

PROCESSO ANALÍTICO HIERÁRQUICO APLICADO A VULNERABILIDADE NATURAL A EROSÃO

Paulo Tarso Sanches de OLIVEIRA ¹, Dulce Buchala Bicca RODRIGUES ¹,
Teodorico ALVES SOBRINHO ¹, Elói PANACHUKI ²

(1) Departamento de Hidráulica e Transportes, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul / UFMS
– Cidade Universitária. Caixa Postal 549. CEP 79070-900. Campo Grande, MS.

Endereços eletrônicos: paulotarsoms@gmail.com; dulcebbr@gmail.com; talves@ufms.br

(2) Departamento de Ciência do Solo, Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul / UEMS. Caixa Postal 25.
CEP 79200-000. Aquidauana, MS. Endereço eletrônico: eloip@uems.br

Introdução
Materiais e Métodos
Área em Estudo
Obtenção e Processamento dos Dados
Método de Crepani
Método AHP
Interpretação dos Valores de VNE
Resultados e Discussões
Conclusões
Referências Bibliográficas

RESUMO – O método Analytic Hierarchy Process (AHP) permite a ponderação de diversos fatores envolvidos em processos de diagnósticos e tomadas de decisão, auxiliando a integração objetiva de dados indicadores. Deste modo, objetivou-se avaliar a utilização do método AHP na obtenção da Vulnerabilidade Natural a Erosão (VNE) para bacias hidrográficas, com base no método inicialmente proposto por Crepani. Para tanto, utilizou-se planos de informação referentes à geologia, geomorfologia, pedologia e vegetação. Esses foram convertidos para uma escala de 0 a 1 por meio de lógica *fuzzy*, em seguida, comparados e hierarquizados no *software* SPRING, conforme a influência de cada um no processo erosivo. Verificou-se que o método AHP promoveu a classificação de maior percentual da área em maiores níveis de vulnerabilidade em relação ao método de Crepani. Em ambos os métodos a região norte da bacia apresentou maior vulnerabilidade, com predominância da classe moderadamente vulnerável. Assim, a aplicação do método AHP na determinação de VNE mostra-se uma ferramenta viável para adequação dos fatores intervenientes nos processos erosivos locais.

Palavras-chave: integração de indicadores, ponderação de fatores, planejamento ambiental.

ABSTRACT – *P.T.S. Oliveira, D.B.B. Rodrigues, T. Alves Sobrinho, E. Panachuki. Analytical hierarchical process applied to Natural Erosion Vulnerability.* The Analytic Hierarchy Process (AHP) method allows the consideration of several factors involved in diagnostic and decision making, helping the objective integration of indicators. Thus, this study evaluated the use of AHP in obtaining Natural Erosion Vulnerability of basins, based original method of Crepani. For this, the values grid of the information plans about geology, geomorphology, pedology and vegetation was converted to a scale from 0 to 1 by fuzzy logic function, then these plans were compared and hierarchized in the SPRING software. The AHP method promoted the highest percentage of the area with higher levels of vulnerability in relation to the original method of Crepani. In both methods the north region of the basin showed higher vulnerability, with predominance of class moderately vulnerable. Thus, the application of AHP in determining Natural Erosion Vulnerability is a viable tool for adequacy of the factors involved in the local erosion.

Keywords: indicators integrating, weight of factors, environmental planning.

INTRODUÇÃO

A erosão hídrica é caracterizada como uma das significativas formas de degradação ambiental, sendo influenciada por diversos fatores, tais como: característica do solo; topografia; uso e ocupação do solo e clima. De acordo com Vente et al. (2008), os processos naturais de erosão do solo são acelerados, atualmente, pelo uso inadequado e em virtude das mudanças climáticas.

Pandey et al. (2007) descreve a necessidade de priorizar a conservação dos recursos do solo promovendo sua utilização de maneira adequada. Assim, para alcançar tal objetivo o planejamento, a conservação e o gerenciamento de bacias hidrográficas são vitais. Na realização e execução dessas etapas é fundamental identificação de características específicas de cada localidade, haja vista a diversidade de fatores que

desencadeiam os processos erosivos. Segundo Santos et al. (2007), a eficiência da gestão ambiental de um território depende de levantamentos e estudos sistemáticos prévios sobre os principais elementos e condicionantes do meio físico.

