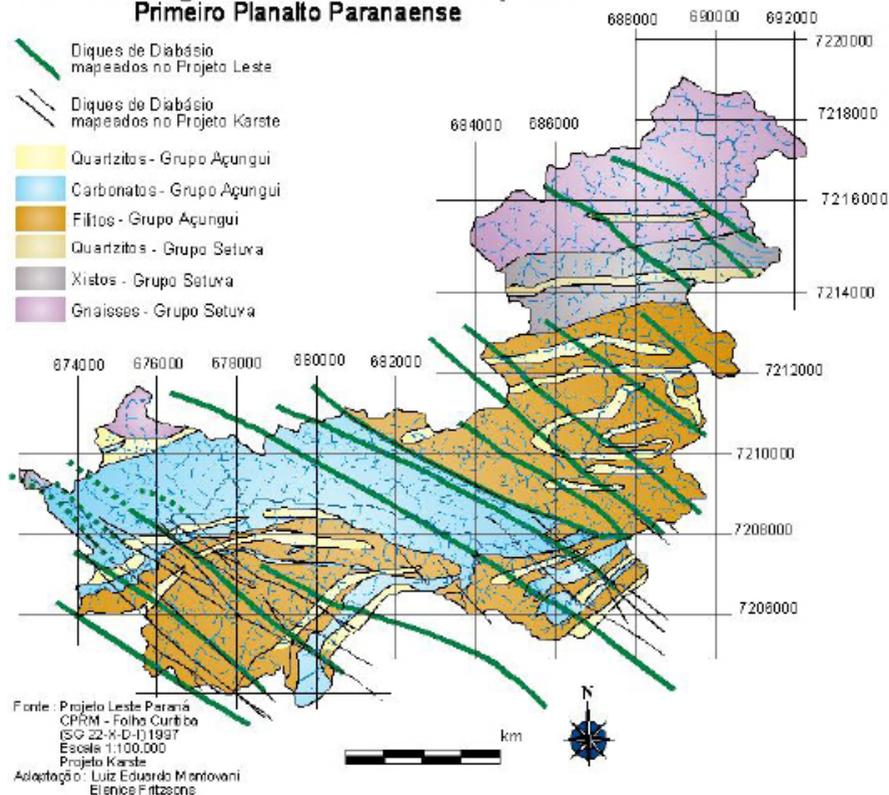


Fig. 2. Carta geológica da bacia do Alto Capivari.

Já os aluviões atuais encontram-se nas regiões de fundo de vale, recobrendo preferencialmente as rochas carbonáticas da Formação Capiru. Formam áreas aplainadas, quase sempre com nível piezométrico raso ou aflorante.

A litologia diversificada e as estruturas geológicas apresentam implicações na circulação da água subterrânea. De acordo com Lisboa (1997), os diques tabulares verticais e subverticais de diabásio, impermeáveis e pouco fraturados, seccionam o complexo metamórfico

funcionando como barreiras hidrogeológicas, tais como represas subterrâneas, tendo ao centro, os pacotes carbonáticos do Açungui, porosos, permeáveis e topograficamente rebaixados, os quais também são limitados pelas cristas de filitos e quartzitos (Fig. 3).

A dinâmica hídrica das áreas carstificadas também é particular, pois as águas das chuvas ou irrigação podem atingir os sistemas freáticos com facilidade por meio dos condutos ou sumidouros (dolinas) (Fig. 4) que são comuns nesta paisagem, o que facilita a poluição destes aquíferos subterrâneos (FRITZSONS et al., 2001).

Foto: Elenice Fritzsos.



Fig. 3. Vista de espigão de quartzito.

Foto: Elenice Fritzsos.

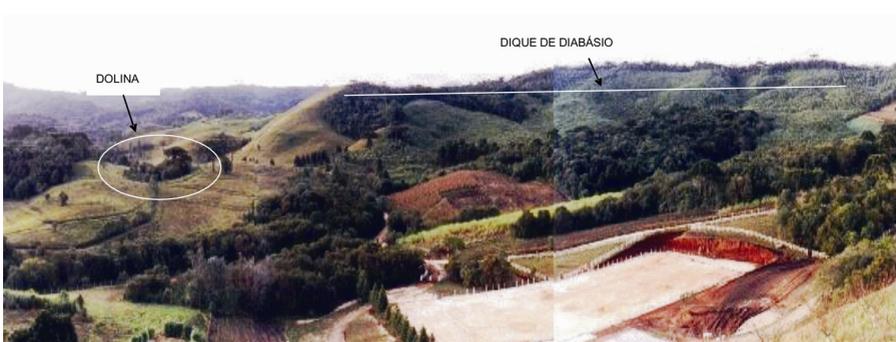


Fig. 4. Vista de dique de biabásio.

Vegetação e Uso do Solo

A vegetação corresponde ao domínio da Floresta Ombrófila Mista (FOM), ou floresta com araucária, a qual é exclusiva do Planalto Meridional Brasileiro. Klein e Hatschback (1962), em estudo de fitofisionomia em parte dos municípios de Colombo, Almirante Tamandaré, Rio Branco do Sul e Bocaiúva do Sul, baseados num levantamento florístico de 1952, concluíram que os remanescentes da Floresta Ombrófila Mista já eram raros e perturbados pela intervenção humana na busca das “Madeiras de Lei”.

O sub-bosque era composto de imbuia (*Ocotea porosa*), canela sassafrás (*Ocotea pretiosa*), canela-preta (*Ocotea catharinensis*), açoita-cavalo (*Luehea divaricata*), pinheiro-bravo (*Podocarpus lambertii*), erva-mate (*Ilex paraguariensis*), tapiás (*Alchornea sp*), sapopema (*Sloanea lasiocoma*), casca d’anta (*Drimys brasiliensis*), bracatinga (*Mimosa scabrella*), canela-fogo (*Criptocaria aschersoniana*) e outras lauráceas, vulgarmente denominadas de canelas.

Quanto ao uso da terra, ainda de acordo com Klein e Hatschback (1962), a agricultura estava representada nas culturas de milho e feijão, e quando esgotado o potencial produtivo do solo, era então abandonado e o agricultor avançava para florestas vizinhas ou para capoeiras mais velhas. A terra abandonada durante várias décadas, sistema denominada de pousio, ia sendo então ocupada por fases distintas de sucessão secundária da FOM. As fases iniciais de sucessão são compostas por espécies herbáceas e arbustivas, como o gênero *Bacharis*. Seguindo o processo sucessional, a primeira fase florestal é caracterizada pela ocorrência da bracatinga.

Em 2001, foi realizada uma classificação do uso e ocupação das terras por meio de imagens de satélite e foram identificadas sete tipologias em termos de recobrimento percentual do solo (FRITZSONS, 2003), sendo elas: formações arbustivo-arbóreas (32 %), bracatinga (27 %), campo (34 %), áreas edificadas (1 %), agricultura (3 %), mineração (1 %), e água (menos de 1 %). A tipologia “formações arbustivo-

arbóreas” compreende áreas florestais pertencentes ao domínio da Floresta Ombrófila Mista, reflorestamentos e Sistemas secundários (capoeiras). A área pertencente à tipologia “bracatinga” apresenta como característica principal o domínio desta espécie. Foram designados de “campos” as áreas com pouca a nenhuma espécie arbustivo-arbórea, tais como áreas de pastagem e áreas sob o domínio da Estepe Gramíneo lenhosa. As áreas edificadas correspondem às áreas sem vegetação e com construções, tais como casas, celeiros, galpões, etc. A tipologia “água” compreende represas, açudes e lagos e ocupa 0,002 % da área, não sendo, portanto, inserida no gráfico. As áreas de mineração compreendem espaços onde as lavras para extração de calcário estão expostas (Fig. 5).

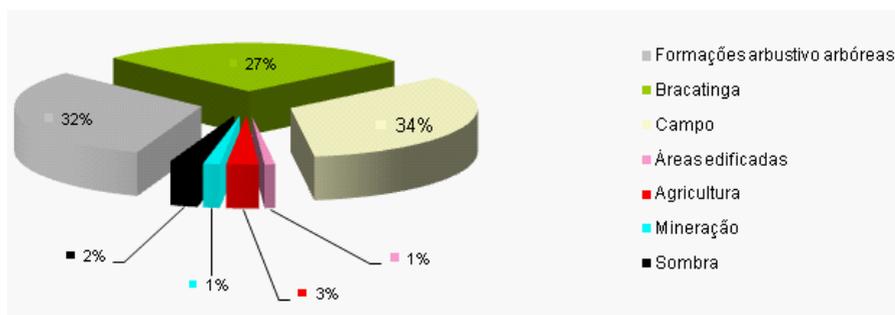


Fig. 5. Distribuição percentual das tipologias de uso e ocupação das terras em 2001 da área de estudo conforme Fritzsos (2003).

Obs: a tipologia “sombra” constitui áreas que não receberam luz solar direta no momento em que a imagem foi obtida pelo satélite, compreendendo áreas mais íngremes do relevo com vertentes, em geral, voltadas para sudoeste.

Clima

Segundo a classificação de Köppen, o tipo climático da região é Cfb. Este clima se define como: temperado propriamente dito; temperatura média no mês mais frio abaixo de 18 °C (mesotérmico), com verões frescos, temperatura média no mês mais quente abaixo de 22 °C e sem estação seca definida (IAPAR, 2008).

A média de precipitação estimada por Rosa Filho et al. (2002), com dados provenientes de cinco postos meteorológicos de observação mais

próximos da área de estudo, entre 1954 a 1997, foi de 1.404 mm/ano. Fritzsos et al. (2008) estimaram, baseados em dados de mais de 60 anos, a precipitação média de 1.429 mm para Curitiba. Este valor se insere nas faixas de menor precipitação do estado. O período mais úmido ocorre entre os meses da primavera e verão, com cerca de 60 % do total anual e o mais seco entre o outono e o inverno.

A erosividade, definida por Hudson (1961) como sendo a capacidade da chuva em causar erosão, foi estimada por Fritzsos (2003) para a Bacia do Capivari, utilizando os dados de precipitação dos anos de 1987, 1998, 1999 e 2000, foi considerada moderada a forte, de acordo com a classificação de Carvalho (1994).

Rosa Filho et al. (2002) estimaram a evapotranspiração média real (ETR) e potencial (ETP) mensal por dois métodos, utilizando séries históricas de parâmetros meteorológicos da estação Iapar - Piraquara, período 1974-1993. Outros cálculos foram feitos pela Copel e apresentados por Rosa Filho et al. (2002), para o período de 1974 a 1993, utilizando os métodos de Morton, Penman, Thornthwaite-Mather e Turc. Sendo o excedente hídrico médio anual para a área, considerando a precipitação média anual de 1.404 mm e o maior valor atribuído para a ETR, estimado pelo método de Morton, igual a 1.040,6 mm/ano, o excedente hídrico, representado pelo deflúvio médio anual seria de apenas 363 mm (ROSA FILHO et al., 2002). Este excedente médio anual representa a quantidade de água disponível para ser infiltrada no solo e escoada superficialmente, devendo alimentar o aquífero e os rios (infiltração e escoamento superficial).

Apesar da existência deste excedente hídrico no ano, o balanço hídrico mensal indica a ocorrência de períodos secos curtos, o que ocasiona déficit de água em culturas mais sensíveis.

Vazão do Rio Capivari

Para a bacia de estudo, os dados diários de vazão fluviométrica do Rio Capivari foram coletados pela Suderhsa na localidade denominada de Chácara da Luz, situada 200 m à jusante da ETA de São Dimas (foz da

Bacia do Alto Capivari). Tratando-se os dados de vazão fluviométrica da Chácara da Luz e os de precipitação pluviométrica obtidos pela ponderação entre as estações de Colombo e de Bocaiúva, obteve-se a tendência geral da vazão em função da precipitação, a qual apresenta uma resposta bastante rápida, uma vez que picos de vazão são praticamente coincidentes aos picos de precipitação (Fig. 6).

