

CARACTERIZAÇÃO DA FRAGILIDADE AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA GI8/PE POR MEIO DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO

Nildson Rodrigues de França e Silva¹, Willian Vieira de Oliveira¹, Denis Corte Vieira¹, Victor Hugo Rohden Prudente¹ e Elisabete Caria Moraes¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, Caixa Postal 515 – 12227-010 – São José dos Campos – SP, Brasil
{nildson.silva; willian.oliveira; denis.vieira; victor.prudente}@inpe.br, bete@dsr.inpe.br

RESUMO

O mapeamento da fragilidade ambiental de um ambiente representa uma importante ferramenta para o planejamento, uma vez que este estudo permite conhecer as potencialidades e limitações de um espaço geográfico. Neste estudo é apresentado o mapeamento da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica GI8, localizada no extremo oeste do estado de Pernambuco. Para alcançar este objeto é considerado o modelo proposto por Ross [1] – modelo amplamente citado na literatura como referência nessa linha de pesquisa, associado à utilização de lógica fuzzy e do método AHP, que representa uma técnica de suporte à decisão. Estes métodos permitiram a análise de diferentes variáveis a fim de caracterizar as potencialidades e vulnerabilidades do ambiente. Na região há predominância de fragilidade ambiental média e forte (59% e 40%, respectivamente).

Palavras-chave – Fragilidade ambiental, limitações, potencialidades, SIG.

ABSTRACT

The mapping of the environmental fragility of an environment represents an important tool for planning, once it allows knowing the potentialities and limitations of a geographic space. This study presents the mapping of the environmental fragility of the GI8 basin, located in the extreme west of the Pernambuco state. In order to do so, this study considers the model proposed by Ross [1] - which is widely cited in the literature as reference in this line of research, associated with the use of fuzzy logic and the AHP method, which represents a decision support technique. These methods allowed analysing different variables in order to characterize the potentialities and vulnerabilities of the environment. There is the predominance of median and strong environmental fragility in the region (59% and 40%, respectively).

Keywords – Environmental fragility, limitations, potentialities, GIS.

1. INTRODUÇÃO

A utilização de ambientes SIGs (Sistemas de Informação Geográficas) em estudos ambientais permite, além de uma

visualização mais eficiente da distribuição espacial de diversos tipos de dados, um melhor entendimento da relação de importância entre diferentes variáveis. Esta integração de dados é essencial no apoio a tomada de decisões, sobretudo, no planejamento ambiental. Dentre as diversas possibilidades de aplicação, a interpretação da inter-relação existente entre diferentes variáveis pode ser utilizada na avaliação da fragilidade, ou vulnerabilidade, de um ambiente. Este estudo permite identificar potencialidades e limitações de um espaço geográfico, a partir da análise de diversos atributos que caracterizam a região [2].

Na literatura, dentre os modelos mais utilizados para mapeamento de fragilidade ambiental, destaca-se o modelo de análise multicritério proposto por Ross [1], onde são considerados dados que caracterizam o ambiente quanto aos seus aspectos de cobertura vegetal, clima, geomorfologia, solos e uso do solo. Neste modelo, a fragilidade ambiental é classificada em cinco classes, variando de muito fraca a muito forte. As características do terreno são classificadas de forma discreta, além de possuírem mesmo peso entre si [1, 2]. Por outro lado, alguns autores adotam também a utilização de métodos para representação das variáveis em campos contínuos, realizando-se uma padronização dos valores, além de serem atribuídos diferentes pesos para as variáveis. Para realização destas operações, destacam-se a Lógica Fuzzy, descrita por Zadeh [3], para normalização dos dados, e o Processo Analítico Hierárquico (AHP), descrito por Saaty [4], para definição da relação de pesos entre as variáveis.

