

APLICAÇÃO DA ABORDAGEM ANALÍTICA NA ELABORAÇÃO DE UMA PROPOSTA DE ZONEAMENTO AMBIENTAL PARA A BACIA DO RIO BONITO (SP)

Maria Eugênia Bruck de MORAES¹

Reinaldo LORANDI²

Resumo

O presente artigo trata da aplicação da abordagem analítica na elaboração de uma proposta de zoneamento ambiental para a Bacia Hidrográfica do Rio Bonito, localizada no Município de Descalvado, Estado de São Paulo. Para a caracterização da área de estudo foram elaboradas as seguintes cartas temáticas: Carta de Solos, Carta de Aptidão Agrícola das Terras, Carta de Aptidão Física ao Assentamento Urbano e Carta de Potencial à Expansão Urbana, utilizando-se os recursos dos programas de digitalização *Autocad* e *Cartalinx* e o sistema de informação geográfica *Idrisi 32*. Tais cartas temáticas, ao serem confrontadas com informações relativas à legislação ambiental e ao risco potencial à erosão, permitiram o estabelecimento de quatro zonas para a bacia em questão: zona de atividades urbanas, zona de produção industrial e outros usos, zona de produção agrossilvipastoril e zona de proteção ambiental, todas caracterizadas e analisadas individualmente. Assim, considerando-se os resultados obtidos, recomenda-se o uso da abordagem analítica como embasamento metodológico para a análise e interpretação de informações ambientais, em estudos que visem o zoneamento de bacias hidrográficas.

Palavras-chave: bacia hidrográfica; sistema de informação geográfica; zoneamento ambiental.

Abstract

Employment of analytic approach to elaborate environmental zoning proposal for Bonito River Water Basin (SP)

This paper deals with the use of analytical approach for the elaboration of an environmental zoning proposal for Bonito River Water Basin. In order to characterize and elaborate this objective, the following maps were created: soil map, agriculture ability of soil map, physical ability for urban settlement map and potential urban expansion map. *Autocad* and *Cartalinx* digitalization program resources, and *Idrisi* (geographic information system) were used. These thematic maps allowed us, by confronting the environmental law – as well as erosion potential risk information – to determinate four different zones for such a basin; urban activities zone, industrial and other production zone, agriculturesilvipastured zone and environmental protection zone. All of them were analyzed and characterized one by one. As a result, we recommend the use of analytical approach as a methodological basis for environmental data analysis and interpretation in zoning water-basin studies.

Key words: water-basin; geographic information system; environmental zoning.

¹ Prof. Adjunto do Departamento de Ciências Agrárias e Ambientais da Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC) - Rodovia Ilhéus-Itabuna, Km 16, CEP 45662-000, Ilhéus (BA) – e-mail: eugeniabruck@uesc.br

² Prof. Doutor do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos (UFSCarr) – Rodovia Washington Luis, Km 235, CEP 13565-905, São Carlos (SP) – e-mail: lorandi@power.ufscar.br

INTRODUÇÃO

A análise ambiental compreende as relações entre os componentes do meio físico, biótico e geográfico e se processa através da utilização de técnicas de apoio que consideram a atuação de tais componentes na solução dos problemas que afetam o meio ambiente. Entre as técnicas destaca-se os mapeamentos associativos e os mapas de sensibilidade e adequação, normalmente utilizados em trabalhos de zoneamento e planejamento ambiental.

Os mapeamentos associativos consistem na elaboração de mapas compostos, através da combinação de outros mapas que retratam um único parâmetro ou fenômeno ambiental complexo. E os mapas de sensibilidade e adequação correspondem ao quadro das limitações e potencialidades do ambiente perante uma ação antrópica, da sua fragilidade diante de uma catástrofe natural ou, ainda, da alteração lenta das suas condições naturais (SILVA; SOUZA, 1987).

O zoneamento ambiental, segundo a proposta metodológica de Zuquette (1987), está baseado nas observações do meio físico e nas condições técnicas e socioeconômicas regionais. No contexto da avaliação das potencialidades do meio físico, a carta de zoneamento ambiental deve ser elaborada em função dos componentes do meio, representando o resultado da análise dos documentos cartográficos elaborados anteriormente (ZUQUETTE, 1993).

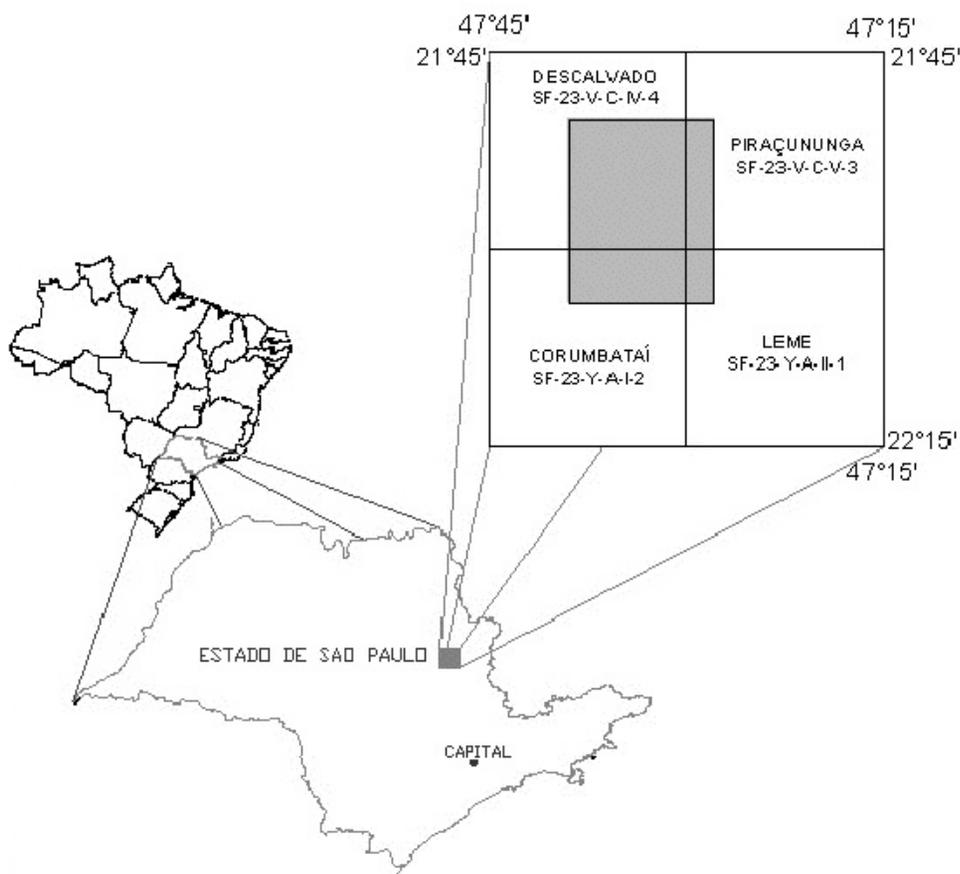
A importância da análise dos componentes físicos para estudos de zoneamento ambiental se deve ao inter-relacionamento dos mesmos com as atividades humanas; dentre eles, os fatores climáticos influem de modo especial na distribuição dos elementos bióticos e na morfologia do terreno; a geologia e a geomorfologia têm grande influência nas construções urbanas; e elementos como textura, estrutura, porosidade e permeabilidade do solo são fundamentais na determinação dos tipos de cultivo mais adequados. De modo geral, os atributos levantados no processo de mapeamento são os componentes hidrográfico, geomorfológico, geológico, pedológico, climático, biológico e antrópico.