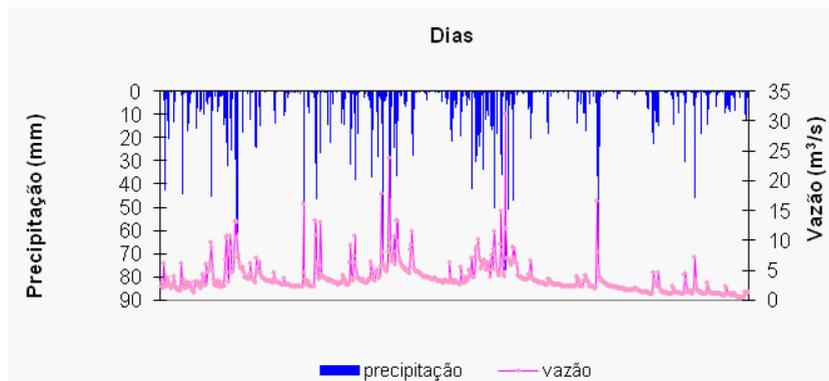


Fig. 6. Vazão e precipitação diárias entre os anos de 1997, 1998 e 1999.

Coeficiente médio de escoamento da bacia

Fritzsos (2003) estimou que a média do escoamento direto por precipitação para a Bacia do Alto Capivari situa-se entre 50 % e 54 %, isto significa que, de 100 % da água precipitada, aproximadamente 50 % é escoada e 50 % é evaporada ou infiltrada. Para a Bacia do Ribeira, a taxa de escoamento superficial médio, estimada com dados de 20 anos (1974-1993) foi de 39 % (JICA, 1995). No restante do estado, com exceção da bacia litorânea (rios Nhundiaquara e Marumbi), a taxa de escoamento superficial situa-se em torno de 42 % e da evapotranspiração mais infiltração de 58 %. Já para a Bacia do Rio Nhundiaquara (Serra do Mar), foi encontrado um índice de 68,8 % de escoamento superficial (JICA, 1995).

Assim, para a Bacia do Alto Capivari, o escoamento médio superficial é bastante alto, justificando, em parte, a resposta rápida da vazão

frente à precipitação (Fig. 6). Isto pode ser justificado pela altitude elevada, maior umidade relativa média do ar e conseqüente menor taxa de evapotranspiração, e também pelo relevo mais acidentado, típico de área de nascentes sobre substrato com predominância de rochas filíticas pouco permeáveis.

Subdivisão e Descrição das Sub-Bacias do Alto Capivari

A Bacia do Alto Capivari foi dividida em duas sub-bacias. A primeira, orientada de norte para sul, corresponde à sub-bacia do Capivari, onde se localizam as nascentes da Bacia do Alto Capivari. A segunda, de orientação geral de oeste para leste, corresponde à sub-bacia do Bacaetava e seus afluentes, sendo que o Rio Bacaetava deságua no Rio Capivari. Em termos de área, apresentam tamanhos semelhantes, tendo a do Capivari 65,58 km² e do Bacaetava 59,61 km².

Para facilitar a compreensão do presente estudo quanto à relação entre a proteção do ambiente ciliar e as características morfométricas das bacias, estas duas sub-bacias foram subdivididas em cinco sub-bacias cada uma. Assim, na sub-bacia do Capivari temos: Nascentes do Capivari, Água Comprida (do Capivari), Antinha, Médio Capivari e Várzea do Capivari. Na sub-bacia do Bacaetava: Alto Bacaetava, Médio Bacaetava, Pinhal Grande, Baixo Bacaetava, Campestre e Água Comprida (do Bacaetava).

O critério utilizado para a separação destas sub-bacias foi o encontro de um determinado rio de uma sub-bacia com outro maior. Assim, por exemplo, o exutório da sub-bacia das “Nascentes do Capivari” foi considerado no encontro com a foz dos rios principais que drenavam a sub-bacia “Antinha” e “Água Comprida”. Além disto, houve também a preocupação de separar localidades que se mostraram diferentes nas visitas a campo. A carta hidrográfica com as ordens dos rios, em simbologia de cores, apresenta também as subdivisões das bacias, bem como os nomes das localidades mais importantes da área (Fig. 7). A seguir, uma breve descrição destas sub-bacias:

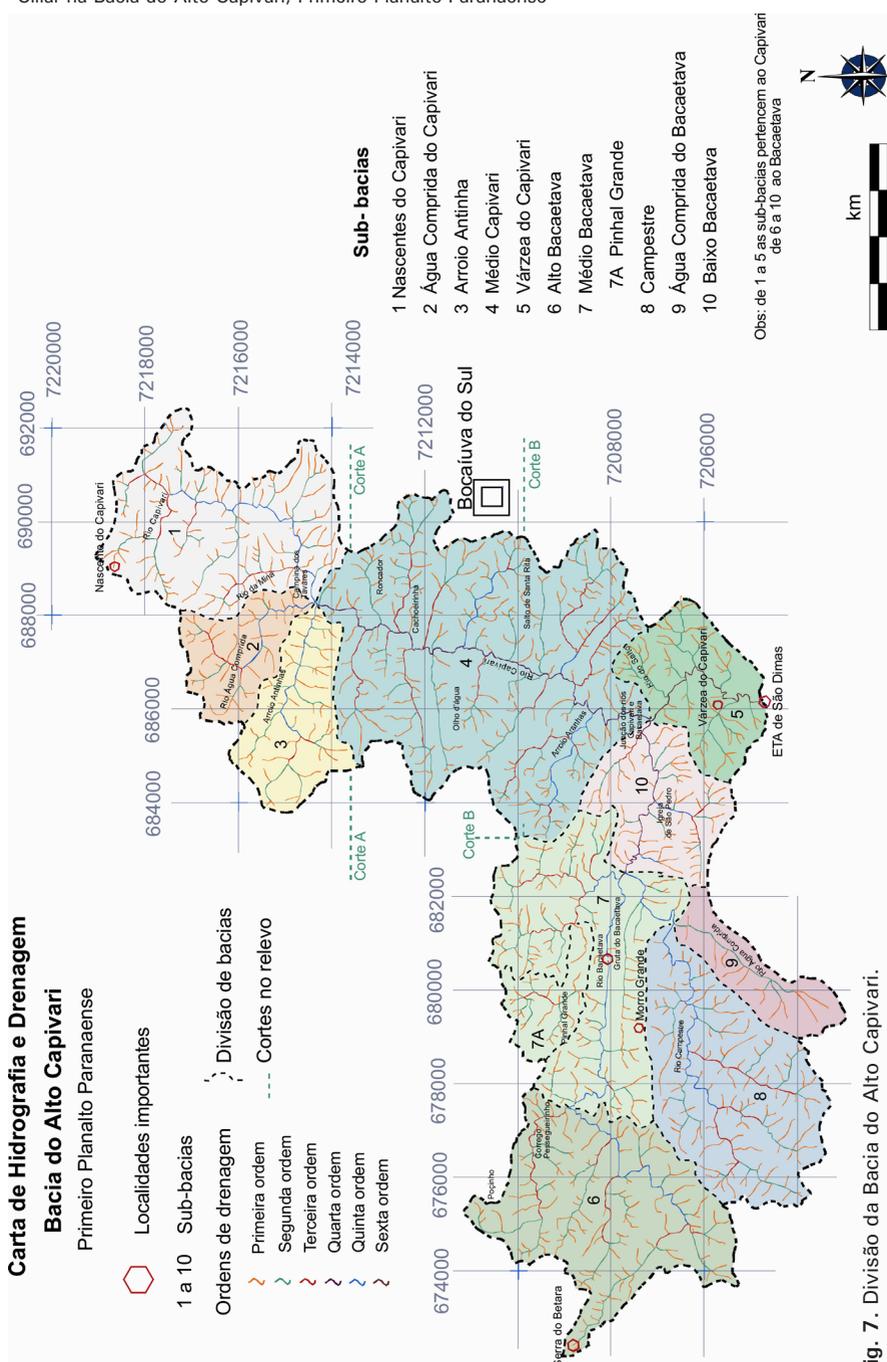


Fig. 7. Divisão da Bacia do Alto Capivari.

Foto: Elenice Fritzsos.



Fig. 8. Nascentes do Capivari.

1. Nascentes do Capivari: localizada no extremo norte da área de estudo, compreende as nascentes do Rio Capivari a 1.125 m de altitude (Fig. 8). Recebe o rio Mina como afluente na margem direita e o exutório encontram-se a 952 m, na “Campina dos Tavares”. Ela se desenvolve até a quarta ordem.

2. Água Comprida: encontra-se no lado oeste da sub-bacia anterior. Sua cota mais alta situa-se a 1.040 m e seu exutório se encontra a 952 m. Esta sub-bacia desenvolve-se até a quarta ordem.

3. Antinha: localizada ao lado da anterior, porém mais a oeste. Possui sua maior cota a 1.080 m e seu exutório na junção do exutório da Antinha e das Nascentes do Capivari, a 952 m. Desenvolve-se até a quarta ordem e a drenagem principal ocorre no sentido de oeste para leste. Esta sub-bacia, assim como as anteriores, apresenta substrato geológico pertencente ao Grupo Setuva. As declividades são acentuadas e ocorrem solos pouco desenvolvidos.

4. Médio Capivari: No limite superior, o rio está na cota de 952 m e seu exutório em 875 m. Esta sub-bacia se inicia em quinta ordem e termina antes de se tornar de sexta, com a junção do Bacaetava, à direita. Está localizada a oeste do Município de Bocaiúva do Sul, PR, pertencendo totalmente a ele, bem como todas as sub-bacias anteriormente citadas.

O substrato geológico é, predominantemente, composto de filitos do Grupo Açungui, sendo que ocorrem quartzitos intercalados e dobrados, os quais sendo mais resistentes ao intemperismo que os filitos, originam relevo acidentado.

5. Várzea do Capivari: Inicia-se em sexta ordem, a partir da junção do Bacaetava a 875 m e termina na estação de controle da Sanepar a 870 m de altitude (Fig. 9), na ETA (Estação de Tratamento de Água) de São Dimas. Esta sub-bacia pertence a dois municípios: Colombo, na margem direita do rio, e à esquerda, Bocaiúva do Sul. Nesta sub-bacia, além de filitos e quartzitos do grupo Açungui, estão presentes rochas carbonáticas, conferindo, em geral, um relevo com vertentes mais suaves, várzeas, como o próprio nome local da sub-bacia indica, e solos mais ricos, aproveitados para agricultura.

Foto: Elenice Fritzsons.



Fig. 9. Rio Capivari, em frente à Eta São Dimas.

A seguir uma descrição das sub-bacias do Bacaetava:

1. Alto Bacaetava: Nesta sub-bacia estão localizadas as cotas mais altas da área de estudo. A nascente está a 965 m em localidade denominada de Serra do Betara. Outro ponto de alta cota é Pocinho com 1.200 m, no morro do Setuva. O sentido da drenagem principal ocorre de norte para sul e depois para leste. Esta bacia está localizada

em Almirante Tamandaré e Rio Branco do Sul, desenvolvendo-se até a quarta ordem.

De acordo com Maack (1981), o rio Bacaetava teria sua origem na Serra do Bacaetava, entretanto, nos mapas mais atuais, não existe uma serra assim denominada, podendo talvez existir em mapeamentos mais antigos. É interessante notar que as cotas mais altas da sub-bacia do Bacaetava estão sobre gnaisse do Grupo Setuva. Já a Serra do Betara está sobre xistos também do Setuva. No geral, no Alto Bacaetava, há predominância de rochas carbonáticas do Açungui.

