

## Erosão e situação da hidrografia por meio de imagens de sensoriamento remoto – aplicação prática no oeste de São Paulo

Antoniane Arantes de Oliveira Roque <sup>1</sup>  
Mario Ivo Drugowich <sup>1</sup>  
Carlos Reys Vukomanovic <sup>1</sup>  
Eduardo Ribeiro da Silva <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Coordenadoria de Assistência Técnica Integral – CATI  
Avenida Brasil, nº2340, Jd. Chapadão, CEP 13070-178, Campinas/SP, Brasil  
{antoniane, drugo, carlos.reys, eduardo.ribeiro}@cati.sp.gov.br

**Abstract.** The maintenance of society depends largely on the production of food for their survival, and the soil appears as a fundamental raw material for it to take place. The loss of soil through erosion directly affects food production and consequently the quality of rivers, and management of this loss, is configured as a base to mitigate existing problems and to propose appropriate solutions. The aim of this study was to identify characteristics and properties of the physical environment of the area of the Sub-basin of “córrego Laranja Doce”, right bank, in the west of São Paulo - Brazil, with a view to mapping of erosion and its impact on rivers, focused planning geared to rural areas, supported by qualitative and quantitative criteria and to assess the current stage of use and soil degradation. The study mapped the presence of erosive processes in 76.6% of the study area and 35.2% of the length of water bodies in silting situation requiring immediate recovery of 35.36% of permanent preservation areas and still the concern that one should have, because 66.88% of the area has a high degree of susceptibility to erosion. The survey and analysis of the physical environment through remote sensing images, use 50 cm of spatial resolution (true color), proved to be of great relevance to a preliminary diagnosis of environmental quality.

**Palavras-chave:** vetorização manual, APP, drenagem, assoreamento, WorldView-2.

### 1. Introdução

Planejar a ocupação de maneira ordenada da territorialidade é tarefa das mais importantes para a correta gestão dos recursos de um município. Dentre estes recursos, destaca-se o solo, insumo primário de toda produção agropecuária, tão essencial à toda atividade humana no planeta (CATI, 2016).

O uso do solo por ação antrópica traz a retirada da vegetação de superfície para o plantio e uso a que se tiver definido, ocasionando um descobrimento da camada fértil do solo, deixando-o vulnerável à ação de ventos e chuvas, causando então o arraste de partículas para regiões mais baixas na topografia da região, sendo esta a erosão do solo.

Segundo Drugowich (2011), a erosão dos solos afeta a vida humana de diversas maneiras, e muitas vezes torna-se difícil recuperar a dimensão do problema. A sociedade depende dos solos, e estes podem ser o fator determinante para o desenvolvimento de uma região, sendo o responsável por motivar muitas vezes a principal atividade econômica regional. Neste aspecto, não se desconsidera a importância de outros fatores naturais (rocha, clima, relevo, etc.), mas sendo o solo resultado da interação deles, tem-se a partir daí a importância dos estudos entre sociedade e meio físico.

No Brasil, segundo Hernani et al. (2002), em razão da ampliação da fronteira agrícola e do uso intensivo do solo, a perda da camada superficial é a principal forma de degradação dos solos, os quais estimaram perdas totais anuais de solo em áreas de lavoura da ordem de 750 milhões de toneladas e de 70 milhões de toneladas para as áreas de pastagens em todo o país.

Entender como esta erosão ocorre, em função de parâmetros inerentes de cada localidade é função básica para uma correta definição das políticas públicas voltadas ao meio rural. Em especial, para o estado de São Paulo, os estudos e as conclusões sobre questões do solo devem estar alinhadas com as diretrizes propostas pela Lei Estadual nº 6.171, de 4 de julho de 1988,

alterada pela Lei Estadual nº 8.421 de 23/11/1993, que dispõe sobre o uso, conservação e preservação do solo agrícola e dá outras providências.

É possível e imprescindível minimizar e/ou resolver os problemas já instalados, bem como ordenar futuras expansões, através da realização de estudos que caracterizem o meio físico natural, subsidiando o planejamento e o gerenciamento do uso do solo (Souza, 2004).

A análise do meio físico dos municípios é imprescindível, visto que os ambientes construídos de variados centros de atividades e habitantes necessitam de um ordenamento do espaço urbano a fim de proporcionar uma sadia qualidade de vida das pessoas que vivem nesses ambientes (Francisco Neto, 2012).

