

SUBSÍDIO METODOLÓGICO PARA A GESTÃO AMBIENTAL HIDROVIÁRIA

METHODOLOGICAL SUBSIDY FOR WATERWAY ENVIRONMENTAL MANAGEMENT

SUBSIDIO METODOLÓGICA PARA LA GESTIÓN AMBIENTAL HIDROVIARIA

Paulo Sérgio de Rezende Nascimento
Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN
Caixa Postal 1607 - 59078-970 - Natal – RN
E-mail: paulo@geologia.ufrn.br ou psrn.geologia@gmail.com

Reinaldo Antônio Petta
Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN
Caixa Postal 1607 - 59078-970 - Natal - RN
E-mail: petta@geologia.ufrn.br ou petta@ccet.ufrn.br

RESUMO

O projeto de expansão da Hidrovia Tietê-Paraná na seção do baixo curso do rio Piracicaba, no estado de São Paulo, denominado Empreendimento Hídrico Santa Maria da Serra, carece de documentos cartográficos que auxiliem no direcionamento dos recursos disponíveis para a prevenção de eventos adversos oriundos do processo de assoreamento. Assim, a partir da avaliação das categorias morfodinâmicas da paisagem, o objetivo deste trabalho é fornecer um instrumento auxiliar na gestão do empreendimento hídrico, visando estabelecer critérios restritivos de uso do solo às margens da hidrovia e nas áreas consideradas estratégicas para a segurança da navegação. Os procedimentos adotados foram: geração dos mapas temáticos; armazenamento e manipulação de informações temáticas em um Banco de Dados Georreferenciados; integração das informações através de um Sistema de Informação Geográfica, utilizando álgebras de mapas e assim gerando o mapa de Vulnerabilidade à Erosão; e por fim, o ordenamento do território através da Carta de Subsídio à Gestão Ambiental. A partir dos resultados obtidos foi possível definir as áreas vulneráveis à erosão; indicar as áreas para a implantação da recomposição da mata ciliar e do reflorestamento com espécies nativas e sugerir os pontos de coleta de sedimentos antes e depois do empreendimento, visando o monitoramento da deposição.

Palavras-chaves: Gestão hidroviária, morfodinâmica, vulnerabilidade à erosão, geoprocessamento.

ABSTRACT

The Project of expansion of Tietê-Paraná Waterway in Low Piracicaba sub-watershed, in Sao Paulo state, Brazil, named “Empreendimento Hídrico Santa Maria da Serra”, needs cartographic documents that aid the orientation of the available resources in order to prevent adverse events generated by the process of silting. Thus, from the assessment of the categories of landscape morphodynamics, this work aims at providing an auxiliary instrument for the management of hydric enterprises, which focuses on the establishment of restrictive criteria about the use of the soil on the margin of the waterway and in areas considered strategic for navigation safety. The adopted procedures are: generation of thematic maps; storage and manipulation of thematic data in a Georeferenced Database; gathering of the data through a Geographic Information System, using



algebra on maps, what results in the production of the Map of Vulnerability to Erosion; and, at last, the ordainment of the territory through the Subsidy Map for the Environmental Management. With the obtained results, it is possible to define the vulnerable areas to erosion; indicate areas for the implantation of Riparian Forest recomposition and reforest with native species; and suggest points of collection of sediments before and after the enterprises, as a way of monitoring the deposition.

Key-words: Waterway management, morphodynamic, vulnerability to erosion, geoprocessing.

RESUMEN

El proyecto de expansión de la Hidrovía “Tietê-Paraná” en la sección del bajo curso del río “Piracicaba”, en el estado de San Pablo, denominado Emprendimiento Hídrico Santa María de la Sierra, carece de documentos cartográficos que auxilie en el direccionamiento de los recursos disponibles a la prevención de eventos adversos oriundos del proceso de “assoreamento”. Así, de la evaluación de las categorías de morfodinámica paisaje, el objetivo de este trabajo es fornecer un instrumento auxiliar en la gestión del emprendimiento hídrico, con el objetivo de establecer criterios restrictivos del uso del suelo a las márgenes de la hidrovía y en las áreas consideradas estratégicas para la seguridad de la navegación. Los procedimientos adoptados fueron: generación de los mapas temáticos; almacenamiento y manipulación de informaciones temáticas en un Banco de Datos Georreferenciados, integración de las informaciones a través de un Sistema de Información Geográfica, utilizando álgebras de mapas y así generando el mapa de Vulnerabilidad a la Erosión, e por fin, el ordenamiento del territorio a través de la Carta de Subsidio a la Gestión Ambiental. A partir de los resultados obtenidos fue posible definir las áreas vulnerables a la erosión, indicar las áreas para la implantación de recomposición de la mata ciliar y de la reforestación con especies nativas y sugerir los puntos de colecta de sedimentos antes y después del emprendimiento, objetivando el monitoreo de la deposición.

Palabras-claves: Gestión hidroviaria, morfodinámica, vulnerabilidad a la erosión, geoprosesamiento.

1 INTRODUÇÃO

Tricart (1977) define um sistema como um conjunto de fenômenos que se processam mediante fluxos de matéria e energia. Esses fluxos originam inter-relações de dependência mútua entre os fenômenos, surgindo uma entidade global dinâmica. Através da análise de um sistema, reconhecem-se conceitualmente as suas partes interativas, o que torna possível captar a rede interativa sem ter de separá-las. Tem-se, então, um instrumento lógico para estudar os problemas do meio ambiente - as unidades ecodinâmicas. Tais unidades compostas por elementos do meio biótico e físico podem se encontrar em vários estágios de equilíbrio dinâmico, o qual pode ser alterado pela intervenção antrópica, levando a uma situação de instabilidade geomorfológica-pedológica. Como resultado dessa instabilidade, ocorre erosão acentuada, com a perda do solo, degradação ambiental e consequente assoreamento das bacias fluviais.



É possível, em termos computacionais, empregando álgebras de mapas, desenvolver técnicas automáticas de gestão ambiental, a partir da avaliação do grau de estabilidade/instabilidade das categorias morfodinâmicas da paisagem. A análise morfodinâmica, de acordo com os princípios da ecodinâmica (TRICART, 1977), estabelece uma relação entre os processos de morfogênese e pedogênese. Quando predomina a pedogênese prevalecem os processos formadores de solos e quando predomina a morfogênese, são os processos formadores de relevo, os que sobressaem. Essas informações são fornecidas pela geologia, geomorfologia, pedologia, cobertura vegetal e uso da terra.

O Empreendimento Hídrico Santa Maria da Serra é um projeto de grande envergadura, que é uma extensão do Sistema Hidroviário Tietê-Paraná, projetada no rio Piracicaba, no Estado de São Paulo. A Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba é, em geral, estudada juntamente com as Bacias dos Rios Capivari e Jundiaí, devido às reversões existentes no abastecimento público dos municípios de Jundiaí e Campinas. Assim, elas estão inseridas na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos Piracicaba, Capivari e Jundiaí (UGRHI PCJ) e são gerenciadas pelo Comitê da Bacia Hidrográfica dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. A área de estudo é a Sub-bacia do Baixo Piracicaba (local da expansão da hidrovia) é delimitada pelos paralelos 22°15' a 22°45' de latitude Sul e pelos meridianos 47°45' a 48°30' de longitude Oeste (Figura 1). Inserida em uma pequena porção da Bacia do Paraná, apresenta litologias de sequências vulcano-sedimentares, formando duas províncias geomorfológicas, denominadas de Depressão Periférica e Cuestas Basálticas com variedades de solos com diferentes graus de fertilidade e resistência à erosão, subpostos a vegetações típicas de transição entre a Mata Atlântica e o Cerrado (CESP, 1992).