2. Médio Bacaetava: Inicia-se na cota 965 m, em quarta ordem na foz do Rio Pessegueirinho e termina antes de se transformar em quinta ordem, na cota 900 m, na junção com o Rio Campestre. O sentido da drenagem principal ocorre de oeste para leste. Apresenta dentro dela um trecho criptorreico (7A), que de acordo com Guerra (1987): “trata-se de um padrão de drenagem onde a bacia é subterrânea, como acontece nas áreas cársticas, sendo que esta drenagem subterrânea acaba surgindo em fontes ou integrando-se em rios subaéreos”, como é o caso desta depressão. Análises de fotos aéreas e visitas a campo permitiram verificar que o exutório desta sub-bacia ocorre num braço da sub-bacia do médio Bacaetava. O sumidouro situa-se na sub-bacia de Pinhal Grande.

A predominância nesta bacia é de rochas carbonáticas do Açungui. A atividade de mineração é muito intensa, sendo que as pedreiras e os locais de depósitos do calcário moído estão muito próximos ao Rio Bacaetava (Fig. 10).

Foto: Elenice Fritzsos.



Fig. 10. Forno de cal e depósito de calcário.

3. Campestre: A cota mais alta da sub-bacia está nos seus divisores a 1.156 m, próximo à localidade de Tranqueira. Esta sub-bacia desenvolve-se até a quarta ordem. As nascentes do Campestre ocorrem em Boichininga. A drenagem predominante ocorre no sentido de sudoeste para nordeste e recebe o afluente “Água Comprida”, na cota 935 m, e seu exutório ocorre na cota 900 m, no encontro com o Rio Bacaetava. Esta sub-bacia está localizada em Colombo e Almirante Tamandaré.

Nesta sub-bacia predominam filitos do Grupo Açungui, bem como no Médio Capivari, entretanto, estes filitos são muito impermeáveis

(Rosa Filho et al., 2002), sendo a área bastante fraturada por diques de diabásio. Isto faz com que a água esco rapidamente para o canal de drenagem e também propicie o desenvolvimento de voçorocas (Fig. 11).

Foto: Elenice Fritzsos.



Fig. 11. Aspecto da paisagem da sub-bacia do Campestre, bacia do Bacaetava.

4. Água Comprida: A drenagem principal desta sub-bacia ocorre de sul para norte. A nascente está na cota 1.040 m e seu exutório a 935 m. Situada totalmente em Colombo, é uma sub-bacia com baixa densidade de drenagem, de forma alongada, e apresenta em sua cota mais baixa rochas carbonáticas, enquanto que seus divisores estão sobre filitos e quartzitos do Açungui.

A sub-bacia de Água Comprida apresenta intensa atividade agrícola. Os solos apresentam fertilidade natural mais alta e há facilidade de escoamento da produção, uma vez que possui em sua área importante via de acesso à Colombo e Curitiba (Fig. 12).

Foto: Elenice Fritzsos.



Fig. 12. Aspecto da paisagem da sub-bacia Água Comprida, com destaque à cultura de chuchu em primeiro plano e bracatingal ao fundo, à esquerda. Foto: Elenice Fritzsos.

5. Baixo Bacaetava: Inicia-se em quinta ordem, na cota 900 m, e termina antes de se transformar em sexta ordem na cota 870 m, com a junção do Rio Capivari. A predominância nesta sub-bacia é de rochas

carbonáticas do Açungui. Os rios Bacaetava e Capivari se encontram “de frente” e seguem posteriormente em ângulo reto, constituindo um caso típico de rios encaixados em falha geológica. O volume de água dos dois rios é semelhante, o que é percebido localmente, e condiz com a área drenada, uma vez que os dois possuem sub-bacias de extensão semelhantes e constituem ambos, rios de quinta ordem (Fig. 13).



Fig. 13. Local do encontro dos rios Bacaetava e Capivari.

Observa-se também, à esquerda da foto, a ausência de floresta ciliar que perdura desde, pelo menos 1980, como observado em fotos aéreas. Logo à jusante do ponto retratado nesta foto, a floresta ciliar é bastante densa (Fig. 14).

Foto: Elenice Fritzsos.



Fig. 14. Aspecto da floresta ciliar.

O percentual de ocupação de área de cada uma das sub-bacias foi também quantificado (Fig. 15).

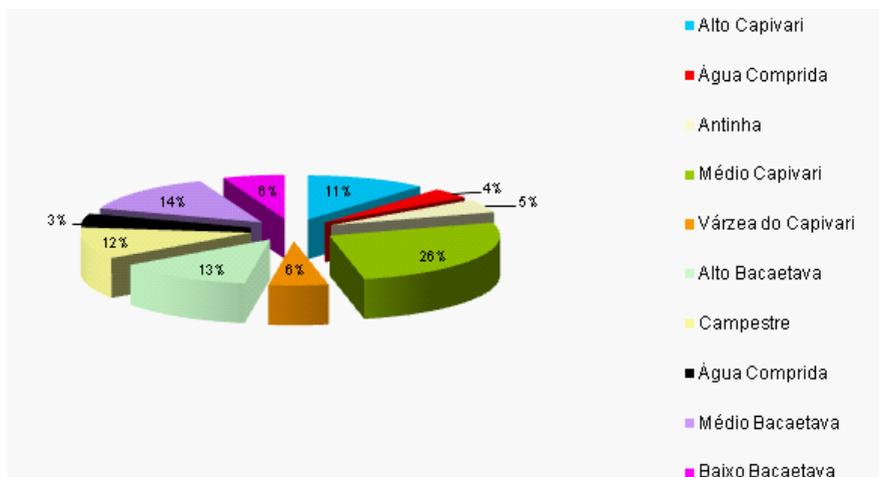


Fig. 15. Distribuição em porcentagem das áreas das sub-bacias do Alto Capivari.

Caracterização Morfométrica das Sub-Bacias – Fórmulas e Aspectos Teóricos

A morfometria da microbacia hidrográfica e a caracterização da zona ripária são importantes ferramentas de diagnóstico da susceptibilidade à degradação ambiental. Os resultados norteiam o manejo e a implementação de medidas mitigadoras para a conservação dos recursos naturais (RODRIGUES; STARZYNSKI, 2003).

A importância da determinação quantitativa das características físicas, ou morfométricas, das bacias hidrográficas se insere no contexto do comportamento hidrológico, uma vez que existe estreita correspondência entre estes fatores e o regime hidrológico. Há uma série de fórmulas a serem aplicadas às bacias hidrográficas para sua caracterização e, algumas delas, utilizadas neste trabalho, podem ser vistas com maiores detalhes em Villela e Matos (1975), e serão descritas a seguir:

O estudo da **forma da bacia** é uma análise importante para se estimar o tempo de concentração, ou seja, o tempo necessário para que a água, precipitada nos limites da bacia, atinja o exutório (saída). A forma da bacia em termos quantitativos é dada pelo coeficiente de compacidade e pelo fator de forma.

O coeficiente da compacidade (K_c), parâmetro adimensional, diz respeito à relação entre o perímetro (P) e a área da bacia (A), sendo definida pela fórmula:

$$K_c = 0,28. P/\sqrt{A},$$

De acordo com Villela e Matos (1975), quanto mais irregular for a bacia, maior o coeficiente de compacidade e menos sujeita a enchentes ela será. Assim, quanto mais próxima da forma de um círculo, mais propícia a enchentes ela se torna.

O Fator de Forma (Kf), parâmetro adimensional, diz respeito à relação da área da bacia (A) e o seu comprimento (L) e pode ser definida pela fórmula:

$$Kf = A / L^2$$

Obtém-se o L seguindo o curso de água mais longo, desde a desembocadura até a cabeceira mais distante da bacia. Este índice deve ser utilizado na comparação de bacias de áreas semelhantes. É também um indicativo da possibilidade de enchentes e deve ser interpretado da seguinte forma: uma bacia de fator de forma baixo é menos sujeita a enchentes que outra de mesmo tamanho, porém com fator de forma mais elevado.

Amplitude altimétrica (Aa) constitui a diferença entre a altitude do ponto mais alto situado em qualquer lugar do divisor de águas e a da foz da bacia.

A densidade de drenagem constitui um indicativo muito importante do escoamento superficial da água, o que reflete uma maior ou menor intensidade dos processos erosivos na esculturação dos canais, sendo também um indicativo da natureza da litologia e dos solos. Seus padrões são elementos importantes de reconhecimento para identificação de fenômenos geológicos e ambientais. De acordo com Anderson (1982), ela é um dos fatores que devem ser levados em consideração para a compreensão da paisagem, pois reflete a corrosão da rocha (intemperismo) e a erosão do solo.

Horton (1945) idealizou uma interpretação quantitativa dos padrões de drenagem, baseado no desenvolvimento do sistema hidrográfico e suas bacias de drenagem. Segundo ele, os processos de erosão hídrica para um dado ambiente dependem, em primeiro lugar, da razão infiltração/deflúvio. De acordo com o autor, a resistência do solo à erosão é o que mais influi no desenvolvimento da rede de drenagem de bacias hidrográficas. Afirma ainda Horton que, devido à densidade de drenagem e à frequência dos rios sofrerem influência do tamanho

da área de drenagem, bacias de tamanhos diferentes não podem ser comparadas. Porém, de acordo com Strahler (1957), bacias de mesma ordem de ramificações podem ser comparáveis com certa segurança, desde que apresentem semelhança geométrica. A densidade de drenagem também pode ser um instrumento útil para indicações do potencial de poluição em determinada bacia. De acordo com Resende e Pinto (1985), citados por Souza (1996), a existência de uma fonte poluidora, em região de baixa densidade de drenagem, gera um impacto maior ao ambiente aquático do que em regiões de maior densidade de drenagem.

A densidade de drenagem (Dd) é definida por: $Dd = L/A$, onde L é a drenagem de toda a bacia e A é a área total da bacia (CHRISTOFOLETTI, 1974). A densidade de drenagem é dada em km/km^2 e é classificada em classes de intervalos de drenagem (Tabela 1).

Tabela 1. Classificação dos valores de densidade de drenagem.

Valores da densidade de drenagem (km/km^2)	Qualidade da densidade de drenagem
< 0,50	Baixa
0,5 a 2,00	Mediana
2,01 a 3,50	Alta
> 3,50	Muito Alta

Fonte: Beltrame (1994).

O Comprimento do rio principal (L) é a distancia que se estende ao longo do curso d'água desde a desembocadura (foz) até a nascente mais extrema. Existe uma fórmula desenvolvida por vários pesquisadores que apresenta uma relação entre a área da bacia e o comprimento do rio principal (CHRISTOFOLETTI, 1981). A fórmula é a seguinte: $L = 1,5 \cdot A^{0,6}$, onde A é a área da bacia.

Deve ser observado que este comprimento do rio principal é o adotado por Horton (1945), em que o canal de ordem mais elevada corresponde ao rio principal.

A Extensão do percurso superficial (EPS) representa a distância média percorrida pelas enxurradas entre o interflúvio e o canal permanente. Seu cálculo é feito em função da densidade de drenagem, como demonstrado a seguir (CHRISTOFOLETTI, 1974): $EPS = \frac{1}{2} Dd$, onde, Dd é a densidade de drenagem.

Villela e Matos (1975) propõem outra fórmula para quantificar a extensão média do percurso superficial, constituindo uma indicação da distância média do escoamento superficial, sendo obtido pela fórmula: $I = A/4L$, onde A é a área da bacia e L o comprimento do curso d'água principal. Este indicativo deve ser analisado da seguinte forma: quanto maior a distância média de escoamento superficial, maior a chance de infiltração da água.

A Sinuosidade do curso d'água (Sin) refere-se à relação entre o comprimento do rio principal (L) e o comprimento do talvegue (L_t), sendo obtida pela seguinte fórmula: $Sin = L/L_t$. Esta relação reflete a velocidade de escoamento de um rio (VILLELA; MATOS, 1975) e, de acordo com Christofoletti (1981), este índice permite distinguir entre os canais que são meandros dos que não são. Segundo os autores, alguns pesquisadores consideram que o valor da relação acima de 1,5 é limite para se considerar os canais como meandros.