A drenagem da Sub-bacia em estudo desagua suas águas oito quilômetros ao sul por meio da cachoeira do rio Laranja Doce na barragem da Usina Hidrelétrica Capivara, na região de Porto Capim, entre os municípios de Porecatu, no estado do Paraná, e Taciba. Esta usina é a maior do rio Paranapanema, tanto em termos de produção de energia elétrica (640 MW), quanto em tamanho do lago (576 km<sup>2</sup>). Realizar o controle da erosão rural nesta Sub-bacia é garantir a capacidade de armazenamento de água do reservatório da barragem da Usina Hidrelétrica Capivara, que segundo o Operador Nacional do Sistema Elétrico é capaz de armazenar 1,95% do volume represável pelos reservatórios do Sistema Sudeste/Centro Oeste, o que representa 33,56% do armazenamento de água do subsistema do Rio Paranapanema.

O Sensoriamento Remoto, devido à rapidez e periodicidade na obtenção de dados primários sobre a superfície terrestre, destaca Jacintho (2003), constitui-se numa das formas mais eficazes de monitoramento ambiental em escalas locais e globais.

No estágio atual das tecnologias, e na busca da modernização administrativa, segundo Cordovez (2012), a utilidade do geoprocessamento como ferramenta fundamental na gestão pública não pode mais ser contestada, bem como o uso das geotecnologias.

O objetivo do presente estudo foi levantar características e propriedades do meio físico da área da Sub-bacia do córrego Laranja Doce, margem direita, com vistas ao mapeamento da erosão e suas consequências nos leitos hídricos, com foco no planejamento voltado ao meio rural, embasadas em critérios qualitativos e quantitativos, bem como avaliar o estágio atual do uso e da degradação dos solos.

## 2. Metodologia de Trabalho

A região alvo do presente estudo engloba a porção sul do município de Regente Feijó, ocupando 70,8% de sua totalidade territorial e a região norte do município de Taciba, ocupando 22,4% de sua área, num total de 324,24 km<sup>2</sup> da margem direita do ribeirão Laranja Doce, afluente do rio Paranapanema. Tal localidade pertence ao oeste do estado de São Paulo/Brasil, conforme se pode observar na Figura 1.

Os solos de maior ocorrência na região da Sub-bacia são os Argissolos, apresentando horizonte B textural, com argila de atividade baixa ou alta, conjugada com saturação por bases baixa ou caráter alítico.

Segundo a classificação climática de Köppen, que baseia sua classificação na análise de dados mensais pluviométricos e termométricos, atualizada para as condições brasileiras por Alvarez et al. (2013), a Sub-bacia do ribeirão Laranja Doce (margem direita) possui dois tipos climáticos, Cfa (clima subtropical) e Aw (tropical chuvoso com inverno seco).

As atividades de mapeamento da região foram retroalimentadas com o desenvolvimento das atividades de campo, por meio de um acompanhamento constante das atividades previamente definidas, dos serviços de reambulação das informações e das novas vetorizações que surgiram com o caminhar das atividades. Mapas secundários foram também obtidos pela combinação das informações dos mapas iniciais.

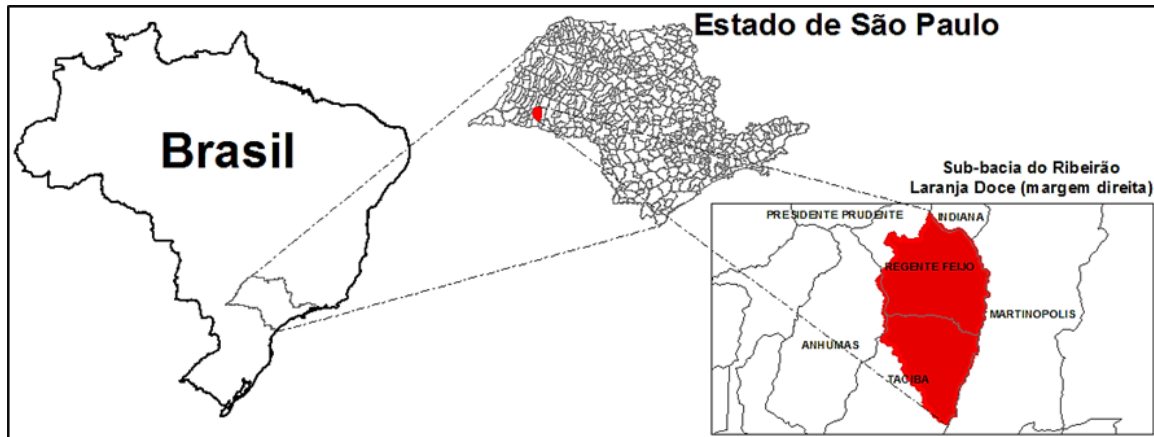


Figura 1 - Localização da região do Plano Diretor.