Figura 01. Área de estudo – Sub-bacia do Rio Piracicaba.

Os procedimentos essenciais para subsidiar as etapas de um empreendimento hidroviário estão baseados na garantia da conservação da biodiversidade local, do uso adequado dos recursos naturais e com a vida útil do sistema hidroviário (WILDENHAHN, 2000). A expansão de hidrovias deve ser harmonizada com a sustentabilidade do meio terrestre e aquático, visando nortear as medidas preventivas e corretivas, além de compatibilizar os usos múltiplos da água e integrar a sua administração com a do solo. Além desses fatores, o aumento da competitividade internacional, a minimização dos custos da obra e a maximização da segurança do sistema são as vantagens econômicas mais relevantes para o empreendimento. Dessa forma, o cumprimento das exigências legais deixa de ser apenas uma estratégia preventiva para constituir-se em um fator diferencial no mercado nacional e internacional. As medidas de prevenção e de controle devem ser tomadas, tanto nas áreas próximas ao empreendimento como nas distantes, pois o sistema fluvial não possui existência isolada, mas desenvolve relações com toda a bacia hidrográfica.

Os riscos de acidentes em um sistema hidroviário possuem várias causas, uma delas é o uso inadequado do solo, que intensifica o processo erosivo, causando o assoreamento do canal fluvial. Este processo provoca o encalhamento das embarcações e diminui a vida útil da obra hidroviária,

afetando a operacionalização e a segurança da hidrovía. Neste contexto, é fundamental a garantia de que a hidrovía seja ampliada e operada em condições permanentes que garanta a sua segurabilidade, valendo-se da tecnologia disponível para a preservação do empreendimento.

Assim, o objetivo deste presente trabalho foi contribuir com a indicação de uma abordagem metodológica baseada na análise da morfodinâmica da paisagem preconizada por Tricart (1977), a partir da estruturação de um Banco de Dados Georreferenciados (BDG) e utilização de um Sistema de Informação Geográfica, como instrumento auxiliar na gestão ambiental de um sistema hidroviário, com ênfase na análise de elementos do meio físico, visando estabelecer critérios restritivos de uso do solo às margens da hidrovía e nas áreas consideradas estratégicas para a segurança da navegação.

2 MÉTODO

Para a montagem do Banco de Dados Georreferenciados (BDG) no programa computacional SPRING e delimitação da área de estudo (Sub-bacia do Baixo Piracicaba) foram necessárias nove cartas topográficas. Tais cartas topográficas estavam no formato digital, o que facilitou inserção no banco de dados e a posterior junção das imagens para estabelecer os limites da sub-bacia. A demarcação dos limites foi realizada pela análise das drenagens e divisores de água com auxílio de imagens de satélite (Landsat-5). A articulação das cartas topográficas com a respectiva área de estudo pode ser vista na Figura 2.

A área total da Sub-bacia do Baixo Piracicaba é de 1543km², desta, 80km² é ocupada pela Represa de Santa Maria da Serra. Este sistema hidrográfico pode ser caracterizado por atributos próprios, ou seja, por uma vegetação natural ou antropizada ou qualquer outro tipo de uso do solo, sobre uma associação de solos, desenvolvidos sobre um conjunto de formas de relevo esculpido sobre corpos rochosos. Assim, os mapas contendo as unidades litológicas, geomorfológicas e pedológicas foram compilados, respectivamente, de Almeida *et al.* (1981), Ross & Moroz (1997) e Oliveira *et al.* (1999) e reinterpretados através da análise visual das imagens do sensor TM do satélite Landsat-5 de dezembro de 2011 e por trabalho de campo.

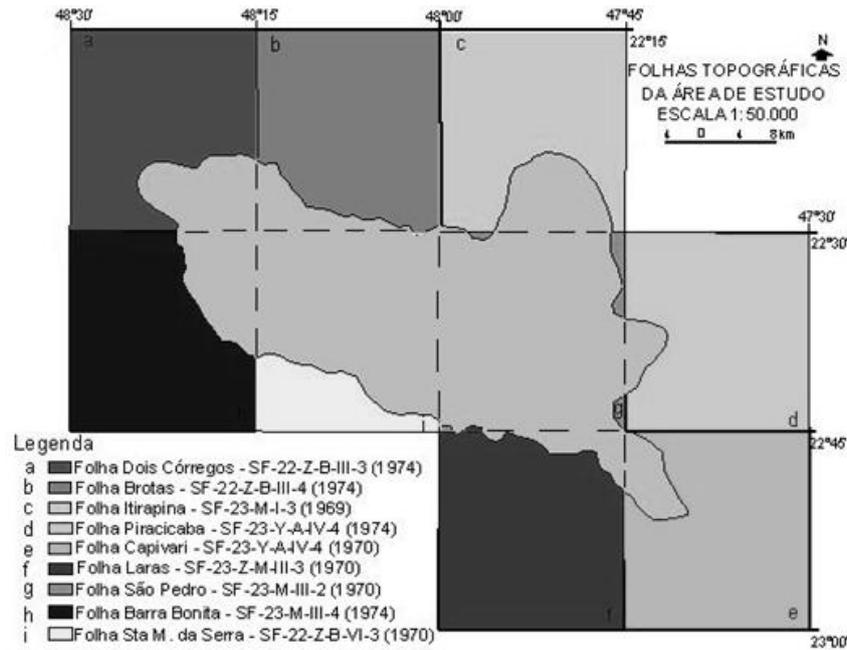


Figura 02. Articulação das cartas topográficas do IBGE (2012) (escala de 1:50.000).

O mapa de classes de declividade foi realizada pelo processamento automático desde a geração das grades triangular e retangular até a eliminação de pixels isolados no interior das classes de declividade formadas por um conjunto maior e significativo de pixels, tornando o produto mais compreensível. O mapa de cobertura vegetal e uso da terra foi confeccionado pela análise interpretativa de imagens TM-Landsat com base nos padrões fotográficos e trabalho de campo. Para facilitar a discriminação dos alvos de interesse, ou seja, para melhorar a qualidade dos dados originais, foram realizados alguns pré-processamentos nas imagens, como realces de contrastes e várias composições coloridas.

O método utilizado para gerar o Mapa de Vulnerabilidade à Erosão foi baseado pela Análise Morfodinâmica da Paisagem, pela delimitação das Unidades Territoriais Básicas (UTBs) a partir das imagens de satélite e pela integração dos mapas supracitados por meio de Álgebra de Mapas. As UTBs são formadas pelas unidades de paisagem natural e pelos polígonos de ação antrópica, e foram geradas pelo cruzamento dos mapas supracitados, tendo as imagens TM do satélite Landsat-5 como suporte de análise.

As operações de álgebras de mapas foram utilizadas para realizar a integração automática das informações e classificar o grau de estabilidade ou instabilidade à erosão pela atribuição de valores de 1 a 3 (Quadro 1), através da análise morfodinâmica da paisagem, a partir da relação entre processos morfogenéticos e pedogenéticos, descritos em Tricart (1977). Em termos computacionais, estes procedimentos foram realizados por rotinas de programação computacional, sintetizados nas

tabelas 1 a 5 e realizados pelos autores deste trabalho, numa linguagem apropriada ao programa de geoprocessamento SPRING, denominada de LEGAL. Um programa em LEGAL é formado por uma sequência de comandos, sendo que cada comando determina uma ação a ser executada pelo sistema. As siglas apresentadas nas tabelas representam a ação, o caminho e o local para o funcionamento do programa.

Quadro 01. Síntese do modelo de geração do mapa de vulnerabilidade à erosão. FONTE: Modificado de Crepani *et al.* (1996).