Aplicando as fórmulas descritas anteriormente, a caracterização física das sub-bacias foi individualizada para cada uma das 10 sub-bacias, para o conjunto das duas grandes sub-bacias e também para toda a área da Bacia do Alto Capivari. Estes cálculos seguiram as fórmulas indicadas em Villela e Mattos (1975) e Christofoletti (1981).

Os resultados obtidos sintetizam as informações morfométricas referentes às ordens das bacias, áreas, perímetros, extensão da drenagem, densidade de drenagem (Dd), coeficiente de compacidade

(Kc), extensão do percurso superficial (EPS), extensão média do escoamento superficial (I), comprimento dos rios principais (L), sinuosidade do rio principal (Sin), fator de forma (Kf), comprimento do rio principal calculado (L') e amplitude altimétrica (AA) (Tabelas 2 e 3).

Algumas características morfométricas podem ser visualizadas na Tabela 2, tais como: densidade de drenagem, extensão média do percurso superficial, coeficiente de compacidade e a ordem das 10 sub-bacias (Fig. 16).

Tabela 2. Caracterização física das sub-bacias do Capivari, do Bacaetava e Bacia do Alto Capivari.

Bacias	Ordem	Área	Perímetro	Drenagem (km) $\sum I$	Dd (km/ km ²)	EPS (m)	L (km)	Sin	Kc	AA (m)	Kf	L' (m)
Sub-bacia do Capivari	5	65,58	52,5	225,6	3,44	145,4	26	1,39	1,82	349	0,1	18,5
Sub-bacia Bacaetava	5	59,61	44	211,3	3,54	141,2	18,7	1,11	2,16	324	0,17	17,4
Bacia do Alto Capivari	6	125,19	82,5	436,9	3,49*	143,3	26	1,39	2,06	349	0,19	27,2

Formulas: Dd: $\sum I / A$ (somatório de todos os canais de drenagem, dividido pela área da bacia); EPS: $\frac{1}{2} \cdot Dd$ (um meio multiplicado pela densidade de drenagem); I : $A/4L$ (área dividida por 4 vezes o comprimento do rio principal); L: comprimento do rio principal; Sin: $L/L1$ (comprimento do rio principal dividido pelo comprimento do talvegue); Kc: $0,28 \cdot P/\sqrt{A}$ (0,28 multiplicado pelo perímetro da bacia dividido pela raiz da área da bacia); Kf: A / L^2 (Área da bacia dividida pelo comprimento da bacia ao quadrado); L': $1,5 \cdot A^{0,6}$ (1,5 multiplicado pela área elevado à 0,6); AA: amplitude altimétrica (diferença entre a maior cota altimétrica e a menor cota altimétrica da bacia).

Tabela 3. Caracterização física das sub-bacias.

Sub bacias	Divisão das Sub-bacias	Ordem	Área (km ²) A	Perímetro (km) P	Drenagem (km) $\sum l$	Dd (km/km ²)	EPS (m)	L (km)	Sin	Kc	AA (m)	Kf	L (m)
Capivari	Nascentes do Capivari	4	14,4	18,4	55	3,8	131	12,5	1,74	1,35	242	0,09	6,3
	Água Comprida	4	4,8	10,5	18	3,7	135	4,5	1,12	1,34	202	0,24	3,3
	Antinha	4	6,1	12	22	3,6	139	5	1,05	1,36	136	0,24	3,8
Bacaetava	Médio Capivari	5	33,2	30	102,1	3,1	162	9,5	1,12	1,46	287	0,01	10,4
	Várzea do Capivari	6	7,1	11	28,5	4,0	124	4	1,33	1,16	157	0,44	4,1
	Alto Bacaetava	5	16,1	22	69	4,3	117	8,7	1,08	1,53	259	0,21	6,8
Bacaetava	Campestre	4	14,54	16	52,5	3,6	138	8,3	1,04	1,17	282	0,21	6,3
	Água Comprida	3	4,06	10,5	9,5	2,3	214	4	1,13	1,46	189	0,25	2,9
	Médio Bacaetava	5	17,52	21,3	52,3	2,9	168	6	1,03	1,42	262	0,49	7,1
	Baixo Bacaetava	5	7,36	12	28	3,8	131	4	1,33	1,24	152	0,49	4,2

Formulas: Dd: $\sum l/A$ (soma de todos os canais de drenagem, dividido pela área da bacia); EPS: $\frac{1}{2} \cdot Dd$ (um meio multiplicado pela densidade de drenagem); l: A/4L (área dividida por 4 vezes o comprimento do rio principal); L: comprimento do rio principal; Sin: L/L^2 (comprimento do rio principal dividido pelo comprimento do talvegue); Kc: $0,28 \cdot P/A$ (0,28 multiplicado pelo perímetro da bacia dividido pela raiz da área da bacia); Kf: A/L^2 (Área da bacia dividida pelo comprimento da bacia ao quadrado); L^{1,5}: $A^{0,6}$ (1,5 multiplicado pela área elevado à 0,6); AA: amplitude altimétrica (diferença entre a maior cota altimétrica e a menor cota altimétrica da bacia).

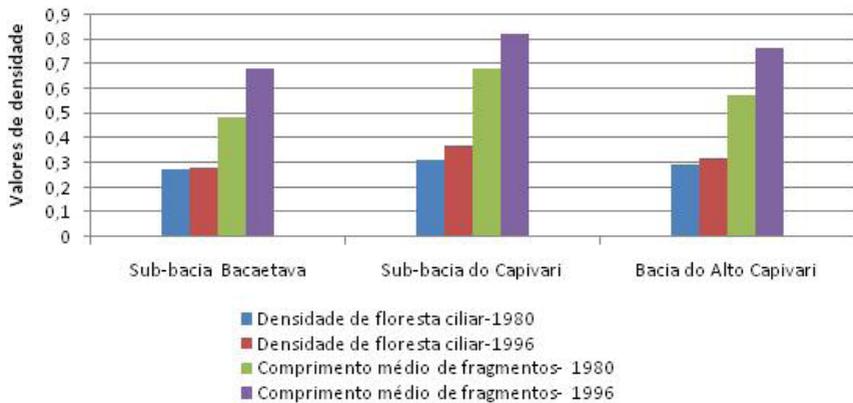


Fig. 16. Características morfométricas das sub-bacias estudadas de acordo com Vilela e Matos (1975) e Christofoletti (1981). Sub-bacias: 1-Nascentes do Capivari; 2-Água Comprida; 3- Antinha; 4-Médio Capivari; 5-Várzea do Capivari; 6-Alto Bacaetava; 7-Campestre; 8-Água Comprida; 9-Médio Bacaetava; 10-Baixo Bacaetava. Obs: o EPS foi dividido por 100 para melhor visualização gráfica. Dd = densidade de drenagem; Kc = coeficiente de compacidade; EPS = extensão do percurso superficial.

Pode-se observar (Fig. 16) que a sub-bacia número 8 (Água Comprida, sub-bacia do Bacaetava) se diferencia das demais, apresentando uma baixa densidade de drenagem (Dd), associado a um elevado EPS, que deve ser interpretado da seguinte forma: nesta sub-bacia a água precipitada se desloca, em média, 214 metros até se juntar ao rio principal (Tabela 3).

Analisando a Carta de Hidrografia e Drenagem (Fig. 7), verifica-se que a sub-bacia de Água Comprida apresenta fraca densidade, tratando-se de uma sub-bacia pequena, de terceira ordem, e composta predominantemente por litologias carbonáticas, as quais devem permitir uma boa infiltração, diminuindo o escoamento superficial e a esculturação dos canais.

Analisando as sub-bacias do Bacaetava e do Capivari e de forma conjunta a área de estudo, o Alto Capivari, (Fig. 17 e Tabela 2), observa-se que as sub-bacias apresentam características muito

semelhantes quanto à densidade de drenagem, extensão média do percurso superficial, coeficiente de compacidade, sendo ambas de quinta ordem. Quanto à sinuosidade, elas diferem, sendo que o rio Bacaetava apresenta curso mais retilíneo do que o Rio Capivari.

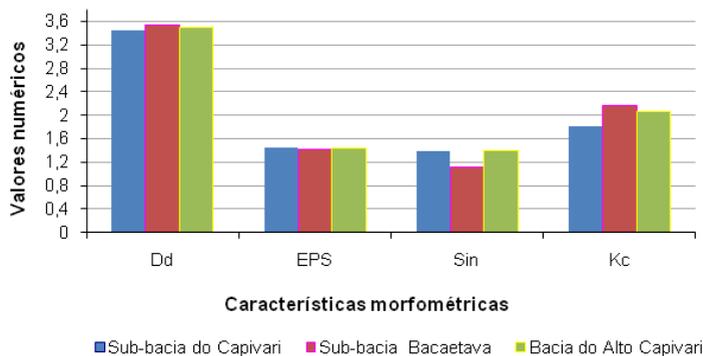


Fig. 17. Densidade de drenagem, extensão média do percurso superficial, sinuosidade do leito principal e coeficiente de compacidade para a sub-bacia do Capivari, do Bacaetava e do Alto Capivari. EPS: extensão média do percurso superficial; Dd: densidade de drenagem; Sin: sinuosidade do leito principal; Kc: coeficiente de compacidade.

Analisando o ambiente físico onde as duas bacias se inserem, percebe-se que apresentam litologias variadas, mas comuns a ambas, como se pode observar na Carta Geológica (Fig. 2). Suas nascentes encontram-se em áreas do embasamento cristalino e as bacias possuem dimensões parecidas (área e perímetro).

O coeficiente de compacidade ou Kc é maior quanto mais irregular for a sub-bacia e, portanto, menos sujeita a enchentes, se distanciando de uma forma circular (Kc). Para a sub-bacia do Capivari, este coeficiente foi de 1,82 e para a do Bacaetava, 2,16. Assim, pelo Kc, a sub-bacia do Capivari poderia ser considerada como sendo mais sujeita a enchentes que a do Bacaetava. No entanto, o coeficiente de compacidade mais próximo de 1 ocorreu na sub-bacia do Campestre, do Bacaetava (1,17) e na Várzea do Capivari (1,16). Na visita a campo foi constatado que nos locais situados próximos aos exutórios destas sub-bacias ocorriam enchentes.

O fator de forma ou K_f é uma medida comparativa para bacia de mesma área. A interpretação é inversa à anterior, pois quanto maior o K_f , maior sujeição à enchentes. Assim, pelo K_f , a sub-bacia do Capivari é menos sujeita à enchentes que a do Bacaetava.

A avaliação individual das sub-bacias quanto ao K_c e K_f fica prejudicada, uma vez que em algumas delas, além da precipitação, recebem água proveniente do deflúvio de outras bacias, sendo que as áreas são também muito diferentes em dimensão.

Quanto ao comprimento do rio principal, é interessante notar que o obtido pela fórmula (L') é semelhante ao obtido por medição direta na carta. Uma exceção ocorreu com a sub-bacia “Nascentes do Capivari”, na qual o rio apresenta um caráter bastante meandrante.

A sub-bacia do Bacaetava apresenta a maior amplitude altimétrica (349 m), devido ao ponto mais alto da região estar dentro desta sub-bacia, tratando-se do Morro do Setuva, com 1.224 m de altitude.

Ainda quanto à sinuosidade do rio principal (Sin), nota-se que o rio não apresenta, em geral, um caráter meandrante, pois a sinuosidade resultou em 1,39 para a sub-bacia do Capivari e 1,11 para a sub-bacia do rio Bacaetava. Estes valores estão abaixo do limite de 1,50 para se considerar o rio como meandrante. Entretanto, o rio na sub-bacia das “Nascentes do Capivari” apresenta um caráter meandrante, principalmente próximo ao seu exutório, devido ao barramento parcial do rio por corpos de quartzito, restringindo seu livre escoamento (Fig. 2).