O presente estudo tem por objetivo apresentar detalhes sobre o mapeamento da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica GI8, localizada na cidade de Petrolina, no extremo oeste do estado de Pernambuco. Diversos são os fatores que têm contribuído para o surgimento de problemas ambientais nesta área, tais como: intenso desenvolvimento hidroagrícola; crescimento urbano desordenado; desmatamento para produção de carvão; e, uso inadequado dos insumos agrícolas. Dentre os problemas destacam-se: salinização de solos, problemas de drenagem e poluição dos cursos d'água com insumos agrícolas [5]. A metodologia proposta se baseia na análise integrada de dados de declividade, pedológicos, pluviométricos e de uso e ocupação do solo. Para diagnóstico e mapeamento da fragilidade emergente, ou ambiental, da área de estudo, foram utilizadas técnicas de análise multicritério, bem como a lógica fuzzy e a técnica AHP.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Esta pesquisa teve como área de estudo a bacia hidrográfica GI8, localizada no extremo oeste de Pernambuco (Figura 1). A metodologia adotada se baseia na análise de dados: de declividade, pedológicos, pluviométricos e de uso e ocupação do solo. Os dados de declividade foram obtidos a partir do processamento de imagem proveniente da missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) [6], com resolução espacial de 30 metros. Os dados pedológicos foram disponibilizados por meio da Embrapa Solos, referente ao Zoneamento Agroecológico de Pernambuco [7]. Já os dados pluviométricos, fornecidos pela Embrapa Semiárido, são referentes às estações: Campos Experimentais da Caatinga da Embrapa e de Mandacaru; Bebedouro; Timbaúba; e, Fazenda FuitFort. Os dados de uso e ocupação do solo foram extraídos do mapa de uso e cobertura fornecido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE [8], referente a 2014.

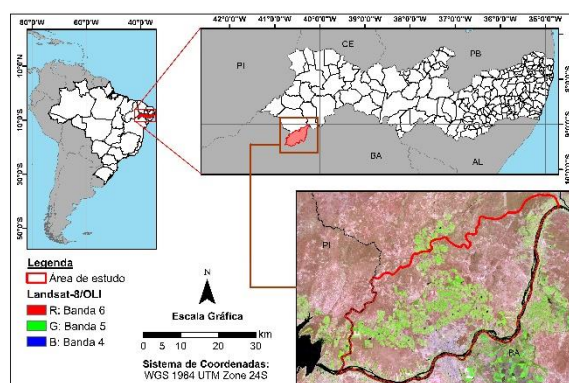


Figura 1. Mapa de localização da bacia hidrográfica GI8.

Neste estudo, foram considerados trabalhos desenvolvidos por diversos autores [1, 2, 9, 10] para definição dos critérios de classificação das variáveis. Além disso, foi utilizado a técnica de inferência Fuzzy, para transformação dos dados da forma discreta para contínua, e o método AHP, para definição dos pesos entre as variáveis utilizadas. A Figura 2 apresenta os procedimentos adotados neste trabalho.

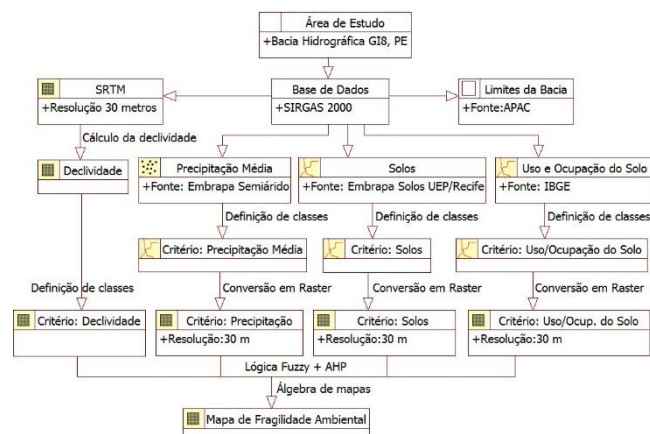


Figura 2. Fluxograma da metodologia adotada.

O conjunto de dados descrito anteriormente foi utilizado na obtenção de mapas intermediários, necessários para geração do mapa de fragilidade ambiental. Primeiramente, a declividade do terreno foi analisada a partir do processamento da imagem SRTM. No trabalho de Ross [1], a declividade é tratada de forma discreta, em uma classificação de fragilidade que varia de muito fraca a muito forte. Porém, neste estudo foi realizada a normalização Fuzzy dos dados. Índice 1 foi atribuído para áreas com declividade maior ou igual a 30% (fragilidade muito forte), e índice 0 foi atribuído para áreas com declividade igual a 0% (fragilidade muito fraca). Valores de declividade entre 0% e 30% foram normalizados pela divisão do percentual por 30. Assim, os valores foram definidos no espaço de referência entre 0 e 1.