UNIDADE DA PAISAGEM	VALOR DA ANÁLISE MORFODINÂMICA		RELAÇÃO PEDOGÊNESE E MORFOGÊNESE			GRAU DE VULNERABILIDADE
UTB 1	Instabilidade	3,0	Prevalece a Morfogênese	Equilíbrio	Prevalece a Pedogênese	Vulnerável
UTB 2		2,9				
UTB 3		2,8				
UTB 4		2,7				
UTB 5		2,6				
UTB 6		2,5				
UTB 7		2,4				
UTB 8		2,3				
UTB 9		2,2				
UTB 10		2,1				
UTB 11		2,0	Estabilidade	Prevalece a Pedogênese	Medianamente Vulnerável e Estável	
UTB 12		1,9				
UTB 13		1,8				
UTB 14		1,7				
UTB 15		1,6				
UTB 16		1,5				
UTB 17		1,4				
UTB 18		1,3				
UTB 19		1,2				
UTB 20		1,1			Estável	
UTB 21		1,0				

O modelo é aplicado a cada tema individualmente e posteriormente recebe um valor final, resultante da média dos valores individuais, dentro da escala de vulnerabilidade à erosão pré-estabelecida. Inicialmente, analisa-se cada classe, atribuindo-se um valor correspondente ao comportamento em relação aos processos erosivos. Desta forma, a alta resistência à erosão das rochas é consequência do maior grau de coesão entre os minerais, o maior desenvolvimento do solo indica que prevaleceu o processo pedogenético, assim como os menores valores de declividade e a maior capacidade da cobertura na proteção da paisagem. No contexto do BDG, a atribuição destes valores foi materializada através da operação de transformação de ponderação aplicada sobre os mapas temáticos, transformando-os em mapas numéricos, tabelas 1, 2 e 3.

Tabela 01. Análise morfodinâmica e operação pontual de ponderação das formações rochosas e de classes de declividade.

Crie a tabela de ponderação GeoT ¹ :		Crie a tabela de ponderação DecT ² :	
Formação Aluvionar = 3,0	Formação Botucatu = 2,4	<2% = 1,0	10-20% = 2,0
Formação Itaqueri = 2,6	Formação Pirambóia = 2,5	2-5% = 1,3	20-30% = 2,3
Formação Serra Geral = 1,5	Formação Corumbataí = 2,8	5-10% = 1,7	30-50% = 2,7
			>50% = 3,0

^{1 e 2} Tabelas de tipos de rochas e classes de declividade.

Tabela 02. Análise morfodinâmica e operação pontual de ponderação dos tipos de solos.

Crie a tabela de ponderação **Solt**³:

Litossolo Quartzarênico = 3,0
Gleissolo Tiomórfico Húmico = 3,0
Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico = 2,4
Argissolo Vermelho-Amarelo Alumínico = 2,2
Argissolo Vermelho-Amarelo Alissólico = 2,0
Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico = 1,1

³ Tabela de tipos de solos.

Tabela 03. Análise morfodinâmica e operação pontual de ponderação dos tipos de relevo e da vegetação e uso da terra.

Crie a tabela de ponderação RelT :	Crie a tabela de ponderação UsoT :	
Planície fluvial = 3,0	Veg. de Várzea = 20	Pastagem = 2,6
Topos convexos de dissecação baixa = 2,2	Mata ciliar = 1,6	Cultura perene = 2,7
Topos convexos de dissecação Média = 2,6	Cerrado = 2,1	Cultura anual = 2,9
Topos convexos de dissecação alta = 3,0	Capoeira = 1,9	Solo exposto = 3,0
Topos tabulares de dissecação Média = 1,0	Cana-de-açúcar = 2,8	Área urbana = 3,0
Topos tabulares de dissecação Baixa = 1,2		

^{4 e 5} Tabelas de formas de relevo e tipologia vegetal e uso da terra.

A seguir, através da operação de média aritmética com o operador Atualize, foi gerado um objeto numérico, que representa o valor médio de vulnerabilidade das UTBs a partir de cada campo numérico resultante da operação de ponderação (Tabela 4). A próxima etapa foi a geração da média aritmética da vulnerabilidade à erosão de cada UTB de todos os campos numéricos utilizados, através do operador Atributo, de acordo com a seguinte expressão: **Obj.Média = (Obj.Geo + Obj.Dec + Obj.Sol + Obj.Rel + Obj.Uso)/5**. Ao final destas operações, o BDG passa a conter, além dos mapas temáticos, os seus respectivos campos numéricos de vulnerabilidade à erosão e o campo numérico com o valor médio da vulnerabilidade nas UTBs. Para finalizar o mapa de vulnerabilidade à erosão foram realizadas as últimas operações, que é a espacialização e o fatiamento, tabela 5, gerando um mapa numérico, que define o intervalo de vulnerabilidade à erosão e um mapa temático.

Tabela 04. Operação de atualização das formações rochosas, de classes de declividade, de tipos de solos, de relevo e da cobertura vegetal e uso da terra.

Execute as variáveis numéricas de Atualização:

Obj.Geo = Atualize (**GeoN**, **UTB**, **MedZ**)⁶
Obj.Dec = Atualize (**DecN**, **UTB**, **MedZ**)
Obj.Sol = Atualize (**SolN**, **UTB**, **MedZ**)
Obj.Rel = Atualize (**RelN**, **UTB**, **MedZ**)
Obj.Uso = Atualize (**UsoN**, **UTB**, **MedZ**)

⁶ Operador média zonal.

Tabela 05. Operações de espacialização da variável numérica média aritmética e de fatiamento do mapa espacializado.

Crie a tabela de fatiamento Tab⁷:

[1.0, 1.3]: “Estável”;
[1.3, 1.7]: “Moderadamente Estável”;
[1.7, 2.2]: “Moderadamente Estável-Vulnerável”;
[2.2, 2.6]: “Moderadamente Vulnerável”;
[2.6, 3.0]: “Vulnerável”.



⁷ Tabela dos valores de estabilidade/instabilidade morfodinâmica.

Para realizar o Mapa de Subsídio à Gestão Ambiental foram definidos pontos de coleta de sedimentos, áreas ideais para o cultivo de cana-de-açúcar e pastagens, a recomposição da vegetação natural ao longo do rio Piracicaba e o reflorestamento das encostas das serras de Itaqueri e São Pedro, tendo como base o Código Florestal (Lei 4.771 de 15/09/65 – versão atualizada até 1998). A definição dos pontos de coleta de sedimentos para a quantificação do volume de material transportado pelos afluentes e depositados no rio Piracicaba e na represa de Barra Bonita foi feita inicialmente a partir das conexões entre as drenagens. Para ter uma equidistribuição destes pontos, utilizou-se de uma malha quadricular de 4.000 metros e a distância entre os pontos foi de 500 metros, obedecendo a escala de trabalho (1:50.000). Terminada esta etapa, fez-se um refinamento destes pontos visando diminuir os pontos de coleta, para otimizar ao máximo a coleta e, assim, diminuir os custos advindos do excesso de amostragem. Nesta fase, os locais mais próximos ao empreendimento hidroviário e as drenagens que desembocam no rio Piracicaba foram os mais relevantes com relação àqueles que desembocam na represa de Barra Bonita. Ainda para descartar e conservar os pontos de coleta foi utilizado o mapa de vulnerabilidade à erosão, onde as classes de maior potencial erosivo foram decisivas na escolha final dos pontos.