Também se observam meandros em Várzea do Capivari, sem que o rio tenha, de acordo com Christofletti (1981), um caráter meandrante. Estes meandros, tendência natural de todos os rios, são favorecidos pela presença de aluviões inconsolidados e facilmente mobilizáveis, depositados em segmentos de baixo desnível altimétrico do rio principal, compondo os solos inundáveis das várzeas. Esta má drenagem torna-se evidente especialmente após períodos de precipitação onde há acúmulo de água superficial (Fig. 18).

Foto: Elenice Fritzsos.



Fig. 18. Área da Várzea do Capivari, próximo ao exutório da bacia, após período de precipitação, quando há acumulo de água na superfície do solo.

Apesar da importância do levantamento destes parâmetros morfométricos na caracterização física das bacias hidrográficas, Beltrame (1994) alerta para o fato de que eles são apenas instrumentos auxiliares na avaliação preliminar dos recursos hídricos, não devendo ser considerados como elementos finais. Uma análise mais completa envolveria estudos de solos, geologia, geomorfologia, aspectos climáticos e mesmo experimentos em campo.

Densidade de drenagem

Nota-se que a densidade de drenagem (Fig. 7 e Tabelas 2 e 3) apresenta uma tendência a ser maior nas áreas de gnaisses e xistos da Formação Setuva (sub-bacias de Água Comprida do Capivari, Antinha e Nascentes do Capivari), sendo relativamente mais reduzida nas áreas de rochas carbonáticas do Grupo Açungui, localizadas na parte central das sub-bacias do Bacaetava, como é o caso da sub-bacia do Médio Bacaetava e de Água Comprida, do Bacaetava.

Entretanto, a presença de litologias mistas numa mesma bacia, como é o caso da sub-bacia da Várzea do Capivari, bem como a frequência dos diques que seccionam o complexo metamórfico, fazem com que estas áreas apresentem uma densidade de drenagem também alta.

Quando sobre os filitos, a densidade de drenagem varia entre alta e muito alta. Na sub-bacia do Campestre, sobre filitos de granulação mais fina, mais impermeáveis, a drenagem é expressivamente densa, enquanto na sub-bacia do Médio Capivari, a drenagem é, comparativamente, menos expressiva, possivelmente devido à presença de filitos de granulação mais grosseira e permeável.

A espessura delgada dos diques geralmente não permite uma rede de drenagem própria. Entretanto, quando eles cortam corpos calcários, formam-se morrotes ou espigões muito alongados que barram o livre escoamento das águas tanto superficiais quanto subterrâneas. Os diques podem também direcionar a drenagem de alguns corpos de água.

Rio principal

O perfil longitudinal de um rio mostra a sua declividade, ou gradiente, sendo a representação visual da relação entre a altimetria e o comprimento de determinado curso d'água. De acordo com Christofolletti (1974), o perfil característico, isto é, em equilíbrio, é côncavo para o céu, com declividades maiores em direção às nascentes e com valores cada vez mais suaves em direção ao nível de base. Como visto, as nascentes do Rio Capivari ocorrem em área da Formação Setuva (Fig. 2). Neste ponto, o curso d'água segue em direção ao sul e depois para oeste até o exutório da bacia "Nascentes do Capivari", quando então flexiona para o sul, atravessando um corpo de quartzito, de forma encaixada formando um vale em "V", como se pode notar na representação esquemática do corte do relevo na Fig. 19 (corte 4A da Fig. 7).

Depois de percorridos 4 km, o rio continua na direção sul, e o vale se torna mais aberto, em forma de U (Fig. 20) (corte 4B da Fig. 7). Este setor apresenta como litologia os filitos do Grupo Açungui. No total, o rio percorre na bacia 26 km, embora a Fig. 21 mostre o perfil longitudinal até 22,5 km, pois a partir deste ponto fica estável até o exutório. Na cota 950, encontra-se a Campina dos Tavares, onde se reúnem os exutórios das sub-bacias: Nascentes do Capivari, Antinha e Água Comprida; e a partir de onde o rio passa a correr no sentido norte-sul. Na cota 870, o rio entra na Várzea do Capivari, antes disto ele passa por outras várzeas de dimensões menores.

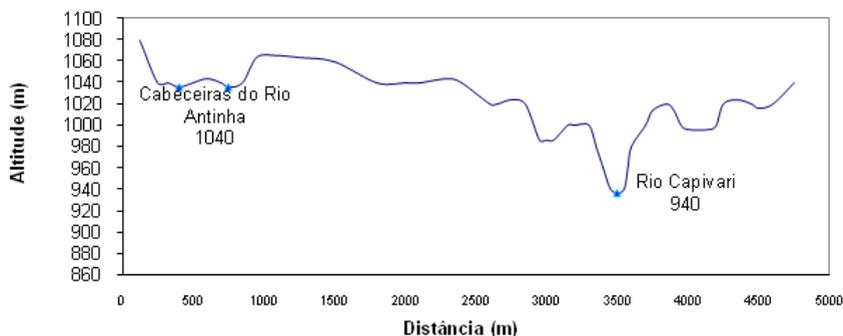


Fig. 19. Corte transversal na calha do Rio Capivari (A), vide Figura 7.

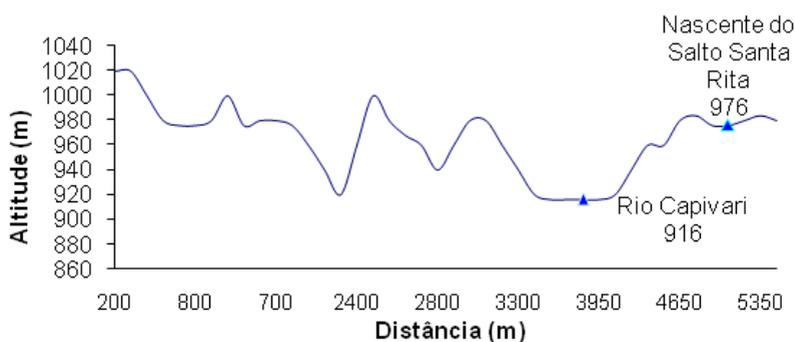


Fig. 20. Corte transversal na calha do Rio Capivari (B), vide Figura 7.

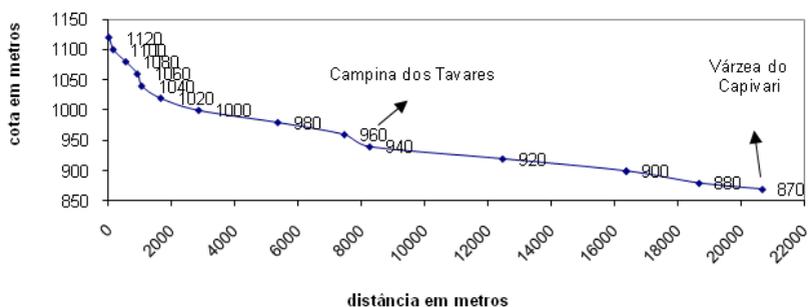


Fig. 21. Perfil longitudinal do Rio Capivari.

Floresta Ciliar

A zona ripária, do inglês *riparin forest*, está intimamente ligada ao curso d'água, mas os seus limites não são facilmente demarcados. Os limites laterais se estenderiam até o alcance da planície de inundação. Todavia, os processos físicos que moldam continuamente os leitos dos cursos d'água, que vão desde intervalos de recorrência curtos das cheias anuais, até fenômenos mais intensos das enchentes decenais e seculares impõem, também, a necessidade de se considerar um padrão temporal de variação da zona ripária (GREGORY et al., 1992, citados por LIMA; ZAKIA, 2009). O limite à montante, por exemplo, seria a nascente, mas durante parte do ano a zona saturada da microbacia se expande consideravelmente, o que implica na necessidade de se considerar também as áreas côncavas das cabeceiras (*stream-head hollows*) como parte integrante da zona ripária (LIMA; ZAKIA, 2009).

A zona ripária consiste no espaço tridimensional que contém vegetação, solo e rio. Sua extensão ocorre horizontalmente até o alcance da inundação e verticalmente do regolito (abaixo) até o topo da copa da floresta (acima).

Estas zonas são ambientes únicos devido à sua posição na paisagem, e caracterizam ecótonos entre zonas aquáticas e terrestres e mesmo corredores que atravessam regiões. A zona funciona, em termos meteorológicos, como um efeito "oásis", absorvendo energia, evaporando a água, aumentando a umidade do local e diminuindo sua temperatura, constituindo, assim, um ecossistema diferenciado das bordas. O fato de apresentar um microclima diferenciado e apresentar a função de corredor constitui local de nidificação, refúgio e alimentação, possibilitando a existência de muitas espécies animais (FORMAM; GODRON, 1989).

A função de corredor possibilita o transporte de plantas, animais, sementes e sedimentos (FORMAM; GODRON, 1989; FORMAM, 1995). Esta função, para as zonas tropicais, é de maior importância

em ambientes de paisagens fragmentadas, pois produz uma maior conectividade, um elo entre os fragmentos, como verificou Metzger (1995).

Em termos geomorfológicos, o local onde esta zona se insere constitui uma porção diferenciada da paisagem, apresentando geralmente diques, logo ao lado dos rios e terraços. É uma zona de deposição de sedimentos, estabilização de terraços e formação de aluviões. A zona ripária também pode funcionar como uma zona de retenção e filtro, recebendo sedimentos e agroquímicos provenientes das encostas, que chegam até ela lateralmente, através de escoamento superficial e subsuperficial. Há também retenção do fluxo longitudinal, ou seja, nas laterais, ao longo do rio, processo que ocorre normalmente e se intensifica nas enchentes, as quais ultrapassam os terraços (*overbanks*). Este último processo pode ser mais importante que o anterior, dependendo das condições geomorfológicas locais.

A filtragem na zona ripária constitui um “sequestro” de nutrientes, os quais podem ser liberados quando na decomposição das plantas e mesmo pela perda das folhas que caem e descem o rio. Esta função da zona ripária como fornecedora de nutrientes foi estudada por diversos autores, a exemplo de Peterson et al. (1986), citado por Malanson (1993). Os mecanismos envolvidos nesta filtragem são físicos, biológicos, químicos, incluindo a retirada dos elementos pela vegetação e perda pelos processos biológicos, tal qual a denitrificação. O papel das zonas ripárias como filtro é bem estudado, principalmente no que se refere a fósforo e nitrogênio, nutrientes aplicados ao solo em áreas agrícolas (MALANSON, 1993).

Em termos hidrológicos, a zona ripária também é armazenadora de água, sendo doadora em potencial nas estiagens. Ela também pode amenizar a altura que as enchentes atingem em locais de menores altitudes, pois a energia da onda de inundação pode ser absorvida pelos terraços fluviais, diminuindo sua velocidade. Isto se reflete rio abaixo causando inundação não tão alta nem tão intensa, mas de longa duração.

Análise da floresta ciliar – desenvolvimento e aplicação de índices de integridade de floresta ciliar

Na zona ripária pode ocorrer a vegetação florestal, onde houver condições edafoclimáticas para tal. Na área de estudo, originalmente, toda a zona ripária era composta de florestas.

Neste trabalho, para análise da floresta ciliar, foram utilizadas somente fotos aéreas de 1980 e de 1996 para fins de comparação entre estas duas datas através dos índices criados. Para 1980, a floresta ciliar foi composta sobre a carta da rede de drenagem (anteriormente mapeada em escala 1:20.000) por meio da observação por estereoscopia de fotos aéreas de 1980, na escala 1:25.000. Foram mapeadas as margens florestadas com extensão maiores de 20 m (aproximadamente 1 mm nas fotos aéreas), ao longo dos canais de drenagem e não somente para os rios.