Nas metodologias de abordagem analítica, as informações obtidas nas análises individuais de cada atributo são manipuladas por meio de processos de seleção, sobreposição e transformação, de modo a serem espacializadas, correlacionadas e interpretadas. Assim, as cartas derivadas e os mapas de zoneamento representam as relações funcionais e espaciais dos fatores que definem as unidades homogêneas da área em estudo.

Diante do exposto, o presente artigo analisa as potencialidades de uso agrícola e urbano da Bacia do Rio Bonito (BHRB), bem como apresenta uma proposta de zoneamento ambiental de abordagem analítica.

ÁREA DE ESTUDO (AE)

A Bacia Hidrográfica do Rio Bonito (BHRB) - uma sub-bacia do Rio Mogi-Guaçu, com 223Km² - abrange parte dos municípios de Descalvado e Porto Ferreira, localizadas na região noroeste do Estado de São Paulo, entre as coordenadas 21°45' - 22°15' S e 47°15' - 47°45' W (Figura 1).

Figura 1 - Localização da área de estudo

A base econômica é representada pela agropecuária, onde se destacam a avicultura, os cultivos de laranja, a cana-de-açúcar e a pecuária; e também por um parque industrial que atua no setor de extração de areia, produtos alimentícios e produção de álcool e açúcar.

A Área de Estudo (AE) está inserida na Bacia Sedimentar do Paraná, composta pelas seguintes unidades geomorfológicas: Planalto Ocidental Paulista (Planalto Residual de São Carlos e Patamares Estruturais de Ribeirão Preto) e Depressão Periférica Paulista (Depressão Mogi-Guaçu). Geologicamente, é representada pelas formações Corumbataí (Permiano), Pirambóia (Triássico), Botucatu e Serra Geral (Juracretáceo), Itaqueri (Cretáceo/Terciário), Santa Rita do Passa-Quatro e Pirassununga (Terciário) e Depósitos Recentes do Quaternário.

As unidades de solo identificadas por IAC (1981 e 1982) e atualizadas com base em EMBRAPA (1999), em classes de 1º nível categórico, são: LATOSSOLOS, ARGISSOLOS, NEOSSOLOS e GLEISSOLOS. A predominância de solos arenosos, ácidos e pobres em fertilidade, associados a relevos acentuados e atividades inadequa-

das de manejo, condiciona a formação de erosões (FERES, 2002), como voçorocas.

Na AE também se encontra parte do Aquífero Guarani (regionalmente conhecido como Aquífero Botucatu-Pirambóia), considerado o mais importante da América do Sul. O Aquífero Botucatu-Pirambóia, alojado em depósitos arenosos eólicos e fluviais representa a maior e principal reserva de água do Estado de São Paulo (IG, 1997).

De acordo com Rizzini (1979), as principais formações florestais existentes na AE correspondem à mata mesófila, cerrado, cerrado e mata ciliar, sendo que a Mata Mesófila Estacional Semidecídua aparece amplamente disseminada na forma de manchas entre as áreas de cerrado.

METODOLOGIA E PRODUTOS CORRESPONDENTES

Foram elaboradas várias cartas cujos procedimentos são descritos a seguir:

Carta de Solos da Bacia do Rio Bonito (SP)

A Carta de Solos da BHRB foi elaborada em escala 1:50.000, digitalizada e rasterizada nos programas de digitalização *Cartalinx* e *Autocad 2000* e no Sistema de Informação Geográfica (SIG) *Idrisi*, respectivamente, com base na compilação das informações contidas no Levantamento Pedológico Semidetalhado das quadrículas de Descalvado (IAC, 1982) e São Carlos (IAC, 1981).

Carta de Aptidão Agrícola das Terras da Bacia do Rio Bonito (SP)

A Carta de Aptidão Agrícola das Terras foi confeccionada de acordo com a metodologia de Ramalho Filho et al. (1978), a qual classifica as terras em 4 classes: boa, regular, restrita e inapta, segundo 3 níveis de manejo (A, B, C) e 4 tipos de uso (ver adiante).

Sabe-se que os solos apresentam limitações naturais ao cultivo. Assim, baseando-se na proposta metodológica de Rosa (1995) e considerando um solo hipoteticamente ideal, foram estabelecidos níveis distintos (5-nulo, 4-ligeiro, 3-moderado, 2-forte e 1-muito forte) para cada tipo de limitação ao cultivo, a saber: deficiência de fertilidade, deficiência ou excesso de água, suscetibilidade à erosão, impedimentos à mecanização e declividade do terreno.

As informações de deficiência de água foram geradas a partir dos dados de precipitação apresentados em Fonseca (2002), as de suscetibilidade à erosão foram extraídas da Carta de Solos e da Carta de Risco Potencial à Erosão (TOREZAN, 2000) e as de impedimento à mecanização extraídas da Carta de Formas do Relevo (MORAES, 2003), da Carta de Solos já citada e da Carta de Declividades, esta última classificada de acordo com os intervalos propostos por Lepsch et al. (1983).

Posteriormente, os dados de limitação foram cruzados por meio dos módulos *overlay* (multiplicação) e *reclass* do *Idrisi*, com o intuito de determinar a aptidão agrícola das terras para o nível de manejo C (alto nível tecnológico) - uma vez que, na AE, atividades agrícolas utilizando os níveis de manejo A (baixo nível tecnológico) e B (nível tecnológico médio) são praticamente inexistentes.

O resultado do cruzamento dos dados de limitação ao cultivo permitiu a identificação de 4 classes, nomeadas de acordo com a proposta de Ramalho Filho et al.

(1978): classe I - terras com aptidão regular para lavoura, classe II - terras com aptidão restrita para lavoura e boa para pastagem, classe III - terras com aptidão boa para silvicultura e pastagem natural e classe IV - terras sem aptidão agrícola (Quadro 1).

