

## Estabelecimento de suscetibilidade a erosão - diferentes técnicas para diferentes etapas de tomada de decisão

*Establishing erosion susceptibility: different techniques for different stages in a decision - making process*

José Augusto de Lollo <sup>1\*</sup>, Julio Nascimento Sena <sup>1</sup>

**Palabras clave:**  
técnicas de suporte a decisão, cartografia digital, processo analítico hierárquico, AHP

**Keywords:**  
support decision techniques, digital cartography, analytical hierarchical process, AHP

### ABSTRACT

*We evaluated and discussed alternatives to erosion susceptibility chart production according to different weights for physical environment attributes. Four techniques were used: landform, terrain steepness, soil, rock, land use and occupation. The following combinations of attributes were discussed: equal weights for physical environment attributes, different weights according to an expert in Prosa Basin, different weights according to other researchers, and different weights obtained through an analytical hierarchical process (AHP). The studied area comprises Prosa Basin in Campo Grande (Mato Grosso do Sul, Brazil). Results show that the considered alternatives can be used as a group or in different stages to support urban planning.*

### RESUMO

*O trabalho avaliou alternativas de produção de cartas de suscetibilidade à erosão considerando diferentes combinações de pesos para os atributos do meio físico, segundo quatro diferentes técnicas de análise. Os atributos considerados foram landforms, declividade do terreno, solo, substrato rochoso e ocupação do solo. Foram avaliadas as alternativas de pesos iguais para os atributos tratados, pesos diferentes de acordo com a visão de autor que havia trabalhado previamente na área, pesos diferentes definidos a partir de outros trabalhos da literatura, e pesos diferentes definidos com base no processo analítico hierárquico (AHP). A área estudada compreendeu a Bacia do Prosa localizada a cidade de Campo Grande – Mato Grosso do Sul, Brasil. Os resultados mostraram que as alternativas avaliadas podem ser utilizadas em conjunto ou em diferentes etapas de estudos visando o planejamento urbano.*

<sup>1</sup> Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira / UNESP

\* Autor para correspondência: lolloja@dec.feis.unesp.br

## INTRODUÇÃO

As questões ambientais estão entre as mais importantes com as quais tomadores de decisões se deparam atualmente. A dinâmica dos sistemas atmosférico e hidrológico mostra que os sistemas ambientais estão fortemente inter-relacionados, dinamicamente e espacialmente. Impactos ambientais em uma determinada posição geográfica têm geralmente efeito sobre outras posições geográficas (Kemp, 1992).

O processo acelerado de urbanização e o crescimento desordenado das cidades mudam severamente a paisagem resultando processos de degradação do meio físico, muitas vezes expressos na forma de erosão (Gupta & Ahmad, 1996). As feições erosivas decorrentes da má gestão do uso do solo e do planejamento urbano inadequado resultam ainda na produção de sedimentos que vão assorear os cursos d'água agravando processos de enchentes em períodos chuvosos (He *et al.*, 2006) e causando sérios problemas aos sistemas de produção de alimentos (Pimentel, 2006).

Embora os processos erosivos sejam estudados em vários locais, seus mecanismos ativadores, bem como as condições predisponentes, são variáveis específicas para cada região, dependentes de uma gama de fatores naturais, tais como o clima, relevo, substrato rochoso, solos e cobertura vegetal. As atividades humanas também podem desempenhar papel fundamental na ocorrência do processo e são avaliadas por meio de estudos de ocupação e uso do solo (Silveira & Pejon, 2005).

Suscetibilidade refere-se ao processo natural em si mesmo, e pode ser caracterizada pela potencialidade de um evento como causador da transformação no meio físico, independentemente de suas consequências para as atividades humanas (Mopt, 1992).

A análise da suscetibilidade envolve técnicas de natureza preditiva, objetivando definir os tipos de eventos perigosos e definir as condições espaciais e temporais de sua ocorrência (Bitar, 2001).

A melhor forma de representar e analisar a suscetibilidade aos processos geológicos e os riscos consequentes se dá pela cartografia, que pode seguir vários procedimentos e métodos, dependendo dos objetivos, da escala de trabalho e dos processos que se estuda. Entretanto, geralmente as técnicas utilizadas baseiam-se em cruzamento de informações cartográficas (cartas temáticas) de forma a obter um produto cartográfico derivado, onde estariam representados os processos geológicos, hierarquizada a suscetibilidade.

