

## **Análise da fragilidade ambiental na microbacia do córrego do Coqueiro, no noroeste paulista**

Renato Alberto Momesso Franco<sup>1</sup>  
Fernando Braz Tangerino Hernandez<sup>1</sup>  
Ronaldo Cintra Lima<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual Paulista - UNESP  
Caixa Postal 34 - 15385-000 - Ilha Solteira - SP, Brasil  
{bioramfranco}@yahoo.com.br  
{fbthtang}@agr.feis.unesp.br  
{rclima01}@yahoo.com.br

**Abstract:** The map of environmental fragility is one of the tools used in environmental planning. Through this plan you can evaluate the information in an integrated environment and analyze each system component. This study aims to perform the mapping of the environmental fragility of the watershed stream Coqueiro using the proposed method of Empirical Analysis of Fragility of Natural Environments and anthropogenic as support decision making. Through the analysis and integration of information from planes soil, slope and soil use and occupation was elaborated map of potential and emerging environmental fragility. The class of fragility "very low" was 14.00% (2672.4 ha), this area has the lowest altimetric elevations, lower slopes and the presence of remnant native vegetation, helping to protect the soil. The class of fragility "very high" represents a total of 12.38% (2362.7 ha) of the watershed. The class of environmental fragility "average" is dominant and showed 72.76% (13.891.4 ha) of the watershed area. Their occurrence is related to the high potential areas of weakness in areas covered by pastures and slopes classified between low and medium fragility.

Palavras-chave: environmental fragility, decision support, remote sensing, fragilidade ambiental, tomada de decisão, sensoriamento remoto.

### **1. Introdução**

O mapa de fragilidade ambiental é uma das ferramentas utilizadas no planejamento ambiental. Através deste plano de informação é possível avaliar o ambiente de forma integrada e analisar cada componente do sistema. Ross (1994) argumenta que o ambiente é analisado de acordo com a Teoria dos Sistemas e que se fundamenta nas trocas de energia e matéria, e processam em equilíbrio dinâmico.

Esse equilíbrio pode ser quebrado quando intervenções humanas atuam sobre o ambiente, gerando desequilíbrio no sistema que podem ser temporários e/ou permanentes. Diante destas informações teóricas, Ross (1994) propõe uma hierarquia nominal de fragilidade representada por códigos: muito fraca (1), fraca (2), média (3), forte (4) e muito forte (5). Estas categorias expressam especialmente a fragilidade do ambiente em relação aos processos ocasionados pelo escoamento superficial difuso e concentrado das águas pluviais.

Para gerar a carta de fragilidade ambiental foi usado o método adaptado de Ross (1990) que é baseada no conceito de Ecodinâmica de Tricart (1977), que estabelece a avaliação de paisagens em unidades estáveis, instabilidade emergente ou instabilidade potencial, que podem ser representados por meio cartográfico através da carta de fragilidade ou vulnerabilidade ambiental.

O conceito de fragilidade pode ser definido como à vulnerabilidade do ambiente em sofrer qualquer tipo de impacto e está relacionada com fatores de desequilíbrio de ordem natural e antropogênica (Tamanini, 2008).

O princípio das Unidades Ecodinâmica proposto por Tricart (1977) tem como objetivo o manejo adequado dos recursos ambientais e identificando os impactos antrópicos (Cardoso, 2003). Nessa metodologia são eleitos para a análise da estabilidade morfodinâmica da paisagem os níveis categóricos, como a Estrutura Superficial da Paisagem, o Uso do Solo, a Vegetação e os Processos Superficiais da Paisagem, passíveis de observação e classificação

qualitativa. De acordo com Ross (1994), dentro desta concepção ecológica o ambiente é analisado sob o prisma da Teoria do Sistema que parte do pressuposto que na natureza as trocas de energia e matéria se processam através de relações em equilíbrio dinâmico. Esse equilíbrio, entretanto, é frequentemente alterado pelas intervenções humanas, gerando estados de desequilíbrios temporários ou até permanentes.

O estudo da Fragilidade Ambiental é o resultado da análise espacial de dois tipos de mapas identificados como Fragilidade Emergente e Fragilidade Potencial. Para a construção do mapa de Fragilidade Potencial usam-se os temas físicos como solos, clima e geomorfologia; o mapa de Fragilidade Emergente é feito a partir da sobreposição de dois mapas - Fragilidade Potencial e uso e ocupação do solo. A fragilidade emergente além de considerar as características físicas, contempla também, os graus de proteção dos diferentes tipos de uso e cobertura vegetal sobre o ambiente.