Quadro 1 - Critérios adotados na confecção da Carta de Aptidão Agrícola das Terras da Bacia do Rio Bonito (SP)

Classes	Deficiência fertilidade	Deficiência água	Excesso água	Suscetibilidade erosão	Impedimento mecanização	Declividade terreno
I	Ligeiro Moderado	Ligeiro Moderado	Nulo	Moderado	Ligeiro Moderado	Ligeiro Nulo
II	Moderado	Moderado	Nulo	Moderado	Ligeiro Nulo	Moderado
III	Moderado Forte	Moderado Forte	Nulo	Moderado	Nulo	Moderado
IV	Forte	Forte Nulo	Ligeiro Forte	Ligeiro Forte	Muito forte	Forte Muito forte

Fonte: baseado em Ramalho Filho et al. (1978) e Rosa (1995)

Carta de Aptidão Física ao Assentamento Urbano da Bacia do Rio Bonito (SP)

A Carta de Aptidão Física ao Assentamento Urbano foi confeccionada através da sobreposição das Cartas de Formas do Relevo e Formações Geológicas de Superfície (TOREZAN, 2000), de acordo com a metodologia proposta por IPT (1986). Assim, com base na integração dos dados de relevo e litologia, foram identificadas e delimitadas as áreas que apresentam comportamento semelhante, em termos de dinâmica do meio físico, frente às necessidades impostas pelas práticas de urbanização.

A análise das características do meio permitiu a definição de 4 classes de aptidão ao assentamento urbano: áreas favoráveis (apresentam pouca ou nenhuma restrição geológica e/ou geomorfológica à ocupação urbana), moderadas (apresentam algumas restrições à ocupação urbana), severas (apresentam sérias restrições à ocupação urbana) e restritivas (consideradas impróprias à ocupação urbana) (Quadro 2).

Quadro 2 - Critérios adotados para a elaboração da Carta de Aptidão Física ao Assentamento Urbano da Bacia do Rio Bonito (SP)

Classes de aptidão física	Formas do relevo	Formação geológica (litologia)
Favorável	Planícies	Serra Geral (basalto e diabásio)
Moderada	Colinas	Corumbataí (siltito e argilito) Stª Rita do Passa Quatro e Pirassununga (arenito)
Severa	Morrotes Morros altos	Serra Geral (basalto e diabásio) Itaqueri (arenito)
Restritiva	Frente da Cuesta Planície de Inundação	Quaternário (arenito e argilito) Botucatu e Pirambóia (arenito)

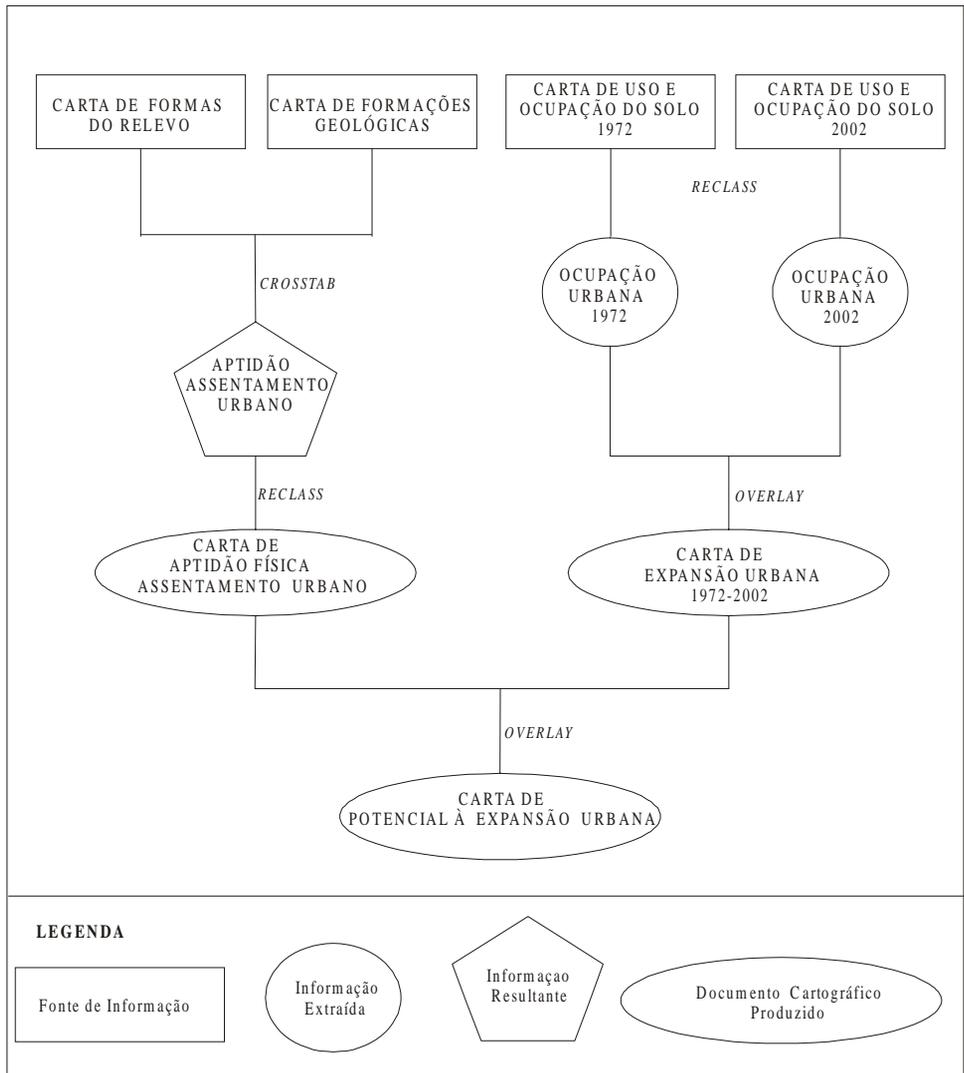
Carta de Potencial à Expansão Urbana da Bacia do Rio Bonito (SP)

Através do cruzamento dos mapeamentos da ocupação urbana na BHRB em 1972 e 2002 - extraídos das Cartas de Uso e Ocupação do Solo (MORAES, 2003) - foi elaborada a Carta de Expansão Urbana 1972 - 2002 classificada em área urbana construída e área não urbana conforme sugerido por Pereira, Kurkdjian; Foresti (1989) e Foresti; Hamburger (1991). Essa Carta foi integrada à Carta de Aptidão Física ao Assentamento Urbano, resultando na Carta de Potencial à Expansão Urbana, classificada em quatro níveis: muito baixo (áreas restritivas ao assentamento urbano), baixo (áreas moderadas ou severas ao assentamento urbano), médio (áreas favoráveis ao assentamento urbano fora dos eixos de expansão urbana) e alto (áreas favoráveis ao assentamento urbano dentro dos eixos de expansão urbana) (Figura 2).

Carta de Zoneamento Ambiental da Bacia do Rio Bonito (SP)

Para a proposta de zoneamento ambiental da BHRB foram utilizados os seguintes documentos cartográficos: Carta de Aptidão Agrícola das Terras, Carta de Expansão Urbana 1972-2002, Carta de Legislação Ambiental (MORAES, 2003) e Carta de Risco Potencial à Erosão (TOREZAN, 2000). Esses documentos foram sobrepostos através de ferramentas disponíveis no módulo *overlay* do SIG *Idrisi*, possibilitando a produção da Carta de Zoneamento Ambiental, a qual foi compartimentada em 4 zonas, de acordo com os critérios apresentados no Quadro 3.