Uma das formas de desenvolver o planejamento ambiental é a divisão de uma área em zonas de ocupação do solo, baseados no conhecimento das áreas críticas ou vulneráveis ambientalmente. Lee (2004) conclui que os principais fatores associados à perda de solo podem ser utilizados no planejamento de conservação do solo, permitindo o isolamento e descrição de áreas vulneráveis a erosão, bem como a determinação de medidas imediatas de conservação em locais específicos. Neste sentido, diversos estudos foram desenvolvidos com intuito de auxiliar na identificação de áreas vulneráveis a erosão como forma de subsidiar o planejamento ambiental (Crepani et al., 2001; Grigio et al., 2006; Silva et al., 2007; Tomazoni & Guimarães, 2007). Esses trabalhos possuem em comum a utilização de dados integrados em Sistema de Informações Geográficas (SIG) que segundo Wang et al. (2008) é uma ferramenta útil e eficaz na avaliação da vulnerabilidade, pois múltiplas camadas de informações podem ser integradas e processadas.

Crepani et al. (2001) com intuito de subsidiar o Zoneamento Ecológico Econômico da Amazônia, propôs uma metodologia para elaboração de mapas de Vulnerabilidade Natural à Erosão (VNE) baseado no conceito de Ecodinâmica de Tricart (1977). Essa metodologia é estabelecida por meio de uma escala de valores relativos e empíricos de acordo com a relação morfogênese e pedogênese. Assim, cada tema é estudado individualmente e posteriormente integrado em ambiente SIG, no qual, os valores de vulnerabilidade são

obtidos por meio da média ponderada. Atualmente, essa metodologia é empregada de forma satisfatória em diversas regiões do Brasil (Silva & Maniesi, 2005; Ribeiro & Campos, 2007; Cunico & Oka-Fiori, 2008).

Grigio et al. (2006) na tentativa de melhor representar as características físicas da área em estudo, aplicaram o método da ponderação de fatores, que possibilita a compensação de fatores através de um conjunto de pesos que indicam a importância relativa de cada fator. Wang et al. (2008) propuseram um índice de vulnerabilidade que usa processo de ponderação, no entanto, esse é realizado por meio de Processo Analítico Hierárquico (AHP) desenvolvido por Saaty (1977). O método AHP tem ganho cada vez mais aceitação mundial como um dos mais poderosos métodos de tomada de decisão (Vaidya & Kumar, 2006; Raharjo et al., 2009).

A utilização de ferramentas de suporte a decisão como AHP ajudam a organizar e estabelecer um modelo racional de combinação de dados. Assim, tal técnica vem sendo aplicada com êxito em estudos de vulnerabilidade a erosão (Bantaya & Bishop, 1998; Dai et al., 2001; Wu & Wang, 2007; Ni et al., 2008). De acordo com Miara & Oka-Fiori (2007) o método AHP é eficiente por aplicar uma comparação par a par entre as variáveis, considerando assim as diferentes influências exercidas por cada variável física aos processos erosivos dentro da bacia. Para análises de cunho ambiental, o método apresenta desempenho favorável por essa possibilidade de congregação dentro de uma única avaliação um grande número de variáveis.

Deste modo, objetivou-se avaliar a utilização do método AHP para ponderação de fatores aplicados na obtenção da VNE em bacias hidrográficas, comparando-o com o método original de Crepani et al. (2001).

MATERIAIS E MÉTODOS

ÁREA EM ESTUDO

O estudo foi realizado tomando-se por base a bacia hidrográfica do Ribeirão Salobra, com área aproximada de 540 km², localizada entre as coordenadas de latitudes 20° 12' S a 20° 28' S e longitude 54° 55' W a 55° 16' W. A bacia hidrográfica em estudo faz parte da sub-bacia do Rio Miranda pertencente à Bacia do Alto Paraguai (BAP) (Figura 1). A altitude na bacia varia de 200 a 400 m e a declividade média é de aproximadamente 2%.

A área está localizada no contexto da Serra de Maracaju e possui rochas pertencentes ao grupo São Bento (Formações Botucatu e Serra Geral do período cretáceo), além das unidades cenozóicas na forma de aluviões e coluviões.

A bacia hidrográfica do Ribeirão Salobra faz parte da Unidade Geomorfológica do Planalto de Maracaju/Campo Grande. Apresenta as seguintes unidades geomorfológicas: superfície pediplanada sobre os arenitos, no sudoeste da área, formado sobre os arenitos da formação Botucatu; formas tabulares, com ordem de grandeza das formas de dissecação muito fraca e, relevo plano, predominante na área, formado sobre os arenitos da formação Botucatu; e, formas de relevos convexas, com ordem de grandeza das formas de dissecação muito fracas e, relevo de topo convexo, formado sobre os basaltos da formação Serra Geral, no leste da área (Brasil, 1982).