Outro procedimento foi definir as áreas ideais para o cultivo de cana-de-açúcar, que se restringiria à classes de vulnerabilidade à erosão moderadamente estável e estável e o cultivo de pastagem, na classe moderadamente estável-vulnerável. Entre estas duas classes de uso do solo, foram estabelecidas duas classes de cobertura vegetal: mata ciliar e Floresta Estacional Semidecidual, propondo então a recomposição de mata ciliar e o reflorestamento com espécies nativas. A primeira abrange todo o entorno da represa de Barra Bonita e do empreendimento Hídrico Santa Maria da Serra e foi definida entre as cotas altimétricas 460 e 480 metros, e a segunda, se estende por toda a encosta íngreme, cujas cotas altimétricas variam conforme a serra: na Serra de São Pedro foi entre 580 e 900 metros e na Serra de Itaqueri foi entre 560 e 1200 metros. Além destas informações, o Mapa de Subsídio à Gestão Ambiental contém uma faixa entre as cotas 450 e 460 metros, a qual é a simulação do empreendimento de interesse.

3 RESULTADO E DISCUSSÃO



Nos aspectos geológicos (Figura 3), a Formação Pirambóia ocupa 981km² dos 1463km² da sub-bacia, o que representa 67% da área da sub-bacia. A Formação Corumbataí se estende por 215km² (15% do total), e juntas estas duas formações estão distribuídas em 82% de toda a área, o que significa que tiveram os pesos, na análise da morfodinâmica da paisagem, mais representativos em questão de porcentagem de quantidade de área com relação às demais formações. Dos 18% de áreas restantes, as formações Botucatu, Serra Geral, Itaqueri e os Aluviões possuem 99km², 71km², 66km² e 31km², respectivamente.

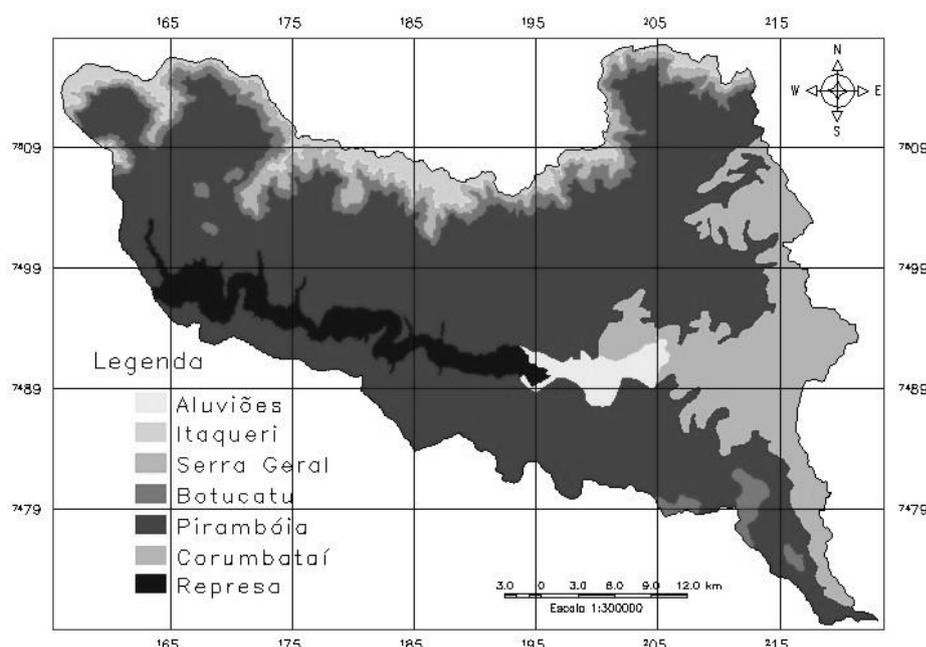


Figura 03. Aspectos geológicos da área de estudo. FONTE: Almeida *et al.* (1981).

No mapa geomorfológico (Figura 4), os relevos de topos convexos dissecados totalizam 70% da área de estudo, representados pelos Topos Convexos Dissecados Médio a Alto, Baixo e Muito Alto, os quais possuem, respectivamente, 508km² (35%), 283km² (19%) e 232km² (16%). Os relevos de Topos Tabulares Dissecados Muito Baixo e Baixo representam 28% da área, distribuídos em 269km² (18%) e 138km² (10%), e somente 33km² da área (2%) estão ocupados pelas Planícies Fluviais. Desta forma, aqueles primeiros tipos de relevo de topos convexos e posteriormente os de topos tabulares obtiveram os pesos mais significativos na análise da paisagem, com destaque para o do tipo Convexo Dissecado Muito Baixo, que representa o dobro tanto dos outros dois convexos quanto dos dois tabulares.

No mapa pedológico (Figura 5), as classes de solos dos tipos argissolos e latossolos estão distribuídas por 1260km², o que representa 86% da área, e que tiveram os pesos morfodinâmicos

mais significativos. Predominam os Argissolos Vermelho-amarelos, que perfazem 801 km² de toda a área (55%), constituídos por 509km² (35%) de Alumínico Típico (PVA-1), que se estende por uma área maior que os 459km² (31%) dos dois latossolos. Os Eutróficos Típico (PVA-2) e o Alissólico (PVA-3) representam os 20% restantes de argissolos, com 162km² (11%) e 130km² (9%), respectivamente. O Latossolo Vermelho-amarelo Distrófico Típico associado ao Neossolo Quartzarênico Órtico (LVA-1 + RQ-1) possui 258km² (18%) e o outro latossolo (LVA-1) possui 201km² (14%). Este neossolo (RQ-1) quando ocorre sozinho abrange uma área de 166km² (11%) e por fim, o gleissolo tiomórfico húmico (GT-1) se concentra somente em 34km² (2%) da área.

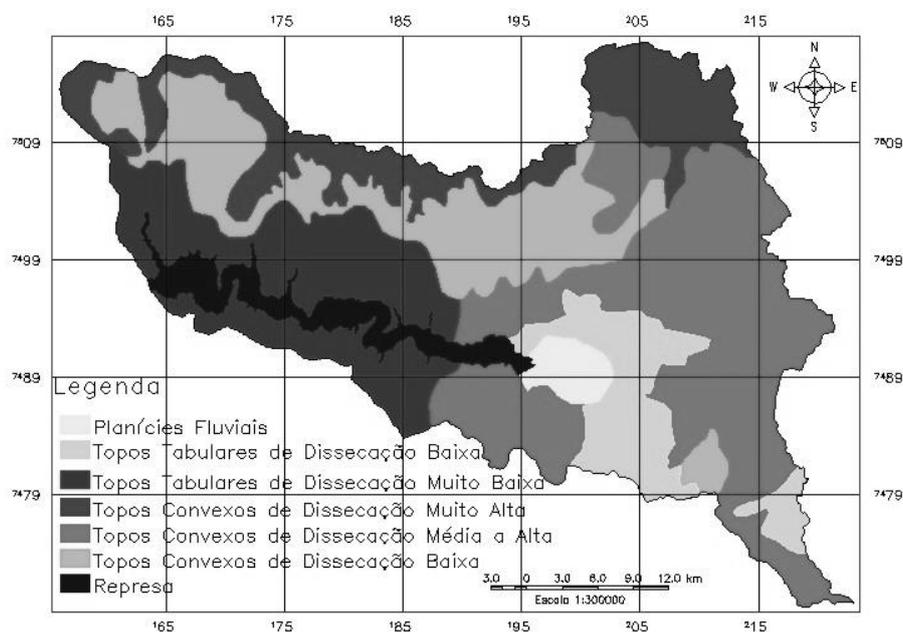


Figura 04. Mapa de geomorfológico da área de estudo. FONTE: Ross & Moroz (1997).