Figura 2 - Esquema metodológico adotado no processo de elaboração da Carta de Potencial à Expansão Urbana da Bacia do Rio Bonito (SP)



Quadro 3 - Critérios adotados na construção da Carta de Zoneamento Ambiental da Bacia do Rio Bonito (SP)

Zonas	Aptidão agrícola	Potencial expansão urbana	Risco potencial Erosão*	Legislação ambiental
Atividade urbanas	Classe IV	Alto Médio	1 - 6	Áreas não protegidas
Produção industrial e outros usos	Classe IV	Médio	1 - 3	Áreas não protegidas
Produção agrossilvipastoril	Classes I, II e III	Médio Baixo	1 - 6	
Proteção ambiental	Classes I, II, III ou IV	Muito baixo	1 - 8	Áreas protegidas

* O risco potencial à erosão (apresentado de forma crescente, numa escala de 0 a 10), calculado por Torezan (2000), refere-se à susceptibilidade da área para a perda de solo por erosão.

DESCRIÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Caracterização dos solos da Bacia do Rio Bonito (SP)

A formação dos solos depende de fatores como as condições climáticas, o material de origem, os organismos vivos, o relevo e o tempo de exposição dos materiais aos processos de intemperismo. A combinação desses fatores condicionou, para a maior parte da Região dos Cerrados, a formação de solos bastante intemperizados, nos quais os minerais primários foram completamente alterados e lixiviados do perfil (ADÂMOLI et al., 1985). Os tipos de solo encontrados na BHRB são LATOSSOLOS, ARGISSOLOS, NEOSSOLOS e GLEISSOLOS. Esses solos se distribuem na BHRB conforme as classes de declividade apresentadas na Tabela 1.

Os LATOSSOLOS correspondem a 67% dos solos da bacia e se subdividem de acordo com o teor e tipo de óxido de ferro predominante em: LATOSSOLOS VERMELHOS Eutroféricos (13%), LATOSSOLOS VERMELHOS Mesoféricos (46%) e LATOSSOLOS VERMELHO-AMARELOS Distroféricos (8%). São solos bem drenados, com profundidade do manto de intemperismo de até 14m e teor de argila entre 15 e 90% (PEREIRA, 1994). Os LATOSSOLOS VERMELHOS Eutroféricos, originados da climatização química dos magmatitos básicos (basalto ou diabásio), associados à Formação Serra Geral, apresentam as seguintes características: concentram-se principalmente em terrenos com declividade entre 2 e 15%, são espessos, apresentam textura argilosa, elevada Capacidade de Troca Catiônica (CTC) e distribuem-se espacialmente na parte sul desta bacia.

OS LATOSSOLOS VERMELHO-AMARELOS Distroféricos constituem, segundo Oliveira et al. (1992), uma das mais importantes classes de solos do ponto de vista

Tabela 1 – Distribuição em hectares dos tipos de solo da Bacia do Rio Bonito (SP) sobre as classes de declividade apresentadas em porcentagem

Tipos de solo	Classes de declividade					
	0-2%	2-5%	5-10%	10-15%	15-45%	45%
LAT. VERMELHOS eutroféricos	312.44	529.56	1186.41	627.23	268.07	
LAT. VERMELHOS mesoféricos	116.93	437.65	819.95	300.74	90.46	
LAT. VERMELHO-AMARELOS distroféricos	1664.57	3001.94	3800.65	1205.40	499.50	
ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS	89.11	117.56	367.71	328.74	200.19	
NEOSSOLOS LITÓLICOS (basalto)	5.40	4.50	13.23	42.21	379.32	98.03
NEOSSOLOS LITÓLICOS (arenito)	27.63	26.19	40.24	6.39	1.08	
GLEISSOLOS HÁLICOS	545.58	76.06	46.36	17.19	10.62	
NEOSSOLOS QUARTZAÊNICOS	734.08	1731.09	2010.14	433.96	83.89	

agronômico, porque respondem bem à aplicação de fertilizantes e corretivos, além de apresentarem boa drenagem interna. Encontram-se distribuídos em terrenos com declividades um pouco mais acentuada que os LATOSSOLOS VERMELHOS Euféricos, possuem uma classificação textural predominantemente média, apresentam baixa fertilidade (principal limitação ao aproveitamento agrônomo). Quando de textura média, se aproximam dos NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS no que se refere à grande concentração de areia fina, e igualmente se tornam muito suscetíveis à erosão, embora apresentem elevada taxa de infiltração, necessitando, portanto, de adequado manejo conservacionista (OLIVEIRA et al., 1992). Esses solos se concentram principalmente entre os declives de 2 a 10%, são localmente distróficos, de textura média, média CTC, distribuem-se em manchas por toda a bacia nesses declives e representam cerca de 8% dos solos da área.

A ordem ARGISSOLOS se subdivide em dois subgrupos: ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELO Distrófico latossólico e ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELO Distrófico arênico. Em nível de subgrupo, caracterizam-se por apresentar, na área estudada, um horizonte A moderado ou mesmo proeminente, com espessura que raramente ultrapassa 30cm, textura arenosa e média/arenosa, erosão moderada à forte, conforme o relevo e posição na paisagem (PEREIRA, 1994), e ocupam na BHRB, áreas com declives entre 5 e 45%. Esses solos cobrem aproximadamente 11km² e situam-se na região centro-leste da bacia, representando 5% da área total, constituindo, portanto, depois dos NEOSSOLOS LITÓLICOS, a classe menos extensa de solos. Por isso, suas principais limitações para o uso agrícola se relacionam, além da baixa fertilidade, à suscetibilidade à erosão e dos impedimentos à mecanização.

Os NEOSSOLOS correspondem a 25% da AE e são representados pelos NEOSSOLOS LITÓLICOS (3%) e os NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS (22%). Os NEOSSOLOS LITÓLICOS são originados do substrato arenítico da Formação Botucatu, de rochas intrusivas básicas (diabásio) e do substrato basáltico da Formação Serra Geral, e se concentram, no geral, nas áreas de relevo mais acidentado. No que concerne à sua distribuição espacial, localizam-se, principalmente, na região do Serrote de Descalvado (sudoeste da bacia hidrográfica), em terrenos com declividade igual ou superior a 45%. De modo geral, são mais indicados para preservação da fauna e flora, devido à sua pequena espessura e presença de cascalhos e pedras, que normalmente restringem o uso de implementos agrícolas.

Os NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS são formados a partir da decomposição da Formação Santa Rita do Passa Quatro e, devido à grande quantidade de areia, apresentam sérias limitações à capacidade de armazenamento de água disponível, baixos valores de fertilidade e de CTC e, segundo Torezan (2000), apresentam os maiores valores potenciais à erosão acelerada, principalmente em terrenos com declividades superiores a 10%. Em termos de ocorrência, distribuem-se nas partes central e norte da bacia hidrográfica, ocupando uma área de 174km², muitas vezes em associação com LATOSSOLOS VERMELHO-AMARELOS Distroféricos típicos. Assim, são mais recomendados ao reflorestamento, apesar de Oliveira et al. (1992) ressaltarem que no Estado de São Paulo extensas áreas com NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS têm sido destinadas à cultura da cana-de-açúcar, se bem que em declives em geral menores.