As bases das imagens de sensoriamento remoto foram as imagens do satélite Digital Globe sensor WorldView-2, série standard 2A com filtro de correção radiométrica e combinação de bandas: pan sharpening (três bandas RGB, cor verdadeira) com resolução espacial de 50 cm na data de 14 de agosto de 2011; e o Modelo Digital de Elevação do “Shuttle Radar Topography Mission” (SRTM), em resolução espacial de 30 metros, sendo este disponibilizado nesta resolução apenas nos meses finais de 2014.

O levantamento da erosão foi realizado por análise visual das imagens, vetorizando as feições erosivas de acordo com os seguintes critérios de erosão: Laminar, Sulcos Superficiais Ocasionais, Sulcos Superficiais Frequentes, Sulcos Profundos Ocasionais, e Voçorocas.

As equipes responsáveis pelo levantamento e checagem de campo, compostas pelos técnicos locais e da CATI, quando necessário, adentraram algumas propriedades para obter informações novas ou complementares às obtidas em escritório.

Os softwares utilizados foram o ArcGIS versão 10.3, AutoCAD versão 2013, QGIS versão 2.8, e SPRING versão 5.2.6.

A susceptibilidade dos solos à erosão é um parâmetro que classifica as diferentes regiões da superfície quanto ao grau com que são mais ou menos resistentes ao arraste de suas partículas sob ação das chuvas. Para a confecção deste levantamento utilizou-se as bases de Oliveira et al. (1999) e a relação contida na Tabela 1, baseada em Lepsh (1983).

Tabela 1 - Relação entre os solos da área da Sub-bacia e as respectivas áreas de declividade para definição das classes de susceptibilidade à erosão.

Solos	Declividade (%)				
	0 - 2	2 - 5	5 - 10	10 - 15	15 - 45
PVA5	Média	Média	Alta	Alta	Muito alta
PVA2	Baixa	Média	Alta	Alta	Muito alta
LV78	Baixa	Baixa	Média	Alta	Muito alta
LV63	Baixa	Baixa	Baixa	Média	Alta

Obs.: PVA5= Argissolos Vermelhos-Amarelos eutróficos; PVA2= Argissolos Vermelhos-Amarelos eutróficos abruptos ou não; LV78= Latossolos Vermelhos distróficos, textura média; LV63= Latossolos Vermelhos distróficos, textura argilosa.

### 3. Resultados e Discussão

A maior expressão de uso na Sub-bacia do ribeirão Laranjeira Doce (margem direita) é a de pastagens (Figura 2A), cujo processo erosivo foi intensificado em épocas em que inexistia a preocupação com a ocupação correta do solo. As técnicas empregadas foram adaptadas de regiões onde as características de solo eram muito mais favoráveis, sobretudo pela infiltração de água e pela maior estabilidade das camadas superficiais.

A própria existência de pastagens nestes solos na maioria das vezes foi condicionada pelo decréscimo na fertilidade ocasionado pela erosão, o que inviabilizou economicamente as lavouras de café e algodão que ocupavam anteriormente estas terras. Isto evidencia ainda uma máxima de que pastagens, na visão da maioria dos produtores, referem-se às áreas marginais da propriedade, por não possuírem mais capacidade de suportar outras explorações, mais exigentes. São também áreas deixadas à própria sorte por encontrarem-se erodidas a ponto de inviabilizar alternativas de uso.

Pôde-se mapear a ocorrência de diversas atividades agropecuárias na área de estudo, havendo tecnologias também diversas, desde as mais triviais até as mais complexas e sofisticadas. Observa-se nesta diversificação de atividades, a predominância de pastagens com gramíneas introduzidas (em sua maioria do gênero *Brachiaria*), bem como a presença de culturas anuais, onde existe uma gama variável de culturas, tendo a cana-de-açúcar destacando-se como maior representante, seguida de amendoim e culturas como soja, milho e sorgo. Já com relação às culturas perenes, estas ficaram restritas a poucas propriedades com café e seringueira.

Dentro da área de estudo, mapeou-se as mais diversas formas de processos erosivos (Figura 2B), partindo de erosão laminar incipiente a grandes voçorocas, ressaltando-se que foi notada uma preocupação crescente para com a manutenção e conservação dos solos, especialmente pelo fato de ser o principal fator de produção da agricultura, com esforços por parte dos produtores desta região no sentido de manter seu principal capital produtivo.