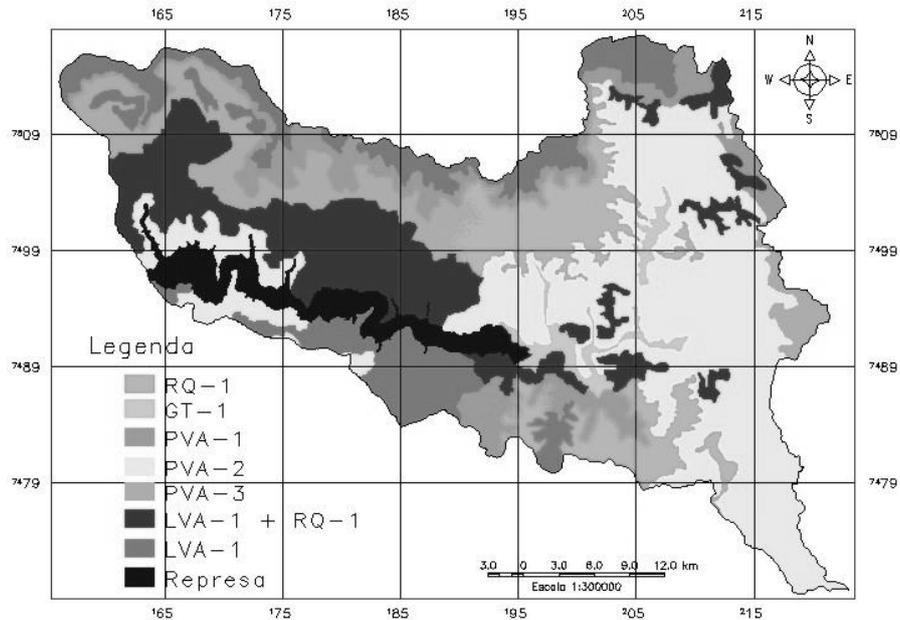


Figura 05. Mapa de pedológico da área de estudo. FONTE: Oliveira *et al.* (1999).

No mapa de declividade (Figura 6), a classe de declividade menor que 2% constituir apenas 6% da área (82 km²) e as classes maior que 50% e entre 2 e 5% representarem, respectivamente, 9% (139 km²) e 10% (145 km²). Assim, as classes entre 5 e 10%, 10 e 20%, 20 e 30% e 30 e 50% obtiveram valores mais significativos e bem próximos entre si na análise morfodinâmica da paisagem, pois possuem 294km² (20%), 277km² (19%), 319km² (22%) e 208km² (14%), respectivamente.

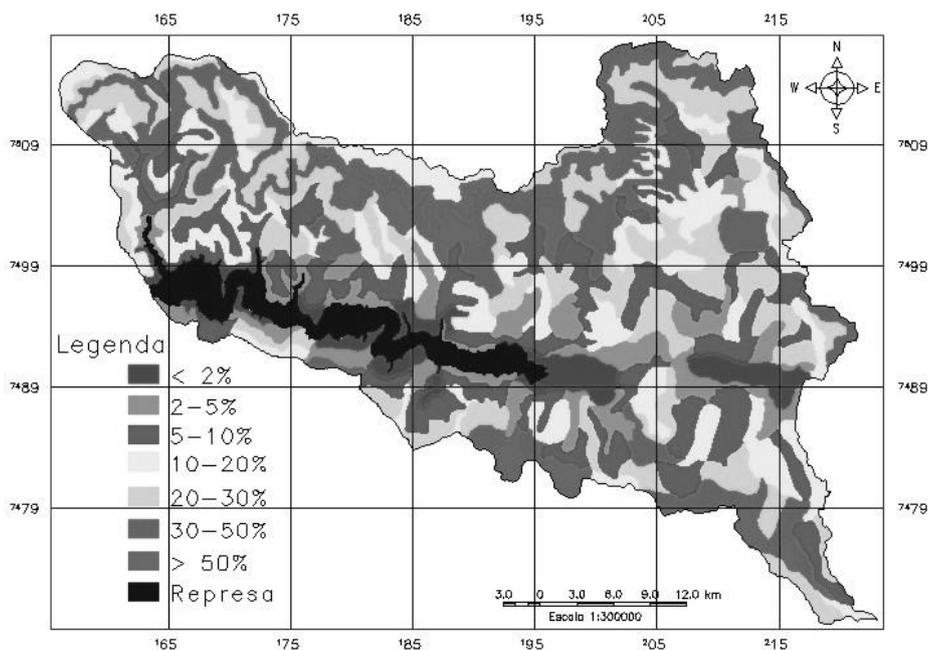


Figura 06. Mapa de classes de declividade da área de estudo.

No mapa de vegetação e uso da terra (Figura 7), dos 1463 km² de área da sub-bacia, 15 km² está ocupada por áreas urbanas, o que resulta em 1448 km² para a vegetação natural e o uso agrícola da terra. Deste total, 308 km² é composta pela cobertura vegetal natural, o que totaliza aproximadamente 21%, com predominância de mata ciliar com 122km² (8%) e capoeira (80km²), cerrado (61km²) e vegetação de várzea (45km²) com 6%, 4% e 3 %, respectivamente.

Percebe-se que a atividade antrópica é intensa e responsável pela evolução da paisagem. Dos 78% (1139km²) de áreas utilizadas para o cultivo, a pastagem (594km²) e a cana-de-açúcar (389km²) atingem 67% distribuídas na área, respectivamente, em 41% e 26%. O solo para preparo (84km²) atinge 6% e as culturas perenes (36km²) e anuais (39km²) somam 5%. Nota-se que a área de estudo possui um caráter agropastoril, que é a estrutura produtiva da região desde o ciclo do café e estas classes de uso da terra foram significativas nos pesos utilizados na análise morfodinâmica da bacia hidrográfica.

Os aspectos fisionômicos de ação antrópica apresentaram uma grande variabilidade de tipos de uso, mas, que em virtude das limitações impostas pela resolução espacial de 30 metros, impediu que algumas feições de uso isoladas, fossem inclusas no mapa. Estes aspectos fisionômicos demonstrados pela variável uso da terra nas imagens TM-Landsat revelaram os diferentes cenários produzidos pelo homem na ordenação espacial do território.

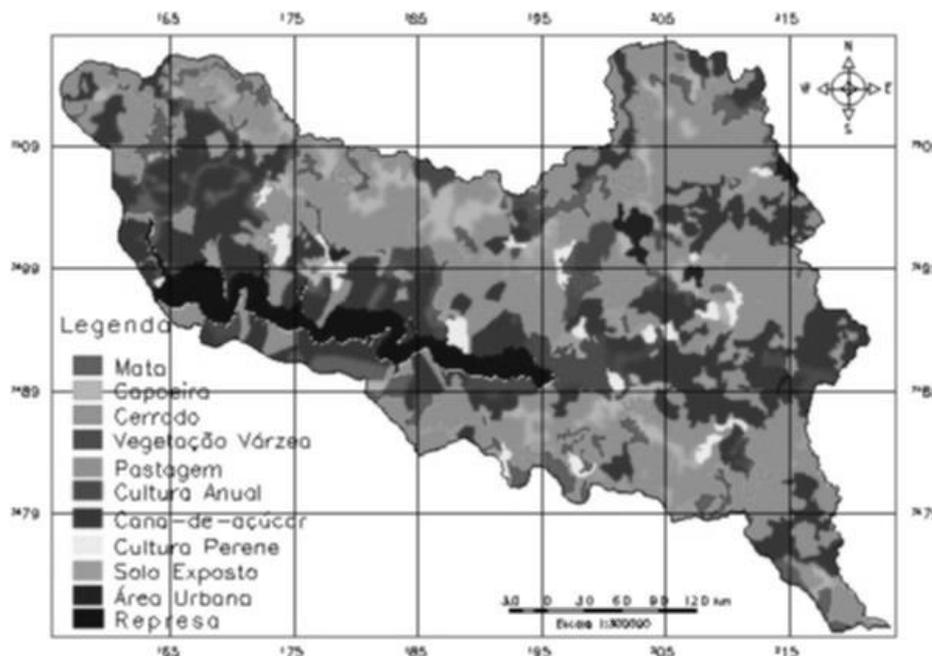


Figura 07. Mapa de classes de declividade da área de estudo.