E por último, os GLEISSOLOS HÁPLICOS que se distribuem em menores extensões (3%) da bacia, principalmente nos trechos médio e final, às margens dos canais até a foz junto à confluência com o Rio Mogi-Guaçu. Nessa subordem, os solos são pouco desenvolvidos, relativamente rasos (horizonte glei a menos de 50cm de profundidade), de textura predominantemente argilosa ou indiscriminada, com consequente permeabilidade lenta, com sinais de ocorrência de marcante processo de redução, decorrente do regime hídrico e estão diretamente associados aos terrenos recentes do quaternário, com declives que não ultrapassam 2%. De acordo com Pereira (1994), sua fertilidade depende da natureza do material de origem, mas, no geral, são solos muito pobres em nutrientes para plantas cultivadas.

Caracterização da aptidão agrícola das terras da Bacia do Rio Bonito (SP)

Na Carta de Aptidão Agrícola (Figura 3), as terras da AE foram classificadas em 4 classes, em função de sua aptidão agrícola, como já exposto.

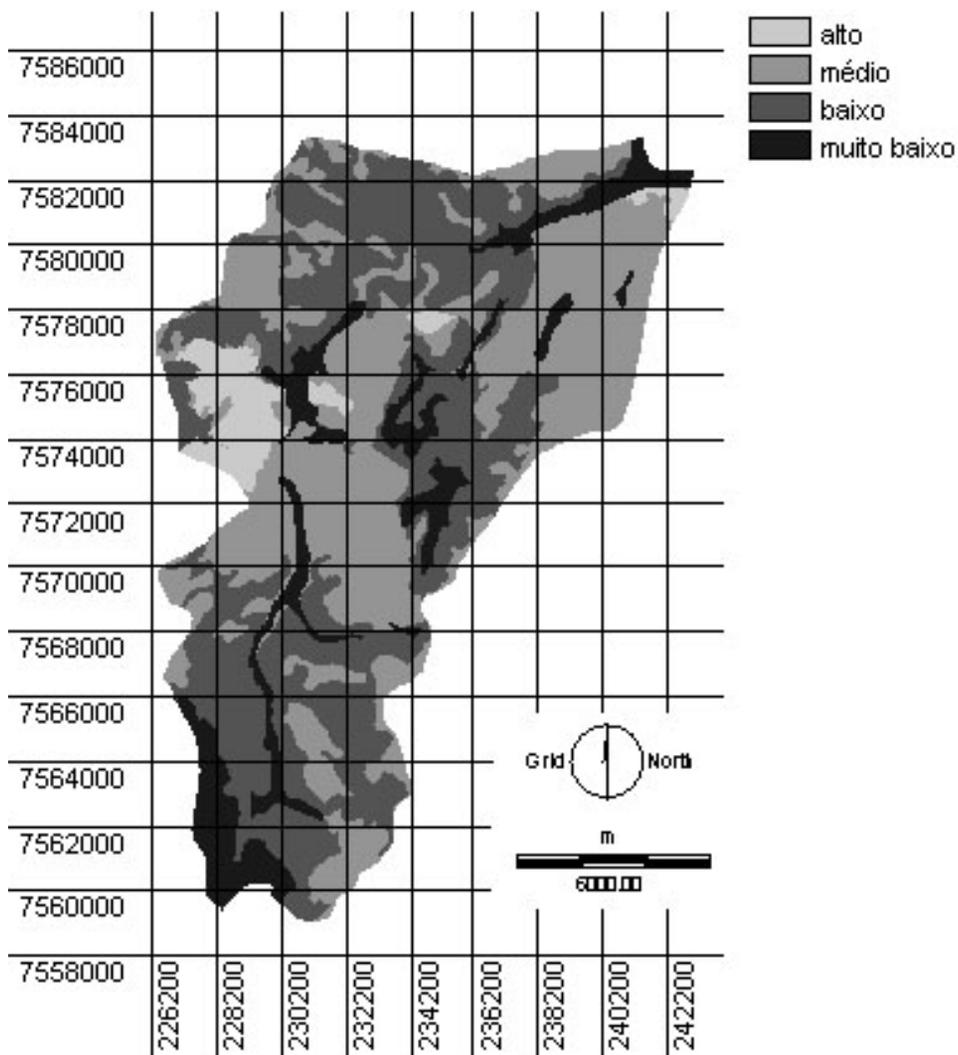
A primeira classe identificada abrange cerca de 12% da bacia e corresponde às terras que apresentam limitações moderadas para a produção sustentada da lavoura. Apesar de reduzirem a produtividade, tais limitações são suplantadas pelo aumento de insumos necessários.

A classe II, ocupando 22% da área, difere da classe I com relação ao nível de limitação para a lavoura. Nesta classe, encontram-se terras com fortes limitações para a produção sustentada, sendo que o aumento necessário nos insumos muitas vezes não justifica os custos elevados. Apesar disso, suas terras apresentam boa aptidão para a pastagem plantada, com um mínimo de restrições que não reduzem a produtividade ou seus benefícios, sem um aumento nos insumos acima de um nível aceitável.

A classe III ocupa apenas 9% da AE, sendo formada por terras com aptidão boa tanto para a silvicultura quanto para a pastagem natural, entretanto essas áreas são consideradas inadequadas à lavoura.

A classe IV compreende as terras consideradas sem aptidão agrícola, as quais perfazem um total de 57% da bacia, devendo ser destinadas à outros usos como a ocupação urbana ou a proteção ambiental.

**Figura 3 - Carta de Aptidão Agrícola das Terras da
Bacia do Rio Bonito (SP)**



Caracterização da aptidão física da Bacia do Rio Bonito (SP) para o assentamento urbano

Na Carta de Aptidão Física ao Assentamento Urbano, a BHRB foi dividida em 4 classes (favorável, moderada, severa e restritiva), de acordo com a aptidão física para o assentamento urbano apresentada no Quadro 2.

A classe favorável engloba 47% da bacia e corresponde às planícies desenvolvidas, principalmente, sobre a Formação Serra Geral. Essas áreas de planície foram consideradas como aquelas com o menor número de restrições à ocupação urbana, tendo em vista o relevo suavizado e sua formação geológica, composta por diabásios, bastante comuns na AE.

A classe moderada ocupa 35% da BHRB e corresponde às colinas com encostas levemente sulcadas por linhas de drenagem e topos amplos e arredondados sobre as formações Corumbataí (constituída de um pacote de argilitos, folhelhos e siltitos na seção inferior e de uma seqüência de argilitos e arenitos finos na seção superior), Santa Rita do Passa Quatro (composta por depósitos arenosos de idade terci-
quaternária) e Pirassununga (composta por sedimentos arenosos inconsolidados). São áreas consideradas pouco problemáticas ao assentamento urbano, sendo que os problemas de erosão se limitam, basicamente, às áreas em que o solo de alteração é exposto (corte ou aterro).