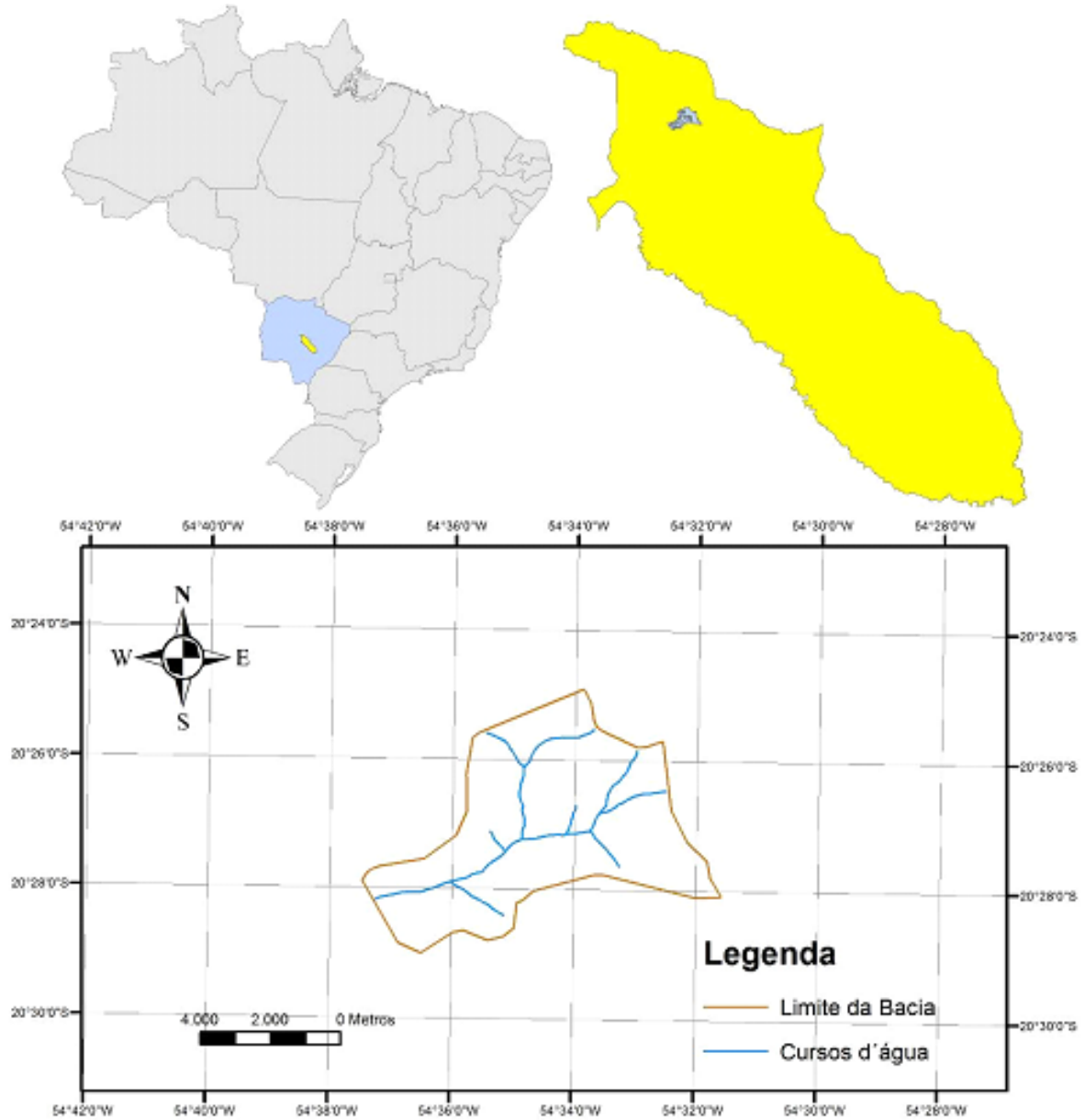
A elaboração de cartas de suscetibilidade a erosão é um dos mecanismos mais comuns de avaliar o potencial de ocorrência do processo erosivo em certa área e geralmente levam em conta os seguintes atributos: solo, rocha, relevo (declividade e formas de relevo), e uso e ocupação do solo (Pons *et al.*, 2007).

Uma dificuldade do processo é estabelecer, em cada caso, a importância relativa de cada atributo no processo, de forma a se prever as parcelas mais suscetíveis ao processo e a intensidade esperada para o mesmo em cada parcela.

Muitas vezes a atribuição de pesos para cada atributo na avaliação de suscetibilidade se dá sem critérios objetivos ou confiáveis resultando cruzamentos entre atributos que não traduzem a natureza real do problema na área.

O objetivo foi analisar comparativamente cartas de suscetibilidade a erosão segundo quatro abordagens de definição da importância relativa de cada atributo, e considerar a aplicabilidade de cada técnica nas diferentes etapas da gestão urbana.

A bacia do prosa se encontra na cidade de Campo Grande no Estado do Mato Grosso do Sul em uma área de 3682.69 ha e foi escolhida como área de estudo porque exhibe processos erosivos importantes há mais de vinte anos e se localiza em região nobre na área urbana de Campo Grande, capital do Estado do Mato Grosso do Sul. A localização da área pode ser observada na Figura 1.



**Figura 1.** Localização da Bacia do Prosa (no Brasil e na cidade de Campo Grande).

**Figure 1.** Prosa Basin localization in Brazil and Campo Grande municipality

## METODOLOGIA

No caso presente foram elaboradas diferentes cartas de susceptibilidade para uma mesma área usando diferentes alternativas de obtenção dos pesos que descreviam a importância relativa dos atributos no processo erosivo.

Foram consideradas informações referentes ao substrato rochoso, materiais inconsolidados, declividade, landforms e ocupação do solo, buscando hierarquizar áreas em função de seu potencial desenvolvimento de processos erosivos.

A utilização de técnicas de cartografia digital facilitou em muito a condução de quatro processos de avaliação da suscetibilidade, pois os atributos básicos eram os mesmos e a adoção de diferentes processos de análise pôde ser totalmente automatizada via programação para produção das cartas temáticas.

Os mapas de atributos considerados foram retirados do trabalho de Mauro (2001) e de Planurb (1997) em formato digital. Com os materiais em formato digital foi possível

a estruturação do banco de dados espaciais no Sistema de Informações Geográficas SPRING (Camara *et al.*, 1996) com cinco categorias de dados: declividade; solos; ocupação do solo; rochas e landforms.

As classes dos atributos para cada categoria (com modelo de dados do tipo temático) representadas nos mapas encontram-se na Tabela 1. A distribuição espacial dos atributos na bacia pode ser observada nas Figuras 2 a 6.

A ponderação dos atributos e respectivas classes no SPRING se deu a partir de um programa em LEGAL (linguagem de programação orientada a objetos do SPRING) permitindo as operações de álgebra de mapas.

Um programa em LEGAL consiste de uma sequência de operações descritas por sentenças organizadas segundo regras gramaticais, envolvendo operadores, funções e dados espaciais, categorizados segundo o modelo de dados SPRING, e representados em planos de informação e mapas cadastrais de um mesmo banco de dados.

Suscetibilidade	Baixa	Média	Alta
Substrato	Basaltos	Arenitos	
Solos	Latossolos	Areias quartzosas	Aluviões
Landforms	Topos e Côncavas	Fundos de vale	Encostas convexas
Declividade	Menor que 5%	5 - 10%	Maior que 10%
Ocupação	Baixa ocupação	Ocupação média	Alta ocupação