O mapa de vulnerabilidade à erosão (Figura 8) representa a contribuição oferecida pelo meio físico-biótico-antrópico à ocupação racional do território. Este mapa em associação com legislação e sugestões de ações preventivas e mitigadoras foi responsável pela criação do Mapa Síntese de Subsídio à Gestão Ambiental Territorial da Expansão da Hidrovia Tietê-Paraná: o Empreendimento Hídrico Santa Maria da Serra (Figura 9).

As classes Moderadamente Estável e Vulnerável totalizam apenas 5% e cobrem uma área de 24km² e 49km², respectivamente. A classe Moderadamente Estável-Vulnerável representa 30% da área (440km²), e a classe predominante é a Moderadamente Vulnerável que se estende por 950km², o que representa 65% de toda a sub-bacia. Este resultado é decorrente, além dos aspectos fisiográficos naturais, da apropriação da área a que foi submetida ao longo de sua história, através do desmatamento acelerado e descompromissado com os princípios básicos de proteção a drenagem natural do solo e com a preservação da vegetação ciliar.

A classe Moderadamente Estável está localizada na região centro-sul da sub-bacia com 19km² abaixo da represa no Latossolo Vermelho-amarelo e 5km² acima, no mesmo tipo de solo em associação com Neossolo Quartzarênico distribuída nas classes menor que 2% e entre 2 e 5% de declividade e inserida no relevo de Topo Tabular de Dissecação Muito Baixa da Formação Pirambóia e com uma cobertura vegetal onde predominam a mata ciliar e o cerrado e pequenas áreas de cana-de-açúcar.

A classe Vulnerável localiza-se quase que totalmente na porção centro-nordeste da área com 26km² e 3km² na porção centro-sudeste, esta última porção está inserida nos relevos de Topos Convexos de Dissecação Baixa e Média a Baixa da Formação Pirambóia de Neossolo Quartzarênico com classes de declividade entre 20 a 30% e maior que 50% com solo exposto, cana-de-açúcar e cerrado. A primeira porção está praticamente inserida na Formação Pirambóia com os mesmos tipos de relevo da outra porção e uma pequena parte inserida nas formações Corumbataí, Botucatu, Serra Geral e Itaqueri no relevo de Topo Convexo de Dissecação Muito Alta com declividades maiores que 20% utilizadas para cana-de-açúcar, cultura anual, pastagem e solo preparado para cultivo.

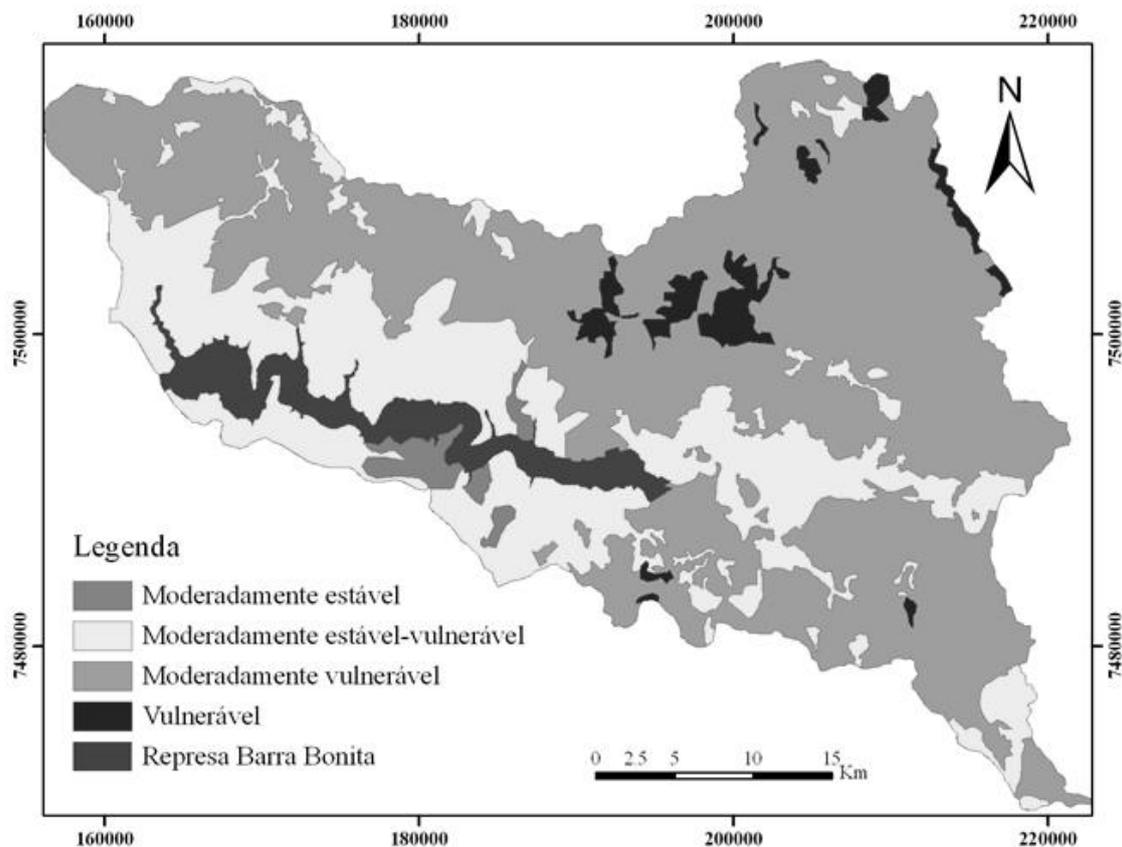


Figura 08. Mapa de vulnerabilidade à erosão.

A classe Moderadamente Estável-Vulnerável está concentrada na porção central acima da represa com 184 km², 93 km² abaixo da represa e 118 km² na região centro-leste com 118 km². Na porção sul possui 18 km² e na região limítrofe superior da sub-bacia estão espalhados 23 km² desta classe. Nesta região ocorrem principalmente nas formações Serra Geral e Itaqueri em todas maiores que 10%, já na porção sul da área, se localizam na Formação Corumbataí em relevo de Topo Tabular de Dissecação Baixa e na Formação Pirambóia em relevo de Topo Convexo de Dissecação Média a Alta, com as classes 5 a 10% e 20 a 30% de declividade. Na região centro-leste ocorre nos Aluviões da Planície Fluvial e na Formação Corumbataí dos relevos de topos Tabulares de Dissecação Baixa e Convexo de Dissecação Média a Alta, com classes de declividade concentradas em até 5% e alguns trechos entre 5 a 20%. Os 277 km² ao redor da represa ocorrem na Formação Pirambóia, principalmente no relevo de Topo Tabular de Dissecação Muito Baixa e com pequenas porções nos de Topos Convexos de Dissecação Baixa e Média a Alta e as principais classes de declividades estão até 10%, com pequenas porções com classes de declividade entre 10 e 30%.

