

# MAPEAMENTO DO USO DA TERRA E COBERTURA VEGETAL UTILIZANDO IMAGEM NDVI, FOTOGRAFIAS AÉREAS E MODELO DE ELEVAÇÃO DIGITAL: ESTUDO DE CASO APLICADO A PROJETO DE DESASSOREAMENTO AO LONGO DE UM TRECHO DO RIO SOROCABA

*Fernando Shinji KAWAKUBO<sup>1, 2</sup>*

*Nobel Penteadado de FREITAS<sup>1</sup>*

*Clebson Aparecido RIBEIRO<sup>3</sup>*

*Marcela Pellegrini PEÇANHA<sup>1, 4</sup>*

## Resumo

Este trabalho faz parte de um projeto em execução de desassoreamento do rio Sorocaba localizado na porção norte da mancha urbana do município de Sorocaba (SP). A obra de desassoreamento do rio é importante para diminuir os problemas de inundações urbanas que são frequentes principalmente no verão. Antes da execução do empreendimento, é necessário um levantamento do uso da terra e cobertura vegetal. Uma imagem NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) foi gerada a partir de dados do satélite Landsat-7 ETM+ para realizar a avaliação do contexto regional. Especificamente no trecho de interesse, foram utilizadas fotografias aéreas na escala 1: 30 000. As fotografias foram geometricamente corrigidas e mosaicadas. Em seguida, foi elaborado o mapa de uso da terra e cobertura vegetal ao longo de uma faixa de 50 metros do rio com base nos elementos de reconhecimento da fotointerpretação. Medidas de área foram extraídas de cada classe (mata, campo/pastagem, agricultura, solo exposto, uso residencial, uso industrial e corpos d'água) para auxiliar tanto na análise dos impactos ambientais quanto no planejamento da obra. O Modelo de Elevação Digital (DEM) foi incorporado na análise para extrair medidas altimétricas e clinográficas que são importantes na delimitação de áreas sujeitas às inundações e processos erosivos pluviais.

**Palavras-chave:** Mapeamento. Sensoriamento remoto. Fotografias aéreas. Cobertura vegetal. Desassoreamento. Rio Sorocaba.

## Abstract

**Vegetation cover and land use mapping handling NVDI images, aerial photographs e Digital Elevation Model: case study applied to material removal project along to Rio Sorocaba small portion.**

This is part of a material removal project related to Sorocaba river which is located in the urban area of northern Sorocaba city (SP). The material removal engineering project is important to minimize the urban flood problems which are often mainly in summer time. Before the project initialization, it is necessary a vegetation cover and land use characterization. A NVDI (Normalized Difference Vegetation Index) image was generated from Landsat-7 ETM+ data to perform this evaluation. Specifically in the interested river part, aerial photographs in 1: 30000 cartographic scales were used. The aerial photographs were geometrically corrected and were connected into mosaics. Later, a 50 meter river stream was mapped based upon photointerpretation technics. Area measures were extracted of each class (forest, grass field/cattle field, agriculture, bare soil, residential use, industrial use and water bodies) to help not only in the environmental impact analysis but also in the engineering planning. The Digital Elevation Model (DEM) was incorporated in this work to extract altitude and slope parameters which are very important to map flood and runoff erosion risks areas.

**Key words:** Mapping. Remote sensing. Aerial photographs. Vegetation cover. River material removal. Sorocaba river.

<sup>1</sup> Núcleo de Estudos Ambientais - Universidade de Sorocaba – UNISO

<sup>2</sup> Laboratório de Aerofotogeografia e Sensoriamento Remoto – DG/USP

<sup>3</sup> Prefeitura Municipal de Sorocaba

<sup>4</sup> Engenharia Ambiental – UNESP/Sorocaba. e-mail: fsk@usp.br, nobel.freitas@uniso.br, cleb@terra.com.br, marcela.pecanha@uniso.br.

## INTRODUÇÃO

Problemas de inundações em áreas urbanas são frequentes no município de Sorocaba, especialmente durante o período de verão. Em vista disto, o município está realizando uma série de obras que tem como objetivo diminuir os impactos causados à sociedade. Dentre as iniciativas, destaca-se o desassoreamento do rio Sorocaba em todo o seu trecho urbano.

O regime hídrico do rio Sorocaba é controlado pela barragem de Ituparanga, de propriedade da Companhia Brasileira de Alumínio (CBA), localizada na porção montante da área urbana. Esta barragem age como um reservatório de detenção, ou seja, além de fornecer água e lazer ao município, atua como um sistema regularizador de vazões (EMPLASA, 1985, TUCCI, 2005), retendo o volume excessivo durante o período de cheia e assegurando que as descargas à jusante se mantenham abaixo daquela que provocaria o extravasamento do curso d'água.

Quando o reservatório está em sua capacidade máxima de armazenamento, toda água que entra no sistema é liberada. Esta operação é conhecida tecnicamente como fio d'água. Caso ocorra uma chuva de elevada magnitude durante o período em que a barragem está operando com capacidade máxima, a probabilidade de ocorrer inundações à jusante é muito alta.

Nos últimos anos foram identificados vários pontos de alagamentos no município de Sorocaba, com danos ao patrimônio público e privado. Portanto, o desassoreamento é proposto como uma forma expedita de minimizar esse problema sócio-ambiental nos trechos mais críticos.

