

## **Análise temporal de NDVI e mapas potenciais naturais de erosão na região do Vale do Ribeira, São Paulo**

Fabiane Hilario dos Santos Costa<sup>1</sup>  
Carlos Roberto de Souza Filho<sup>1</sup>  
Alfonso Rizzo<sup>2</sup>

1-Universidade Estadual de Campinas  
Caixa Postal 6152 CEP 13083-970  
Campinas – SP – Brasil  
fabiane@hsc@hotmail.com  
beto@ige.unicamp.br

2-Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Instituto de Pesquisas Hidráulicas  
Porto Alegre – RS – Brasil  
rizzo@iph.ufrgs.br

**Abstract** – The soil highlighted as the essential natural resources on the landscape composition and the process of erosion appears like a from the principal agents of the soil degradation. The hydric erosion is an important process that occurs on the landscape, finding directly related to dynamic of the water into the soils. Although the erosion is a natural process, this can be accelerated or retarded by the anthropic action. The aim of this work comprises to access the rainstorms variations of NDVI from two images of the Landsat 5 TM and Landsat 7 ETM +, comparing the vegetation variations to the potential natural erosion maps made through universal equation of the soils rocks on the Vale do Ribeira.

**Palavras-chave:** Hydric erosion, NDVI, potential natural erosion, Vale do Ribeira, Erosão hídrica, NDVI, potencial natural de erosão, Vale do Ribeira.

## 1. Introdução

O aumento da atividade humana ao longo dos séculos tem provocado importantes alterações e conseqüentes impactos sobre o meio ambiente. A crescente necessidade de apresentar soluções e estratégias que interrompam e revertam os efeitos da degradação ambiental e do esgotamento dos recursos naturais vem se fortalecendo cada vez mais, provocando uma série de questionamentos.

As partículas (sólidos) transportadas pelos cursos de água têm origem, principalmente, na erosão superficial do solo. As gotas de chuvas, caindo na superfície do solo, o desagregam, removendo-o. Esse processo é tão mais intenso quanto menor a cobertura vegetal, maior a intensidade da chuva, maior o grau de declive e maior for à susceptibilidade do solo à erosão (Ranieri et al., 1998). Embora a erosão seja um processo natural, esta pode ser acelerada ou retardada pela ação antrópica.

A análise da vegetação e detecção de mudanças é realizada com o intuito de avaliar os recursos naturais e monitorar a cobertura vegetal. Tal tarefa pode ser feita por meio da interpretação de imagens de sensores remotos e, em particular, pelo Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) que, obtido em diferentes datas, permitem avaliar a variação da área verde num certo período de tempo.

O presente trabalho tem como objetivo, avaliar as variações temporais de NDVI de duas imagens Landsat 5 TM e Landsat 7 ETM+, comparando as variações na vegetação com mapas de potencial natural de erosão, gerados através da equação universal de perdas de solos.