Na porção superior da represa ocorre o Latossolo Vermelho-amarelo associado ao Neossolo Quartzarênico e o Argissolo Vermelho-amarelo Alumínico, este e o Latossolo Vermelho-amarelo ocorrem na porção inferior da represa. Nesta porção predominam as pastagens, seguida da cana-de-

açúcar e depois por mata e capoeira e a porção superior da represa é formada principalmente pela cana-de-açúcar. Na porção sul da área ocorre o Argissolo Vermelho-amarelo Eutrófico, no limite superior da bacia ocorre o Latossolo Vermelho-amarelo e estas duas áreas são compostas por mata, capoeira e cerrado e na região centro-leste ocorrem Argissolo Vermelho-amarelo Alumínico, Gleissolo Tiomórfico e Latossolo Vermelho-amarelo associado ao Neossolo Quartzarênico e composta de vegetação de várzea, cana-de-açúcar e solo exposto.

A classe Moderadamente Vulnerável ocorre numa grande porção superior da sub-bacia com 714km² e 231km² na porção inferior. Esta é constituída pelas formações Corumbataí, Pirambóia e Botucatu e pelos relevos de topos convexos de dissecação Baixa e Média a Alta, Topo Tabular de Dissecação Baixa e Planície Fluvial. A porção superior, com exceção dos aluviões, é composta por todas as formações e relevos de topos convexos e possuem os dois tipos de latossolos existentes na área de estudo, pelos Argissolo Vermelho-amarelo Eutrófico e Alissólico, Gleissolo Tiomórfico e Neossolo Quartzarênico. A porção inferior é composta por estes dois últimos solos e pelo Argissolo Vermelho-amarelo Eutrófico. Nas duas porções ocorrem todas as classes de declividades, mas especialmente as classes maiores que 5% com predominância da classe 30 a 50%, principalmente na porção superior. A pastagem seguida da cana-de-açúcar são as principais classes de uso da terra tanto na porção inferior quanto na superior e as demais classes de uso da terra e vegetação natural ocorrem espaçadas nas duas porções.

A adoção das práticas conservacionistas, na medida em que efetivamente for empregada, irá propiciar maior eficiência da atividade rural, que é a estrutura produtiva da região. Além disso, exercerá papel fundamental para a conservação dos recursos naturais e conseqüentemente, evitará riscos ao empreendimento hídrico. É neste contexto que as recomendações contidas no mapa de subsídio à gestão ambiental (Figura 9) foram geradas. É evidente que, para a recomposição da vegetação ciliar e reflorestamento com espécies nativas faz-se necessário uma ação conjunta de envolvimento políticos e empreendedores. Neste caso, cabe também aos responsáveis pelo empreendimento Hídrico Santa Maria da Serra, além da percepção de manutenção de áreas de vegetação nativa, as quais protegem o solo e o monitoramento e investimento no sentido de mitigar os prováveis riscos ambientais e ao próprio empreendimento das áreas vulneráveis à erosão.

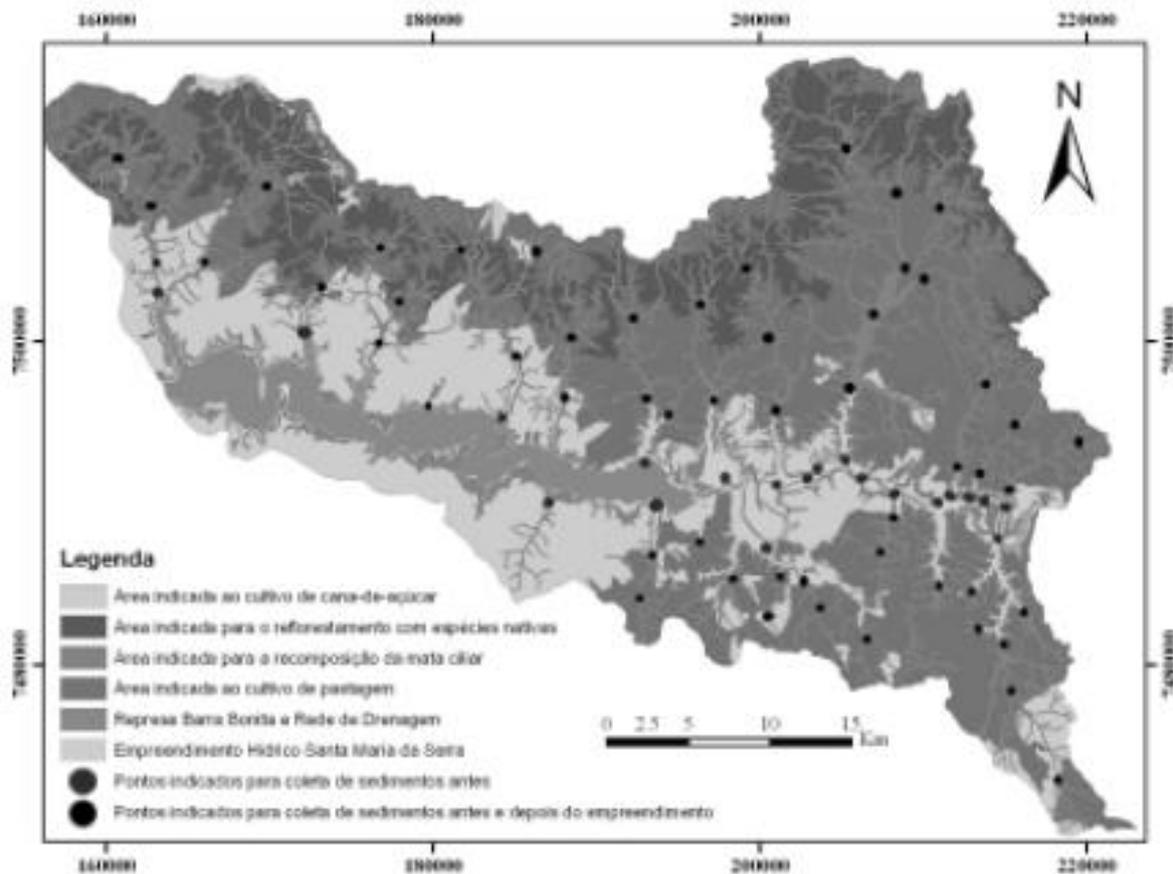


Figura 09. Mapa Síntese de Subsídio à Gestão Ambiental Territorial da Expansão da Hidrovia Tietê-Paraná.

Sem levar em consideração a área da Represa Santa Maria da Serra (80km^2) e do Empreendimento Hídrico Santa Maria da Serra (75km^2), tem-se um total de 1.388km^2 em oposição aos 1463km^2 (antes da delimitação provável do empreendimento), distribuídos em 142km^2 (10%) de mata ciliar, 238km^2 (17%) fragmentos florestais, totalizando 380km^2 (27%) de vegetação natural; 330km^2 (24%) de cana-de-açúcar e 678km^2 (49%) de pastagem, num total de 1008km^2 (73%), sem considerar as áreas urbanas, os solos expostos e as culturas anuais e perenes.

A realidade da ocupação da área de estudo é adversa aos princípios de um desenvolvimento econômico sustentável, pois a apropriação do território pela atividade rural (agricultura) está inadequada com a capacidade do ambiente em sustentar esta atividade. As áreas com pastagem e cana-de-açúcar ocupam ambientes inapropriados, principalmente as regiões de várzea e nas encostas das serras de São Pedro e Itaqueri, os quais deveriam manter-se com a vegetação natural, como proposto neste trabalho.

É importante ressaltar que estão plotados 58 pontos de coleta de sedimentos, destes, 38 pertencem às drenagens que deságuam no rio Piracicaba, nove estão localizados no rio Piracicaba e

são pontos de coleta antes da construção da obra. Após a construção estes pontos serão inundados e então foram plotados 14 pontos na margem do futuro empreendimento e 15 distribuídos em locais afastados da área de deposição. Esta mesma abordagem foi adotada para os pontos pertencentes às drenagens que deságuam na Represa de Barra Bonita, com seis próximos a margem, os quais serão inundados e seis pontos mais afastados; por fim, seis pontos de coleta em locais mais distantes.