A realização de retificações dos rios para controle de enchentes ainda é controversa por parte de pesquisadores especialmente da área de geomorfologia fluvial, pois tais obras desencadeiam muitas vezes efeitos negativos ao ambiente. De acordo com Cunha (1995), os impactos geomorfológicos que ocorrem no canal retificado mudam o padrão de drenagem, alterando a forma do canal (profundidade e alargamento), diminui a rugosidade do leito e aumenta o seu gradiente. A passagem da draga, aprofundando o canal principal provoca o rebaixamento do nível de base local, favorecendo o desencadeamento de processos erosivos nos afluentes. A jusante do canal retificado, pode-se verificar o aumento da carga sólida e na planície de inundação, a transformação dos meandros em bacias de decantação, lagos ou pântanos.

Estudos de impactos ambientais realizados na área de estudo constatam que, apesar dos aspectos negativos que o empreendimento pode trazer, os processos erosivos associados à sua implantação são de baixa magnitude.

Além dos estudos geomorfológicos e hidrológicos, é imprescindível a análise do mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal, que fornece a dimensão do impacto em relação principalmente à supressão da cobertura vegetal natural. De início, uma caracterização geral é necessária para contextualizar os diferentes tipos de uso e cobertura vegetal presentes na região. Em seguida, um estudo detalhado é requerido para extrair medidas cartográficas necessárias à elaboração do plano e a execução do empreendimento.

## OBJETIVO E JUSTIFICATIVA

O objetivo deste trabalho consiste em realizar o mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal ao longo do rio Sorocaba, detalhando o trecho norte da mancha urbana do município de Sorocaba. A finalidade deste mapeamento é fornecer suporte para a elaboração de um projeto de desassoreamento do rio Sorocaba para minimizar os problemas de

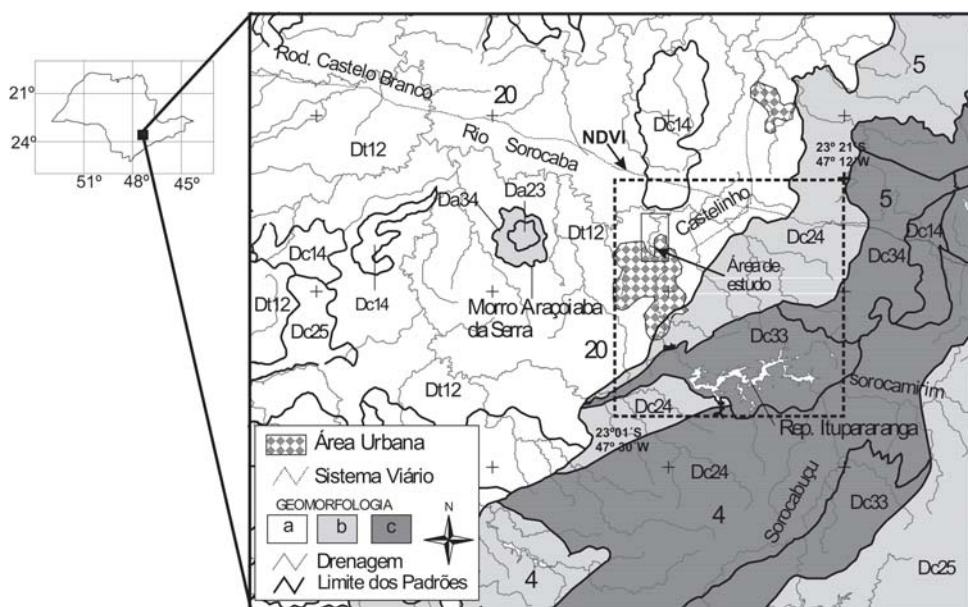
inundações que são freqüentes na região. Este trabalho é importante para caracterizar o empreendimento e analisar os impactos ambientais da execução da obra, além de auxiliar na proposição de medidas mitigadoras.

## ÁREA DE ESTUDO

### CARACTERIZAÇÃO REGIONAL

O rio Sorocaba é o maior afluente da margem esquerda do rio Tietê e integra a Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI-10) do Sorocaba/Médio Tietê. A bacia do rio Sorocaba abrange uma área de 5.209 km<sup>2</sup> distribuídos em 24 municípios, sendo Sorocaba o maior, com aproximadamente 456 km<sup>2</sup>.

Conforme se observa na figura 1, o rio Sorocaba é formado no seu alto curso pelos rios Sorocamirim e Sorocabuçu, localizado na província geomorfológica do Planalto Atlântico, mais precisamente na unidade morfoescultural do Planalto de Ibiúna/São Roque, representado pelo número 4.



**Figura 1 - Mapa geomorfológico simplificado da região de Sorocaba (ROSS, 1997).**

O retângulo com linhas tracejadas corresponde à área da imagem NDVI e o retângulo com linhas contínuas, às fotografias aéreas. Na legenda, a classe (a) corresponde à unidade morfoescultural da depressão do Paranapanema, com altitudes predominantes de 600 a 700 metros. As classes (b) e (c) referem-se ao Planalto Atlântico com altitudes entre 800 a 900 e acima de 900 metros

No Planalto de Ibiúna/São Roque predominam as formas de relevo denudacionais constituídos segundo Ross (1997) por morros altos com topo aguçados (Da) e topos convexos (Dc). Os padrões de formas semelhantes encontrados nas proximidades de Sorocaba são do tipo Dc<sub>24</sub> (grau de entalhamento dos vales fraco com dimensão interfluvial pequena), Dc<sub>25</sub> (grau de entalhamento dos vales fraco com dimensão interfluvial muito pequena) e Dc<sub>33</sub> (grau de entalhamento dos vales médio com dimensão interfluvial média). A litologia é representada na grande maioria por granitos e migmatitos e os solos predominantes são os Argissolos Vermelho-amarelos e Latossolos Vermelho-amarelos.