Em seguida, foi realizado a classificação dos dados de precipitação. Foram considerados dados referentes a cinco estações pluviométricas, para um período de 10 anos, a partir de 2004. Na Tabela 1 é apresentado as características consideradas para definição das classes de fragilidade referentes à variável precipitação. Devido às características da série histórica dos dados de precipitação não foi necessário a adoção de procedimentos para interpolação, uma vez que os dados referentes a todas as estações receberam a mesma classificação, 5 (cinco), ou seja, fragilidade muito forte.

Tabela 1. Classes consideradas para a classificação da precipitação. Classes de fragilidade para a variável precipitação

Classe	Descrição
1 – Muito fraca	Distribuição regular da precipitação ao longo do ano, com volumes não muito superiores a 1000 mm/ano.
2 – Fraca	Distribuição regular da precipitação ao longo do ano, com volumes não muito superiores a 2000 mm/ano. Precipitação anual distribuída desigualmente.
3 – Média	Períodos secos entre 2 e 3 meses no inverno e maiores intensidades no verão (entre 1300 e 1600 mm/ano). Precipitação anual distribuída desigualmente. Períodos secos entre 3 e 6 meses e grande concentração da precipitação no verão, correspondente a 70 a 80% da precipitação total anual (entre 1600 e 1800 mm/ano).
4 – Forte	Distribuição regular da precipitação, ou não, durante todo o ano. Volumes anuais excedendo 2500 mm/ano.
5 – Muito forte	ou ainda, comportamentos irregulares da precipitação, com episódios de alta intensidade de chuva e fracos volumes anuais (abaixo de 900 mm/ano, semiárido).

Fonte: Ross [2]

A classificação dos dados pedológicos foi realizada considerando estudos desenvolvidos por Crepane et al. e Ross [1, 2, 9]. Já a classificação dos dados de uso e ocupação do solo foi realizada considerando algumas adequações dos modelos descritos por Ross [1, 2]. A classe Pastagem foi atribuída como de forte fragilidade, ao invés de média, uma vez que esta condiz mais com as características da região. Além disso, foram classificados como de fragilidade média os polígonos de “Vegetação Campestre mais Áreas Agrícolas”. As classes de fragilidade para as diferentes unidades de mapeamento de solos e de uso e ocupação do solo foram estabelecidas conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Classificação das variáveis: solos e uso/ocupação do solo.

Variável	Classe	Vulnerabilidade	
Solos [1, 2, 7]	Latossolos Amarelos	2	
	Planossolos	3	
	Podzólicos Amarelos	3	
	Podzólicos Vermelho-Amarelos	3	
	Podzólicos Vermelho-Escuros	3	
	Cambissolos	4	
	Areias Quartzosas	5	
	Solos Aluviais	5	
	Solos Litólicos	5	
	Vertissolos	5	
	Corpo d'água continental	2	
	Uso/ocupação do solo [1, 2]	Vegetação campestre com áreas agrícolas	3
		Área agrícola	4
Pastagem natural		4	
Área artificial		5	

A base vetorial referente aos dados de precipitação, solos, e de uso/ocupação dos solos foi convertida para o formato raster. Nesta etapa, foi considerada uma resolução espacial de 30 metros, compatível com a resolução do mapa de declividade. Em seguida, foi feita a normalização Fuzzy destes produtos, considerando um índice de fragilidade com grau de pertinência entre 0 e 1. Neste caso, índice 0 equivale a fragilidade muito baixa e índice 1 indica fragilidade muito alta. A normalização foi realizada conforme Equação 1.

$$f(x) = 0,25x - 0,25, \text{ se } 1 < x < 5 \quad (1)$$

A partir da normalização Fuzzy dos planos de informação, o método AHP foi utilizado para determinar uma relação de pesos entre as variáveis, conforme apresentado na Tabela 3. Este procedimento foi realizado utilizando a extensão EasyAHP, no software QGIS. Os critérios atribuídos são apresentados na Tabela 4. A partir destes critérios foi obtido um peso para cada variável, bem como a razão de consistência da análise AHP, a qual deve ser inferior a 0,10. O mapa final de fragilidade ambiental foi obtido pela soma ponderada dos mapas intermediários, considerando os pesos resultantes da análise AHP. O fatiamento deste mapa foi realizado considerando os intervalos descritos na Tabela 5.