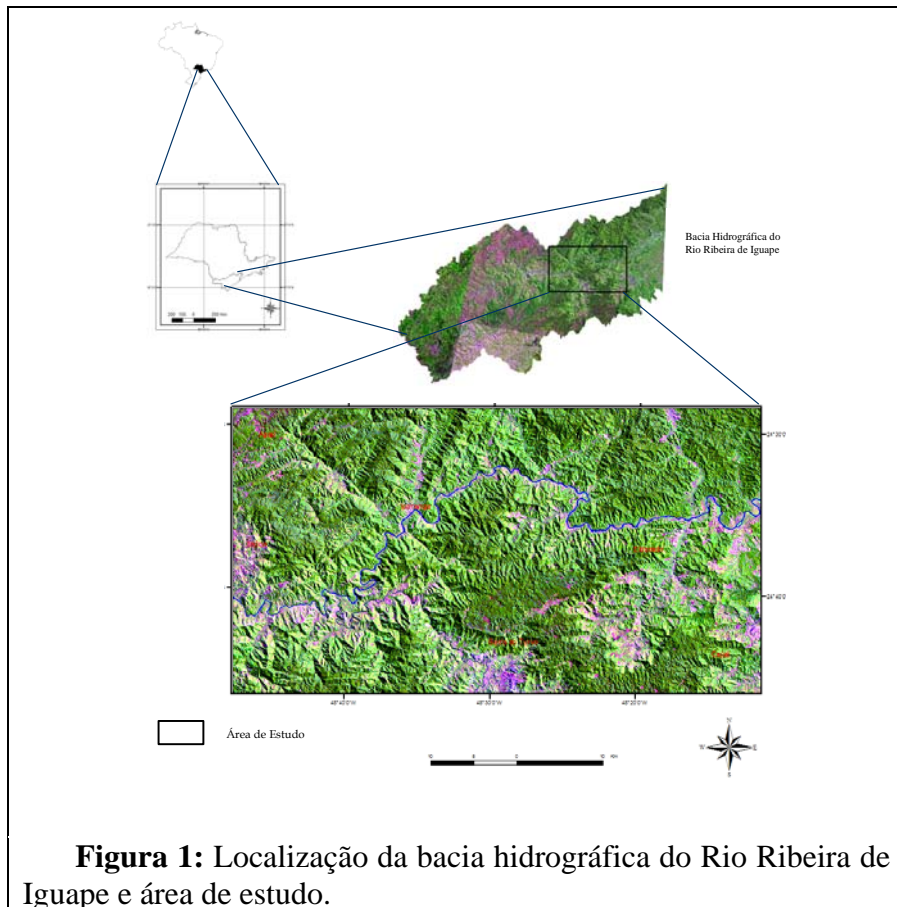
## 2. Área de Estudo

A Bacia Hidrográfica do Rio Ribeira de Iguape (**Figura 1**), o Complexo Estuarino Lagunar de Iguape-Cananéia-Paranaguá e as diversas bacias hidrográficas encaixadas entre esta e o Oceano Atlântico, genericamente denominada Vale do Ribeira, possuem uma área de 2.830.666 hectares (28.306 km<sup>2</sup>), abrangendo as regiões sul do estado de São Paulo (1.711.533 ha) e leste do estado do Paraná (1.119.133 ha), (ISA, 1998).

Trata-se de um dos pontos de colonização mais antigos do país. As atividades mineiras nesta região, que remontam ao século XVII, foram marcadas por intensa exploração de Pb durante praticamente todo o século XX. A área de estudo compreendida nessa investigação hospeda a ocorrência de anomalias naturais de As e outros elementos traço (Cu, Cr, Ni, Pb e Zn), potencialmente prejudiciais à saúde humana e animal, o que somado a aspectos econômicos e ambientais regionais, formam um cenário ideal para pesquisas de diagnósticos e avaliação de riscos.

Esse conjunto está compreendido, em sua totalidade, em clima sub-tropical úmido, sem estação seca. A diferença de altitude condiciona variações climáticas locais, podendo haver regiões que apresentam altitudes superiores à 1000m, situando-se no domínio climático mesotérmico brando, superúmido, com sub-seca, caracterizado por apresentar temperatura média anual em torno de 18°C, segundo a classificação proposta por Nimer (1977) para as regiões sul e sudeste do Brasil.

O condicionamento da rede de drenagem é fortemente influenciado pela estruturação regional de unidades geológicas para NE, e também pelos grandes traços tectônicos, representados por falhamentos e fraturamentos com idêntica direção.



**Figura 1:** Localização da bacia hidrográfica do Rio Ribeira de Iguape e área de estudo.

A Bacia do Rio Ribeira de Iguape está situada o domínio de duas unidades geotectônicas pré-cambrianas: a Faixa de Dobramento Apiaí e o Maciço de Joinvile (Hasui et al., 1980). O rio Ribeira de Iguape drena rochas do Supergrupo Açungui e sedimentos quaternários entre as cidades de Iporanga e Eldorado (IPT, 1981). O Supergrupo Açungui é constituído por várias unidades geológicas, que foram profundamente modificadas pelo metamorfismo dinâmico, encontrando-se rochas cataclásticas, desde brechas até ultramilonitos (Campanha, 1991).