Dentre as sugestões expostas no Mapa de Subsídio à Gestão Ambiental pode-se citar a minimização do processo erosivo através do reflorestamento das encostas das serras e indicação de áreas para o cultivo de cana-de-açúcar e pastagem, criação de faixas de proteção no entorno da hidrovia pela recomposição da mata ciliar e definição dos pontos de amostragem para quantificar o volume de sedimentos que podem atingir o empreendimento, visando conter o processo de assoreamento da hidrovia e assim, na perspectiva de diminuir a propensão ao risco associado a estes processos. Faz-se necessário conter as informações suficientes para subsidiar as tomadas de decisões. Os mapas, por fornecerem as informações necessárias em formato de fácil leitura e compreensão, são úteis para subsidiar as tomadas de decisões sobre prioridades de proteção dos fatores biofísicos.

Historicamente, a área de estudo deste trabalho foi caracterizada pela atividade rural calcada principalmente pelo desenvolvimento da agroindústria canavieira. A logística iniciou-se com as ferrovias, substituídas pelas rodovias e, recentemente, as hidrovias têm-se apresentado como a alternativa de transporte de carga mais econômica e de menor impacto ambiental. Dessa forma, justifica-se a implementação de tecnologias de ponta tanto para a proteção ambiental como para o empreendimento hídrico de grande envergadura, como a expansão da Hidrovia Tietê-Paraná.

Assim, apoiado em bases conceituais e tecnológicas configurou-se um ambiente computacional que proporcionou a operacionalização das etapas do procedimento técnico. O Banco de Dado Georreferenciado gerado formou uma plataforma unificada de informações contendo os documentos cartográficos da área de estudo. O armazenamento de dados em um ambiente computacional integrado possui várias vantagens, como a concentração de informações, acesso rápido e automático, inserção de novos dados, atualizações e cruzamentos de mapas temáticos, visando obter novos produtos. Desta forma, os dados ficam disponíveis tanto para pesquisas puras como aplicadas. Além disso, mudanças na legislação ambiental, como a iminência de um novo Código Florestal, as adaptações exigidas com as novas normas são facilmente implementadas pelos profissionais que dominam as geotecnologias.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base no desenvolvimento desta pesquisa, os resultados obtidos permitiram concluir que foi atingido o objetivo, ou seja, a contribuição metodológica para subsidiar a gestão ambiental do empreendimento Hídrico Santa Maria da Serra, visando estabelecer critérios restritivos de uso do solo nas margens da hidrovia e nas áreas consideradas estratégicas para a segurança da navegação. O armazenamento das informações em um Banco de Dados Georreferenciados e a utilização de ferramentas típicas de um Sistema de Informação Geográfica possibilitam o acesso de documentos temáticos básicos para tomadas iniciais de decisões e que podem ser gerados e atualizados por processos automáticos computacionais, de forma a atender, de uma maneira adequada, os empreendedores.

A análise da morfodinâmica da paisagem a partir da integração, por meio de álgebra de mapas, dos dados físico-biótico-antrópicos gerou um perfil do quadro ambiental da área, definindo as áreas com potencial de causar danos à hidrovia, devido aos processos erosivos e de assoreamento do rio Piracicaba. É importante ressaltar, que o assoreamento de uma hidrovia causa riscos de encalhamentos dos barcos e a diminuição da vida útil do próprio empreendimento, resultando não só prejuízos financeiros, mas também a mortandade da biota aquática.

A delimitação das UTBs é um meio de aproximação com a realidade geográfica, e a informação geográfica está relacionada à existência de objetos com propriedades próprias e relação topológica com outros objetos. Apresenta uma natureza dual expressa pela sua localização no espaço geográfico e atributos descritivos de natureza não espacial, os quais podem ser armazenados em um BDG, o que possibilitou o desenvolvimento dos procedimentos de análise geográfica. A disponibilização de operações algébricas, através da programação computacional, em um ambiente de manipulação e análise geográfica mostrou-se eficiente e rápida por facilitar a integração das variáveis ambientais utilizadas na modelagem cartográfica. Este potencial tecnológico e metodológico utilizado permite a constante atualização dos dados e a respectiva visão dinâmica dos processos naturais e antrópicos da sub-bacia. Assim, a hidrovia pode ser constantemente monitorada, tanto no sentido de prevenir acidentes e incidentes, como evitar impactos ambientais e/ou mitigar àqueles, que possam ocorrer, haja vista, que qualquer empreendimento desta envergadura, sempre causará algum dano ambiental.

Como a agricultura é um os principais agentes propulsores do desenvolvimento econômico e dos recursos dos municípios da área de estudo, a implementação de um plano de gestão ambiental,

em que a agricultura e o transporte sejam prioridades, constituem o caminho a percorrer para o desenvolvimento econômico e social. Para gerar qualquer projeto de desenvolvimento rural, é imprescindível conhecer as características de produção e o perfil da população, bem como, o diagnóstico socioeconômico. Desta forma, para complementar os resultados produzidos por este trabalho e gerar um produto onde os fatores abióticos e bióticos se integrem com os fatores socioeconômicos, recomenda-se a utilização de geotecnologias já empregadas neste trabalho para integrar estes fatores.

Com o novo Código Florestal (Lei 12.651/2012), faz-se necessário adaptar-se às novas medidas sancionadas. Não cabe aqui uma discussão sobre este assunto polêmico e de extrema importância, mas a redução da exigência de recomposição de mata ciliar para pequenos produtores que plantaram em Área de Preservação Permanente (APP) vai de encontro à realidade de muitos proprietários rurais, como os da área de estudo. No entanto, a recomposição e o reflorestamento de áreas desmatadas com espécies exóticas é uma atitude adversa com o meio ambiente. A área de estudo deste trabalho é marcada pela transição da Mata Atlântica e o Cerrado, assim, a recuperação vegetal tem que estar calcada de acordo com os biomas brasileiros.

5 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Fernando Flávio Marques; HASUI, Yosio; PONÇANO, Waldir Lopes; CARNEIRO, Celso Dal Ré; BISTRICHI, Carlos Alberto. **Mapa geológico do Estado de São Paulo**: escala 1:500.000. São Paulo: IPT, 1981. 124p.

CESP. COMPANHIA ELÉTRICA DE SÃO PAULO. Plano de desenvolvimento do vale do rio Piracicaba. São Paulo: CESP, 1997, 32p.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Coleção digital de mapas**. Disponível em: <http://biblioteca.ibge.gov.br/colecao_digital_mapas_detalhes.php?> Acesso em: 15 jan 2012.



CREPANI, Édison; MEDEIROS, José Simeão; AZEVEDO, Luiz Guimarães; HERNADEZ FILHO, Pedro; FLORENZANO, Tereza Gallotti; DUARTE, Valdete. **Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico-econômico**. São José dos Campos:INPE, 1996, 18p.

ROSS, Jurandir Luciano Sanches; MOROZ, Isabel Cristina. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo**: escala 1:500.000. São Paulo: USP; IPT; FAPESP, 1997. 64p.

OLIVEIRA, João Bertoldo; CAMARGO, Marcelo Nunes; ROSSI, Márcio CALDERANO FILHO, Braz. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo**: legenda expandida. Campinas: FAPESP; 1999. 63p.

TRICART, Jean. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE, 1977. 97p.

WILDENHAHN, Eberhard. Ecological aspects of the transport system waterway/barge. In: International Navigation Congress, 28. Seville. **Proceeding**... Seville, p. 43-52, 2000.