Tabela 3. Escala de valores AHP para comparação pareada.

Peso	Definição e explicação
1	Importância igual – Os dois fatores contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância moderada – um fator é ligeiramente mais importante que o outro.
5	Importância essencial – um fator é claramente mais importante que o outro.
7	Importância demonstrada – um fator é fortemente favorecido e sua relevância foi 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 – possibilidade de compromissos adicionais.

Fonte: Saaty [4].

Tabela 4. Matriz de critérios para AHP.

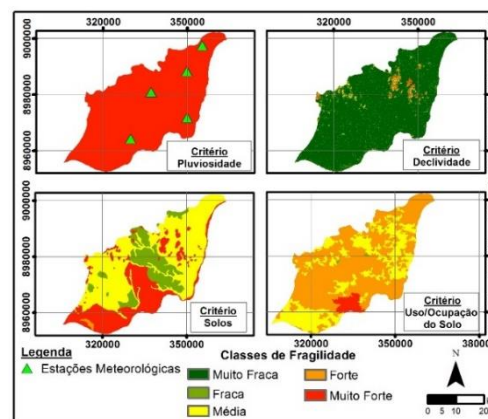
	Solos	Uso/Ocupação do solo	Declividade	Pluviosidade
Solos	1			
Uso/Ocupação do solo	2	1		
Declividade	2	2	1	
Pluviosidade	3	2	1	1

Tabela 5. Classes de fragilidade ambiental.

Intervalo	Classificação	Intervalo	Classificação
0 – 0,2	Muito fraca	0,6 – 0,8	Forte
0,2 – 0,4	Fraca	0,8 – 1	Muito forte
0,4 – 0,6	Média		

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 3 apresenta os produtos intermediários obtidos para as variáveis declividade, pedologia, pluviosidade e uso e ocupação do solo. Os dados de precipitação indicam uma fragilidade muito forte para toda a bacia hidrográfica. Já os dados de declividade mostraram uma fragilidade muito baixa ao longo de praticamente toda a área de estudo. Por outro lado, os dados pedológico e de uso e ocupação do solo resultaram em uma maior variação nas classes de fragilidade.

**Figura 3.** Mapas intermediários de fragilidade.

A partir destes produtos intermediários, o método AHP foi utilizado para obtenção da relação de pesos entre as variáveis, por meio dos critérios descritos na Tabela 4. Os critérios escolhidos apresentaram uma razão de consistência de 0,018, inferior a 0,10 e, portanto, aceitável. Os pesos gerados a partir da análise AHP são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Pesos das variáveis.

Variável	Peso	Variável	Peso
Solos	0,125	Declividade	0,325
Uso/ocupação do solo	0,194	Pluviosidade	0,356

Por fim, os produtos intermediários e os pesos das variáveis foram utilizados para obtenção do mapa de fragilidade ambiental. Neste mapa, apresentado na Figura 4, nota-se uma forte fragilidade ambiental na região leste da bacia, à margem do Rio São Francisco. Considerando

informações extraídas a partir dos dados de uso e ocupação, esta fragilidade pode ser associada ao fato de a cidade estar localizada à margem do rio, além da presença de propriedades rurais e agroindústrias, que fazem uso do rio para diversos fins, inclusive na irrigação de áreas agrícolas. Além disso, os solos encontrados às margens do rio são considerados jovens e muito suscetíveis a processos erosivos [7].

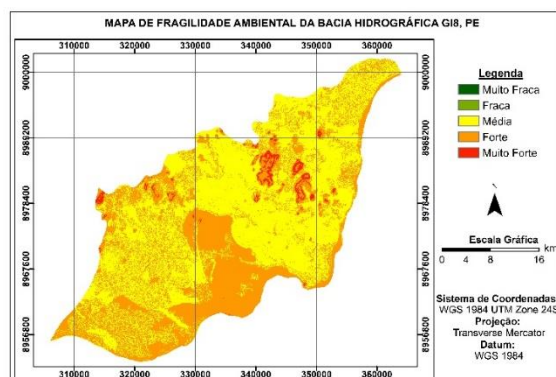


Figura 4. Mapa de fragilidade ambiental da bacia GI8/PE.