As classes de solo que predominantes na bacia do Ribeirão Salobra são: Neossolo Quartzarênico Alíco

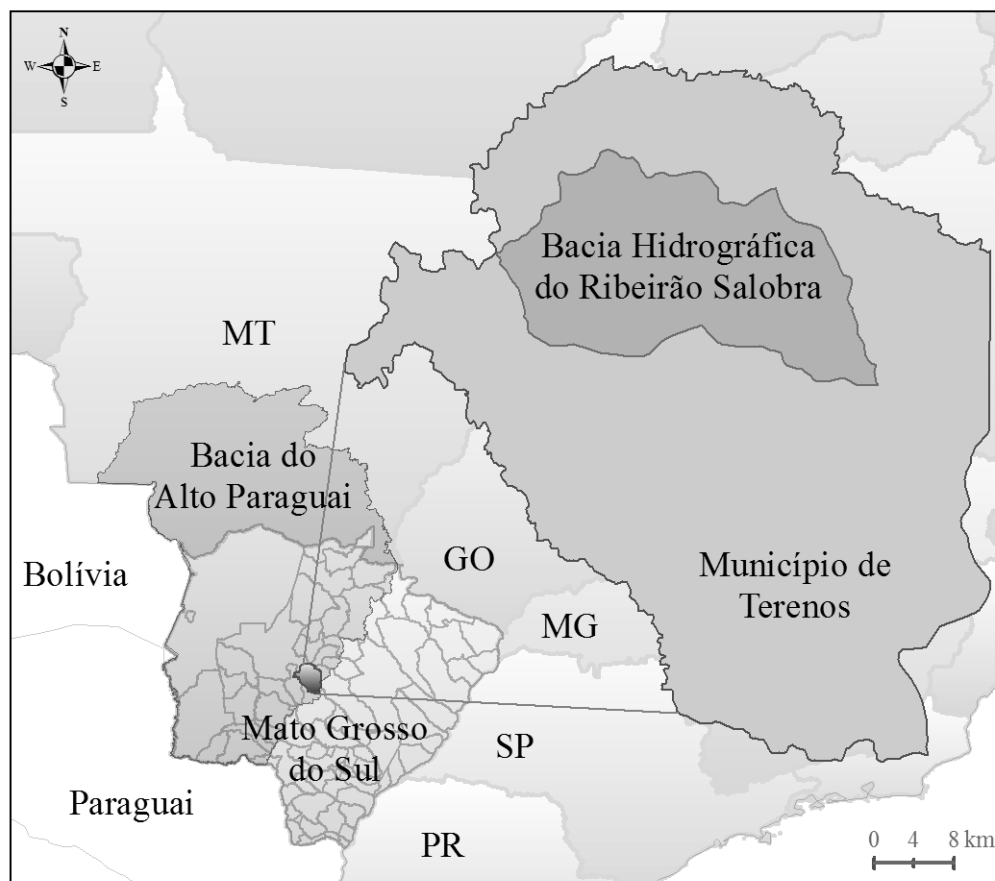


FIGURA 1. Localização da área em estudo.

(48%); Latossolo Vermelho Escuro Álico (33%); Latossolo Rocho Distrófico (15%); e, Gleissolo Pouco Úmido Distrófico Tb (4%) (PCBAP, 1997).

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, situa-se na faixa de transição entre o clima Cfa mesotérmico úmido sem estiagem e Aw tropical úmido, com estação chuvosa no verão e seca no inverno. A temperatura média do mês mais quente é superior a 22 °C, apresentando no mês mais seco precipitação superior a 30 mm (Mato Grosso do Sul, 2009).

OBTENÇÃO E PROCESSAMENTO DOS DADOS

Na realização deste estudo utilizou-se como base as informações temáticas na escala 1:250.000, que compõem o Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai (PCBAP), sendo: geologia, geomorfologia, pedologia e vegetação (PCBAP, 1997). Esses dados, que se encontram disponíveis em formato shapefile (MMA, 2009), foram integrados e processados no SIG SPRING 4.3.3 (Câmara et al., 1996), para o cálculo da VNE. Na Figura 2 são representadas as informações utilizadas neste estudo.

A valoração das características da área de estudo foram realizadas conforme o balanço entre a propen-

são aos processos de morfogênese (processos erosivos de modificação da paisagem) e de pedogênese (Tabela 1).

Os dados de geologia, geomorfologia, pedologia e vegetação foram classificados em uma escala de 1,0 a 3,0 em função das condições predominantes de pedogênese ou morfogênese. Para situações de predomínio de pedogênese foram atribuídos valores próximos de 1,0, em situações intermediárias atribuiu-se valores em torno de 2,0 e em situações de predomínio da morfogênese foram atribuídos valores próximos de 3,0.

TABELA 1. Estabilidade das categorias morfodinâmicas.