O limite norte do Planalto de Ibiúna São Roque é representado pelo Planalto de Jundiá (número 5). Nesta unidade predominam formas de relevo denudacionais constituídos por colinas e morros baixos com topos convexos (Dc) e partes com morros altos com topos aguçados (Da). As formas encontradas nas proximidades são do tipo Dc<sub>14</sub> (grau de entalhamento dos vales muito fraco com dimensão interfluvial pequena), Dc<sub>24</sub> (grau de entalhamento dos vales fraco com dimensão interfluvial pequena) e Dc<sub>34</sub> (grau de entalhamento dos vales médio com dimensão interfluvial pequena). Nos níveis altos a litologia é dominada por granitos e quartzitos e nos níveis médios por gnaisses e migmatitos. Os solos são do tipo Neossolos, Latossolos Vermelho-amarelos e Argissolos Vermelho-amarelos.

A represa de Itupararanga está na borda do Planalto Atlântico e corresponde ao principal reservatório de água de Sorocaba, que possui 493 438 habitantes (IBGE, 2000). No município de Votorantim (extremidade oeste da represa) encontra-se a barragem de Itupararanga de propriedade da Companhia Brasileira de Alumínio (CBA). Além de fornecer água e produzir energia elétrica, a represa também tem a função de regularizar a vazão do rio Sorocaba no seu trecho jusante (EMPLASA, 1985).

A partir da barragem em direção a porção ocidental, a paisagem é marcada por um abrupto desnível altimétrico que corresponde à transição do Planalto Atlântico com a Depressão Periférica Paulista, pertencente à unidade mofoestrutural da bacia sedimentar do Paraná. Enquanto no primeiro as altitudes variam de 800 a 1000 metros, na Depressão Periférica as altitudes dominantes oscilam entre 600 a 750 metros (ROSS, 1997). Em razão das características próprias da bacia de drenagem, a região de Sorocaba insere-se na unidade conhecida como Depressão do Paranapanema (DEFFONTAINES, 1935). Nesta unidade, representada pelo número 20, predominam formas de relevo denudacionais constituídos por colinas de topos tabulares amplos do tipo Dt<sub>12</sub> (grau de entalhamento dos vales muito fraco e dimensão interfluvial grande). A geologia é representada por arenitos, argilitos, siltitos, calcários e folhelhos (IPT, 1981) e os solos predominantes são os Latossolos Vermelho-amarelos, Vermelho-escuros e Argissolos Vermelho-amarelos.

A paisagem suave da Depressão Periférica é interrompida pelo morro de Araçoiaba da Serra, localizado a cerca de 15 Km do centro de Sorocaba. Neste *horst* dômico, as formas são morros altos com topos aguçados do tipo Da<sub>23</sub> (grau de entalhamento dos vales fraco e dimensão interfluvial média) e Da<sub>34</sub> (grau de entalhamento dos vales médio e dimensão interfluvial pequena). Segundo IPT (1981), a geologia é formada por granitos, quartzitos e suites alcalinas.

## METODOLOGIA

Uma caracterização geral da distribuição da cobertura vegetal ao longo do rio Sorocaba foi realizada utilizando imagens Landsat 7-ETM+ de 2001 (órbita 219/77). Esta área se estende da represa de Itupararanga, localizada no município de Votorantim até o limite norte do empreendimento.

Inicialmente, as bandas ETM1 a ETM5 e ETM7 foram transformadas para valores de reflectância exoatmosférica e corrigidas em relação ao efeito atmosférico utilizando a metodologia proposta por Luiz et al. (2003). Posteriormente, as imagens foram georeferenciadas com uma base cartográfica digital do município na escala 1: 10 000 (IGC) cedida pela prefeitura de Sorocaba. O georeferenciamento foi executado por meio da distribuição de pontos de controles (*tiepoints*) identificados na imagem e na base cartográfica. Feito isto, as imagens foram reamostradas utilizando interpolador vizinho mais próximo (*Nearest Neighbour*), cuja vantagem, em relação a outros interpoladores como o bilinear e o bicúbico, consiste em manter na imagem corrigida geometricamente o valor do *pixel* da imagem original.

Como forma de realçar as diferenças na cobertura vegetal foi aplicado o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index* ou NDVI) proposto por Rouse et al. (1973). O NDVI é a técnica de redução de dados por meio de razão de bandas mais utilizada para realçar as características da vegetação. Este índice explora a variação do comportamento espectral da vegetação nos comprimentos de onda ( ) do vermelho e infravermelho próximo que é marcado respectivamente por uma forte absorção e reflexão da energia. O intervalo do NDVI varia de -1 (ausência de vegetação) a +1 (vigor máximo da vegetação). Detalhes do comportamento espectral da vegetação e os fatores que atuam nas variações de suas *assinaturas* ao longo do espectro eletromagnético podem ser consultados em Ustin et al. (1998).

Apesar de Rouse et al. (1973) ter calculado o NDVI para os dados do Landsat 1-MSS, o NDVI tem sido aplicado com inúmeros outros sensores, como por exemplo, os dados do SPOT, AVHRR e mais recentemente o MODIS. Nas imagens Landsat 7-ETM+, o índice é construído utilizando as bandas 3 (ETM3) e 4 (ETM4):

$$NDVI = \frac{ETM4 - ETM3}{ETM4 + ETM3}$$

Sendo:

ETM3 a banda do vermelho com intervalos de 0,63-0,69  $\mu\text{m}$ ;

ETM4 a banda do infravermelho próximo com intervalos 0,76 – 0,90 $\mu\text{m}$ .