O mapa de solos fornece as informações sobre tipos e características pedológicas e a importância do conhecimento da erodibilidade do solo na área de estudo. O mapa de declividade possui relação direta com a transformação de energia potencial em energia cinética, esse fator vai interferir na velocidade da água na superfície. Outro fator envolvido é o clima que interfere no solo acelerando o processo erosivo cuja ação é dependente da intensidade e distribuição sazonal da chuva.

Vale ressaltar que a fragilidade ambiental está ligada a fatores de desequilíbrio, tanto de ordem natural (declividade, erodibilidade, variações climáticas), quanto sociais (técnicas inadequado no manejo do solo) (Vittae e Mello, 2009).

O presente trabalho teve como objetivo realizar o mapeamento da fragilidade ambiental da microbacia do córrego do Coqueiro, utilizando a proposta metodológica da Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados com apoio a tomada de decisão.

## **2. Metodologia de Trabalho**

### **2.1. Caracterização da Área de Estudo**

A área de estudo é a microbacia do córrego do Coqueiro localizada na região noroeste do Estado de São Paulo e pertencente à Unidade de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (UGRHI) de número 18. Essa unidade é composta de 25 municípios, com uma área de drenagem de 6.732 km<sup>2</sup>, que abrangem o Rio São José dos Dourados e Rio Paraná.

O córrego do Coqueiro é um afluente de margem direita do Rio São José dos Dourados, com 33,59 km de extensão da sua nascente até a sua foz. A área da microbacia é de 190,90 km<sup>2</sup> e o seu limite envolve os municípios de Jales, Dirce Reis, Palmeira d'Oeste, São Francisco e Urânia, na região noroeste do Estado de São Paulo (Franco e Hernandez, 2009; Franco, 2012).

A classificação climática de Köppen determina o clima da região como clima de savanas Aw, com inverno seco e ameno e verão quente e chuvoso. De acordo com Santos, Hernandez e Rosetti (2010) que determinaram o balanço hídrico para a região de Marinópolis-SP, utilizando dados históricos de 1999 a 2009 obtiveram precipitação média anual de 1.111 mm e evapotranspiração potencial de 1.421 mm ao ano.

### **2.2. Mapa de fragilidade ambiental**

Através dos temas ambientais clima, relevo, declividade, solos, geologia, tipo de cobertura vegetal podem ser integrados em ambiente SIG e chegar a uma classificação das categorias hierárquicas da fragilidade ambiental. Para a microbacia os PIs para a criação do mapa de fragilidade da microbacia foram o mapa pedológico, declividade e uso e ocupação do solo.

Para os PIs da microbacia (solos, declividade e uso e ocupação) foram identificadas as classes de cada plano e em seguida os valores foram ponderados entre 1 a 5 que vão do mais forte ao mais fraco e no caso do uso e ocupação do solo do mais protegido ao menos protegido. O plano de informação relevo não foi utilizado na análise e as informações de cada PIs serão descritas nos subitens abaixo.

### 2.2.1. Índice de declividade

As informações sobre as variações da altitude do terreno foram obtidas do Projeto Topodata - INPE, que disponibiliza dados geomorfométricos locais derivadas de dados SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) para todo o território nacional (VALERIANO, 2008). Através da Internet é possível acessar o arquivo ZN.tif de altitude numérica e o mesmo serviu de informação de entrada para a criação das curvas altimétricas no formato *shapefile*.

Em seguida o índice de declividade seguiu a metodologia de Ross (1994) conforme a Tabela 1, definida por classes e grau de declividade. Através do mapa de declividade do córrego do Coqueiro foi reclassificado de acordo com Ross (1994).

Tabela 1. Grau de declividade, segundo Ross (1994).

Graus de declividade	Classes (%)
1 - muito fraca	< 6
2 - fraca	6 a 12
3 - média	12 a 20
4 - forte	20 a 30
5 - muito forte	>30

### 2.2.2. Classe de fragilidade do solo

O mapa de solos da microbacia foi obtido através do mapa pedológico do Estado de São Paulo (Oliveira, 1999), disponível no formato vetorial e recortado através da opção clip da ferramenta analysis tools do Arctoolbox, disponível no software ArcGIS©10.