**Tabela 1.** Classe de atributos para cada categoria considerada.

**Table 1.** Classes of attributes for each data category

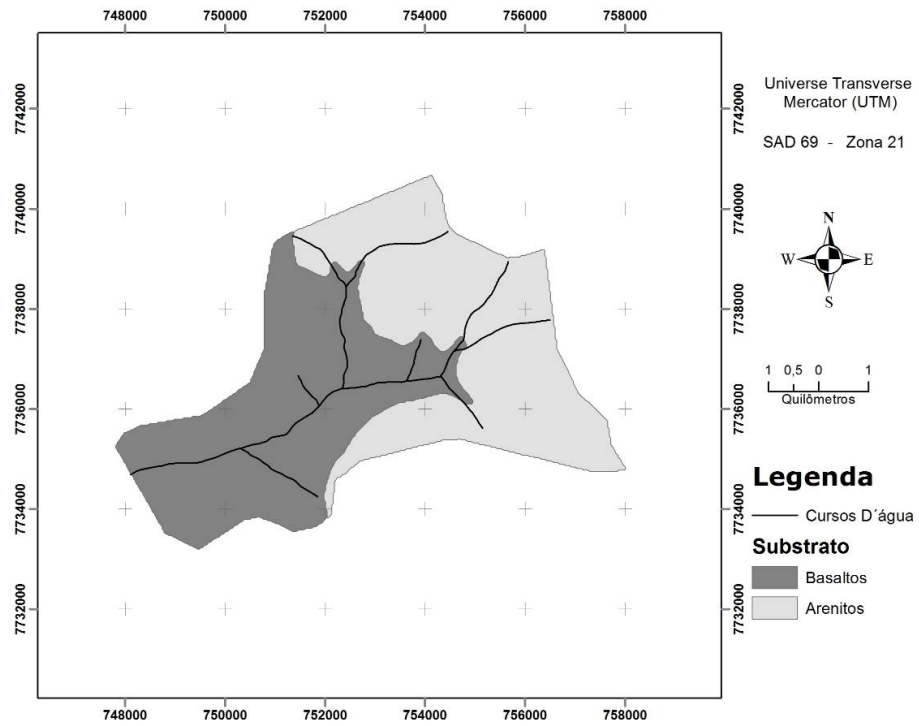


Figura 2. Mapa do substrato rochoso para a Bacia do Prosa.

Figure 2. Map of rock units for Prosa Basin

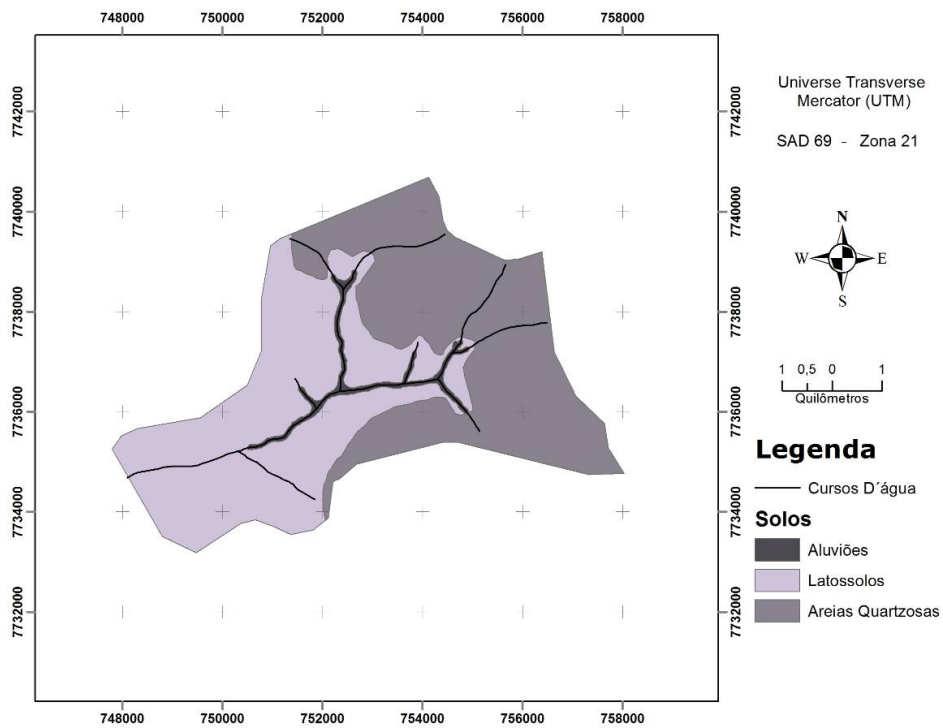


Figura 3. Mapa de solos para a Bacia do Prosa.

Figure 3. Map of soil units for Prosa Basin

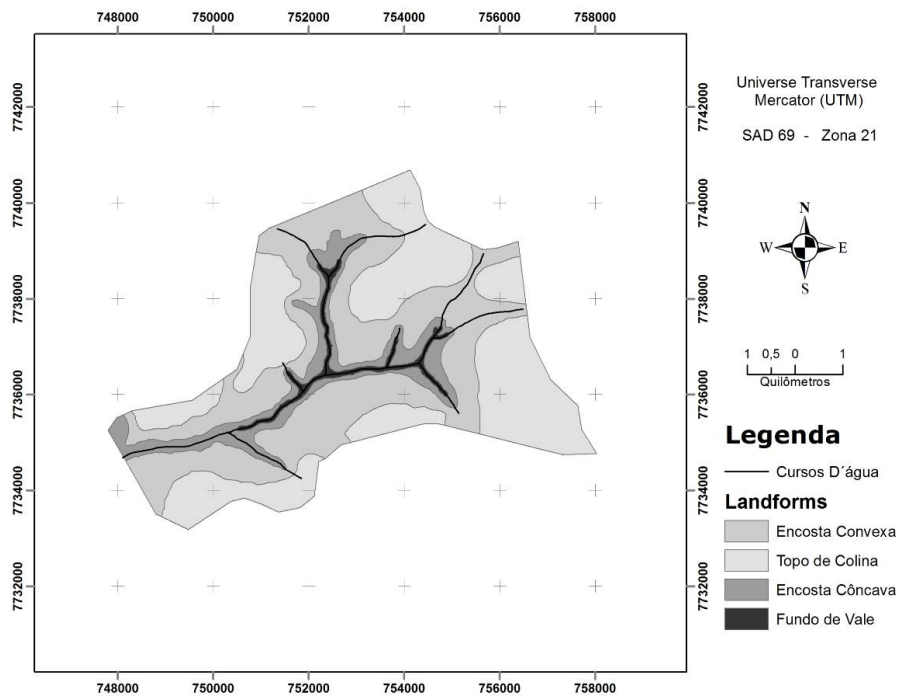


Figura 4. Mapa de landforms para a Bacia do Prosa.