O mapeamento detalhado da cobertura vegetal foi realizado a partir de fotografias aéreas coloridas na escala 1: 30000 do ano de 2000. As fotografias aéreas foram adquiridas na BASE AS, em formato digital, com 900 DPIs de resolução, ou seja, cada foto (23x23 cm) possui aproximadamente 200MB. No total foram utilizadas 4 fotografias aéreas para cobrir a área de interesse.

As fotografias em formato *tif* foram importadas para o Sistema de Informação Geográfica ILWIS e georeferenciadas adotando os mesmos procedimentos descritos com as imagens Landsat. Com o término do georeferenciamento, as fotografias foram reamostradas com o interpolador *bicúbico* que é mais apropriado para fotografias aéreas, com resolução de 0,5 metro. Esta generalização foi feita para diminuir o tamanho do arquivo, porém, a resolução adotada não comprometeu a qualidade do detalhamento exigido.

Após a reamostragem, foi realizado o mosaico das fotografias aéreas utilizando apenas a área útil da foto, que corresponde à porção central da fotografia e que possui pouca deformação. Este procedimento diminui os problemas de distorções que são comuns em mosaicos de fotografias aéreas.

Quando se trabalha com mosaico de fotografias aéreas, é comum deparar-se com os problemas de diferenças de brilho entre as fotografias aéreas. No caso em questão, foram observadas pequenas diferenças, porém não foi realizado nenhum tipo de procedimento para

esta correção. Isto porque a abordagem adotada se baseou apenas na interpretação visual dos alvos, não sendo aplicado nenhum classificador automático.

A interpretação do uso da terra e cobertura vegetal foi feita com base nos elementos de reconhecimento da fotointerpretação (CERON; DINIZ, 1966). Os elementos mais utilizados consistem na análise da cor, tonalidade, textura, estrutura, contexto, forma etc. além de trabalhos de campo.

O mapeamento compreendeu uma faixa de 50 metros ao longo do rio Sorocaba. A largura desta faixa obedece aos limites da Área de Proteção Permanente (APP) estabelecidos pelo código florestal (lei federal nº 4.771 de 15 de novembro de 1965) que assegura uma faixa de 50 metros de largura ao longo dos rios com largura de 10 a 30 metros. A faixa de proteção do rio foi demarcada automaticamente no SIG com uma ferramenta de análise espacial conhecida como *buffer*.

Dentro dos limites da faixa de proteção foi feita a interpretação do uso da terra e cobertura vegetal. A área do mapeamento se estende em linha reta por aproximadamente 7,0 Km, iniciando-se na ponte que dá acesso a Avenida Comendador Camilo Júnior até o local onde o rio Sorocaba sofre uma abrupta inflexão para oeste (na forma de cotovelo) nas proximidades da Fazenda Ciclau.

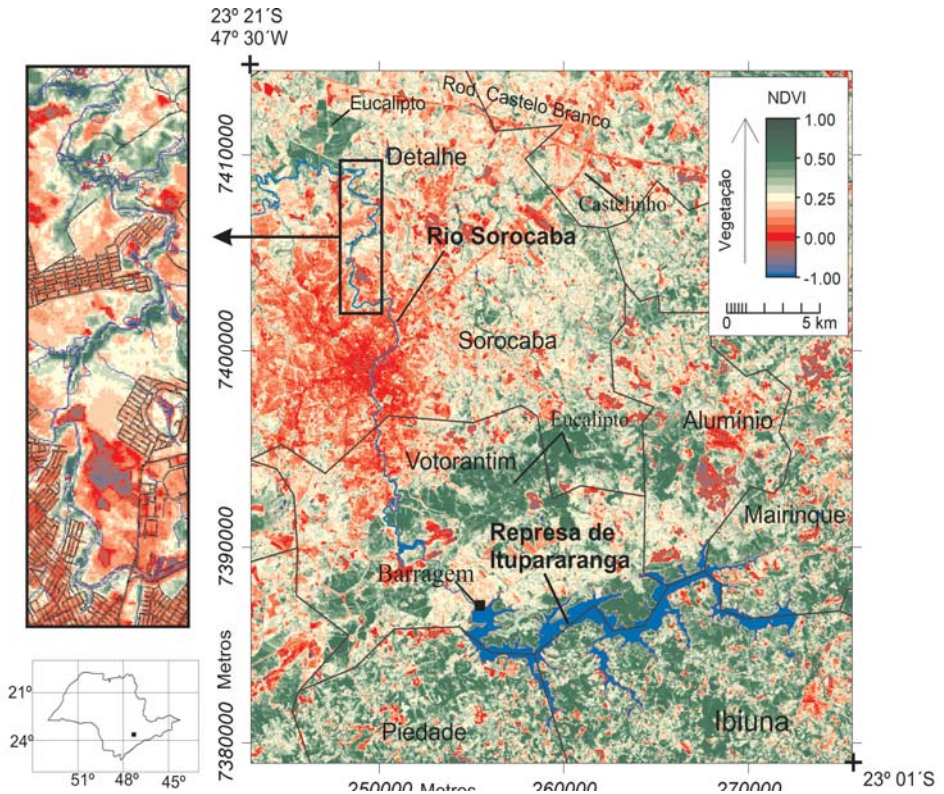
A área mapeada foi dividida em três trechos: T1, T2 e T3. Para cada trecho, dividido em margem direita e esquerda, foram extraídas medidas de área referentes a cada tipo de uso e cobertura vegetal. Um novo *buffer* de 10 metros de cada lado do rio foi criado e calculadas a área de uso e cobertura vegetal dentro desta faixa. Este limite corresponde à faixa de intervenção onde será executada a obra de desassoreamento do rio (local de implantação do canteiro da obra, aberturas de via acesso etc). A intervenção será realizada principalmente na margem esquerda.