Categoria Morfodinâmica	Relação Pedogênese/Morfogênese	Valor
Estável	Prevalece a Pedogênese	1,0
Intermediária	Equilíbrio Pedogênese/Morfogênese	2,0
Instável	Prevalece a Morfogênese	3,0

Fonte: Crepani et al. (2001)

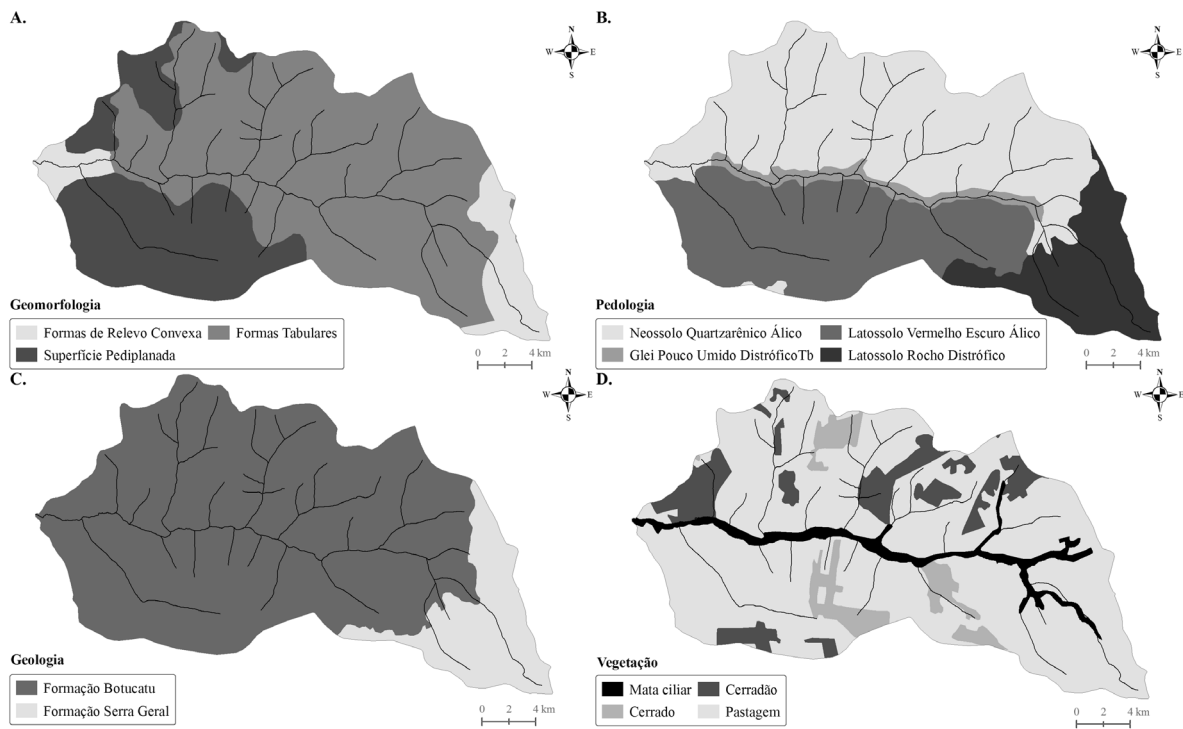


FIGURA 2. Informações utilizadas no cálculo da VNE.

MÉTODO DE CREPANI

A geração dos valores de VNE foi realizada por meio da média aritmética dos planos de informação da bacia do Ribeirão Salobra, em ambiente SIG (Equação 1).

$$VNE = (G + R + S + Vg)/4 \quad (1)$$

em que: VNE = vulnerabilidade natural a erosão; G = vulnerabilidade para o tema geologia; R = vulnerabilidade para o tema geomorfologia; S = vulnerabilidade para o tema pedologia; e, Vg = vulnerabilidade para o tema vegetação.

Este método considera a similaridade de influencia dos diversos fatores envolvidos na VNE.

MÉTODO AHP

Com intuito de estabelecer a importância relativa de cada fator no processo erosivo local, o método AHP foi utilizado para hierarquização das variáveis envolvidas. Para tanto, o software SPRING requer valores normalizados em escala de 0 a 1. Então, os valores obtidos a partir classificação recomendada por Crepani et al. (2001), na Tabela 1, foram convertidos para escala de 0 a 1 por meio de lógica fuzzy utilizando função sigmoidal crescente (Equações 2, 3 e 4).

$$\mu(x) = 0 \text{ se } x < a \quad (2)$$

$$\mu(x) = \cos^2 \alpha \text{ e } \alpha = (1 - (x - a)/(b - a)) \cdot \pi/2 \text{ se } x \geq a \text{ e } x \leq b \quad (3)$$

$$\mu(x) = 1 \text{ se } x > b \quad (4)$$

em que: a, b, c e d são parâmetros ou valores modais da função e $\mu(x)$ é o grau de pertinência. Aos parâmetro b, c e d foi atribuído o valor 3.0 (limite superior) e o parâmetro a foi definido pelo 1.0 (limite inferior) (Figura 3).