### 3. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

A distribuição espacial e temporal da cobertura vegetal de uma região é fortemente influenciada por um conjunto de fatores ambientais, incluindo condições climáticas, topográficas e outras propriedades associadas. A partir do NDVI é possível determinar a densidade de fitomassa foliar fotossinteticamente ativa por unidade de área. Outro motivo de utilização deste índice corresponde às correções potenciais da reflectância em áreas afetadas por acidentes topográficos. Considerando que a iluminação solar possui a mesma inclinação, determinadas áreas apresentarão maiores influências do sombreamento topográfico. Com a aplicação deste método, as respostas espectrais em áreas sombreadas e iluminadas apresentarão valores espectrais similares, ou seja, há uma correção da equalização de iluminação solar.

O *Índice de Vegetação por Diferença Normalizada* é uma aplicação dos processos de realce por operações matemáticas entre bandas. Segundo Rouse et al. (1973), NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) é a diferença da reflectância no infra-vermelho

próximo (banda 4 do sensor temático do Landsat 5 e 7) e reflectância no vermelho (banda 3 do sensor temático do Landsat 5 e 7); esta diferença é então normalizada pela soma das duas reflectâncias:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

NDVI: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada  
NIR: reflectância no infra-vermelho próximo  
RED: reflectância no vermelho

Este índice é o mais comumente empregado, detém a habilidade para minimizar efeitos topográficos ao produzir uma escala linear de medida, possui a propriedade de variar entre -1 a +1 (quanto mais próximo de 1, maior a densidade de cobertura vegetal), o 0 representa valor aproximado para ausência de vegetação, ou seja, representa superfícies não vegetadas.

#### 4. Modelo EUPS (Equação Universal de Perda de Solo)

O modelo EUPS visa quantificar o transporte e a deposição de solo por processo de erosão hídrica. É a relação empírica mais amplamente utilizada e tem passado por várias atualizações (Lopes,1993).

O processo de erosão ocorre basicamente pelo efeito da energia cinética das gotas de chuva sobre o solo, deslocando suas partículas, que podem ser arrastadas pelas enxurradas e depositadas num local de menor velocidade (Resende e Almeida 1985). A erosão hídrica é causada por forças ativas tais como chuva com características específicas, declividade, comprimento da vertente do terreno e capacidade de absorção de água pelo solo e por forças passivas - como a resistência que o solo exerce sobre a ação erosiva da água e a densidade de cobertura vegetal (Bertoni e Lombardi Neto, 1990).

Os valores quantitativos de perda de solo potencial gerado pela equação ou outros modelos de simulação devem ser considerados como estimativas para fins comparativos, principalmente como uma análise qualitativa da distribuição espacial do potencial erosivo. O ideal é que esses valores sejam obtidos a partir de experimentos de campo.

Em meados do século XX, pesquisadores americanos conseguiram aprimorar equações para cálculo de perdas de solos que são usadas atualmente. O método mais usado, a EUPS, foi proposta por Wischmeier & Smith (1965 - *apud* Bertoni & Lombardi Neto, 1990).

A equação é assim expressa:

$$A = R.K.L.S.C.P$$

Onde:

**A** = Quantidade de terra removida, em toneladas por hectares;

**R** = (erosividade) = Índice de erosão causada pela chuva (Mj.mm/h.ha).

**K** = (erodibilidade do solo) = Intensidade de erosão por unidade de índice de erosão da chuva, para um solo específico que é mantido continuamente sem cobertura, mas sofrendo as operações de culturas normais;

**L** = (comprimento do declive) = Relação de perdas de solo entre o comprimento de declive qualquer e um comprimento de rampa de 25m para o mesmo solo e grau de declive;

**S** = (grau de declive) = relação de perdas de solo entre um declive qualquer e um declive de 9% para o mesmo solo e comprimento de rampa;

**P** = (práticas conservacionistas) = Relação entre as perdas de solo de um terreno cultivado com determinada prática agrícola e as perdas quando a cultura é plantada morro abaixo. São utilizadas tabelas referentes às práticas conservacionistas;

**C** = (uso e manejo) = Relação entre as perdas de solo de um terreno cultivado em dadas condições e as perdas correspondentes de um terreno mantido continuamente descoberto.