Um Modelo de Elevação Digital (Digital Elevation Model ou DEM) de grade regular retangular foi gerado a partir da base cartográfica implementada no sistema (curvas de nível e pontos cotados). O método de interpolação adotado é conhecido como *distância de Borgefor* (GORTE; KOOLHOVEN, 1990). Trata-se de um método de interpolação linear que se divide em duas etapas: primeiro é feita a conversão das curvas de nível (em formato vetorial) para o formato matricial (*rasterização* das curvas de nível); posteriormente, estimam-se os valores nos locais não amostrados baseando-se na menor distância do *pixel*, estimada em relação às curvas de nível. Detalhes da interpolação podem ser obtidos em Morato (2000).

A partir do DEM foram derivados os mapas hipsométrico, clinográficos e o Modelo Sombreado do Relevo (BURROUGH, 1986). Estes documentos cartográficos são importantes porque auxiliam no planejamento da obra. Eles fornecem informações a respeito das cotas altimétricas de inundação e declividades do terreno com intervalos que favorecem o desencadeamento dos processos erosivos pluviais. Particularmente para este tipo de estudo, o mapa clinográfico também é utilizado como instrumento de auxílio operacional às máquinas e caminhões.

## RESULTADOS

A figura 2 ilustra o resultado do NDVI. Conforme pode ser observado, praticamente não existe cobertura vegetal significativa ao longo do rio Sorocaba no trecho urbano de Sorocaba e Votorantin. Na área de detalhe (coberta por fotografias aéreas), notam-se pequenos fragmentos de mata (floresta estacional), porém muito pouco representativo, haja vista que se localizam apenas ao longo do rio, muitas vezes restritas à faixa de proteção definida pelo código florestal.



**Figura 2 - Imagem NDVI da região de Sorocaba gerada a partir do Landsat 7-ETM+ (2001).**

As cores verde, amarelo, azul e vermelho representam respectivamente: mata/capoeira/silvicultura, campo/pastagem, corpos d'água e área urbana/solo exposto.

Do lado esquerdo, detalhe onde foi feito o mapeamento com fotografias aéreas.

Nesta imagem, as linhas principais de drenagem, arruamentos e estradas foram sobrepostas ao NDVI

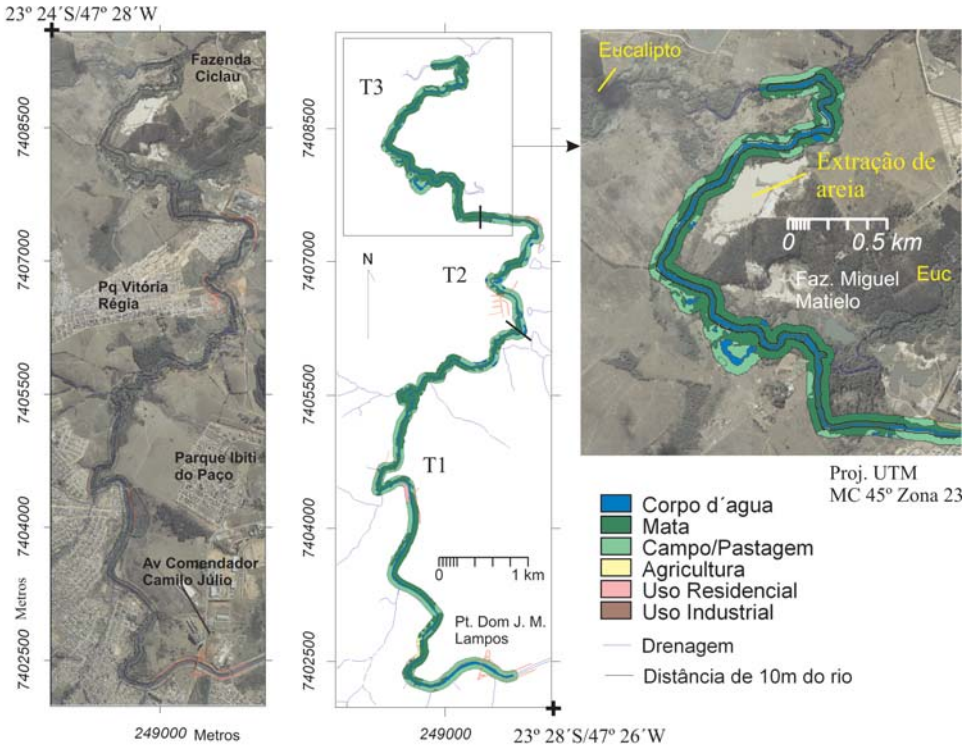
Uma mancha de cobertura vegetal é observada muito próxima da área de detalhe (limite norte), que corresponde a uma grande área de plantação de eucalipto de propriedade da Duratex.

