

Avaliação da Fragilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó em Pernambuco Utilizando Geoprocessamento

Caio Flávio Nunes Lopes de Abreu e Lima Belfort¹
Prof. MSc. Ioná Rameh Beltrão Barbosa²

¹ Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE
Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos - CEP: 52171-900 - Recife/PE
caioelfort@gmail.com

² Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - IFPE
Av. Prof Luiz Freire, 500 Cidade Universitária - Recife/PE - CEP: 50740-540
ionarameh@yahoo.com.br

Abstract. The present paper is based on studies aimed at characterization and understanding of the environment for its conservation, such as the principle of Tricart's ecodynamics units, as well as in studies seeking to show the efficiency and effectiveness of the application of geospatial technologies such as remote sensing and geographic information system for this purpose, thus better been able to characterize, monitor and act about the environment. The objective of this study was to evaluate the Environmental Fragility of the Pernambuco's portion of the Moxotó river basin, known as Hidric Planning Unit 8 (UP-8) by the State Government, examining indicators of the aspects pedology, geomorphology, climate and land use and occupation. As results of the study were obtained from the fragility maps of the type of existing soil, slope of terrain, rainfall intensity and vegetation cover, in addition to maps of potential and emerging weakness in the region, clearly showing that the indicator linked to vegetation aspect of land use and occupation is the most dangerous for an increase in the environmentally fragile region. We could see it clearly in the difference from the results between the map of potential fragility and the map of emerging weakness. Overall, the river basin UP8 can be characterized as a fragile region environmentally speaking, with their weaknesses in pedology and existing vegetation, and through the use and occupation of land that occurs in the region, takes the vulnerability situation even further.

Palavras-chave: Fragilidade ambiental, Geoprocessamento, Bacia Hidrográfica do rio Moxotó.

1. Introdução

O princípio das Unidades Ecodinâmicas de Tricart tem por objetivo gerir adequadamente os recursos ecológicos visando avaliar os impactos que a inserção de tecnologia humana pode causar no ambiente. Este tipo de estudo visa à caracterização dos diversos aspectos, e mensuração de seus respectivos indicadores, que sejam agentes da manutenção da vida local, e estejam susceptíveis direta ou indiretamente à ação humana.

O presente trabalho avaliou a fragilidade ambiental na Bacia Hidrográfica do rio Moxotó em Pernambuco, levando em consideração os indicadores: solos, declividade, intensidade pluviométrica e cobertura vegetal. Os mapas temáticos de fragilidade potencial e emergente, segundo metodologia descrita por ROSS (1994), (2005) e DONHA *et al* (2006) foram gerados utilizando técnicas de geoprocessamento. Técnicas de análise multiatributo foram utilizadas visando uma mensuração adequada entre os aspectos que mais exercem influência sobre um determinado fenômeno estudado.

As vantagens do uso das tecnologias de geoprocessamento no diagnóstico e monitoramento ambiental de áreas vão desde a sua abrangência espacial, pois os dados de sensoriamento remoto cobrem em geral grandes áreas, até a temporal, já que a aquisição e modelagem dos dados podem ser feitas periodicamente, o que propicia um melhor estudo dos indicadores ambientais.

1.1 Área de Estudo

A bacia hidrográfica do rio Moxotó está situada, em sua maior parte, no Estado de Pernambuco, estendendo-se na sua porção sudeste para o Estado de Alagoas até o rio São

Francisco. A bacia se localiza entre as coordenadas 07° 52' 21" e 09° 19' 03" de latitude sul, e 36° 57' 49" e 38° 14' 41" de longitude oeste, com sua porção pernambucana, foco do presente estudo, constituindo a Unidade de Planejamento Hídrico 8 (UP8) e medindo 8.772,32 km² (cerca de 90% do total). A Figura 1 mostra a localização da área de estudo.