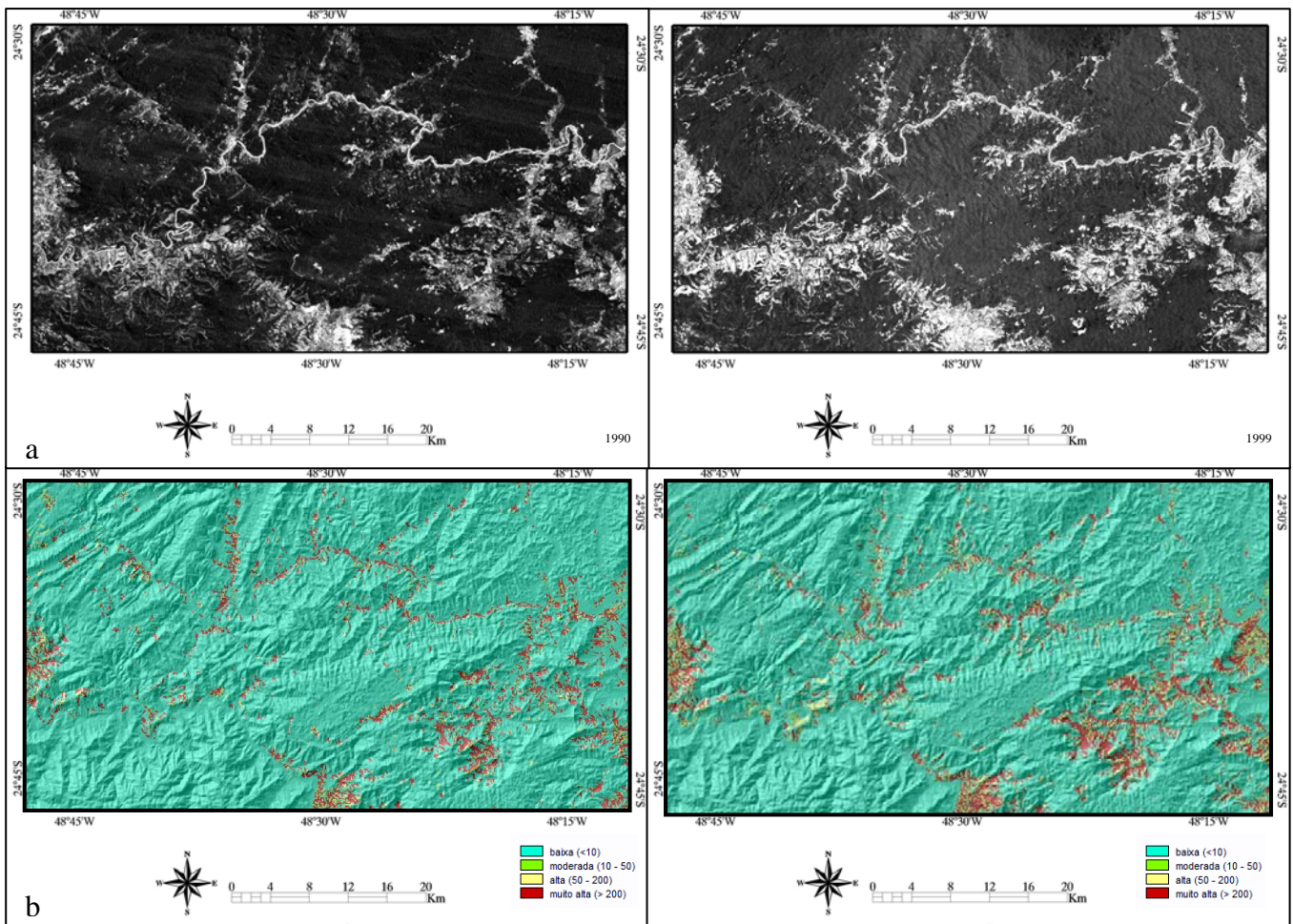
Os fatores **RKLS** dependem das características naturais, enquanto que o **C** e o **P** estão relacionados com as formas de ocupação e uso da terra. Portanto, as mudanças na forma de atuação dos primeiros dependem de alterações ambientais, tais como mudanças climáticas ou erosões importantes que possam alterar a topografia, por exemplo. Porém o **CP** pode ser alterado por ações de uso dos solos e de conservação.