Partindo da ponte Dom José Machado de Lamos (ponte que cruza o rio Sorocaba e dá acesso à Avenida Comendador Camilo Júlio) em direção a região central (direção sul), não se observa fragmentos florestais ao longo do rio. Na porção sul do município de Votorantim (borda do Planalto Atlântico com a Depressão Periférica) encontra-se uma extensa área de silvicultura de propriedade da empresa Votorantim Celulose. Somente no entorno da represa de Itupararanga (localizada no Planalto Atlântico) que se encontra fragmentos florestais mais expressivos de mata nativa (floresta estacional).

Além da mancha urbana, o tipo de uso dominante na região é constituído por uma matriz de campo/pastagem. Remanescentes de cerrado e transição de cerrado com floresta estacional são observados na Rodovia Senador José Ermírio de Moraes, conhecida popularmente como Castelinho (próximo a Rodovia Castelo Branco) e representam resquícios cober-

tura vegetal original. De acordo com Santos (1999), as grandes devastações que reduziram consideravelmente as áreas de mata e capoeira natural ocorrem principalmente na primeira metade do século XIX, com a substituição destes por campos, pastos e lavouras.

No percurso de mapeamento com mosaico semicontrolado de fotografias aéreas, foram definidas seis classes de uso e cobertura vegetal. As classes foram: Corpo d´água, Mata, Campo/Pastagem, Agricultura, Uso Residencial e Uso Industrial. A figura 3 ilustra o resultado do mapeamento ao longo dos 50 metros do rio Sorocaba.



**Figura 3 - Mapa detalhado do uso da terra e cobertura vegetal ao longo de 50 metros do rio Sorocaba.**

Neste mapa encontra-se sobreposta a linha de 10 metros de distância que representa a área de intervenção para o desassoreamento

Conforme pode ser observado na fotografia aérea, as áreas de mata restringem-se ao entorno do rio Sorocaba, especialmente na sua margem direita. Dentro da faixa de proteção estabelecida pelo código florestal (50 metros), a Mata ocupa 45% da área mapeada, seguida por Campo/Pastagem com 38%. Detalhes podem ser observados na tabela 1.

Fora do limite de proteção, o Campo/Pastagem e o Uso Residencial são as classes dominantes. Praticamente não se encontra fragmento de mata nativa, apenas grandes plantações de eucalipto, como da Duratex na porção norte e na fazenda Miguel Matielo, próximo a fazenda Ciclaú.



**Tabela 1 - Distribuição do uso da terra e cobertura vegetal ao longo do rio Sorocaba – faixa de 50 metros**

<b>Classe</b>	<b>Área em m<sup>2</sup></b>	<b>Porcentagem (%)</b>
Corpo d'água	250804	15,3
Mata	737359	45,0
Campo/Pastagem	625053	38,2
Agricultura	7537	0,50
Uso Residencial	14125	0,85
Uso Industrial	2045	0,15
<b>Total</b>	<b>1636923</b>	<b>100</b>

Para a execução da obra de desassoreamento do rio, uma faixa de 10 metros foi definida, que representa o local de intervenção direta. Conforme exposto anteriormente, a área foi dividida em trechos T1, T2 e T3. O T1 inicia-se na ponte Dom José Machado de Lamos, que dá acesso a Avenida Comendador Camilo Junior, e se estende até o início do bairro Parque Vitória Régia. O T2 engloba apenas os limites próximos ao bairro Parque Vitória Régia. O T3 se estende do término do bairro parque Vitória Régia até o ponto onde o rio sofre um desvio abrupto em seu percurso para Oeste, no limite Noroeste da fazenda Ciclau.

Em cada trecho, foram extraídas medidas como perímetro do rio e área ocupada por cada classe. As medidas foram separadas em margens direita e esquerda. É importante esclarecer que a intervenção não será executada da mesma forma para os dois lados, sendo realizada principalmente na margem esquerda do rio por conter uma menor proporção de cobertura vegetal natural.

A tabela 2 mostra o perímetro do rio Sorocaba no trecho mapeado dividido em margem direita e esquerda.

**Tabela 2 - Perímetro dos trechos mapeados com fotografias aéreas**

<b>Trechos</b>	<b>Margem</b>	<b>Comprimento (m)</b>
T1	Direita	7498,56
	Esquerda	7736,42
T2	Direita	2402,04
	Esquerda	2341,82
T3	Direita	3758,91
	Esquerda	3656,64

Analisando a tabela 3 (uso e cobertura numa faixa de 10 metros), constata-se que tanto do lado direito quanto do esquerdo as classes dominantes são a Mata e o Campo/Pastagem. De uma maneira geral observa-se a maior porcentagem de Mata na margem direita. O contrário acontece com a classe Campo/Pastagem, que é maior na margem esquerda. O trecho de maior diversidade de uso é o T1 (margem esquerda), em razão de estar localizado em áreas de expansão urbana. O T2 corresponde um pequeno trecho que compreende o bairro Parque Vitória Régia, com o predomínio de Campo/Pastagem e Mata. O trecho mais conservado corresponde ao T3, onde se encontra a maior porcentagem de mata, localizado na porção externa da mancha urbana.