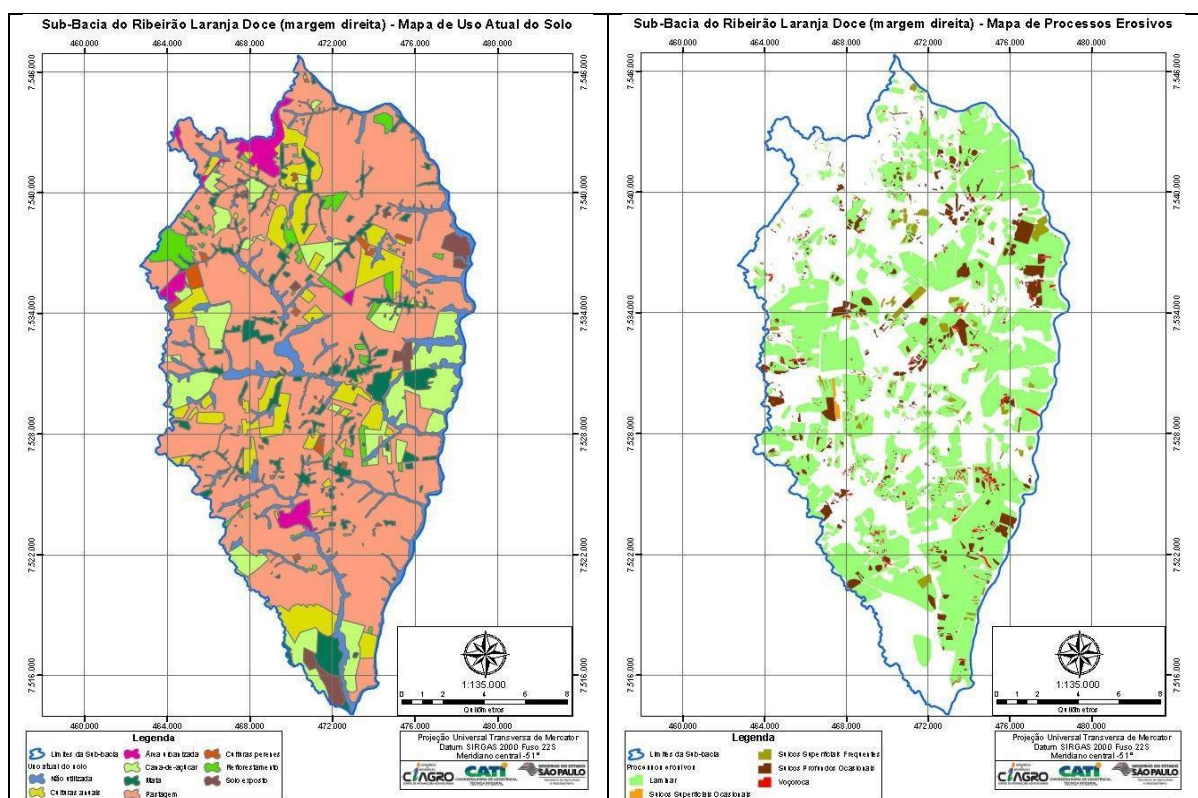


Figura 2 - Uso atual do solo (A) e Processos erosivos (B).

Este mapeamento gerou o Mapa de Processos Erosivos, que possibilitou a quantificação e qualificação destes, Tabela 2.

Constata-se que 45,4% da área da Sub-bacia possui processos erosivos, estando 7,1% da área com processos erosivos avançados e 38,3% da área com processos de erosão laminar.

Tabela 2 - Processos erosivos mapeados na Sub-bacia do córrego Laranja Doce (margem direita).

Processo erosivo	Área (km <sup>2</sup> )	Porcentagem da área da Sub-bacia
<b>Laminar</b>	124,0	38,3
<b>Sulcos Profundos Ocasionais</b>	16,3	5,0
<b>Sulcos Superficiais Frequentes</b>	4,6	1,4
<b>Sulcos Superficiais Ocasionais</b>	0,3	0,1
<b>Voçoroca</b>	1,8	0,6