A classe severa perfaz um total de apenas 6% e é composta por morrotes, morros altos e parte da frente da cuesta. Essas áreas são inadequadas ao parcelamento do solo, salvo se atenderem a exigências específicas quanto à obediência de rigorosos critérios de ocupação, que evitem conseqüências mais desastrosas ligadas, sobretudo, a movimentos de massa e erosão.

A classe restritiva corresponde a 12% e é formada por planícies de inundação às margens do Rio Mogi-Guaçu, a frente da cuesta, as áreas de várzea sobre os depósitos do Quaternário e as áreas com potencialidade de recarga do Aquífero Botucatu-Pirambóia, localizadas sobre as Formações Botucatu e Pirambóia. Assim, em tais áreas devem ser coibidas as atividades relacionadas à ocupação urbana, tendo em vista a importância ecológica das várzeas, discutida em Junk et al. (1989) e Rocha et al. (2000) e do Aquífero Botucatu-Pirambóia como principal reserva de água do Estado de São Paulo.

Análise do potencial da Bacia do Rio Bonito (SP) para a expansão urbana

A área urbana construída na BHRB era de 1,71Km² em 1972 e passou a 10,16Km² em 2002, o que representa um crescimento de 494%. A taxa média de crescimento anual ficou em torno de 16%, mas a área caracterizada como não urbana representa hoje 94% da AE (ou 210,53Km²) e é ocupada, principalmente, por atividades agropecuárias e remanescentes de vegetação nativa, não tendo sofrido mudanças significativas no período.

Genericamente, pode-se afirmar que a área urbana construída até o início da década de 70, se concentrou nas planícies sobre a Formação Santa Rita do Passa Quatro, cujas declividades não ultrapassam os 17 graus estabelecidos pela Lei Lehman (Lei Federal 6766/79), como declive máximo para o parcelamento urbano. Mas, atualmente, a área urbana tem avançado sobre as colinas relacionadas com as Formações Pirassununga, Pirambóia e Corumbataí e, inclusive, em direção às áreas sujeitas à inundação, como os terrenos do Quaternário.

Para a cidade de Descalvado foram identificados 3 eixos principais de crescimento: leste (em direção às nascentes do Córrego do Paiolzinho), oeste (em direção

aos limites da BHRB) e sul (em direção à rodovia SP 215). Segundo Marques (1993) e Castro (1998), Descalvado apresenta as seguintes características de crescimento: a área central, que corresponde aos territórios já consolidados; áreas próximas ao centro formadas por uma malha urbana já consolidada, com um forte adensamento e a primeira periferia, que compreende a malha urbana consolidada com baixa densidade. Por não possuir Plano Diretor, o crescimento da cidade tem sido regido pelas leis municipais 308/78 e 1308/93, que dispõem sobre a fixação e delimitação da zona de expansão urbana, respectivamente. Quanto à cidade de Porto Ferreira, pode-se afirmar que esta tem crescido no sentido oeste, em direção às várzeas dos rios Bonito e Areia Branca.

De acordo com a Carta de Potencial à Expansão Urbana (Figura 4), a classe de alto potencial corresponde a apenas 5% da AE e compreende em torno de 900ha de áreas com aptidão favorável ao assentamento urbano e pouco mais de 200ha de áreas com aptidão moderada que se concentram em torno das cidades de Descalvado e Porto Ferreira.

As áreas com médio potencial (43%) englobam, em sua maior parte, terras com aptidão favorável ao assentamento distribuídas por toda a bacia, mas que, justamente, se encontram fora do alcance dos eixos de crescimento. Essas áreas, possivelmente, poderão ser ocupadas à longo prazo, e para tanto, seria interessante o poder público local concentrar esforços no sentido de incentivar a ocupação dessas áreas de forma planejada, com base em estudos geotécnicos.

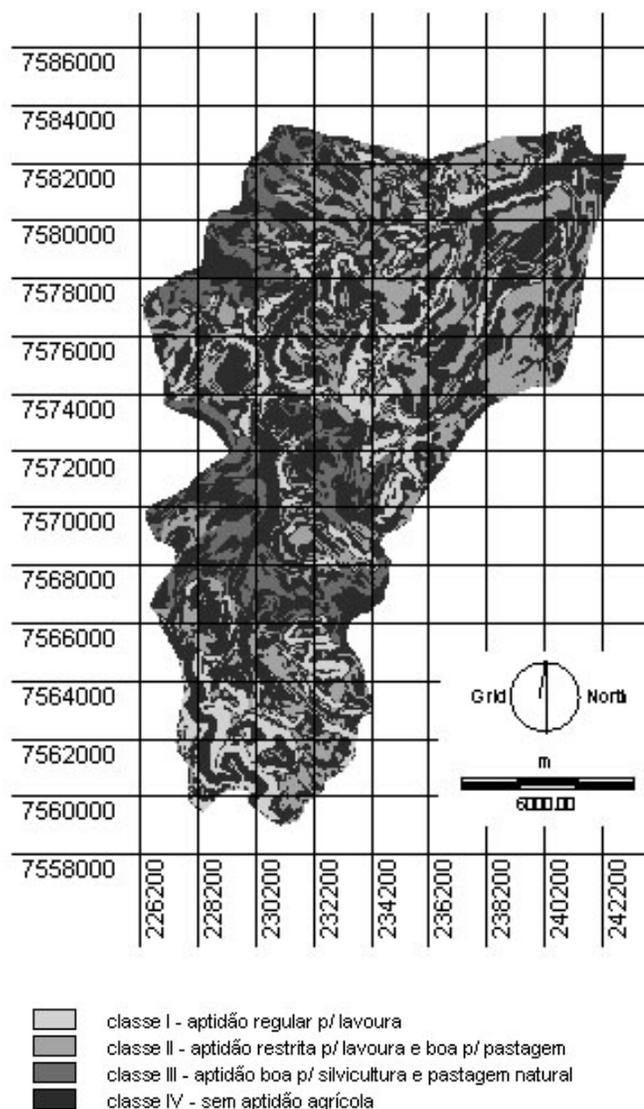
A classe de baixo potencial representa 40% da BHRB e é constituída de áreas cuja aptidão física ao assentamento urbano vai de moderada à severa, estando localizadas em torno dos cursos d'água de 1ª, 2ª e 3ª ordem. Tais áreas abrangem colinas que apresentam uma considerável susceptibilidade à erosão, inclusive na presença de cobertura vegetal, logo, a sua ocupação urbana não é aconselhada.

As áreas com muito baixo potencial à expansão (12% da AE), com restritiva aptidão ao assentamento urbano, encontram-se nas áreas de inundação do Rio Bonito e do Córrego da Areia Branca.