**Tabela 3 - Distribuição do uso da terra e cobertura vegetal numa faixa de 10 metros ao longo dos trechos T1, T2 e T3 do rio Sorocaba**

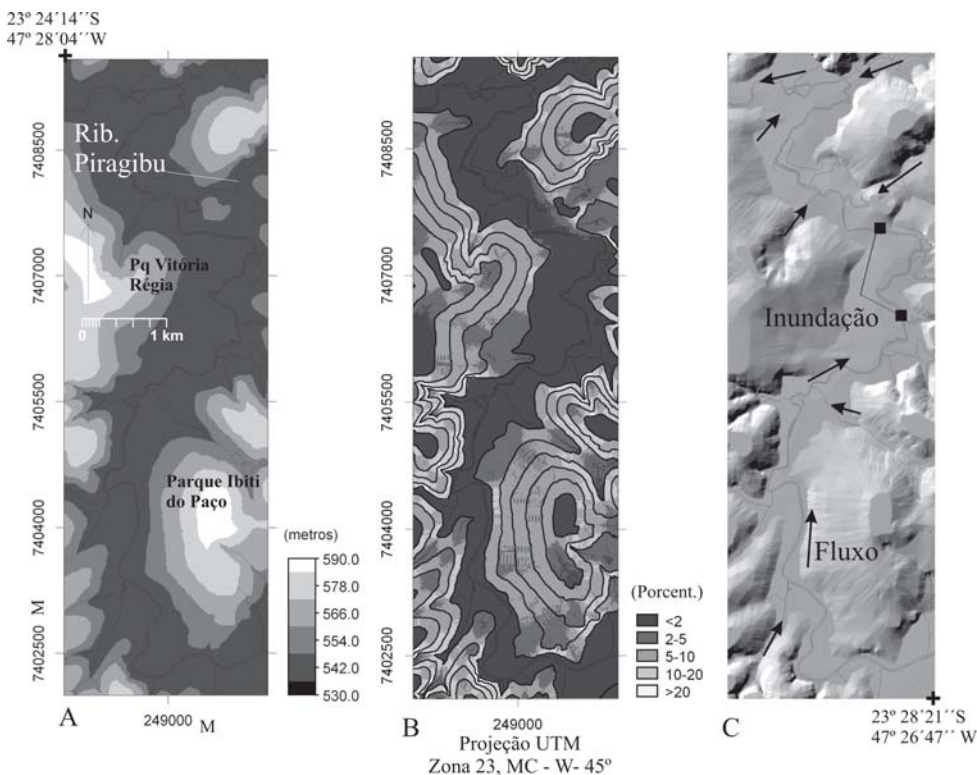
Trechos	Margem Direita	Área (m <sup>2</sup> )	Área (%)	Margem Esquerda	Área (m <sup>2</sup> )	Área (%)
<b>T1</b>	Corpo d'água	4	0,00	Corpo d'água	11	0,01
	Mata	58204	79,98	Mata	38142	50,95
	Campo/pastagem	14557	20,00	Campo/Pastagem	36091	48,21
	-	-	-	Uso Residencial	305	0,40
	-	-	-	Agricultura	311	0,41
	<b>Total (T1)</b>	<b>72765</b>	<b>100</b>	<b>Total (T1)</b>	<b>74860</b>	<b>100</b>
<b>T2</b>	Corpo d'água	177	0,75	Corpo d'água	25	0,10
	Mata	10280	44,08	Mata	14846	64,73
	Campo/Pastagem	12859	55,15	Campo/Pastagem	8064	35,16
	<b>Total (T2)</b>	<b>23316</b>	<b>100</b>	<b>Total (T2)</b>	<b>22935</b>	<b>100</b>
<b>T3</b>	Corpo d'água	394	1,07	Corpo d'água	107	0,29
	Mata	35979	98,30	Mata	29048	81,43
	Campo/Pastagem	227	0,62	Campo/Pastagem	6515	18,23
	<b>Total (T3)</b>	<b>36600</b>	<b>100</b>	<b>Total (T3)</b>	<b>35670</b>	<b>100</b>

Os maiores problemas de inundações ocorrem no T2, especialmente no bairro Parque Vitória Régia onde são encontrados dois pontos de alagamento. Neste trecho o rio Sorocaba possui formas mais meandranter com padrões irregulares (CUNHA, 1995) formando uma larga planície fluvial. No mapa geológico de escala 1: 1 000000 do IPT (1981) esta planície fluvial é muito bem destacada, constituída por aluviões em geral, incluídas areias inconsolidadas de grau variada, argilas, cascalheiras fluviais subordinadamente em depósitos de calha e/ou terraços.

A figura 4 ilustra os produtos derivados do Modelo de Elevação Digital – DEM. Os intervalos do mapa hipsométrico foram definidos utilizando o Modelo Sombreado do Relevo. Este modelo foi utilizado como “pano de fundo” às curvas de nível. Com o auxílio do mouse foram estabelecidos 6 intervalos altimétricos na tentativa de delimitar um padrão semelhante das formas de organização do relevo. Na figura 4a pode ser observado o alargamento da planície fluvial no trecho do Parque Vitória Régia. As altitudes na planície fluvial variam de 540 a 550 metros.

As classes adotadas no mapa clinográfico (figura 4b) seguem os intervalos definidos por Zuquette et al. (1996). Conforme é observado, o relevo é bastante suave com colinas

amplas e declividades médias em torno de 5%. Na planície fluvial e nos topos de colinas as declividades são menores que 2%. As declividades acima de 10% são observadas nas proximidades dos tributários e cabeceiras de drenagem.