Desta forma, os maiores problemas de erosão encontrados na bacia ocorrem nas áreas de pastagens, em sua maioria sem manejo adequado, lembrando sempre que todas as áreas marginais onde os problemas de erosão se manifestaram são consideradas como tais pelos proprietários, ou seja, nem sempre se trata mesmo de pastagem no sentido exato da palavra. Isso fica evidenciado pelos dados apresentados na Tabela 3, na qual se verifica que 76,6% (112,60 km<sup>2</sup>) das áreas com processos erosivos correspondem a pastagens, bem como sendo nestas onde se expressam as maiores ocorrências de voçorocas (1,27 km<sup>2</sup>), considerando que a voçoroca é a expressão máxima da erosão que normalmente se inicia na forma laminar, evolui para os diversos níveis de sulcos, evoluindo até a voçoroca. Cabe aqui ressaltar, que nestas áreas, apenas gramíneas rústicas, por suas menores exigências nutricionais, permitem uma ocupação econômica destas áreas, já marginalizadas em algum momento no passado, justamente pela degradação que as atingia.

Tabela 3 - Processos erosivos por ocupação do solo.

Uso do solo	Processos erosivos (áreas em km <sup>2</sup> )					Total Geral
	Laminar	Sulcos Profundos Ocasionais	Sulcos Superficiais Frequentes	Sulcos Superficiais Ocasionais	Voçoroca	
<b>Culturas anuais</b>	9,36	0,86	0,36	0,01	0,01	<b>10,60</b>
<b>Área urbanizada</b>	0,09	0,00	0,00	0,00	0,03	<b>0,13</b>
<b>Cana-de-açúcar</b>	13,91	0,62	0,15	0,00	0,03	<b>14,71</b>
<b>Vegetação nativa</b>	1,82	0,13	0,02	0,00	0,07	<b>2,04</b>
<b>Uso não agrícola</b>	2,31	0,44	0,09	0,00	0,37	<b>3,21</b>
<b>Pastagens</b>	92,80	14,19	4,01	0,33	1,27	<b>112,60</b>
<b>Culturas perenes</b>	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,35</b>
<b>Reflorestamento</b>	1,24	0,00	0,00	0,00	0,01	<b>1,26</b>
<b>Solo exposto</b>	2,15	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>2,16</b>
<b>Total Geral</b>	<b>124,04</b>	<b>16,25</b>	<b>4,63</b>	<b>0,34</b>	<b>1,80</b>	<b>147,06</b>

Algumas áreas classificadas como solo exposto podem ser explicadas como a pós colheita da cana-de-açúcar ou pelo preparo da terra para culturas anuais e em plantio direto, sendo que, ainda assim, a presença de mais de 2/3 dos solos com uso agrícola e pastagens, evidencia a aptidão agrícola da região da Sub-bacia.

Acompanhar a erosão rural de uma localidade pode ser feito pela avaliação minuciosa da situação dos corpos hídricos, relativo ao acúmulo de materiais minerais provenientes do solo (silte, argila e areia), conferindo alterações na turbidez da água e acúmulo destes em determinadas porções de seu trajeto (assoreamento), ou quando da existência de erosões em suas próprias laterais (erodido), pela inexistência de uma vegetação que o proteja e confira estabilidade à suas encostas. Sob esta perspectiva realizou-se o estudo dos 378,236 km de corpos hídricos da Sub-bacia, sendo o mesmo apresentado no Mapa de Situação da Rede de Drenagem, Figura 3 A.

Constatou-se que 35,2% do comprimento dos corpos hídricos estão em situação de assoreamento e 3,9% de seus respectivos trajetos com presença de erosão em suas encostas. Ressalta-se aqui a constatação de que na porção norte da Sub-bacia, este assoreamento esteja associado à presença dos Argissolos com caráter abruptico que, quando combinados com um manejo inadequado da cultura sobre o solo, potencializam o efeito da erosão.