## 5. Interpretação dos Dados

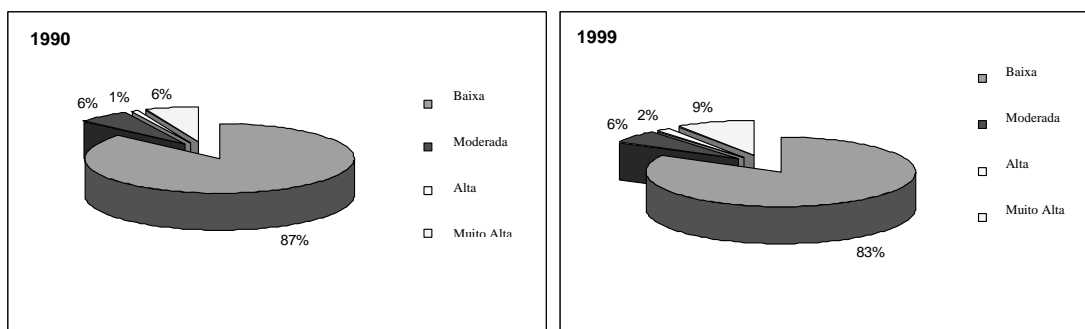
Foram utilizadas imagens de satélite das plataformas Landsat 5 e 7 (órbita 220 e ponto 77 do WRS-2), coletadas pelos sensores TM e ETM+, em 09/09/1990 e 26/09/1999 para a geração das imagens índice de vegetação. Este sensor opera no visível, infravermelho próximo, infravermelho de ondas curtas e no infravermelho termal. Observando as imagens resultantes (**Figura 2**), pôde-se constatar que os altos valores de NDVI indicam alta atividade fotossintética ou a presença de vegetação abundante, enquanto que baixos valores de NDVI indicaram baixa atividade fotossintética e conseqüentemente a presença vegetação esparsa ou ausência total de vegetação; neste último caso, substituída por usos distintos, como regiões de solo exposto, plantações, entre outros.

Em bacias hidrográficas onde predominam formações vegetais com grande amplitude de NDVI, acompanham o déficit hídrico, ou seja, a quantidade de água disponível no solo é menor pela maior absorção da água em camadas superficiais. Neste caso, outro fator relevante, é o desmatamento, já que esta região é pouco povoada. Observa-se a evolução da perda de vegetação de 1990 para 1999, deixando o solo exposto e sendo levado para as drenagens e também para o rio Ribeira de Iguape.

Para a identificação das áreas críticas quanto à perda de solos, foram construídas quatro matrizes numéricas correspondentes aos fatores R, K, LS e CP da EUPS. Estas quatro matrizes georreferenciadas foram sobrepostas espacialmente e multiplicadas entre si através de operações de análise espacial, foram então classificadas em intervalos de interesse, gerando mapas de potencial natural de erosão (**Figura 2**), que representam a integração dos principais fatores naturais do meio físico intervenientes no processo de erosão laminar, para os períodos de 1990 e 1999. A análise quantitativa do cruzamento de mapas correspondentes a EUPS, para a geração do mapa de susceptibilidade a erosão, está representada na **figura 3**. A análise gráfica indica que cerca de 87% e 83% da área de estudo se apresentam pouco suscetível à erosão. As classes moderada e alta representam aproximadamente 7% e 8% do total. A área mais suscetível (muito alta) ocupa 6% e 9% da região estudada.



**Figura 2:** Evolução temporal do NDVI (a), neste caso, os tons mais escuros da imagem representam a cobertura vegetal e os mais claros a falta de vegetação e dos mapas potenciais naturais de erosão (b) para os períodos de 1990 e 1999.