No método AHP os diferentes fatores que influenciam a tomada de decisão são comparados dois a dois, na mesma ordem de importância estabelecida por Crepani et al. (2001), conforme escala pré-definida (Tabela 2).

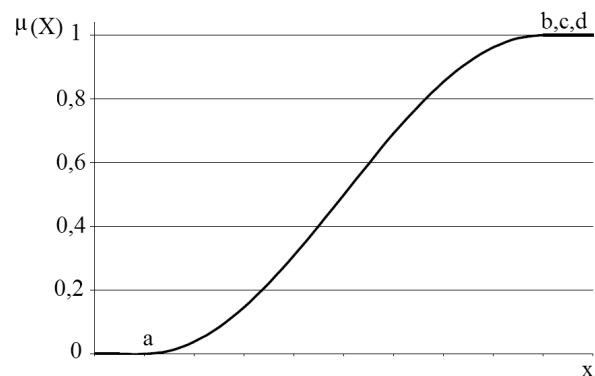


FIGURA 3. Função sigmoidal crescente.

TABELA 2. Escala de Valores AHP para Comparação Pareada.

Grau de importância	Definição e Explicação
1	Importância igual. Os dois fatores contribuem igualmente
3	Importância moderada. Um fator é ligeiramente mais importante que o outro
5	Importância essencial. Um fator é fortemente mais importante que o outro
7	Importância demonstrada. Um fator é fortemente favorecido e sua maior relevância é demonstrada na prática
9	Importância extrema. A evidência que diferencia os fatores é da maior ordem possível
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre julgamentos

Fonte: Adaptado de Saaty (1980).

Variáveis de maior importância transmitem sua influência para as variáveis menos importantes, em níveis hierárquicos mais baixos, que por sua vez contribuem também com a funcionalidade e coerência nos níveis superiores (Saaty, 1986; Barros et al., 2007). De acordo com Barros et al. (2007), para a obtenção do modelo hierárquico, constroem-se matrizes quadradas recíprocas positivas, cuja ordem será igual ao número de alternativas. Posteriormente, para cada critério ou sub-critério faz-se o mesmo, progressivamente. Essas comparações por pares fornecem pesos para cada alternativa, dentro de cada critério ou sub-critério, após comparações recíprocas. Esses pesos

são obtidos por meio do cálculo do autovetor principal de cada matriz quadrada. Ao final do processo, esses pesos geram uma função de agregação aditiva, na qual, para cada alternativa específica, atribuiu-se um valor final que possibilitou a ordenação global de todas as alternativas.

A partir da escolha dos critérios para comparação e do estabelecimento da importância relativa de cada plano de informação, o modelo AHP informa uma razão de consistência (CR). Essa é utilizada para determinar o grau de coerência, ou seja, indica a probabilidade de que as comparações tenham sido geradas aleatoriamente (Alphonse, 1997; Dai et al., 2001). A razão de consistência deve ser inferior a 0,10, e, quando ocorrem valores superiores a esse é necessária a realização de revisões nas comparações realizadas (Saaty, 1977). Neste estudo, a CR obtida foi de 0,009, atestando assim a coerência na hierarquização dos dados.

Os pesos resultantes da matriz, que correlaciona os graus de importância de cada plano de informação estudado, são multiplicados por esses conforme apresentado na Equação 5.

$$V = p_1 * G + p_2 * R + p_3 * S + p_4 * Vg \quad (5)$$

em que: VNE = vulnerabilidade natural a erosão; G = geologia; R = geomorfologia; S = pedologia; e, Vg = vegetação; p_i = peso de cada variável.

INTERPRETAÇÃO DOS VALORES DE VNE

Após a integração dos dados indicadores da VNE pelos métodos de Crepani et al. (2001) e AHP, os valores de VNE foram interpretados conforme a escala de vulnerabilidade exposta na Tabela 3.

TABELA 3. Escala de Vulnerabilidade.

Vulnerabilidade	Intervalo Crepani et al. (2001)	Intervalo Fuzzy
Estável	1,00 – 1,35	0,00 – 0,07
Moderadamente Estável	1,35 – 1,75	0,07 – 0,31
Mediamente Estável / Vulnerável	1,75 – 2,25	0,31 – 0,69
Moderadamente Vulnerável	2,25 – 2,65	0,69 – 0,93
Vulnerável	2,65 – 3,00	0,93 – 1,00

Fonte: Adaptado de Crepani et al. (2001).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores resultantes dos fatores que compõe a VNE e seus respectivos pesos relativos estão apresentados na Tabela 4.