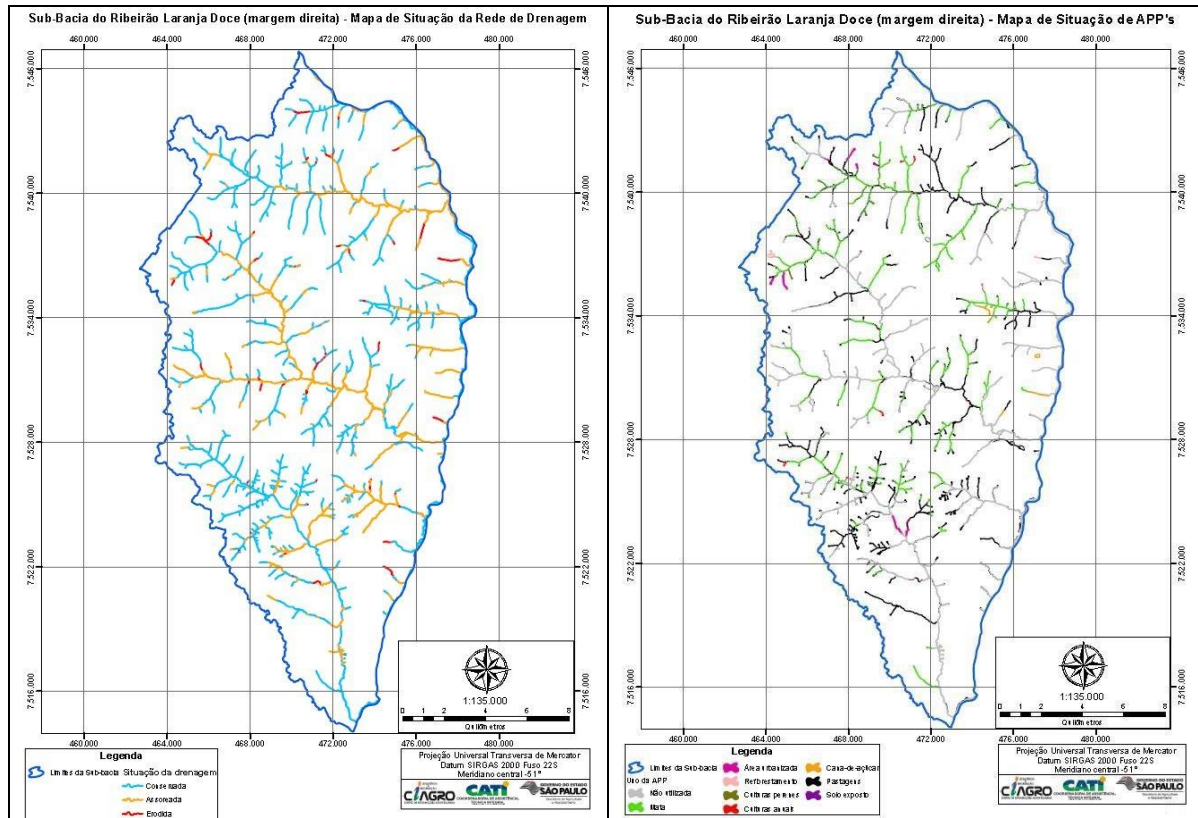


Figura 3 – Situação da Rede de Drenagem (A) e das Áreas de Preservação Permanente (B).

Levantou-se um total de 23,84 km<sup>2</sup> de Áreas de Preservação Permanente (Figura 3 B), englobando 315 nascentes, as quais correspondem a 2,46 km<sup>2</sup> do total da área de preservação permanente. Verifica-se que 24,99% das APPs encontram-se em estado preservado, tendo dentro de seus limites a presença de vegetação nativa (matas). Já 35,36% das áreas de APP estão em situação irregular, pois se encontram em estado de uso do solo por atividades agrícolas.

Tendo por base os mapas da superfície topográfica, gerou-se o cálculo e estratificação das classes de declividade da Sub-bacia, Figura 4 A.

Constatou-se que 82,78% da área da Sub-bacia pertencem ao domínio dos relevos suave e moderadamente ondulados, que somados aos 0,8% planos, reforçam a classificação da área como de uma topografia sem grandes diferenças de altura entre locais vizinhos.

O resultado do levantamento da susceptibilidade dos solos da Sub-bacia à erosão é representado na Figura 4 B, e as respectivas áreas provenientes do cruzamento são apresentadas na Tabela 4.

Os PVA2 englobam 83,65% da área da Sub-bacia e ocorrem em todas as faixas de declive levantadas. Em condições de mesma declividade, quanto mais próximo à superfície for o horizonte B textural, mais rapidamente se evidencia a erosão (Streck et al., 2002). Dos seus 271,23 km<sup>2</sup> de área na Sub-bacia, 60,32% encontram-se na declividade de 5 a 10%, combinação esta que confere um alto grau de erodibilidade a estas porções da superfície. Este é o tipo de solo que contribui com maior expressão para o enquadramento à erodibilidade

muito alta, com 7,77 km<sup>2</sup> de área, as quais devem merecer atenção redobrada nas atividades agrícolas que vierem a ser desenvolvidas sobre estas.