Figure 4. Landform map for Prosa Basin

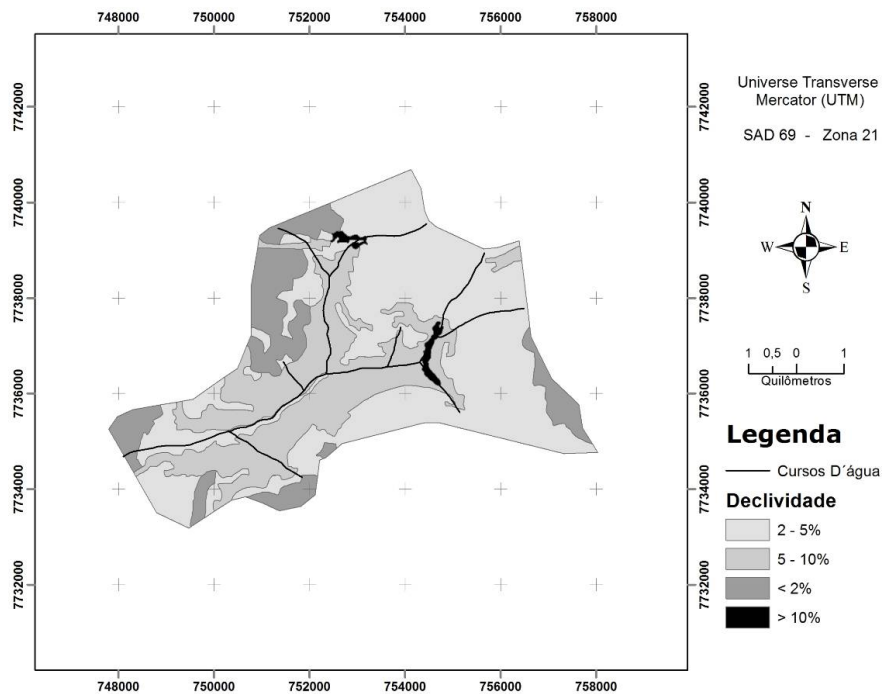


Figura 5. Mapa de declividades para a Bacia do Prosa.

Figure 5. Steepness chart for Prosa Basin

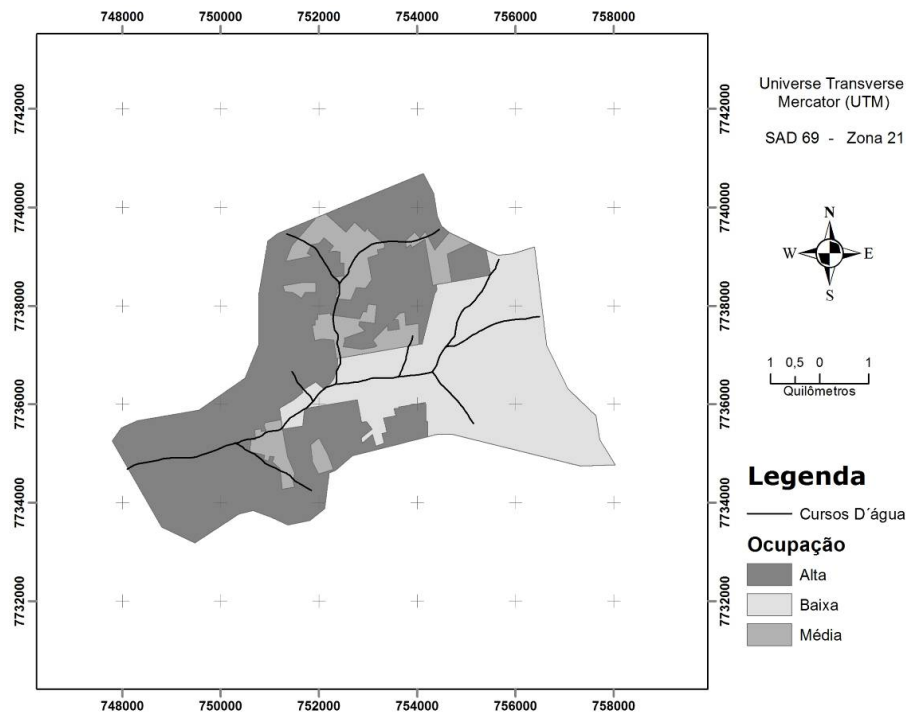


Figura 6. Mapa de ocupação do solo para a Bacia do Prosa.

Figure 6. Land use chart for Prosa Basin

### Pesos adotados para cada técnica

A definição dos pesos de cada atributo na avaliação da suscetibilidade à erosão na área se deu com base em fatores multiplicadores que variavam em termos da importância que se considerava que o atributo desempenhava no processo erosivo na área em cada caso.

Assim, adoção de pesos iguais correspondeu à atribuição de peso 1 para cada um dos atributos tratados (landforms, declividade, ocupação, solos, e rochas). As classes de cada atributo tiveram seus pesos atribuídos numa escala de uma a três, segundo sua importância no desencadeamento do processo erosivo.

Assim o peso um foi atribuído para os topos de colinas, as áreas com declividades menores que 5%, as áreas com baixos índices de ocupação, as áreas cuja classe de solo era latossolos, e as áreas cujo substrato rochoso era de basaltos.

Segundo o mesmo princípio foi atribuído

peso 2 para os fundos de vale, as áreas com declividades entre 5 e 10%, e as áreas com índices de ocupação médios.

Finalmente, o peso 3 foi atribuído para áreas de encostas convexas, áreas com declividades superiores a 10%, áreas com altos índices de ocupação, áreas nas quais a classe de solo era areia quartzosa, e as áreas cujo substrato rochoso era de arenitos.

Com relação à ponderação entre atributos fruto do conhecimento de outros autores (especialistas no assunto ou na área) que tenham tratado do assunto anteriormente. Neste caso foram consideradas duas alternativas: a de Mauro (2001), autor que estudou anteriormente a Bacia, e a proposta comum de outros autores para outras áreas na Bacia do Paraná, tais como Nishiyama (1998), Canil (2000), Ridente Júnior (2000), Zuquette e Gandolfi (2004), e Ferreira e Pejon (2007).

Para Mauro (2001) devem ser atribuídos o peso 3 para os atributos landforms e

declividades, peso 2 para os atributos solo e ocupação, peso 1 para o atributo rochas.

A consulta da literatura técnica de outros autores que estudaram condicionantes do processo erosivo em outras áreas de bacias sedimentares no Brasil resultou a adoção do peso 3 para os atributos solos e declividades, peso 2 para ocupação e landforms, e peso 1 para rochas.

Como as três alternativas anteriores continham cada uma a seu modo, componentes de desconhecimento da importância dos atributos no processo (pesos iguais) ou de subjetividade na adoção de pesos (pesos ponderados segundo a visão de outros autores), a quarta alternativa se baseou no processo analítico hierárquico.