Através do mapa pedológico foram atribuídas as classes de fragilidade aos tipos de solo existentes na microbacia. As classes de fragilidades de solos foram determinado de acordo com Ross (1994) e segue os seguintes tipos de solos, conforme a Tabela 2.

Tabela 2. Classe de fragilidade e tipos de solos.

Classe de fragilidade	Tipos de solos
1 - Muito baixa	Latossolo roxo, Latossolo Vermelho Escuro e Vermelho Amarelo, textura argilosa
2 - Baixa	Latossolo Vermelho-Amarelo textura média/argilosa
3 - Média	Latossolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Vermelho, Argissolo Vermelho-amarelo textura média/argilosa
4 - Forte	Argissolo Vermelho-Amarelo textura média/arenosa e cambissolos
5 - Muito forte	Argissolo Vermelho, Neossolo litólico e Neossolo Arênico

### 2.2.3. Grau de proteção do solo e o tipo de cobertura do solo

Para a elaboração deste plano utilizou-se a imagem utilizada para a construção dos planos de informações foi do satélite ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*), dos sensores AVNIR (*Advanced Visible and Near-Infrared Radiometer - Type 2*) e PRISM (*Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping*).

A partir da imagem de satélite foi feita a digitalização manual via mouse do uso e ocupação do solo em ambiente SIG, através do software ArcGIS 10©, em estrutura vetorial e na forma geométrica polígono e em seguida, armazenado no formato shapefile.

Através do PI uso e ocupação do solo foi elaborado o PI grau de proteção do solo segundo a cobertura de vegetação existente. Ross (1994, 2003) determina uma classificação de acordo com a ordem decrescente da capacidade de proteção (Tabela 3).

Tabela 3. Graus de proteção e tipos de cobertura vegetal.

Grau de proteção	Tipos de cobertura vegetal
1 - Forte	Florestas/Matas Naturais, Florestas Cultivadas com diversidade de espécies e vários estratos.
2 - Médio	Formações arbustivas originais abertas com estrato de gramíneas Formações arbustivas densas de origem secundárias (capoeira) Formações naturais cultivadas de gramíneas (pastos)
3 - Fraca	Agricultura de ciclo longo de ocupação densa (cacau, banana). Áreas desmatadas recentes; Agricultura de ciclo curto (arroz, milho, feijão, soja, trigo) e agricultura de ciclo longo de baixa densidade (café, laranja, pimenta-do-reino).

#### 2.2.4. Fragilidade potencial e ambiental

Após a classificação do mapa de solos e do mapa de declividade, os dois mapas foram cruzados para obtenção do mapa de fragilidade potencial (elementos da dinâmica natural). O mapa de fragilidade potencial foi cruzado com o mapa de uso e ocupação para a formação do mapa de fragilidade ambiental. Na Figura 1, o fluxograma com a representação esquemática para a elaboração do mapa de fragilidade ambiental.

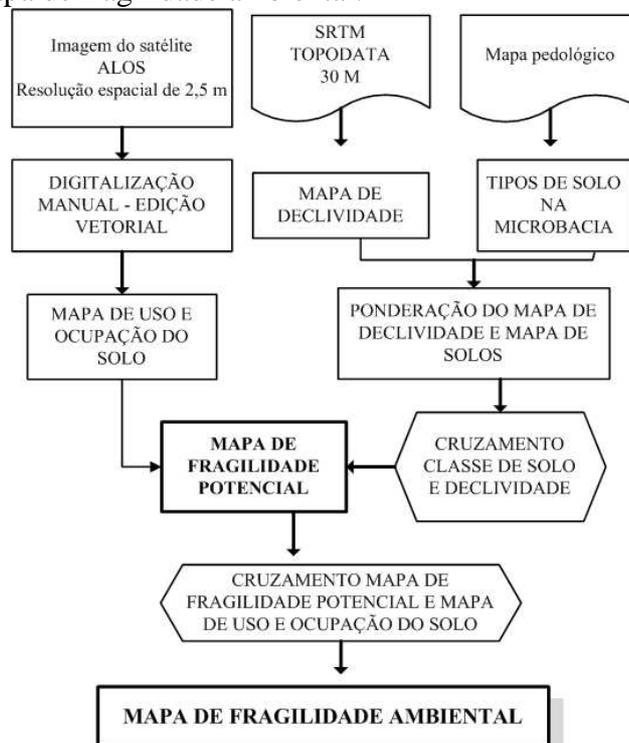


Figura 1. Etapas para a obtenção do mapa de fragilidade ambiental.