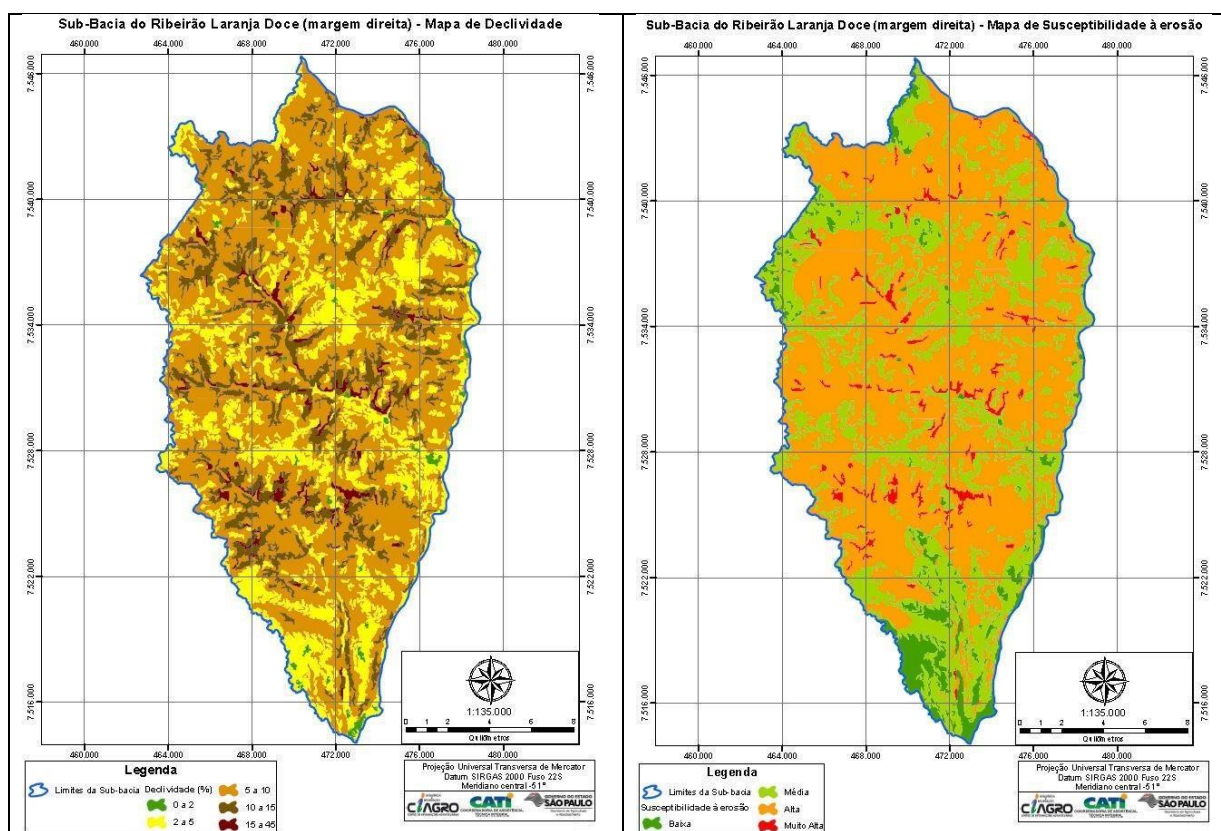


Figura 4 – Declividades (A) e Susceptibilidade à erosão (B).

Analisando-se as totalidades obtidas de susceptibilidade à erosão, ou erodibilidade dos solos, apresentadas na Tabela 4, verifica-se a preocupação que se deve ter, pois 66,88% da área são classificadas como alta ou muito alta, demonstrando o elevado grau de risco que a região possui quanto à erosão.

Tabela 4 - Susceptibilidade à erosão dos solos (km<sup>2</sup>), obtido do cruzamento de solos e Classes de Declividade.

Solos	Declividade (%)					Total Geral
	0 a 2	2 a 5	5 a 10	10 a 15	15 a 45	
PVA5		0,04	0,01			0,05
PVA2	1,64	57,06	163,60	41,16	7,77	271,23
LV78	0,96	15,41	32,21	3,83	0,50	52,90
LV63		0,04	0,01			0,05
Total Geral	2,59	72,55	195,83	44,99	8,28	324,24

#### 4. Conclusões

As ações de manutenção do solo, para que este não seja carregado para os corpos hídricos pela ação das águas, devem ser imediatas, pois a erodibilidade levantada demonstra o nível de preocupação que se deve empenhar nestas atividades. Apenas 5,57% da área possui um baixo grau de susceptibilidade à erosão.