Deve-se observar que foram consideradas como floresta ciliar todas as formações de porte arbóreo ao lado dos rios, independentemente de constituírem reflorestamentos de bracatinga, comuns na região, ou florestas naturais.

Para 1996, devido à pequena escala das fotos aéreas (1:60.000), o método utilizado foi diferente, uma vez que seria impossível uma precisão de 20 m nesta escala. Assim, os mesmos canais de drenagem, já delimitados na carta de rede de drenagem, foram localizados nas fotos aéreas sob auxílio de estereoscopia e demarcados. Posteriormente, de posse destas mesmas fotos em formato digital, ampliadas em grau máximo, a rede de drenagem, previamente demarcada, foi localizada. Assim, orientando-se pelo uso do solo e feições da drenagem nas fotos, foram delimitados os trechos de floresta ciliar, de aproximadamente 20 metros de largura, na carta de hidrografia e drenagem.

A extensão de floresta ciliar foi dimensionada para as duas épocas em todas as bacias e sub-bacias, bem como foram totalizados os números de fragmentos florestais ciliares. Com estes dados, foram elaborados

e aplicados dois índices de integridade florestal: o de densidade de floresta ciliar, e o de tamanho médio dos fragmentos florestais de floresta ciliar.

O índice de densidade de floresta ciliar (Dfc) foi obtido da seguinte forma:

$$Dfc: (Cfc / Cd) / 2$$

Assim, dividiu-se o comprimento total de floresta ciliar totalizados para ambas as margens (Cfc), em quilômetros, pelo comprimento total dos canais de drenagem também em quilômetros (Cd), sendo o resultado dividido por dois, uma vez que cada trecho deve estar protegido por florestas nos dois lados das margens.

Neste índice, quanto maior o valor da razão, mais protegidos estarão os canais de drenagem, sendo 1 (um) o valor ideal, em que todos os canais estariam cobertos por florestas ciliares.

Nagasaka e Nakamura (1999) trabalharam com o número de fragmentos florestais de forma absoluta e temporal para avaliar a degradação das mesmas ao longo do tempo. Neste trabalho, além da obtenção do número de fragmentos florestais ciliares, foi elaborado e aplicado um índice denominado de “comprimento médio dos fragmentos florestais” (CMF), obtido da seguinte forma: a extensão (comprimento) de floresta ciliar (Cfc), em quilômetros, foi dividida pelo número de fragmentos florestais (Nff) da floresta ciliar. Este índice é representado conforme indica a fórmula:

$$CMF: Cfc / Nff$$

Estes índices foram totalizados para todas as sub-bacias.

A obtenção do índice comprimento médio de fragmentos florestais é importante por evidenciar uma tendência na bacia, quando analisado de forma temporal e associado ao índice anterior. Exemplificando, numa perspectiva de análise temporal, para um mesmo valor de densidade de floresta ciliar, mantido ao longo de um determinado período de tempo,

um valor mais alto do CMF pode indicar a redução de fragmentos florestais menores e aumentar os maiores, refletindo um possível processo de cicatrização e retomada da floresta ciliar ao longo da rede de drenagem, com a união de fragmentos antes disjuntos.

Além da importância no contexto de uma análise temporal, pela facilidade de comparação e da riqueza de informações agregadas advindas de sua interpretação, ambos os índices podem ser bastante úteis na comparação entre bacias diferentes, conforme consta neste trabalho.

Estes índices de integridade florestal poderiam assumir relevância também em estudos faunísticos e florísticos quando se trabalha no contexto da hipótese de áreas mínimas e de corredores biológicos, e se estabelece um embasamento científico no âmbito da análise de paisagem, a exemplo dos trabalhos de Forman e Godron (1986); Forman (1995) e Metzger (1995). Entretanto, apesar da simplicidade e grande aplicabilidade dos índices, nada semelhante foi encontrado em trabalhos consultados.

Na Carta de Floresta ciliar, composta pelas fotos aéreas de 1980 e 1996, pode-se visualizar a floresta ciliar presente em 1980, em 1996 e a que se apresenta em ambas as datas, nos mesmos canais de drenagem, previamente delimitados (Fig. 22). Isto foi necessário para se avaliar a floresta que foi mantida, a que foi derrubada e a que sofreu um processo de sucessão evoluindo de Sistemas Secundários de Ocupação para comunidades mais desenvolvidas com indivíduos maiores, identificados como uma formação de recobrimento arbóreo contínuo.

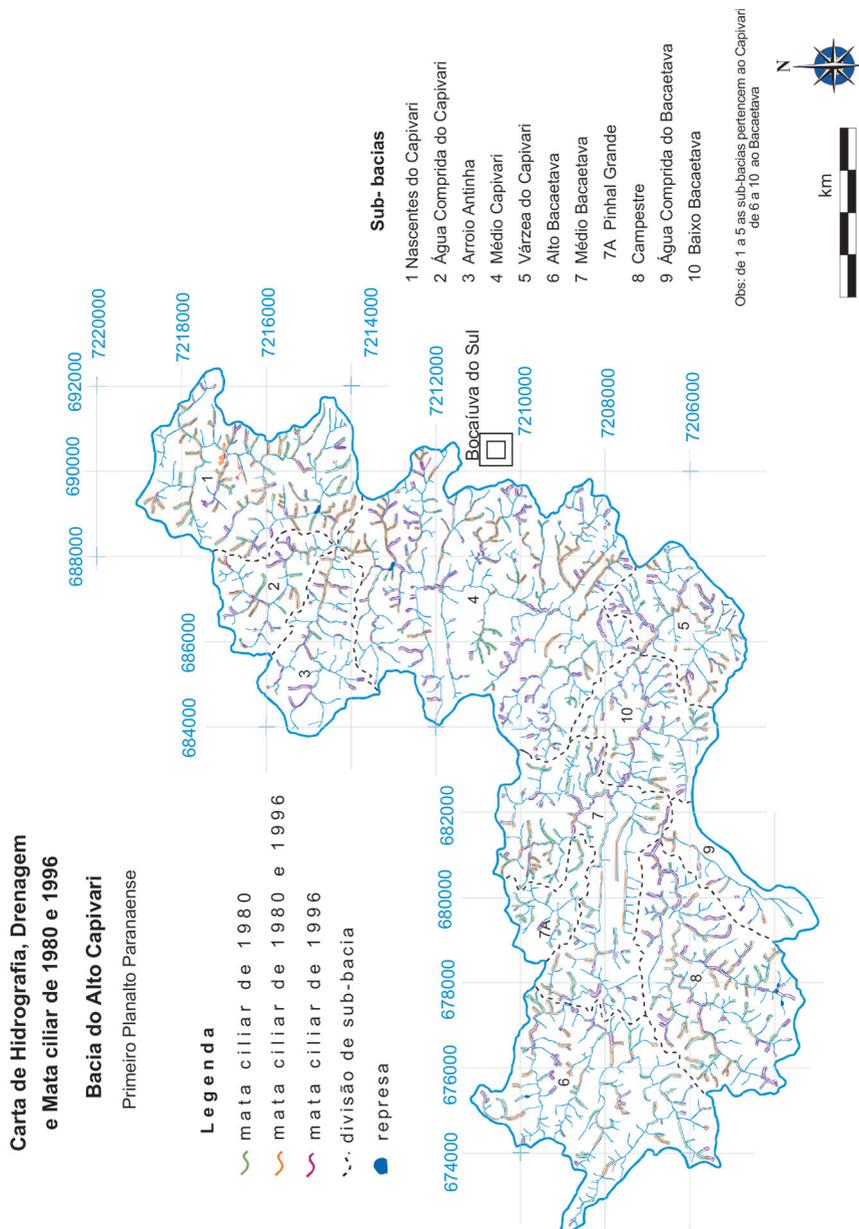


Fig. 22. Carta de floresta ciliar.

A extensão em quilômetros da floresta ciliar ao longo dos canais de drenagem, densidade de floresta ciliar, número de fragmentos florestais ciliares e comprimento médio dos fragmentos florestais ciliares podem ser visualizados de forma conjunta (Tabelas 4 e 5). Para uma melhor contextualização, há também nestas tabelas alguns elementos já vistos na análise morfométrica, tais como: área das bacias, extensão da rede de drenagem e densidade de drenagem.

Considerando que o maior valor para o índice “densidade de floresta ciliar” é 1, ou seja, um quilômetro de floresta ciliar, em ambas as margens, para cada quilômetro de drenagem, nota-se a forte degradação da floresta ciliar já em 1980. Neste ano, a maior densidade de florestas encontrava-se nas Nascentes do Capivari (0,40), apesar de estar mais de 100 % aquém do ideal, que seria 1. O menor valor foi encontrado na sub-bacia do rio Antinha (0,16).

Em 1996, o maior valor da densidade de floresta ciliar foi observado na sub-bacia de Água Comprida, na sub-bacia do Capivari (0,44), e o menor valor, na sub-bacia do Alto Bacaetava (0,15).

Quanto ao comprimento médio de fragmentos de floresta ciliar, em 1980, os maiores valores foram encontrados nas bacias das nascentes do Capivari e do Médio Capivari, em média, 730 m por fragmento e o menor valor em Água Comprida, da sub-bacia do Bacaetava, com uma média de 400 m. Em 1996, o menor valor, de 400 m, se manteve na sub-bacia de Água Comprida (no Bacaetava), sendo que o maior valor foi encontrado na sub-bacia do Campestre, também no Bacaetava, com uma média linear de mais de 1 km.

Pode-se verificar que na bacia de Água Comprida (do Capivari) ocorreu o maior acréscimo em termos de floresta ciliar, sendo que o maior desflorestamento ocorreu nas nascentes do Bacaetava, sub-bacia de Água Comprida (Fig. 23). Nesta Figura, observam-se os valores de densidade de floresta ciliar e do comprimento médio dos fragmentos florestais ciliares, por sub-bacias (Tabela 4).

Tabela 4. Densidade de floresta ciliar e comprimento médio de fragmentos ciliares em 1980 e 1996, para as sub-bacias.

Sub bacias	Divisão das Sub-bacias	Área (km ²)		Extensão da drenagem (km)		Dd* (km/km ²)	Floresta ciliar (km) 1980	Floresta ciliar (km) 1996	Densidade de Floresta ciliar** 1980	Densidade de Floresta ciliar** 1996	% de alteração dens. de floresta ciliar	Nº de Fragmentos florestais 1980	Nº de Fragmentos florestais 1996	Comprimento médio dos fragmentos*** 1980 (km)	Comprimento médio dos fragmentos*** 1996 (km)	% de alteração comprimento de fragmentos
		1980	1996	1980	1996											
Capivari	Nascentes do Capivari	14,4	55	3,8	44	41	0,40	0,37	-6,8	60	45	0,73	0,91	24,66		
	Água Comprida	4,8	18	3,7	9,5	16	0,26	0,44	68,4	15	16	0,63	0,59	-6,35		
	Antinha	6,1	22	3,6	7	10	0,16	0,23	42,9	10	18	0,70	0,55	-21,43		
	Médio Capivari	33,2	102	3,1	64	82	0,31	0,40	28,1	86	96	0,74	0,85	14,86		
	Várzea do Capivari	7,1	29	4,0	14	17	0,24	0,29	21,4	32	26	0,48	0,66	37,50		
Bacetaeva	Alto Bacaetava	16,1	69	4,3	30	25	0,22	0,18	-16,7	57	40	0,52	0,62	19,23		
	Campeste	14,5	53	3,6	34	42	0,32	0,40	23,5	62	36	0,55	1,16	110,91		
	Água Comprida	4,1	10	2,3	4	3	0,20	0,15	-25,0	10	10	0,4	0,4	0,00		
Bacetaeva	Médio Bacaetava	17,5	52	3,0	35	30	0,34	0,29	-14,3	79	51	0,69	0,59	-14,49		
	Baixo Bacaetava	7,4	28	3,8	13	15	0,23	0,27	15,4	32	33	0,41	0,45	9,76		

* densidade de drenagem (totalização da drenagem da sub-bacia dividido pela área da sub-bacia); ** densidade de floresta ciliar (totalização da floresta ciliar dividido pela totalização da drenagem da sub-bacia e o total dividido por dois); *** comprimento médio dos fragmentos florestais (extensão de floresta ciliar dividido pelo número de fragmentos florestais ciliares).