Em ambos os métodos a porção mais vulnerável, classificada como moderadamente vulnerável, está localizada na região norte da bacia (Figura 4). Além

disso, predomina a classe de vulnerabilidade moderadamente estável, abrangendo aproximadamente 51% da área, segundo o método de Crepani et al. (2001), e 60%, de acordo com o método AHP.

Verifica-se que o método AHP promoveu a classificação de maior percentual da área em maiores níveis de vulnerabilidade em relação ao método de Crepani et al. (2001), tendo-se uma abrangência 80% menor em relação à da classe moderadamente estável (Tabela 5). A variação da abrangência das demais classes foi de 16% (moderadamente estável vulnerável) e de 2% (moderadamente vulnerável).

Nota-se, portanto, uma diferença significativa na classificação de VNE da área de estudo, de modo que o método objetivo de hierarquização dos fatores que

compõe a VNE pode ser considerado uma boa alternativa ao método de Crepani et al. (2001). Haja vista que os fatores ambientais desempenham diferentes funções na denudação da paisagem. Assim, as vantagens evidentes do método AHP são a menor subjetividade na determinação de pesos relativos e a possibilidade de analisar o grau de coerência adotado pelo usuário, a partir da razão de consistência obtida.

O método AHP permite a adequação dos fatores da VNE conforme as peculiaridades de cada local, pois é definida a hierarquia dos fatores que ocasionam a erosão hídrica na área de estudo. Portanto, os dados de VNE tornam-se mais eficientes como subsídio ao planejamento e programa de ações de conservação em bacias hidrográficas.

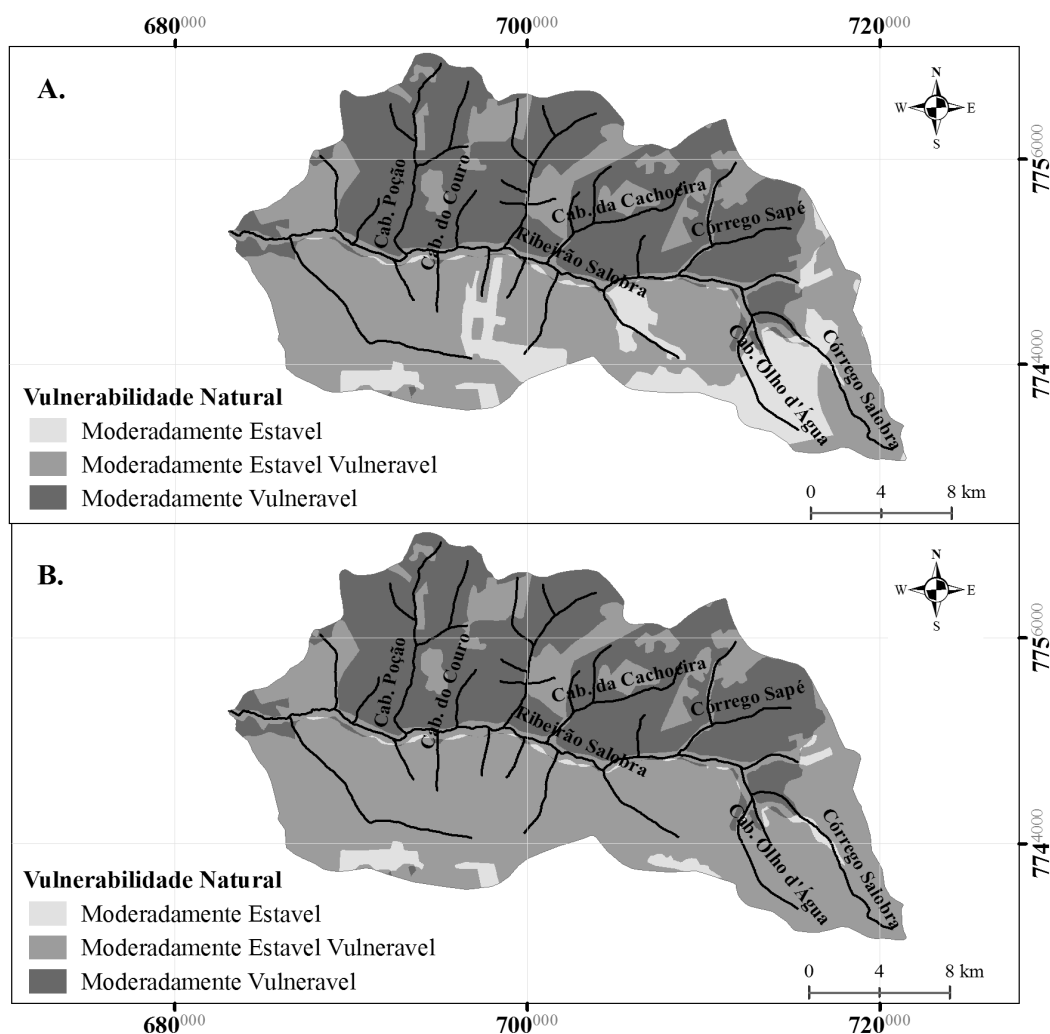


FIGURA 4. Mapa de VNE. A. Método Crepani et al. (2001); B. Método AHP.