As erodibilidades muito altas estão associadas ao entorno das drenagens em regiões de cabeceira de drenagem, o que é comprovado pelas verificações já apontadas de

desbarrancamentos de encostas dos córregos, fato este, que aliado ao uso atual destas áreas e o grau de tecnologias atualmente aplicadas irá conferir, com o transcorrer do tempo, uma intensificação da erosão nestas áreas, aumentando o assoreamento dos córregos e a perda de áreas passíveis de recuperação das matas ciliares, culminando na perda efetiva de porções que poderiam ser utilizadas para a agropecuária.

As pastagens correspondem à maior ocupação em área da bacia, correspondendo a 61,41% da área e concentram os maiores problemas de erosão. Dentre os fatores responsáveis, destacam-se o manejo inadequado, que ocasiona uma baixa cobertura do solo, com o conseqüente favorecimento dos processos erosivos.

Na Sub-bacia, de acordo com a legislação vigente, são necessários 23,84 km<sup>2</sup> de Áreas de Preservação Permanente associadas à rede de drenagem, e destas, se faz necessária a recuperação imediata de 35,36%, atualmente ocupadas por usos agrícolas.

O levantamento e a análise do meio físico através do uso de imagens de sensoriamento remoto com 50 cm de resolução espacial (cor verdadeira) mostraram-se de grande relevância para um diagnóstico preliminar da qualidade ambiental. Nesse aspecto o presente trabalho apresenta-se como importante ferramenta de subsídio para a elaboração e execução do planejamento ambiental e do controle de erosões rurais na Sub-bacia em estudo.

### 3. Referências Bibliográficas

ALVARES, C.A., STAPE, J.L., SENTELHAS, P.C., GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

CATI. Centro de Informações Agropecuárias (Ciagro). **Plano Diretor de Controle de Erosão Rural da Sub-bacia do Ribeirão Laranja Doce, Margem Direita**. Coordenado por Mário Ivo Drugowich, Campinas, CATI 2016. 266p. ilus. 30cm

CORDOVEZ, J. C. G. **Geoprocessamento como Ferramenta de Gestão Urbana**. In: Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto, 1, 2012, Aracajú. Sergipe, 2012. Disponível em: <[http://www.cpatc.embrapa.br/labgeo/srgsr1/pdfs/pa\\_pu\\_01.PDF](http://www.cpatc.embrapa.br/labgeo/srgsr1/pdfs/pa_pu_01.PDF)>. Acesso em: 28/10/2015.

DRUGOWICH, M. I. coord. **Plano Diretor de Controle de Erosão Rural para o Município de Tatui-SP**. Campinas: CIAGRO-CATI-SAA, 2011.

FRANCISCO NETO. C. V. **Controle das políticas públicas de ordenamento urbano através das ações coletivas**. 2012. Disponível em: <[http://www.mpce.mp.br/esmp/publicacoes/edi001\\_2012/artigos/07\\_Francisco.das.Chagas.de.Vasconcelos.Netto.pdf](http://www.mpce.mp.br/esmp/publicacoes/edi001_2012/artigos/07_Francisco.das.Chagas.de.Vasconcelos.Netto.pdf)>. Acesso em: 04 mar. 2015.

HERNANI, L. C.; PRUSKI, F.; DE-MARIA, I. C.; CASTRO FILHO C.; FREITAS, P. L. de; LANDERS, J. A. erosão e seu impacto In: MANZATTO, C. V.; FREITAS JUNIOR, E. de; PERES, J. R. (Ed.). **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. p. 47-60.

JACINTHO, L. R. de C. **Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto como ferramentas a gestão ambiental de unidades de conservação: O caso da área de proteção ambiental (APA) do Capivari-Monos, São Paulo-SP**. 2003. 121 p. Mestrado em Recursos Minerais e Hidrologia – Instituto de Geociências/USP. São Paulo, 2003.

LEPSCH, I. F. **Manual para Levantamento Utilitário do Meio Físico e Classificação de Terras no Sistema de Capacidade de Uso**. Campinas,SP: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1983.

OLIVEIRA, J.; CAMARGO M.N.; CALDERANO FILHO, B. **Mapa Pedológico do Estado de São Paulo: legenda expandida**. Campinas: Instituto Agrônomo/ EMBRAPA Solos, 1999.

SOUZA, L. N. **Diagnóstico do meio físico como contribuição ao ordenamento territorial do município de Mariana – MG**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto, 2004.

STRECK, E.V.; KAMPF, N.; DALMOLIN, R.S.D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P.C. & SCHNEIDER, P. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002. 127p.