**Figura 3:** Representação gráfica da distribuição do potencial de erosão.

## 6. Conclusões

O potencial natural de erosão foi avaliado a partir dos fatores naturais, ou seja, dos solos, por erodibilidade; do clima, por erosividade; e do relevo, por declividade e comprimento de vertentes. O efeito da falta de cobertura vegetal do solo pode ser um dos fatores mais graves no tocante ao impacto ambiental.

O uso inadequado dos solos, com outro tipo de atividades pode rapidamente provocar seu esgotamento, de caráter físico, (acentuando os processos de erosão) ou de caráter químico (reduzindo a porcentagem de matéria orgânica e reduzindo o estoque de nutrientes). Por este motivo, a caracterização da fragilidade potencial do meio natural corresponde à elaboração de um cenário preservacionista, que permita selecionar áreas para reflorestamentos prioritários, dentro da perspectiva de reduzir a perda de água e solo.

A espacialização das perdas de solo pode auxiliar na tomada de decisão, pois permite identificar áreas de monitoramento prioritário em termos de controle dos processos erosivos, para a adoção de práticas conservacionistas.

Cabe ressaltar que, em função das limitações metodológicas originadas pela aplicação da EUPS em grandes áreas utilizando parâmetros obtidos em pequenas parcelas experimentais, os resultados devem ser tomados somente como indicativos das perdas de solo.

É importante salientar que o modelo utilizado neste estudo permite estimar somente a erosão laminar, sem caracterizar outros processos de erosão hídrica, assim como não permite caracterizar diretamente os processos de assoreamento. A estimativa da produção de sedimentos (o quanto sai de material sólido) da área de estudo e das suas unidades hidrográficas, poderá ser estimado a partir do balanço entre os valores obtidos para perda de solos (valor estimado) e dados obtidos em levantamentos sedimentométricos nos rios (valor medido).

As imagens de NDVI vieram comprovar onde se localizam as áreas potenciais naturais de erosão, sendo necessário um estudo mais detalhado para implementação de práticas conservacionistas.

## 7. Referências Bibliográficas

- Bertoni, J.; Lombardi Neto, F. **Conservação do Solo**. São Paulo -SP: Icone, 1990.
- Campanha, G.A.C., 1991. **Tectônica proterozóica no alto e médio vale do Ribeira, Estados de São Paulo e Paraná**. São Paulo: IG-USP, 296 p. (Tese de Doutorado).
- Hasui, I.; Carneiro, C.D.R.; Bistrichi, C.A., 1980. Estruturas e tectônica do Pré - Cambriano de São Paulo e Paraná. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, V52 (1), p. 61-76.
- IPT, 1981. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo**. São Paulo. 2 mapas: color. Escala 1:500.000. Material Cartográfico, vol. 1 e 2.
- Instituto Socioambiental (ISA). (1998). **“Diagnóstico Socioambiental do Vale do Ribeira: Documento Síntese”**. São Paulo.
- Lopez, M. T. WEPP (Water erosion Prediction Project): un modelo basado en procesos físicos para simular erosión hídrica. **In: Firts Intl. Seminar of Watershed Management**, Hermo Sillo, Sonora, México, April, 1993. **Proceeding**. Universidad de Sonora, University of Arizona, 1993. 119 p.
- Nimer, E., 1977. Clima **In: Geografia do Brasil – Região Sudeste – Rio de Janeiro**, SERGRAF/IBGE, v.3, p 51-89.
- Ranieri, S.B.L.; Sparovek, G.; Souza, M.P.; Dourado Neto, D. Aplicação de índice comparativo na avaliação do risco de degradação das terras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, n.4, p.751-60, 1998.
- Resende, M.; Almeida, J. R. Modelos de Predição de Perdas de Solo: Uma ferramenta para Manejo e Conservação do Solo. **Inf. Agropecuário** 11(128), Belo Horizonte, (p38 – 53), agosto/1985.
- Rouse, J. W.; Hass, R. H; Schell, J. A.; Deering, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. **In: NASA ERTS SYMPOSIUM**. v. 3, 1973. p. 309-17.