**Figura 4 - Mapas derivados do DEM. (A) mapa hipsométrico; (B) mapa clinográfico e (C) modelo sombreado do relevo (iluminado de nordeste).**

Neste último, as setas indicam a direção do fluxo d'água e os pontos, os locais de ocorrência de inundação

As frequentes ocorrências de inundações são resultado de inúmeras causas, tanto naturais quanto induzidas pelo homem. Deve-se ressaltar que neste trecho o rio Sorocaba recebe a contribuição de um importante afluente chamado ribeirão Pirajiburi, localizado logo após o bairro Vitória Régia. Durante o período de intensa vazão, o Ribeirão Pirajiburi age como uma barreira, diminuindo a velocidade de fluxo do rio Sorocaba à jusante e contribuindo com as inundações nas proximidades à montante. Além disto, a morfologia do terreno, com extensas planícies de inundação, baixas declividades transversais, a retirada da cobertura vegetal original e a impermeabilização do solo são fatores determinantes na ocorrência de problemas de inundações em áreas urbanas (TUCCI, 2005).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados do mapeamento utilizando imagem NDVI gerada a partir das imagens Landsat ETM+ mostram a predominância da classe campo/pastagem na região de Sorocaba. Praticamente não se observam fragmentos florestais dentro da mancha urbana de Sorocaba, exceto no trecho norte onde foi realizada a caracterização detalhada utilizando fotografias aéreas. As manchas mais expressivas de cobertura vegetal correspondem às áreas de silviculturas localizadas ao norte (propriedade da Duratex) e ao sul, na borda do Planalto Atlântico com a Depressão Periférica (propriedade da Votorantim Celulose). Especificamente no local onde será realizada a obra de desassoreamento do rio, a classe predominante ao longo da faixa de 50 metros (segundo a APP) é a Mata e o Campo/pastagem. Observou-se que margem mais preservada do rio é a direita, que possui maior área de mata. Dentro da faixa de 10 metros (área de intervenção direta), a classe mata é a predominante, ocupando mais de 50% ao longo de todo o trecho mapeado, com exceção da margem direita do T2, com 44%. O trecho com maior diversidade de uso é o T1 e o mais preservado é o T3. Dois pontos de alagamentos são encontrados no T2 no bairro Vitória Régia. Estes alagamentos ocorrem em virtude das características geomorfológicas, da retirada da cobertura vegetal natural e da impermeabilização do solo.

## AGRADECIMENTOS

Agradecimentos a Ricardo S. Nader pelas valiosas contribuições prestadas e ao parecerista anônimo da revista Geografia, que muito colaborou para melhoria deste artigo.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE FILHO, A. G.; SZELIGA, M. R.; ENOOTO, C. F. Estudo de Medidas Não-Estruturais para Controle de Inundações Urbanas. **Publicatio UEPG – Ciências Exatas e da Terra, Ciências Agrárias e Engenharias**, Ponta Grossa, v.6, n.1, p.69-90, 2000.
- BURROUGH, P. A. **Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment**. Oxford: Clarendon, 1986.
- CERON, A. O.; DINIZ, J. A. F. O Uso de Fotografias Aéreas na Identificação das Formas de Utilização Agrícola da Terra. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, n. 2, p.161-173, 1966.
- CUNHA, S. B. Geomorfologia fluvial. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.) **Geomorfologia: Uma Atualização de Bases e Conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995. p.211-252.
- DEFFONTAINES, P. Regiões e paisagens do Estado de São Paulo. Primeiro esboço de divisão regional. **Geografia**, São Paulo, v.1, n.2, 1935.
- EMPLASA. **Os Problemas das Inundações na GSP: Situação Atual e Implementação de Diretrizes Metropolitanas**. São Paulo: EMLASA, 1985. 152p.
- GORTE, B.G.H.; KOOLHOVEN W. Interpolation between isolines based on the Borgefors distance transform. **ITC Journal**, Netherland, p. 245-247, 1990.

IPT **Mapa geológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: IPT, 1981. 1 mapa. Escala 1: 1 000000. Acompanha relatório técnico.

LUIZ, A. J. B.; GÜRTLER, S.; GLERIANI, S. M.; EPHIPHANIO, J. C. N.; CAMPOS, R. C. Reflectância a partir do número digital de imagens ETM+. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11. 2003, Belo Horizonte, **Anais...** São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2003, p.2071-2078.

MORATO, R. G. **O Geoprocessamento como Subsídio ao Estudo da Fragilidade Ambiental**. 2000. 44f. Dissertação (Trabalho de Graduação Individual)- Departamento de Geografia da FFLCH, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: USP/IPT/FAPESP, 1997. 1 mapa. Escala 1: 500 000. Acompanha relatório técnico.

ROUSE, J. W.; HASS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: EARTH RESOURCES SATELLITE-1 SYMPOSIUM, 3., Maryland, 1973. **Proceedings...** Maryland: NASA SP-351, 1973. p. 309-317.

SANTOS, E. O. **Industrialização de Sorocaba**. São Paulo: Humanitas, 1999, n.2, 183p.

TUCCI, C. E. M. **Curso de Gestão das Inundações Urbanas**. Porto Alegre, 2005.

USTIN, S. L.; SMITH, M. O.; JACQUEMOND, S.; VERSTRAETE, M.; GOVAERTS, Y. Geobotany: vegetation mapping for Earth Sciences. In: RENCZ, A. N. (Ed.). **Manual of Remote Sensing: Remote sensing for the Sciences**. New York: Wiley, 1999. Cap. 4, p. 189-248.

ZUQUETTE, L. V.; PEJON, O. J. Carta de Zoneamento Geotécnico Geral da Região de Franca (SP), Utilizando os Critérios de Landforms. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA, 2. 1996, São Carlos, **Anais...** São Carlos: USP-São Carlos, 1996.

ZUQUETTE, L. V.; GANDOLFI, N. **Cartografia Geotécnica**. São Paulo: Oficina de Texto, 2004.

Recebido em janeiro de 2007

Revisado em junho de 2007

Aceito em julho de 2007