Para a cálculo dos PIs foi utilizada a função *raster calculation*, disponível em *Spatial analyst tools* no *Arctoolbox* do ArcGIS©10. O algoritmo criado foi construído da seguinte maneira no *raster calculation*, conforme Vittae e Mello (2009):

$$Fragilidade = [(3 * dec) + (4 * uso) + (3 * solos) / 10] \quad (1)$$

sendo: *dec* - mapa de declividade; *uso* - mapa de uso e ocupação do solo; *solos* - mapa de solos.

Foi dado peso 3 para a declividade e solos e o peso 4 para o uso e ocupação do solo, levando em consideração um maior peso para as ações antrópicas na microbacia. Em seguida o mapa obtido foi reclassificado em cinco classes, conforme a proposta de Ross (1994).

### 3. Resultados e Discussão

De acordo com as características ambientais da região e da ação antrópica no agroecossistema foi possível construir um mapa síntese da fragilidade ambiental (Figura 2). Através da análise e integração dos PIs solo, declividade e uso e ocupação do solo elaborou-se o mapa de fragilidade ambiental potencial e emergente.

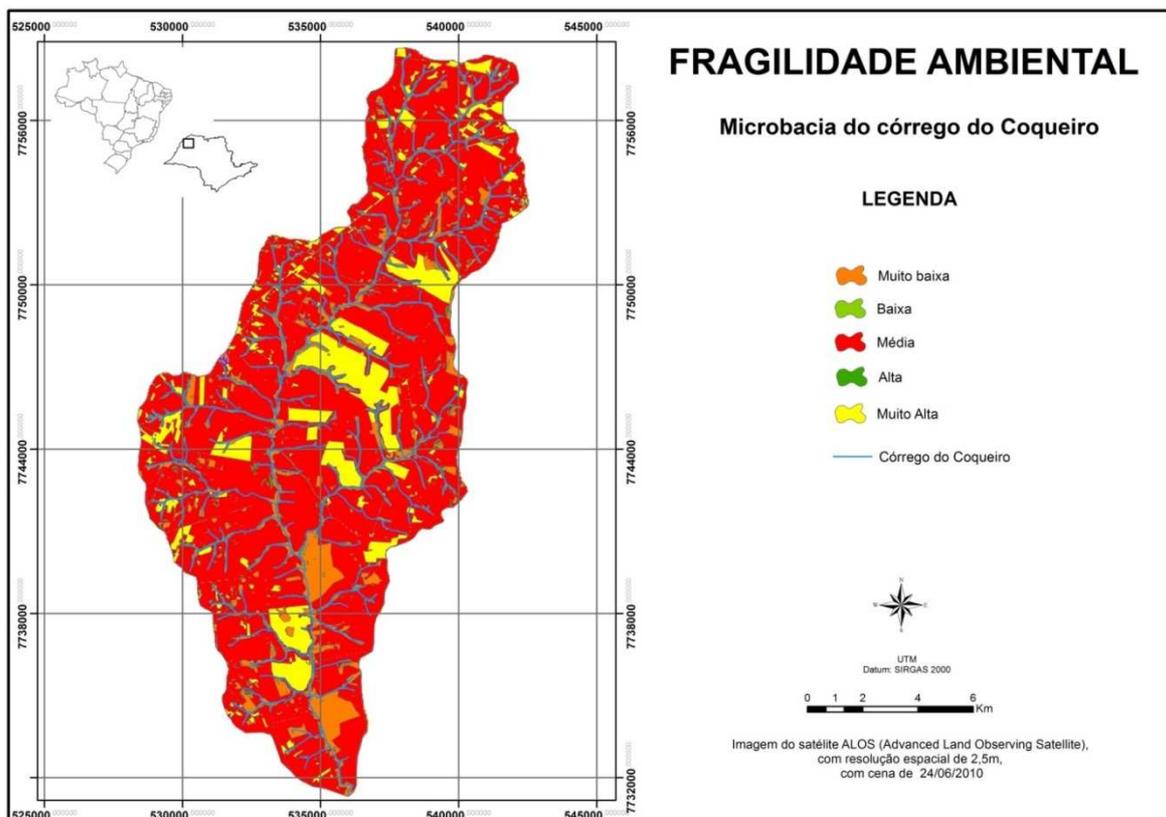


Figura 2. Mapa de fragilidade ambiental na microbacia do córrego do Coqueiro.