A definição dos pesos para a técnica AHP (Saaty, 1990) se deu a partir da consideração da importância relativa dos atributos considerados para definição da suscetibilidade à erosão na área em estudo.

Assim, a definição das importâncias relativas dos atributos no processo se deu com base no conhecimento adquirido da literatura acerca do processo erosivo e do conhecimento das condições naturais da área

estudada. Tais conhecimentos permitiram a proposição da matriz de preferências apresentada na Tabela 2.

As importâncias relativas entre os atributos podem ser assim sintetizadas: Landforms – importância absoluta em relação a substrato, importância muito grande em relação a solo, grande importância em relação a uso e ocupação do solo, e pequena importância em relação à declividade, igual importância em relação à landforms; Declividade – valor intermediário entre importância absoluta e importância muito grande em relação a substrato, valor intermediário entre importância muito grande e grande importância em relação a solo, e valor intermediário entre grande importância e pequena importância em relação a uso e ocupação do solo; Uso e ocupação do solo – pequena importância em relação a substrato e valor intermediário entre grande importância e pequena importância em relação a solo; Solo – valor intermediário entre pequena importância e igual importância em relação a substrato.

A avaliação da consistência da matriz de preferências (A) depende antes de tudo da obtenção autovetor (W) e do autovalor máximo ( $\lambda_{max}$ ) que corresponde as raízes

	Landform	Declividade	Ocupação	Solo	Substrato
Landform	1	3	5	7	9
Declividade	0.333	1	4	6	8
Ocupação	0.200	0.250	1	4	3
Solo	0.143	0.167	0.250	1	2
Substrato	0.111	0.125	0.333	0.500	1

**Tabela 2.** Matriz de preferências considerada.

**Table 2.** Preference Matrix used



do polinômio característico da matriz pareada. O autovetor pode ser calculado pela multiplicação dos  $n$  elementos de cada linha e obtenção da raiz  $n$ -enésima, o que para esse caso daria os valores 3.93, 2.30, 0.91, 0,41, e 0.29 da primeira a quinta linhas da matriz.

Em seguida os resultados são normalizados para a soma igual a 1. Para a matriz em questão, esses valores seriam: 0.50, 0.29, 0.12, 0.05, 0.04.

Os autovalores são por obtidos normalização por meio da multiplicação dos valores de preferência (obtidos da operação anterior) por cada uma as cinco linhas da matriz resultando cinco valores normalizados. No caso atual os valores foram 5.36, 5.37, 4.60, 6.20, e 4,67, fornecendo uma média de 5.24.

O índice de consistência é obtido da relação  $IC = (\lambda_{max} - n) / (n - 1)$ , onde  $n$  é a ordem da matriz (5 nesse caso), resultando o valor 0.6.

Saaty (1990) definiu uma série de valores ideais de índice de consistência de acordo com a ordem da matriz, sendo o valor  $IC=1.12$  o valor definido para matrizes de ordem 5, e a razão de consistência é a relação entre o  $IC$  consistência obtido da matriz e o  $IC$  ideal, resultando uma razão de consistência de 0.043.

O valor encontrado para razão de consistência (0.043) é menor que o erro permitido neste tipo de análise (5%), ou seja, a matriz de preferências adotada é consistente e pode ser utilizada, resultando os seguintes pesos para os atributos: 0.5 para landforms, 0.29 para declividades, 0.12 para ocupação, 0.05 para solos, e 0.04 para substrato.

## RESULTADOS

### Carta de Suscetibilidade gerada com pesos iguais

A carta de suscetibilidade gerada a partir

da representação de pesos com o mesmo grau importância mostrou a predominância das classes baixa e média suscetibilidade, com pequenas parcelas da área incluídas na classe alta suscetibilidade.

Tal resultado se deve ao fato que dentre os atributos considerados há uma predominância de classes que implicam em suscetibilidade baixa ou média para os atributos. Assim, áreas de suscetibilidade alta são definidas apenas quando há a combinação de pelo menos quatro dos cinco atributos pertencentes à classe "alta suscetibilidade", como se pode verificar da rotina em LEGAL usada para geração desta carta.

A seleção de limites numéricos rígidos para as classes (valor "8", como limite entre baixa e média suscetibilidade faz com que resultados muito próximos, como "8.01" e "7.99"), que na prática signifiquem pequena diferença nos componentes naturais, se enquadre em classes diferentes. A distribuição das classes na área pode ser observada na Figura 7.

### Carta de Suscetibilidade gerada com os pesos de Mauro (2001)

A carta de suscetibilidade gerada (Figura 8) a partir dos pesos propostos por Mauro (2001) também mostrou predominância das classes baixa e média suscetibilidade, e produziu um resultado muito semelhante à carta gerada com pesos iguais.

Isso se deve ao fato que para Mauro (2001) o resultado "suscetibilidade alta" só ocorre quando há a combinação de pelos menos três dos cinco atributos pertencentes à classe "alta suscetibilidade", como se pode verificar da rotina em LEGAL usada para geração desta carta.

Mesmo assim, a quantidade de áreas definidas como de alta suscetibilidade é maior que no caso anterior e corresponde

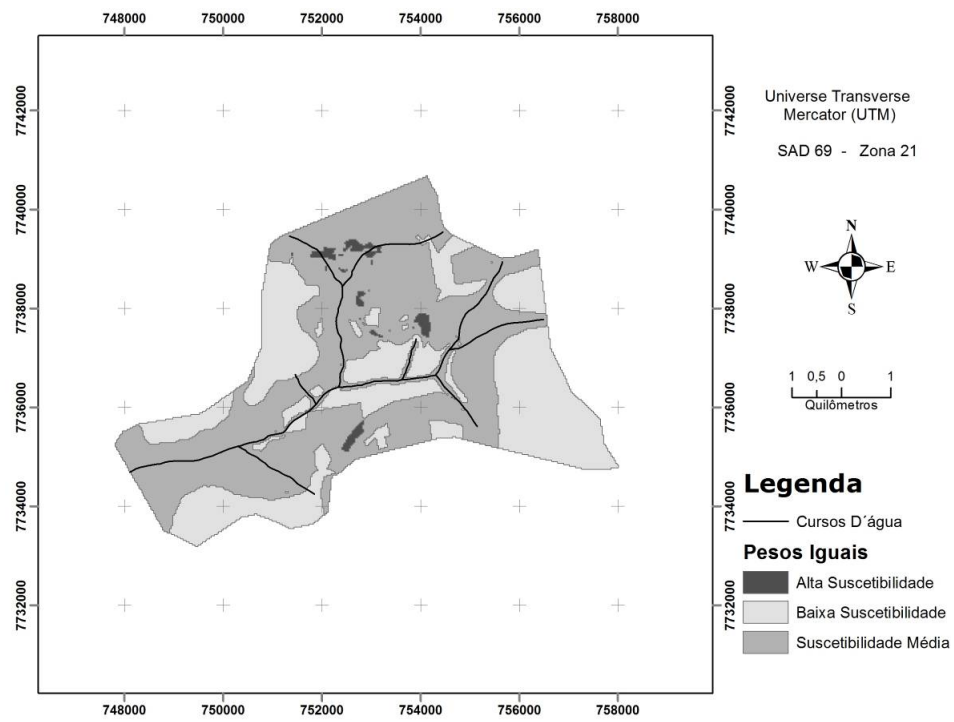


Figura 7. Carta de Suscetibilidade gerada com pesos iguais.