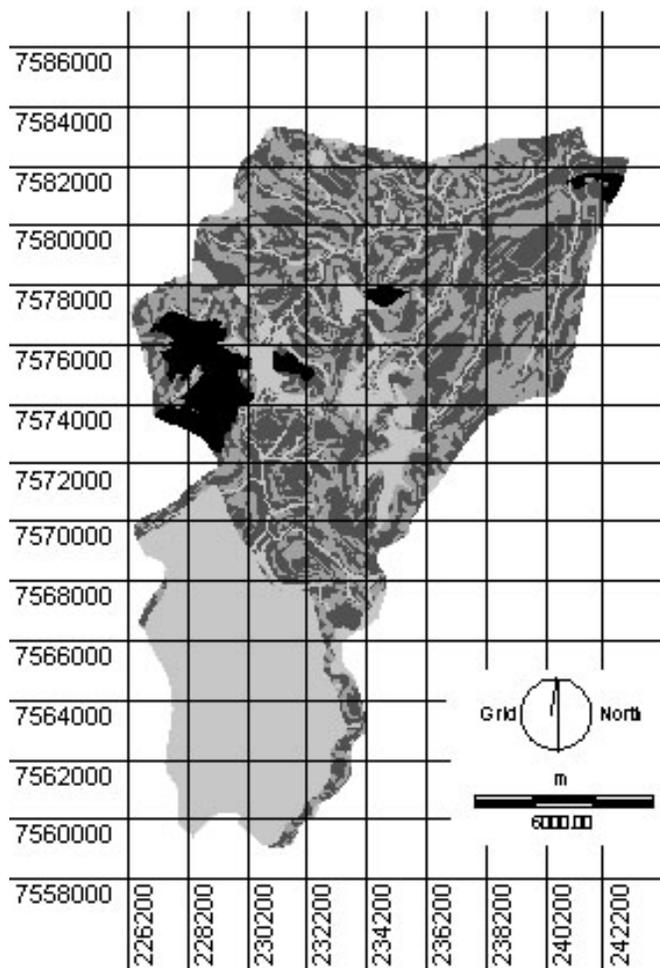
Proposta de zoneamento ambiental para a Bacia do Rio Bonito (SP)

A sobreposição das cartas anteriores permitiu a elaboração da Carta de Zoneamento Ambiental como proposta (Figura 5), onde a BHRB está dividida em 4 zonas: zona de atividades urbanas (5%), zona de produção industrial e outros usos (34%), zona de produção agrossilvipastoril (27%) e zona de proteção ambiental (34%).

Figura 4 - Carta de Potencial à Expansão Urbana da Bacia do Rio Bonito (SP)



**Figura 5 - Carta de Zoneamento Ambiental da
Bacia do Rio Bonito (SP)**



-  zona de atividades urbanas
-  zona de produção industrial
-  zona de produção agrossilvipastoril
-  zona de proteção ambiental

Na tabela 2 apresentam-se as áreas absoluta e relativa do uso atual do solo (2002), em função do zoneamento proposto.

Tabela 2 – Área absoluta (ha) e relativa (%) dos diferentes tipos de uso do solo na Bacia do Rio Bonito (SP) em 2002 em relação às zonas propostas

Uso e ocupação do solo em 2002	Atividade urbana		Produção indústria e outros		Produção agrossilvipastoril		Proteção ambiental	
	área (ha)	área (%)	área (ha)	área (%)	área (ha)	área (%)	área (ha)	área (%)
Solo exposto	0.00	0.00	385.45	5.07	345.39	5.77	83.26	1.09
Solo semi-exposto	0.00	0.00	33.12	0.43	46.35	0.78	1.44	0.02
Cana	1.71	0.13	2271.10	29.88	1926.79	32.16	1466.63	19.32
Laranja	4.15	0.36	1788.79	23.53	1425.58	23.79	1451.42	19.12
Pastagem	0.00	0.00	1668.71	21.95	1210.08	20.19	1461.68	19.26
Reflorestamento	0.18	0.01	75.18	0.98	73.72	1.24	176.16	2.33
Outras culturas	0.00	0.00	82.00	1.07	67.42	1.12	160.05	2.12
Cerrado	0.00	0.00	346.47	4.56	228.82	3.81	1290.83	17.00
Mata	4.24	0.37	778.99	10.25	606.07	10.11	1395.69	18.39
Corpos d'água	0.00	0.00	2.16	0.03	0.45	0.00	7.65	0.10
Área urbana	1107.10	99.23	37.62	0.50	11.07	0.18	25.74	0.35
Mineração	0.00	0.00	131.33	1.73	50.95	0.85	68.59	0.90
Total	1115.57	100.00	7600.81	100.00	5992.69	100.00	7589.24	100.00

A zona de atividades urbanas é formada por terras sem aptidão agrícola e com um potencial à expansão urbana que varia de alto à médio, onde o risco potencial à erosão varia de 1 à 6, numa escala que vai de 0 à 10. Essa zona é composta principalmente pela área urbana construída (99,23%), mas também engloba pequenas áreas de cultivo de cana-de-açúcar e laranja (0,49%) e 4,24ha de mata nativa, que na medida do possível devem ser preservados, tendo em vista a importância atribuída à manutenção de áreas verdes em ecossistemas urbanos (CAVALHEIRO, 1991; OLIVEIRA et al., 1999).

A zona de produção industrial e outros usos também é formada por terras sem aptidão agrícola e com médio potencial à expansão urbana, sendo que o risco potencial à erosão varia de 1 à 3. Engloba pequenas parcelas dos diferentes tipos de uso do solo, em maior quantidade, cultivos de cana (quase 30%), laranja (em torno de 23%) e pastagens (quase 22%). Tais áreas foram agrupadas em uma única zona devido ao seu baixo potencial para compor as demais zonas, assim sendo, poderiam ser exploradas para a produção industrial sem trazer maiores prejuízos econômicos ou ambientais. Entretanto, deve-se salientar que as mesmas não foram avaliadas quanto ao seu potencial para a exploração de areia, uma das atividades industriais desenvolvidas atualmente.

A zona de produção agrossilvipastoril corresponde às terras com aptidão regular à restrita para a lavoura e às terras com aptidão boa para a pastagem e a silvicultura, cujas áreas não se encontram protegidas pela legislação ambiental e cujo risco potencial à erosão, numa escala de 0 à 10, varia de 1 à 6.

E por fim, apresenta-se a zona de proteção ambiental, formada pelas áreas legalmente protegidas. Esta zona é composta por quase 1400ha de mata, entre mata mesófila e ciliar e quase 1300ha de cerrado, entre cerrado *stricto sensu* e cerradão. Juntos, esses remanescentes de vegetação nativa perfazem um total de pouco mais de 35% da BHRB.

Por outro lado, nesta zona também se encontram extensas áreas ocupadas por cana e laranja (38,4%), além de pastagens (19,2%) e reflorestamentos (2,3%). Porém, acredita-se que o fato mais agravante é a existência de áreas de mineração de areia, que mesmo correspondendo a menos de 1%, deveriam ser desativadas e recuperadas, visto que se localizam em áreas com alto potencial à erosão, ou seja, apresentam uma variação de 1 à 8.