Tabela 4. Densidade de floresta ciliar e comprimento médio de fragmentos ciliares em 1980 e 1996, para as sub-bacias.

Sub bacias	Divisão das Sub-bacias	Área (km ²)	Extensão da drenagem (km)	Dd* (km/km ²)	Floresta ciliar (km) 1980	Floresta ciliar (km) 1996	Densidade de Floresta ciliar ** 1980	Densidade de Floresta ciliar ** 1996	% de alteração dens. de floresta ciliar	Nº de Fragmentos florestais 1980	Nº de Fragmentos florestais 1996	Comprimento médio dos fragmentos *** 1980 (km)	Comprimento médio dos fragmentos *** 1996 (km)	% de alteração comprimento de fragmentos
Capivari	Nascentes do Capivari	14,4	55	3,8	44	41	0,40	0,37	-6,8	60	45	0,73	0,91	24,66
	Água Comprida	4,8	18	3,7	9,5	16	0,26	0,44	68,4	15	16	0,63	0,59	-6,35
	Antinha	6,1	22	3,6	7	10	0,16	0,23	42,9	10	18	0,70	0,55	-21,43
	Médio Capivari	33,2	102	3,1	64	82	0,31	0,40	28,1	86	96	0,74	0,85	14,86
	Várzea do Capivari	7,1	29	4,0	14	17	0,24	0,29	21,4	32	26	0,48	0,66	37,50

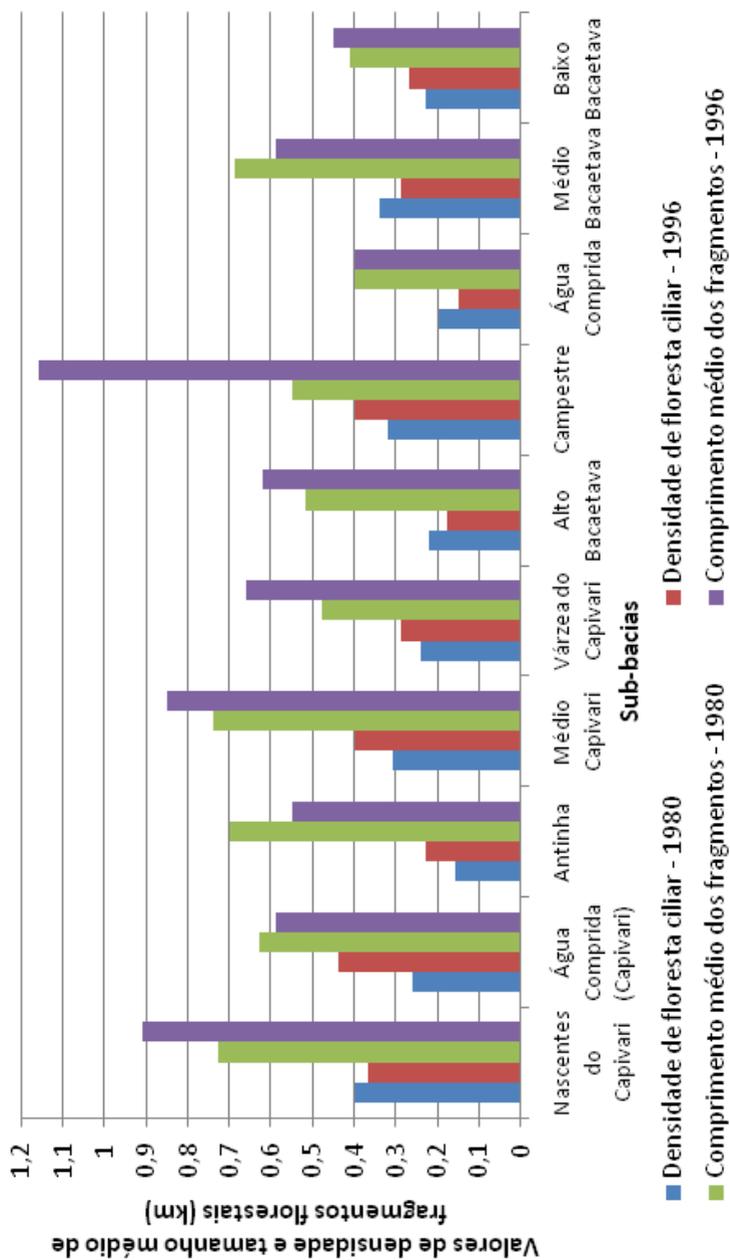


Fig. 23. Densidade de floresta ciliar e comprimento médio de fragmentos florestais ciliares em 1980 e 1996 para as sub-bacias.

Quanto à alteração no comprimento médio dos fragmentos florestais ciliares, na sub-bacia do Campestre, houve um aumento de mais de 100 %, enquanto na sub-bacia de Antinha (no Capivari), uma redução de mais de 20 %. Os valores médios dos mesmos parâmetros apresentados (Tabela 4) foram totalizados para as sub-bacias do Bacaetava e Capivari (Tabela 5 e Fig. 24).

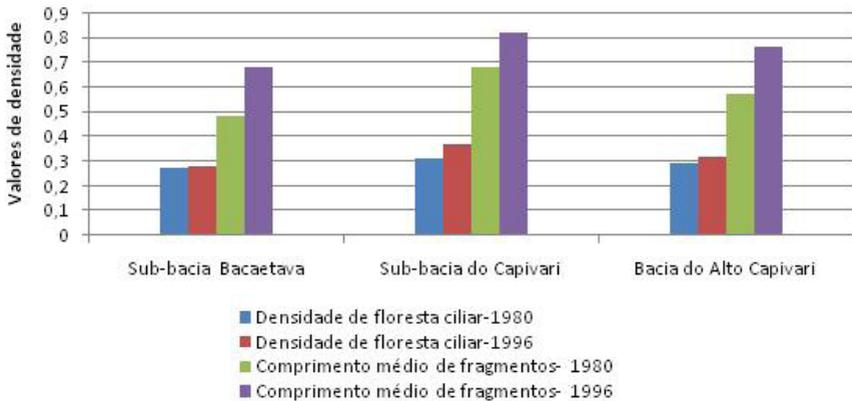


Fig. 24. Densidade de floresta ciliar e comprimento médio de fragmentos florestais ciliares em 1980 e 1996 para as sub-bacias do Capivari, do Bacaetava e Bacia do Alto Capivari.

Nota-se que as duas sub-bacias, tanto a do Bacaetava quanto a do Capivari, estão igualmente desflorestadas no que se refere à floresta ciliar e, no conjunto, pode-se concluir que para a bacia do Alto Capivari, o desflorestamento é muito forte. Isto é fácil de compreender, pois como visto, já em 1952 (KLEIN; HATSCHBACK, 1962), a estrutura da vegetação se encontrava bastante alterada.

Entretanto, analisando a densidade de floresta ciliar em 1996, comparado a 1980, para toda a bacia, verifica-se que houve uma expansão desta tipologia florestal. A porcentagem de alteração no crescimento foi substancial para a sub-bacia do Capivari (19,3 %), e nenhuma para a sub-bacia do Bacaetava. Entretanto, considerando em média as duas bacias, a expansão foi maior que 10 % nestes 16 anos (1980-1996).

Quanto ao comprimento médio dos fragmentos florestais ciliares, verifica-se que eles aumentaram, em média, para as duas bacias, em aproximadamente 30 %, revelando que em vários locais as áreas pertinentes à floresta ciliar foram deixadas para expansão desta tipologia.

Houve uma expansão na densidade e no comprimento médio dos fragmentos florestais ciliares, para as duas sub-bacias e para toda a bacia do Alto Capivari (Fig. 25). Observações sobre a expansão das florestas ciliares já foram feitas para a região metropolitana. Jacobs (2002) observou uma expansão desta tipologia florestal na Bacia do Alto Iguaçu de 10,78 %, em 1984, para 17,18 %, em 1999, ou seja, um aumento de 6,4 % em 15 anos.

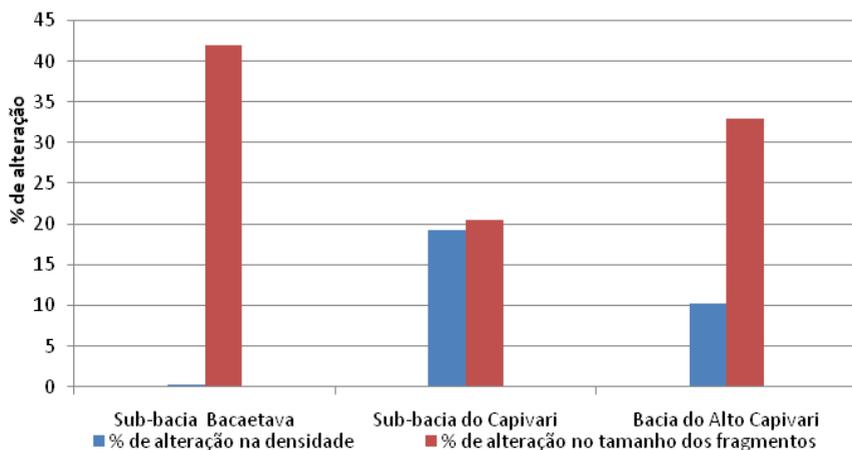


Fig. 25. Porcentagem de alteração da área da floresta ciliar e comprimento médio de fragmentos florestais ciliares.

Possivelmente, estes acréscimos observados se devem à ação de órgãos públicos tais como o antigo ITC, IAP e Emater e mesmo da Polícia Florestal, pelo trabalho de fiscalização e conscientização dos proprietários rurais, quanto à necessidade de preservação desta tipologia florestal. Entrevistas realizadas com alguns moradores ribeirinhos vieram reforçar esta hipótese.

Além das implicações hidrológicas, os resultados encontrados neste trabalho referentes ao número de fragmentos florestais ciliares, comprimento médio de fragmentos florestais ciliares e de densidade de floresta ciliar, apresentam implicações ecológicas e paisagísticas no contexto da análise da paisagem como evidenciaram Formam e Godron (1986), Formam (1995) e Malanson (1993).

Uma observação a ser feita é que, todas as formações arbóreas ao lado dos rios e canais de drenagem foram consideradas como sendo floresta ciliar, o que inclui os reflorestamentos de bracatinga, cujo corte para lenha se dá em média a cada 7 anos. Assim, o que pode parecer uma derrubada de floresta ciliar pode-se tratar de manejo de área reflorestada.

Relação entre densidade de drenagem, extensão média do percurso superficial e floresta ciliar

Associando a análise morfométrica no que se refere à densidade de drenagem (Dd) e extensão média do percurso superficial (EPS) (Tabelas 2 e 3) com os índices de densidade de floresta ciliar e comprimento médio de fragmentos florestais ciliares (Tabelas 4 e 5), pode-se ter uma idéia da proteção dos recursos hídricos das bacias nos anos de 1980 e 1996.

Assim, verifica-se que a sub-bacia do Capivari e a sub-bacia do Bacaetava, possui, em média, valores de densidade de drenagem semelhantes. Entretanto, na sub-bacia do Bacaetava, encontram-se tanto as sub-bacias com maiores densidades de drenagem e os menores valores de EPS (Alto Bacaetava, Campestre e Baixo Bacaetava), quanto as de menores valores de densidade de drenagem e os maiores valores de EPS (Água Comprida e Baixo Bacaetava) de toda a bacia do Alto Capivari.