TABELA 4. Valores resultantes dos fatores que compõe a VNE.

Plano de informação	Classes	Valoração (Crepani et al., 2001)	Valores normalizados (Lógica fuzzy)	Peso Método AHP
Geologia	Formação Botucatu	2,80	0,98	0.149
	Formação Serra Geral	2,00	0,50	
Pedologia	Areia Quartzosas Álicas	3,00	1,00	0.296
	Latossolo Vermelho Escuro Álico	1,10	0,01	
	Latossolo Rocho Distrófico	1,10	0,01	
	Glei Pouco humico distrofico tb	3,00	1,00	
Geomorfologia	Superfície pediplanada	1,10	0,01	0.071
	Formas tabulares	1,10	0,01	
	Formas convexas	1,50	0,15	
Vegetação	Mata ciliar	1,40	0,10	0.484
	Cerradão	1,40	0,10	
	Cerrado	1,90	0,42	
	Pastagem	2,60	0,90	

TABELA 5. Vulnerabilidade natural a erosão.

Classes	Crepani et al. (2001) (km ²)	Fuzzy/AHP (km ²)
Moderadamente Estável	68	14
Moderadamente Estável Vulnerável	276	326
Moderadamente Vulnerável	196	200

CONCLUSÕES

A utilização do método AHP na obtenção da vulnerabilidade natural a erosão mostra-se adequada, apresentando vantagens, como a hierarquização dos principais fatores que ocasionam a erosão hídrica. Além disso, propicia menor subjetividade na determinação de pesos relativos e a possibilidade de analisar o grau de coerência adotado pelo usuário, a partir da razão de consistência obtida.

A aplicação do método AHP promoveu a classificação de maior percentual da área em maiores níveis de vulnerabilidade quando comparado ao método original de Crepani.

A bacia hidrográfica do Ribeirão Salobra apresenta predominância da classe moderadamente estável vulnerável, no entanto, a região norte é a mais vulnerável, com predominância da classe moderadamente vulnerável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALPHONCE, C.B. Application of the analytic hierarchy process in agriculture in developing countries. *Agricultural Systems*, v. 53, p. 97-112, 1997.
- BANTAYAN, N.C. & BISHOP, I.D. Linking objective and subjective modeling for landuse decision-making. *Landscape and Urban Planning*, v. 43, p. 35-48, 1998.
- BARROS, M.A.; MOREIRA, M.A.; RUDORFF, B.F.T. Processo analítico hierárquico na identificação de áreas favoráveis ao agroecossistema cafeeiro em escala municipal. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 42, n. 12, p. 1769-1777, 2007.
- BRASIL – Ministério das Minas e Energia. **Projeto RADAMBRASIL. Folha SF.21 Campo Grande: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra.** Rio de Janeiro: Levantamento de Recursos Naturais, 28, 412 p., 1982.
- CÂMARA, G.; SOUZA, R.C.M.; FREITAS, U.M.; GARRIDO, J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. *Computers & Graphics*, v. 20, n. 3, p. 395-403, 1996.
- CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T.G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C.C.F.

- Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial.** São José dos Campos: INPE, 124 p., 2001.
7. CUNICO, C. & OKA-FIORI, C. Zoneamento ambiental da bacia hidrográfica do rio Marumbi-PR: perspectivas para a análise e avaliação das condições sócio-ambientais. **Estudos Geográficos**, v. 6, n. 1, p. 37-61, 2008.
 8. DAI, F.C.; LEE, C.F.; ZHANG, X.H. GIS-based geo-environmental evaluation for urban land-use planning: a case study. **Engineering Geology**, v. 61, n. 4, p. 257-271, 2001.
 9. GRIGIO, A.M.; CASTRO, A.F.; SOUTO, M.V.S.; AMARO, V.E.; VITAL, H.; DIODATO, M.A. Use of Remote Sensing and Geographical Information System in the Determination of the Natural and Environmental Vulnerability of the Municipal District of Guamaré - Rio Grande do Norte - Northeast of Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 39, p. 1427-1431, 2006.
 10. LEE, S. Soil erosion assessment and its verification using the Universal Soil Loss Equation and Geographic Information System: a case study at Boun, Korea. **Environmental Geology**, v. 45, p. 457-465, 2004.
 11. MATO GROSSO DO SUL. **Zoneamento Ecológico-Econômico de Mato Grosso do Sul.** Contribuições técnicas, teóricas jurídicas e metodológicas, Campo Grande, v. 1, 128 p., 2009.
 12. MIARA, M.A. & OKA-FIORI, C. Análise por múltiplos critérios para a definição de níveis de fragilidade ambiental – um estudo de caso: bacia hidrográfica do rio Cará-Cará, Ponta Grossa/PR. **R. RA E GA**, n. 13, p. 85-98, 2007.
 13. MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Mapas e Geoprocessamento.** Disponível em: <http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>. Acesso em: 8abr2009.
 14. NI, J.R.; LI, X.X.; BORTHWICK, A.G.L. Soil erosion assessment based on minimum polygons in the Yellow River basin, China. **Geomorphology**, v. 93, p. 233-252, 2008.
 15. PANDEY, A.; CHOWDARY, V.M.; MAL, B.C. Identification of critical erosion prone areas in the small agricultural watershed using USLE, GIS and remote sensing. **Water Resources Management**, v. 21, p. 729-746, 2007.
 16. PCBAP – PLANO DE CONSERVAÇÃO DA BACIA DO ALTO PARAGUAI. **Metodologia do Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai.** Projeto Pantanal, Programa Nacional do Meio Ambiente. Brasília: MMA/SEMAM/PNMA, 1997.
 17. RAHARJO, H.; XIE, M.; BROMBACHER, A.C. On modeling dynamic priorities in the analytic hierarchy process using compositional data analysis. **European Journal of Operational Research**, v. 194, p. 834-846, 2009.
 18. RIBEIRO, F.L. & CAMPOS, S. Vulnerabilidade à erosão do solo da Região do Alto Rio Pardo, Pardinho, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 6, p. 628-636, 2007.
 19. SAATY, T.L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of Mathematical Psychology**, v. 15, p. 234-281, 1977.
 20. SAATY, T.L. **The analytical hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation.** New York: McGraw-Hill, 287 p., 1980.
 21. SAATY, T.L. Axiomatic foundation of the analytic hierarchy process. **Management Science**, v. 32, p. 841-855, 1986.
 22. SANTOS, L.J.C.; OKA-FIORI, C.; CANALLI, N.E.; FIORI, A.P.; SILVEIRA, C.T.; SILVA, J.M.F. Mapeamento da vulnerabilidade geoambiental do estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 37, n. 4, p. 812-820, 2007.
 23. SILVA, J.S.V.; CARVALHO, J.R.P.; SANTOS, R.F.; FELGUEIRAS, C.A. Zoneamentos ambientais: quando uma unidade territorial pode ser considerada homogênea?. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 59, n. 1, p. 83-92, 2007.
 24. SILVA, L.P. & MANIESI, V. Avaliação dos limites de uso e ocupação e as pequenas centrais hidrelétricas da sub-bacia do rio Enganado – Rondônia: uma proposta de uso sustentável. **Geociências**, v. 24, n. 3, p. 267-276, 2005.
 25. TOMAZONI, J.C. & GUIMARÃES, E. Determinação da capacidade de usos do solo de bacia hidrográfica através da sistematização da EUPS no SPRING. **Geociências**, v. 26, n. 4, p. 323-332, 2007.
 26. TRICART, J. **Ecodinâmica.** Rio de Janeiro: IBGE-SUPREN, 91 p., 1977.
 27. VAIDYA, O.S. & KUMAR, S. Analytic hierarchy process: An overview of applications. **European Journal of Operational Research**, v. 169, n. 1, p. 1-29, 2006.
 28. VENTE, J.; POESEN, J.; VERSTRAETEN, G.; ROMPAEY, A.V.; GOVERS, G. Spatially distributed modelling of soil erosion and sediment yield at regional scales in Spain. **Global and planetary change**, v. 60, p. 393-415, 2008.
 29. WANG, X.D.; ZHONG, X.H.; LIU, S.Z.; LIU, J.G.; WANG, Z.Y.; LI, M.H. Regional assessment of environmental vulnerability in the Tibetan Plateau: Development and application of a new method. **Journal of Arid Environments**, v. 72, p. 1929-1939, 2008.
 30. WU, Q. & WANG, M. A framework for risk assessment on soil erosion by water using an integrated and systematic approach. **Journal of Hydrology**, v. 337, p. 11-21, 2007.

*Manuscrito Recebido em: 5 de dezembro de 2009
Revisado e Aceito em: 22 de janeiro de 2010*