CONCLUSÕES

A utilização da abordagem analítica como embasamento metodológico para a análise e interpretação das informações se destacou como uma característica positiva na elaboração da proposta de zoneamento ambiental para a BHRB, sendo que dentre as ferramentas do SIG *Idrisi* que foram utilizadas na elaboração dos documentos cartográficos, destaca-se a sobreposição de *layers* disponível no módulo *overlay*, capaz de somar ou multiplicar *pixels*, gerando novos planos de informação.

A Carta de Aptidão Agrícola das Terras apresentada neste trabalho, mostra que a BHRB é composta, em grande parte, por terras sem aptidão agrícola. No entanto, o cruzamento dos dados de uso atual do solo com a proposta de zoneamento elaborada (Tabela 2), mostra que as atividades agrícolas são desenvolvidas na bacia e não estão respeitando a aptidão das terras para tal atividade, uma vez que é na zona de produção industrial que se encontram as maiores áreas cultivadas.

Considerando-se a Carta de Potencial à Expansão Urbana elaborada para a BHRB, pode-se afirmar que esta apresenta de médio à baixo potencial à ocupação urbana, em função de suas características geológicas e geomorfológicas. Atualmente, o maior problema observado em relação aos assentamentos urbanos está na ocupação da planície de inundação do Rio Bonito.

Quanto à Carta de Zoneamento Ambiental, vale lembrar que se trata de uma proposta elaborada com base em fatores considerados de suma importância, mas que não se esgotam aqui. Outros fatores, de cunho socioeconômico também devem ser considerados pelos tomadores de decisão no momento oportuno.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a colaboração de Fabio Enrique Torresan, José Herbet Faleiros Júnior e Marco Antônio Albano Moreira e o apoio das seguintes instituições: Universidade Federal de São Carlos, Universidade Estadual de Santa Cruz e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

REFERÊNCIAS

- ADÂMOLI, J. et al. Caracterização da região dos cerrados. In: Goedert, J. (Ed.). **Solos dos cerrados: tecnologias e estratégias de manejo**. São Paulo: Nobel, 1985.
- CAVALHEIRO, F. Urbanização e alterações ambientais. In: Tauk, S.M. (Org.). **Análise ambiental: uma visão multidisciplinar**. São Paulo: UNESP/ FAPESP, 1991.
- CASTRO, D.M. **Estudo do potencial à erosão acelerada das áreas urbana e de expansão do município de Descalvado (SP), escala 1:10.000**. 1998. 150p. Dissertação (Mestrado) - Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.
- FERES, R. **Análise de processos de erosão acelerada, com base em fotografias aéreas e geoprocessamento: Bacia do Rio Bonito (Descalvado, SP)**. 2002. 142p. Tese (Doutorado) - Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.
- FONSECA, H.S. **Qualidade das águas superficiais de uma bacia hidrográfica sujeita a processos erosivos** - estudo de caso do rio bonito, em Descalvado, SP. 2002. 193p. Dissertação (Mestrado) - Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.
- FORESTI, C.; HAMBURGER, D.S. Sensoriamento remoto aplicado ao estudo do uso do solo urbano. In: Tauk, S.M. (Org.). **Análise ambiental: uma visão multidisciplinar**. São Paulo: UNESP/ FAPESP, 1991.
- IAC - Instituto Agrônômico de Campinas. **Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo, Quadrícula Descalvado (SF-23-V-C-IV-4)**. Campinas: IAC, 1982. Escala 1:100.000.
- IAC - Instituto Agrônômico de Campinas. **Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo, Quadrícula São Carlos (SF-23-Y-A-I-4)**. Campinas: IAC, 1981. Escala 1:100.000.
- IG - Instituto Geológico. **Mapeamento da vulnerabilidade e risco de poluição das águas subterrâneas no Estado de São Paulo**. São Paulo: IG/CETESB, 1997, 2v.
- IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Cartografia geotécnica aplicada ao planejamento na grande São Paulo**. Guia de utilização. Carta de Aptidão Física ao Assentamento Urbano (1:50.000). São Paulo: IPT/EMPLASA, 1986.
- LEPSCH, I.F. et al. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1983.
- MARQUES, E.N. **Planos e projetos para o desenvolvimento urbano**. São Carlos: DECiv, Universidade Federal de São Carlos, 1993. Apostila.
- MORAES, M.E.B. **Zoneamento ambiental de bacias hidrográficas: uma abordagem metodológica aplicada na Bacia do Rio Bonito (SP)**. 2003. 123p. Tese (Doutorado) - Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.
- OLIVEIRA, C.H.; SANTOS, J.E.; PIRES, J.S.R. Indicadores de arborização urbana da cidade de São Carlos (SP) com o uso do SIG-IDRISI. **Brazilian Journal of Ecology**, Rio Claro, v.3, n. 1, p. 1-9, 1999.

OLIVEIRA, J.B. et al. **Classes gerais de solos do Brasil:** guia auxiliar para seu reconhecimento. Jaboticabal: FUNEP, 1992.

PEREIRA, M.N.; KURKDJIAN, M.N.O.; FORESTI, C. Sistema de classificação do uso da terra. In: PEREIRA, M.N. et al. (Org.). **Cobertura e uso da terra através de sensoriamento remoto.** São José dos Campos: INPE, 1989.

PEREIRA, V.P. (Ed.). **Solos altamente suscetíveis à erosão.** Jaboticabal: Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista / Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 1994.

RAMALHO FILHO, A.; PEREIRA, E.G.; BEEK, K.J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras.** Brasília: SUPLAN / EMBRAPA / SNLCS, 1978.

RIZZINI, C.T. **Tratado de fitogeografia do Brasil.** São Paulo: Hucitec/Edusp, 1979.

ROCHA, O.; PIRES, J.S.R.; SANTOS, J.E. dos. A bacia hidrográfica como unidade de estudo e planejamento. In: ESPÍNDOLA, E.L.G. et al. (Org.). **A bacia hidrográfica do rio Monjolinho.** Uma abordagem ecossistêmica e a visão interdisciplinar. São Carlos: Rima, 2000.

ROSA, R. **O uso de SIG's para o zoneamento:** uma abordagem metodológica. 1995. 214p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

SILVAJ.X.; SOUZA, M.J.L. **Análise ambiental.** Rio de Janeiro: Editora UFRJ, 1987.

TOREZAN, F.E. **Sistema de manejo ambiental na mineração:** um estudo de caso na bacia do Rio Bonito (SP). 2000. 165p. Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

ZUQUETTE, L.V. **Análise crítica sobre cartografia geotécnica e proposta metodológica para as condições brasileiras.** 1987. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

ZUQUETTE, L.V. **Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico:** fundamentos e guia para elaboração. 1993. 368p. Tese (Livre-Docência) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

Recebido em novembro de 2003

Revisado em julho de 2004

Aceito em outubro de 2004