Destas sub-bacias, a do Alto Bacaetava constitui-se a sub-bacia mais vulnerável da área, apresentando a maior densidade de drenagem (4,28) e o menor EPS (117 m) e uma forte redução na densidade de floresta ciliar (aproximadamente em 17 %), considerando os anos de 1980 e 1996.

Uma forte degradação ambiental também pode ser constatada na área do Morro do Setuva, próximo à Pocinho. Nesta sub-bacia, a floresta ciliar de nascentes com gradientes altimétricos elevados foi degradada para a formação de pastagens e plantio de eucaliptos, estes hoje em regressão, apesar do caráter montanhoso do maciço que pode ser considerado também como uma das nascentes do Bacaetava.

Deve-se considerar ainda que, em se tratando da área das nascentes do Rio Bacaetava, todo o desequilíbrio que ocorre nesta sub-bacia é transferido à jusante. Visitas recentes ao local confirmam a forte degradação de grande parte desta área.

Quanto à sub-bacia de Água Comprida do Bacaetava, ela se destaca por vários aspectos: forma bastante alongada, substrato bastante carstificado (ROSA FILHO et al., 2002) e intenso uso voltado para a agricultura e, em especial, para a horticultura. Ela também apresenta a menor densidade de drenagem e o maior EPS de todo o Alto Capivari, havendo, portanto, uma maior infiltração e menor escoamento superficial. Esta sub-bacia apresentou a menor densidade de floresta ciliar associada ao menor comprimento médio de fragmento florestal de todo Alto Capivari. Além disso, houve diminuição na densidade de floresta ciliar e manutenção do comprimento médio dos fragmentos florestais ciliares em 1996, comparado a 1980. Nota-se na carta de floresta ciliar, a inexistência de vegetação arbórea ao longo do rio principal, fato confirmado nas visitas de campo onde se observam as glebas cultivadas avançando até a beira dos rios e com canalizações que bombeiam diretamente suas águas.

Outro local que chama atenção se refere às nascentes do Capivari, as quais, semelhante as nascentes do Bacaetava, apresentam alta densidade de drenagem e onde houve um decréscimo na densidade de floresta ciliar de 7 % entre 1980 e 1996, apesar de um aumento no comprimento médio dos fragmentos florestais ciliares em 25 %.

Já na sub-bacia do Campestre, sobre solos mais pobres e menos cultivados, observa-se uma elevada densidade de drenagem, sendo,

portanto, mais sensível à erosão e onde houve um acréscimo na densidade de floresta ciliar e um forte aumento de mais de 100 % no comprimento médio de fragmentos florestais ciliares.

Este acréscimo seria compatível com um cenário de abandono cultural de muitos setores, sobre solos que oferecem menores rendimentos sem substituição pastoril. Assim, a cicatrização espontânea da cobertura vegetal pode se processar mais facilmente, sendo ainda mais intensa quando na presença de “bancos” ou reservas de sementes, e onde os primeiros estágios de recuperação ficam protegidos de fogos rasteiros, justamente duas condições presentes no ambiente da floresta ciliar ao longo dos rios.

No Médio Bacaetava houve uma redução na densidade de floresta ciliar e também uma diminuição no comprimento médio dos fragmentos florestais ciliares. Este fato pode ser preocupante pela concentração da atividade mineradora nesta sub-bacia e ao lado do rio Bacaetava.

Considerações Finais

As análises morfométricas indicam para a bacia do Alto Capivari densidades de drenagem classificadas entre alta e muito alta, o que significa uma instabilidade dos solos e do substrato geológico frente às precipitações, propiciando processos erosivos potencializados pela erosividade das chuvas locais, estimada entre moderada a forte. As variações de densidade de drenagem devem ser atribuídas às diferentes litologias e as topossequências de solos presentes na área: gerando desde substratos mais permeáveis, tais como os carbonáticos, inclusive com a presença de dolinas, até os mais impermeáveis, como os quartzitos.

Durante o estudo, tornou-se evidente que as florestas ciliares avaliadas em 1980 e 1996 se estendiam muito aquém do previsto em lei, sendo que a densidade média de floresta ciliar para a bacia foi de 0,29 quando o ideal seria de 1. Os resultados também indicam um acréscimo das

florestas ciliares em torno de 10 % e de 30 % no comprimento médio de fragmentos florestais ciliares entre os anos considerados.

A utilização de imagens digitais constituiu um instrumento facilitador na exploração e interpretação detalhadas das fotos aéreas em escala 1: 60.000, possibilitando um refinamento na cartografia das florestas ciliares, apenas compatível com o uso das fotos em escala 1: 20.000 ou maiores.

A divisão da área em sub-bacias permitiu visualizar a existência de várias diferenças entre as mesmas, seja no meio físico ou na expansão das florestas ciliares.

A elaboração e aplicação de índices de integridade de floresta ciliar foram bastante úteis, pois facilitaram comparações mais detalhadas, proporcionando uma maior objetividade à análise da paisagem, sendo que a utilização destes índices, conjugados aos índices morfométricos, constitui duas ferramentas importantes para analisar o comportamento das bacias quanto ao grau de proteção das águas superficiais. Numa análise mais completa, além da utilização de outros índices morfométricos (razão de textura, frequência de rios, razão de bifurcação, etc), estudos pedológicos e de uso e ocupação das terras, bem como de dinâmica hídrica na paisagem, são fundamentais para uma completa avaliação da proteção dos recursos hídricos na bacia hidrográfica.

Os índices elaborados e aplicados neste trabalho devem ser desenvolvidos também com a utilização de imagens de satélite e do sistema geográfico de informações (SGI) para facilitar e ampliar o escopo da metodologia utilizada, pois o maior nível de detalhamento das fotos áreas torna o trabalho extremamente moroso, podendo até mesmo invalidá-lo para certas áreas. Além disto, a frequência de obtenção de imagens de satélite é muito maior do que as de fotos aéreas.

Referências

ANDERSON, P. S. (Ed.). **Fundamentos para fotointerpretação**. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Cartografia, 1982. 136 p.

BELTRAME, A. da V. **Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas: modelo e aplicação**. Florianópolis: Ed da UFSC, 1994. 111 p.

BIGARELLA, J. J.; PASSOS, E.; POPP, J. E. **Região Metropolitana de Curitiba: recursos naturais: Ouro Fino**. Curitiba: COMEC, 1979. 30 p.

CARVALHO, N. de O. **Hidrossedimentologia prática**. Rio de Janeiro: CPRM, 1994. 372 p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: E. Blücher, 1974. 188 p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial: o canal fluvial**. São Paulo: E. Blücher, 1981. v. 1.

FORMAN, T. T. R. **Land mosaics: the ecology of landscapes and regions**. Cambridge: Cambridge University Press, 1995. 632 p.

FORMAN, T. T. R.; GODRON, M. **Landscape ecology**. New York: J. Wiley, 1986. 619 p.

FRITZSONS, E.; RIZZI, N. E.; MANTOVANI, L. E.; BITTENCOURT, A. V. L. Estudo do impacto da contaminação por nitrogênio numa bacia hidrográfica cárstica. **Boletim Paranaense de Geociências**, Curitiba, v. 49, p. 39-52, 2001.

FRITZSONS, E. **Avaliação temporal da qualidade de água como diagnóstico do uso e ocupação das terras na bacia do Alto Capivari, região cárstica curitibana – PR**. 2003. 190 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

FRITZSONS, E.; CARPANEZZI, A. A.; MANTOVANI, L. E. **Elaboração de um banco de dados climáticos para o Estado do Paraná**. Colombo: Embrapa Florestas, 2008. 1 CD-ROM. (Embrapa Florestas. Documentos, 168).

GUERRA, A. T. **Dicionário geológico- geomorfológico**. 7. ed. Rio de Janeiro: IBGE. 1987. 446 p.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Bulletin of the Geological Society of America**, Washington, DC, v. 56, n. 1, p. 275-370, 1945.

HUDSON, N. W. An introduction to the mechanics soil erosion under conditions of sub-tropical rainfall. **Proceedings of the Rhodesian Scientists Association**, v. 49, p. 15:25, 1961.

IAPAR. **Zoneamento agrícola**. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=1043>>. Acesso em: 20 maio 2009.

JACOBS, A. G. **Dinâmica de uso e ocupação dos mananciais na Região Metropolitana de Curitiba–Pr**. 2002. 259 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

JICA. **The master plan study on the utilization of water resources in Paraná state in the Federative Republic of Brazil**: final report. Tokyo: Yachiyo Engineering: Nippon Koei, 1995. Sectoral report - v. J - Soil erosion and forest.

KLEIN, R.; HATSCHBACK, G. Fitofisionomia e notas sobre a vegetação para acompanhar a planta fitogeográfica de parte dos Municípios de Rio Branco do Sul, Bocaiúva do Sul, Almirante Tamandaré e Colombo (PR). **Boletim da Universidade Federal do Paraná: Geografia Física**, Curitiba, n. 3, p. 1-93, 1962.

LIMA, W. de P.; ZAKIA, M. J. B. Hidrologia de matas ciliares. In: INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS. **IPEF – Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais: hidrologia florestal**. Disponível em: <<http://www.ipef.br/hidrologia/mataciliar.asp>>. Acesso em: 20 maio 2009.

LISBOA, A. A. **Proposta de metodologia para avaliação hidrogeológica do aquífero cárstico, compartimento de São Miguel**. 1997. 137 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. 2. ed. Rio de Janeiro: J. Olympio, 1981. 442 p.

MALANSON, G. **Riparian landscapes**. New York: Cambridge Universty Press, 1993. 296 p.

METZGER, J. P. **Structure du paysage et diversité des peuplements ligneux fragmentes du rio Jacaré-Pepira (Sud-Est du Brésil)**. 1995. 273 p. Tese (Doutorado em Ecologia de Paisagem) - Université Paul Sabatier, Toulouse.

MINEROPAR. **Atlas geológico do Estado do Paraná**. Curitiba, 2001. 116 p.

Disponível em: <http://www.mineropar.pr.gov.br/arquivos/File/publicacoes/relatorios_concluidos/10_relatorios_concluidos.pdf>. Acesso em: 15 maio 2009.

NAGASAKA, A.; NAKAMURA, F. The influences of land-use changes on hydrology and riparian environment in a northern Japanese landscape. **Landscape Ecology**, v. 14, p. 543-556, 1999.

PETERSON, B. J.; HOBBIE, J. E.; CORLISS, T. S. Carbons flow in a tundra stream ecosystem. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 43, p. 1259-1270, 1986.

ROSA FILHO, E. F. da; POLIDORO, G.; HARUM, T.; LISBOA, A. A.; RIBAS, A.; ZOJER, H.

Projeto Carste: relatório conclusivo final. Curitiba: Instituto de Hidrogeologia e Geotermia, 2002. Disponível em: <http://www.suderhsa.pr.gov.br/meioambiente/arquivos/File/suderhsa/rel_final.pdf>. Acesso em: 20 maio 2009.

REDE INTERAGENCIAL DE INFORMAÇÕES PARA A SAÚDE. Taxa de crescimento da população. In: _____. **Indicadores e dados básicos – Brasil – 2007:** indicadores demográficos. Disponível em <<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/idb2007/a03rm.htm>>. Acesso em: 18 ago. 2009.

RODRIGUES, W. A.; STARZYNSKI, R. Análise morfométrica da microbacia hidrográfica do córrego de Água Limpa. In: WORKSHOP EM MANEJO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS, 7., 2003, Botucatu. [Anais...]. Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 2003. p. 144–163.

SOUZA, E. R. de. **Alterações físico-químicas no deflúvio de três sub-bacias hidrográficas decorrentes da atividade agrícola.** 1996. 91 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Transactions - American Geophysical Union**, v. 38, p. 913-920, 1957.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada.** São Paulo: Mc Graw Hill, 1975. 245 p.