Figure 7. Equal weights susceptibility chart for Prosa Basin

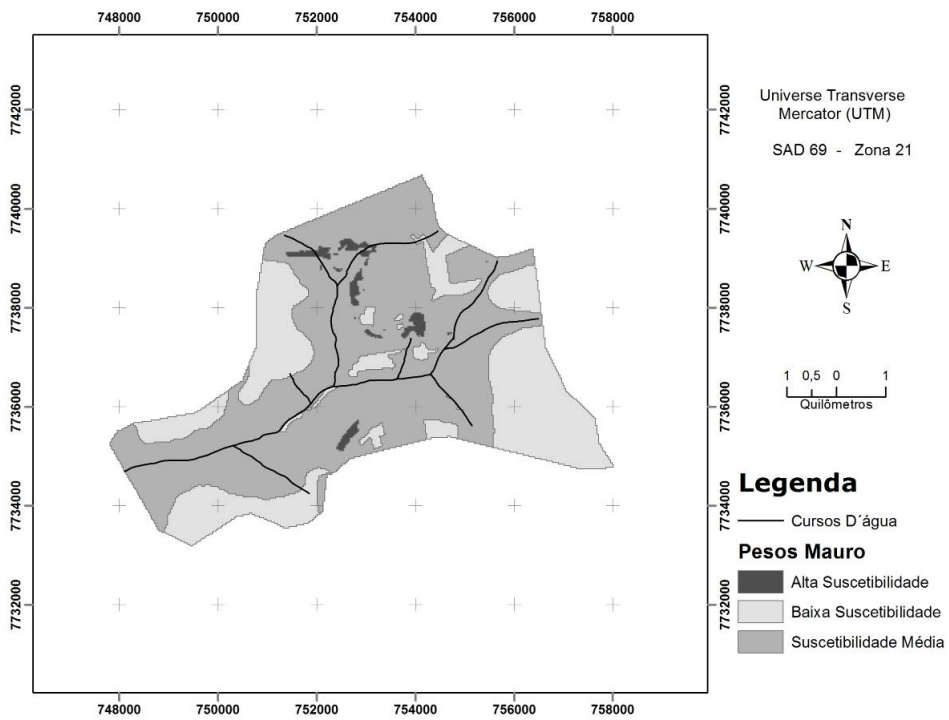


Figura 8. Carta de Suscetibilidade gerada com os pesos de Mauro (2001).

Figure 8. Mauro's weights susceptibility chart for Prosa Basin.

principalmente às parcelas da Bacia do Prosa nas quais se tem a combinação dos atributos landform e declividade com alta suscetibilidade, estando estes combinados a solo ou ocupação e uso do solo com alta suscetibilidade.

Da mesma forma que no caso anterior, os limites numéricos rígidos para as classes resultam pouca eficácia na distinção de baixa e média suscetibilidade em alguns casos.

**Carta de Suscetibilidade gerada com os pesos da literatura**

Neste caso foram atribuídos pesos encontrados na literatura para áreas de bacias sedimentares, uma vez que parte da literatura discute pesos para áreas de rochas cristalinas, os quais não são adequados à realidade de Bacia do Prosa.

A literatura consultada mostra uma

predominância da importância dos atributos declividade e solos. Sendo assim, estes atributos tiveram peso mais significativo nesta análise.

As parcelas da área com declividade considerada média e alta para suscetibilidade a erosão se combinaram com áreas de solos podzolizados e depósitos aluviais, resultando maiores parcelas da área com alta suscetibilidade, ficando a ocupação do solo com importância secundária no processo.

Para os landforms, a classe alta suscetibilidade se restringiu às porções de várzea e fundos de vales, enquanto as cabeceiras de drenagem e encostas convexas resultaram porções com média e baixa suscetibilidade.

Em termos gerais, esta carta apresenta um aumento significativo das áreas consideradas de alta suscetibilidade, especialmente nos fundos de vale, onde ocorrem as areias quartzosas (Figura 9).

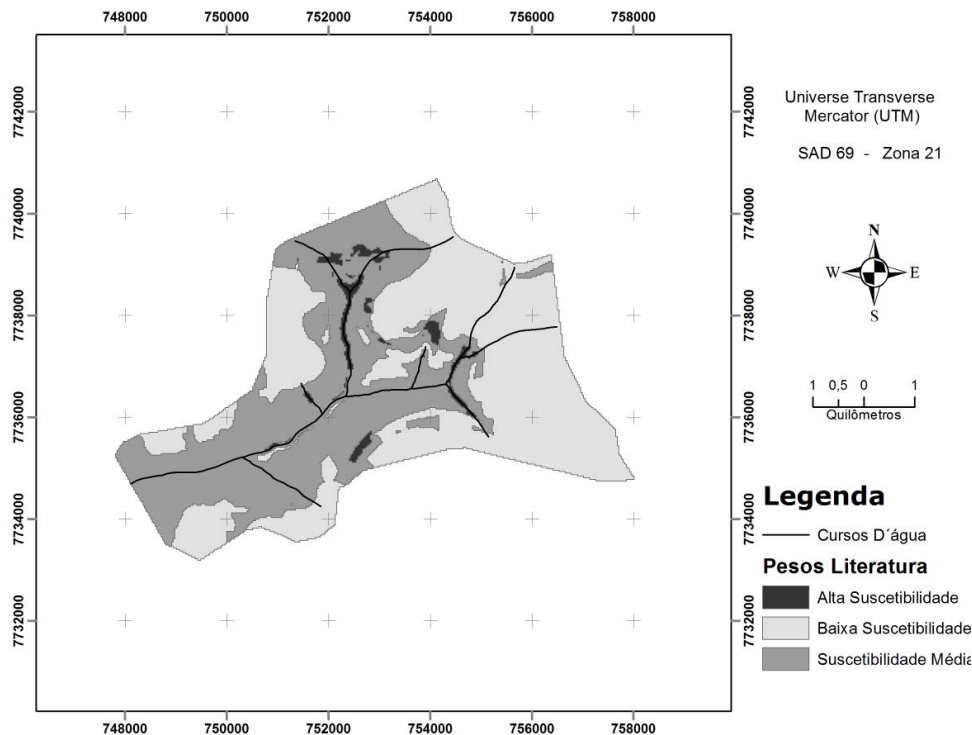


Figura 9. Carta de Suscetibilidade gerada com os pesos da literatura.