Conforme apresentado na Tabela 7, aproximadamente 59% da área da bacia foi descrita como de fragilidade média, enquanto que 40% foi descrito como de forte fragilidade. Além disso, 1% do território foi classificado com fragilidade ambiental muito Forte. Classes de fragilidade muito Fraca e Fraca não foram observadas na região. Nota-se que as áreas destacadas como de fragilidade muito forte estão localizadas em regiões de maior declividade. Áreas mais declivosas favorecem o escoamento da água e, conseqüentemente, são mais susceptíveis a processos erosivos.

Tabela 7. Área referente a cada classe de fragilidade ambiental.

Classe	Área		%
	km ²	ha	
Muito fraca	0	0	0
Fraca	0	0	0
Média	795,418	79.541,77	59
Forte	533,110	53.310,98	40
Muito forte	19,206	1.920,62	1

5. CONCLUSÕES

A metodologia adotada se mostrou eficiente para o mapeamento de fragilidade ambiental na bacia hidrográfica GI8/PE. O resultado obtido não apresentou nenhuma área descrita como de fragilidade fraca ou muito fraca. As características da região evidenciam a necessidade de se adotar medidas que não permitam que a instabilidade deste ambiente seja ainda mais intensificada, o que poderia resultar em graves problemas ambientais.

Ressalta-se que este tipo de estudo pode ser utilizado como ferramenta de suporte à decisão, visando uma melhor gestão dos recursos hídricos da bacia, visto os constantes episódios de escassez hídrica que ocorrem na região, bem como na recuperação e conservação ambiental.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de bolsa.

6. REFERÊNCIAS

- [1] Ross, J.L.S. "Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados", *Revista do Departamento de Geografia*, n. 8, pp. 63-74, 1994.
- [2] Ross, J.L.S. "Landforms and environmental planning: Potentialities and Fragilities", *Revista do Departamento de Geografia*, pp. 38-51, 2012.
- [3] Zadeh, L. "Fuzzy sets", *Information and Control*, v. 8, n. 3, pp. 338-353, 1965.
- [4] Saaty, T.L. "The Analytic Hierarchy Process: planning, priority setting, resource allocation", McGraw-Hill, New York, 1980.
- [5] Cunha, T.J.F., Sá, I.B., Taura, T.A., Alvarez, I.A., Petrere, V.G., Oliveira Neto, M.B., Araudo Filho, J.C., Silva, M. S. L., Lucena, A. M. A., Oliveira, W.S. Uso atual e quantificação de áreas com vegetação degradada na margem do Rio São Francisco em municípios do Estado de Pernambuco. Petrolina: Embrapa Semiárido, 39 p., 2009.
- [6] Farr, T.G., Rosen, P.A., Caro, E., Crippen, R., Duren, R., Hensley, S., Kobrick, M., Paller, M., Rodriguez, E., Roth, L., Seal, D., Shaffer, S., Shimada, J., Umland, J., Werner, M., Oskin, M., Burbank, D., Alsdorf, D. "The Shuttle Radar Topography Mission", *Reviews of Geophysics*, v. 45, n. 2, 2007.
- [7] Araújo Filho, J.C., Burgos, N., Lopes, O.F., Silva, F.H.B.B., Medeiros, L.A.R., Cavalcanti, A.C., Oliveira Neto, M.B., Silva, F.B.R., Leite, A.P., Santos, J.C.P., Sousa Neto, N.C., Silva, A.B., Luz, L.R.Q.P., Lima, P.C., Reis, R.M.G. e Barros, A.H.C. "Levantamento de reconhecimento de baixa e média intensidade dos solos do Estado de Pernambuco", Embrapa Solos, Rio de Janeiro, 2000.
- [8] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 2018. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias-novoportal/informacoes-ambientais/cobertura-e-uso-da-terra/15831-cobertura-e-uso-da-terra-do-brasil.html>>. Acesso em: 29 de Novembro de 2017.
- [9] Crepani, E., Medeiros, J.S., Hernandez Filho, P., Florenzano, T.G., Duarte, V., Barbosa, C.C.F. "Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicado ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial", INPE, São José dos Campos, pp. 103, 2001.
- [10] Cereda Júnior, A. e Röhm, S.A. "Analysis of Environmental Fragility Using Multi-Criteria Analysis (MCE) for Integrated Landscape Assessment", *Journal of Urban and Environmental Engineering*, v. 8, n. 1, pp. 28-37, 2014.