A classe de fragilidade “muito alta” representa um total de 12,38% (2362,7 ha) da microbacia (Tabela 4). São áreas representadas pelo uso da agricultura, cultivo de culturas anuais e perenes que dependendo das práticas agrícolas adotadas podem potencializar os processos de degradação ambiental na microbacia.

Nesta classe de fragilidade muito alta observa-se a expansão da cultura da cana-de-açúcar que representa uma área de 963,91 ha (9,64 km<sup>2</sup>) da microbacia e outra cultura em destaque é a banana, com área de 547,58 ha (5,48 km<sup>2</sup>); as culturas anuais e semiperenes, representada por culturas herbáceas ocupam 8,14 % da microbacia (Franco, 2012).

A classe de fragilidade “muito baixa” foi de 14,00% (2672,4 ha), essa área tem as menores cotas altimétricas, menor declividade e a presença de vegetação natural remanescente, auxiliando na proteção do solo. Essa classe sugere áreas com boa qualidade

ambiental, em grande parte é área que mantiveram a sua vegetação natural. Na microbacia do córrego do Coqueiro restam apenas 7,72% de vegetação nativa (mata ciliar e fragmentos de mata) (Franco, 2012).

Tabela 4. Classe de fragilidade ambiental.

Classe de fragilidade	Área (ha)	%
Muito baixa	2672,4	14,00
Baixa	70,7	0,37
Média	13891,4	72,76
Alta	95,3	0,50
Muito Alta	2362,7	12,38
Total	19092,7	100,00

A classe de fragilidade ambiental “média” é dominante e apresentou 72,76% (13891,4 ha) da área da microbacia. A sua ocorrência relaciona-se a áreas de fragilidade potencial alta em áreas cobertas por pastagens e declividade classificada entre baixa e média fragilidade. Isso demonstra que a classe de uso pastagem e os aspectos físicos (declividade e solos) podem apresentar certo equilíbrio, pois a vegetação existente atenua a ação da erosão. Entretanto, em pastagem degradada e sem conservação do solo pode romper o equilíbrio e acelerar o processo erosivo. A área de pastagem na microbacia representa 63,66% da área da microbacia (12154,38 ha) e ocupada principalmente pelo gênero de gramínea *Urochloa* (“braquiárias”) (Franco, 2012).

As menores classes de fragilidade na microbacia foram à classe baixa (0,37%) com área de 70,7 ha e a classe alta (0,50%) com área de 95,3 ha.

O mapa de fragilidade ambiental é um importante instrumento para o planejamento ambiental de áreas agrícolas, tendo com principal objetivo *a priori* identificar áreas onde a ocupação agrícola pode gerar impactos ao meio natural e *a posteriori* na minimização dos impactos da ação antrópica sobre o meio natural, evitando processos erosivos intensos e assoreamento de cursos d'água.

Essas transformações no meio natural agem em cadeia com outros atributos físicos (clima, relevo, geologia), resultando em impactos nos agroecossistemas, com a formação de voçorocas (Figura 2a) e assoreamentos de cursos d'água (Figura 2b).