Figure 9. Weight susceptibility chart for Prosa Basin in the literature

### Carta de Suscetibilidade gerada com os pesos da AHP

Os pesos utilizados neste caso foram definidos com base em uma matriz de preferências proposta a partir do conhecimento dos atributos considerados e de sua variação na bacia.

A distribuição percentual entre as parcelas com diferentes classes de suscetibilidade foi mais equilibrada, havendo um maior número de parcelas do terreno na classe alta suscetibilidade, o que seria de se esperar já que a técnica aplicada neste caso prioriza um número menor de atributos.

Ao contrário das demais alternativas, nas quais era necessário que três ou mais atributos se enquadrassem na classe alta suscetibilidade para que aquela porção do terreno fosse classificada como tal. Neste caso, a importância relativa dos atributos landform (0.50) e declividade (0.29), fez com que as porções do terreno que apresentem estes dois atributos como alta suscetibilidade, resultassem áreas da bacia

classificadas como de suscetibilidade alta a erosão.

Assim, como se observa na Figura 10, parcelas classificadas como alta suscetibilidade localizam-se nas áreas com maiores declividades e nos landforms porções de várzea e fundos de vales, encostas convexas e cabeceiras de drenagem.

Este resultado concorda com a visão de Mauro (2001) que estudou a área anteriormente e concluiu que os atributos landform e declividade tinham grande importância no processo erosivo, especialmente no que diz respeito ao desenvolvimento de processos erosivos acelerados (voçorocas) identificados pelo autor nestas áreas.

Deve-se observar que o aumento do percentual de áreas com alta suscetibilidade pode ser consequência de uma definição mais apropriada dos limites entre as classes, em contraposição às outras técnicas nas quais os limites numéricos eram mais rígidos e baseados em valores inteiros.

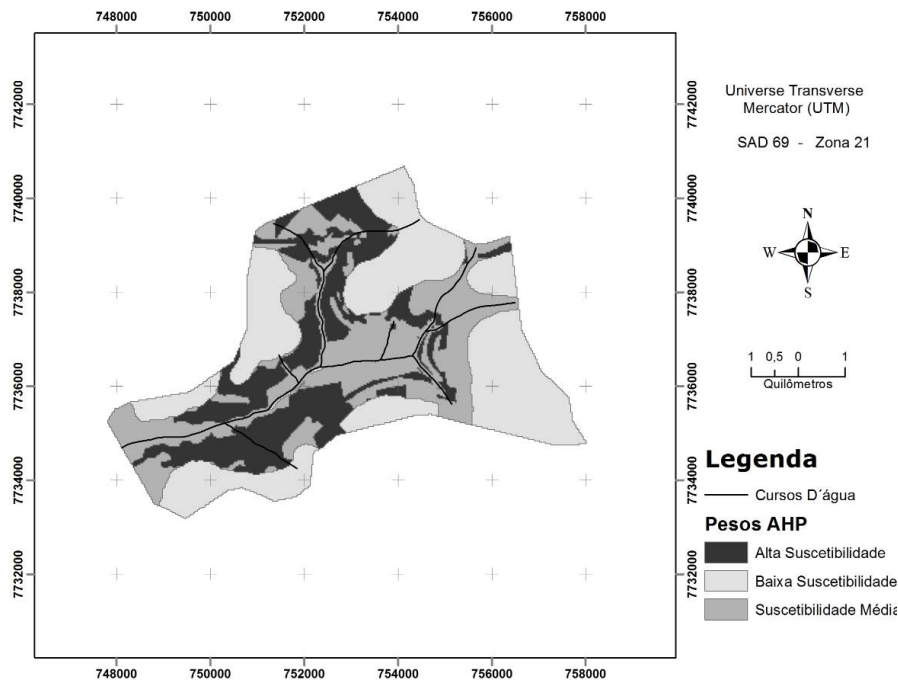


Figura 10. Carta de Suscetibilidade gerada com os pesos da AHP.

Figure 10. AHP weights susceptibility chart for Prosa Basin.

Outro aspecto interessante quanto aos resultados obtidos diz respeito às áreas definidas como de baixa suscetibilidade, as quais se concentraram nas porções mais elevadas da Bacia do Prosa, onde o relevo apresenta formas menos íngremes, solos menos erodíveis, e com menores índices de ocupação, o que por si só já indicaria áreas com menor potencial de desenvolvimento de processos erosivos. É importante ressaltar que tal fato pode ser observado para as quatro alternativas de análise consideradas.

Também é importante destacar que as áreas com média suscetibilidade reúnem combinações de atributos (especialmente declividade, landform e solos) que resultariam em suscetibilidade média à erosão qualquer que fosse a técnica utilizada, como mostra a literatura.

No caso em estudo a importância relativa da ocupação e uso do solo foi considerada secundária por se tratar de uma área que na época do trabalho de Mauro (2001) já se encontrava bastante ocupada por atividades urbanas, no entanto, levantamentos efetuados durante este trabalho mostraram que áreas de média e alta suscetibilidade a erosão aqui definidas tiveram sua ocupação intensificada de tal forma que houve a remoção de toda a cobertura vegetal, razão pela qual tal fator não foi considerado.

Enfim, em termos de cartografia de suscetibilidade a erosão, as alternativas consideradas mostram diferença significativa no percentual de áreas definidas como alta suscetibilidade, as quais são exatamente as áreas mais críticas e de maior importância em termos de medidas a serem adotadas.