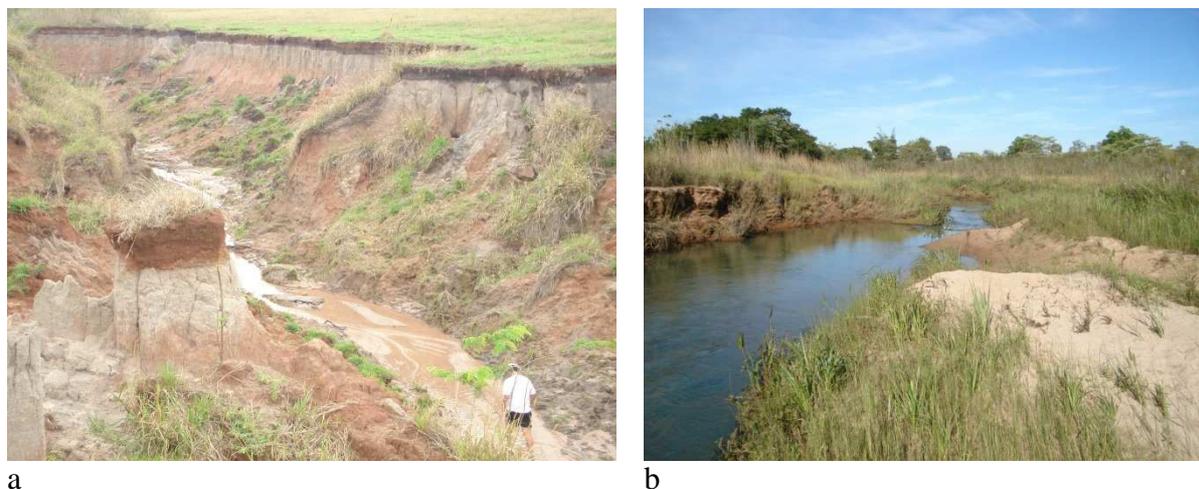


Figura 2. Processo erosivo acentuado com formação de voçoroca (a) e banco de areia nas margens do córrego do Coqueiro.

#### 4. Conclusões

O uso das técnicas de geoprocessamento para a elaboração do mapa de fragilidade ambiental foi imprescindível para o desenvolvimento da pesquisa e a possibilidade de manipular, analisar os dados ambientais e identificar os principais impactos na microbacia, além de servir de apoio a tomada de decisão para os gestores.

#### Agradecimentos

Este trabalho teve apoio financeiro do MCT/CNPq/CT-Agro/CT-Hidro/Mapa-SDC-SPAE nº44/2008 - Recuperação de Áreas Degradadas - CNPq.

#### Referências Bibliográficas

- Cardoso, T. Homenagem a Jean Tricart (1920-2003). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 4, n. 2, p. 101-102 set. 2003. Disponível em: <[http://www.ig.ufu.br/ugb/Revista/Revista4-2\\_2003/Revista4-2\\_JeanTricart\\_2003.pdf](http://www.ig.ufu.br/ugb/Revista/Revista4-2_2003/Revista4-2_JeanTricart_2003.pdf)>. Acesso em: 2 ago. 2007.
- Franco, R. A. M. **Indicadores ambientais e planejamento integrado dos recursos hídricos na microbacia do córrego do Coqueiro**, 2012. 252f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira. 2012.
- Franco, R. A. M.; Hernandez, F. B. T. Qualidade da água para irrigação na microbacia do Coqueiro, Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande - PB, v. 13, n. 6, p. 772-780, 2009.
- Oliveira, J. B.; Camargo, M. N.; Rossi, M.; Calderano Filho, B. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo: legenda expandida**. Campinas: Instituto Agronômico/ EMBRAPA Solos, 1999. 64 p.
- Ross, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. *Revista do Departamento de Geografia, São Paulo*, v. 1, n. 8, p. 63-74. 1994.
- Ross, J. L. S. **Geomorfologia: ambiente e planejamento**. São Paulo: Contexto, 2003.
- Santos, G. O.; Hernandez, F. B. T.; Rosseti, J. C. Balanço hídrico como ferramenta ao planejamento agropecuário para a região de Marinópolis, noroeste do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 4, n. 3, p.142-149, 2010. Disponível em:<[http://www.agr.feis.unesp.br/pdf/rbai\\_v4\\_n3\\_p142\\_149\\_bh.pdf](http://www.agr.feis.unesp.br/pdf/rbai_v4_n3_p142_149_bh.pdf)>. Acesso em: 10 abr. 2010.
- Tamanini, M. S. A. Diagnóstico físico-ambiental para determinação da fragilidade potencial e emergente da Bacia do Baixo Curso do Rio Passaúna em Araucária - PR. 2008. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.
- Tricart, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1977.
- Valeriano, M. M. **Topodata: guia para utilização de dados geomorfométricos locais**. São José dos Campos: INPE, 2008. 44 p.
- Vittae, A. C.; Mello, J. P. Determinação da fragilidade ambiental na bacia do Rio Verde, região Nordeste do Estado de São Paulo, Brasil. **Territorium**, Portugal, v. 2, n. 16, 2009. Disponível em: <[http://www1.ci.uc.pt/nicif/riscos/downloads/t16/fragilidade\\_ambiental.pdf](http://www1.ci.uc.pt/nicif/riscos/downloads/t16/fragilidade_ambiental.pdf)>. Acesso em: 15 abr. 2011.