Neste sentido, se pode considerar que técnicas que resultaram maior percentual de áreas enquadradas na classe "alta suscetibilidade" (como AHP) seriam mais úteis para propostas de planejamento do uso do solo, uma vez que permitem maior abrangência espacial das medidas de proteção ao solo, enquanto técnicas que

resultam menores porções da bacia como alta suscetibilidade seriam mais indicadas para indicar pontos de intervenção mais emergencial, por reunirem condições desfavoráveis em termos de vários atributos.

Além disso, a adoção da técnica AHP, por valorizar mais atributos que descrevem o relevo da área, destaca mais apropriadamente as porções da bacia mais sujeitas a processos dinâmicos (especialmente escoamento superficial) que podem resultar em maior degradação por erosão.

Desta forma, o uso da AHP poderia indicar áreas com maior potencial de desenvolvimento de processos erosivos sem a necessidade de larga aplicação de recursos financeiros (como realização de ensaios em solos, por exemplo), uma vez que permitiria o zoneamento preliminar da bacia baseada em técnicas de sensoriamento remoto.

É importante ressaltar ainda que os valores numéricos adotados neste trabalho não devem ser simplesmente aplicados em outras áreas ou bacias hidrográficas sem uma análise cuidadosa da importância de cada atributo no processo.

A Tabela 3 demonstra as porcentagens de ocupação da área para Baixa, média e alta suscetibilidade de cada alternativa de geração de cartas de suscetibilidade a erosão, demonstrando as diferenças em porcentagens entre elas.

## CONCLUSÕES

A Bacia do Prosa reúne condições naturais que favorecem o desenvolvimento de processos erosivos em seu interior. O avanço da ocupação do solo na bacia tende a potencializar tais processos, dado o desrespeito às condições naturais.

Método usado	Porcentagem da área da bacia - Suscetibilidade		
	Baixa	Média	Alta
Pesos Iguais	38%	58%	4%
Mauro (2001)	31%	63%	6%
Literatura	45%	47%	8%
AHP	36%	34%	30%

**Tabela 3.** Percentuais das classes de suscetibilidade à erosão *versus* técnica adotada.

**Table 3.** Percentages of susceptibility classes for adopted approaches

O uso de pesos iguais limita muito a porção do terreno classificada como de alta suscetibilidade, pois exige a combinação de vários atributos com alta suscetibilidade, além de tornar menos precisa a delimitação entre as classes de média e baixa suscetibilidade.

Com a adoção da escala de pesos proposta por Mauro (2001) tal situação se repete, porém em menor escala, pois neste caso há a combinação de três atributos com alta suscetibilidade.

O uso de pesos comuns na literatura para áreas na Bacia do Paraná torna mais confiável a definição dos limites entre as classes de baixa e média suscetibilidade a erosão.

O uso da AHP resulta num zoneamento de suscetibilidade à erosão mais propício para planejamento de uso e ocupação do solo, porque valoriza mais as condições naturais da bacia.

O uso do SPRING para desenvolvimento de trabalhos desta natureza é interessante uma vez que se trata de sistema totalmente

desenvolvido e com suporte e tutoriais em língua portuguesa e disponibilizado gratuitamente, argumentos que justificam sua escolha por órgãos públicos. Para a área estudada se verifica que as diferentes técnicas analisadas podem ser usadas em conjunto ou em etapas diferentes de estudo, sendo a AHP mais apropriada para prevenção à implantação do processo erosivo e à definição de parcelas do terreno mais vulneráveis ao processo enquanto a definição de pesos pode ser usada como critério seletivo para alocação de recursos em obras emergenciais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bitar OY. 2001. Instrumentos de Gestão Ambiental aplicáveis ao planejamento, instalação, operação e desativação de empreendimentos. *Simpósio sobre gestão ambiental*, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, São Paulo, Brasil. Vol. 1: 121-129
- Camara G, Souza RCM, Freitas UM & Garrido J. 1996. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modeling. *Computers & Graphics*, 20: 395-403
- Canil K. 2000. *Processos Erosivos e Planejamento Urbano: Carta de Risco de Erosão do município de Franca, SP*. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, USP: 152 p
- Ferreira MD & Pejon OJ. 2007. Processos erosivos acelerados: comportamento temporal e espacial de voçoroca. *Geotecnica*, 110: 101-119
- Gupta A & Ahmad R. 1996. Urban steplands in tropics: an environment of accelerated erosion. *GeoJournal*, 49: 143-150
- He X, Zhou J, Zhang X & Tang K. 2006. Soil erosion response to climatic change and human activity during the Quaternary of the Loess Plateau, China. *Regional Environment Change*, 6: 62-70
- Kemp K. 1992. *Environmental Modeling with GIS: A Strategy for Dealing with Spatial Continuity*. Ph. D. Thesis, Department of Geography, University of California, Santa Barbara: 312 p
- Mauro JM. 2001. *Carta de suscetibilidade à erosão para a bacia do prosa, Campo Grande - MS*. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, UNESP: 91 p
- MOPT. 1992. *Guia para la elaboración de estudios del medio físico*. Ministerio de Obras Públicas y Transportes. Centro de Estudios de Ordenación del Territorio y Medio Ambiente. Gobierno de España: 809 p
- Nishiyama L. 1998. *Procedimentos de mapeamento geotécnico como base para análises e avaliações ambientais do meio, em escala 1:100.000: aplicação no município de Uberlândia - MG*. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, USP: 180 p

- Pimentel D. 2006. Soil erosion: a food and environmental threat. *Environment, Development and Sustainability*, 8: 119–137
- Planurb. 1997. *Diagnóstico de Erosão da cidade de Campo Grande*. Instituto Municipal de Planejamento Urbano e de Meio Ambiente. 1 ed, Campo Grande, Brasil: 103 p
- Pons NAD, Pejon OJ, & Zuquette LV. 2007. Use of Geprocessing in the study of land degradation in urban environments: the case of the city of São Carlos, state of São Paulo, Brazil. *Environmental Geology*, 53: 727–739
- Ridente Júnior JL. 2000. *Prevenção e controle de erosão urbana: bacia do córrego do Cedro e bacia do córrego do Limoeiro, municípios de Presidente Prudente e Álvares Machado, SP*. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências e Ciências Exatas de Rio Claro, UNESP: 143 p
- Saaty TL. 1990. How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*, 48: 9-26
- Silveira LLL & Pejon OJ. 2007. Index properties to predict erodibility of tropical soil. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 66: 225–236
- Zuquette LV & Gandolfi N. 2004. *Cartografia Geotécnica*. Oficina de Textos. 190 p