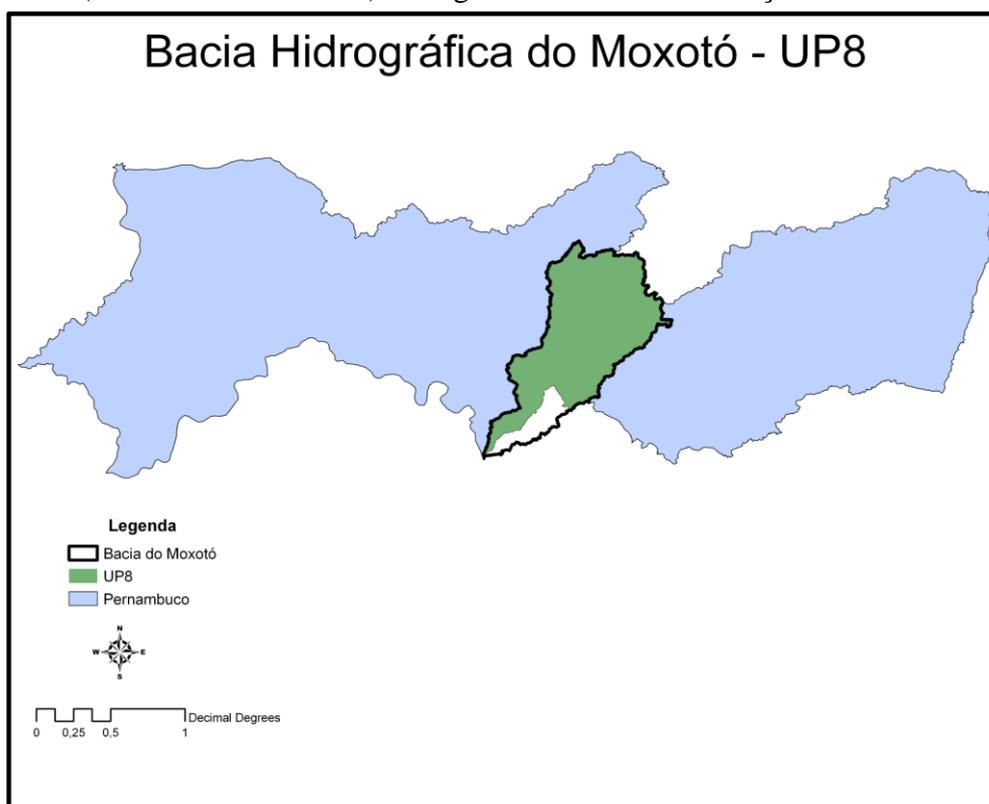


Figura 1- Pernambuco, Bacia Hidrográfica do rio Moxotó e a Unidade de Planejamento Hídrico - UP8

2. Materiais e Métodos

Para realização da pesquisa, foram utilizados os softwares ArcGIS, produzido pela ESRI, e o SPRING, produzido pelo Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE). O polígono que delimita a bacia hidrográfica foi obtido através da manipulação, em ambiente SIG, das imagens da *Shuttle Radar Topography Mission – SRTM*, missão de sensoriamento remoto da NASA.

O estudo da Fragilidade Ambiental de uma região é resultado da análise dos mapas de Fragilidade Potencial e Fragilidade Emergente e de seus indicadores. Para a confecção do mapa de Fragilidade Potencial, foram utilizadas informações de pedologia, geomorfologia e clima. O mapa de Fragilidade Emergente foi confeccionado através da sobreposição dos mapas de Fragilidade Potencial e Uso e Ocupação do Solo.

2.1 Solos - Pedologia

Apesar de ser o agente passivo da erosão, as características do solo da região estudada são de fundamental importância para o esclarecimento da facilidade ou não da erodibilidade. Na caracterização dos tipos de solo da região foi utilizado o Mapa de Solos de Pernambuco, disponibilizado pela EMBRAPA através de download direto do *website* do órgão na escala 1:100.000. Após os tratamentos primários foi feito o recorte do mapa de solos pela Bacia do Moxotó - UP8, assim obtendo o mapa de solos apenas da região objeto de estudo. A classificação dos solos existentes no Mapa de Solos da Bacia do Moxotó - UP8 foi feita baseada nos estudos realizados por ROSS (2005) e CREPANI *et al* (2001, 2005), que levam em consideração granulometria, composição mineralógica, e etc, utilizando como referência a

Legenda Geral de Solos da EMBRAPA. Foram atribuídos valores variando de 1 (um) à 3 (três), sendo 1 menos frágil e 3 mais frágil.

2.2 Declividade - Geomorfologia

A declividade possui direta relação com a transformação da energia potencial em energia cinética, se relacionando com a velocidade da água em movimento.

Para obtenção dos dados de declividade foram seguidas algumas etapas, nas quais foi necessária a manipulação da imagem do SRTM no programa ArcGIS 9.2. Utilizando-se como entrada a imagem do SRTM foi possível calcular a declividade, em percentual, para cada pixel da representação, indicando a diferença de nível entre dois pontos dentro da célula, que representa uma área de 90x90m. Por fim, classificou-se os valores de declividade, de acordo com ROSS (2003), com valores variando de 1 (um) a 3 (três), apresentadas na Tabela 1, de acordo com a declividade apresentada em cada pixel.

Tabela 1: Fragilidade segundo a declividade percentual (Adaptada de ROSS, 2005)

Declividade	Fragilidade
0 - 6%	1
6 - 20%	2
20% - Max	3

2.3 Intensidade Pluviométrica - Clima

A erosão é o produto da interação chuva/solo, ou seja, resulta do poder da chuva em causar danos à estrutura do solo e da capacidade do mesmo em resistir. O poder erosivo da chuva depende de algumas características físicas da mesma, como pluviosidade total, distribuição sazonal e intensidade pluviométrica. A intensidade pluviométrica é a relação entre a pluviosidade total e a distribuição sazonal da chuva. Por exemplo: dois locais que têm a pluviosidade total anual semelhantes, entretanto, no primeiro a chuva está distribuída equitativamente ao longo do ano, e no segundo a chuva está concentrada em apenas 3 ou 4 meses do ano. A intensidade pluviométrica será maior no segundo local e, conseqüentemente, seu poder erosivo ampliado (CREPANI *et al*, 2001).

Abaixo está a tabela 2, adaptada de CREPANI *et al* (2001) que mostra a proporcionalidade da vulnerabilidade em relação a intensidade pluviométrica utilizada.

Tabela 2: Fragilidade segundo a intensidade pluviométrica (Adaptado de CREPANI *et al*, 2001)

Intensidade Pluviométrica (mm/mês)	Fragilidade
< 50	1
50 – 525	2
> 525	3

Para cálculo da intensidade pluviométrica, foram coletados dados de pluviometria de postos de monitoramento da Agência Nacional de Águas (ANA). Foram utilizados dados de 5 postos pluviométricos, distribuídos na área e no entorno da bacia estudada, do período de janeiro/1980 a dezembro/2006. Os dados foram tratados nos softwares Hidro 1.0.8 e MS Excel 2007.

Após o cálculo da intensidade pluviométrica, os pontos correspondentes aos postos pluviométricos foram plotados no ArcMap o mapa de intensidade pluviométrica foi gerado. Foi utilizado o método de interpolação *Spline*, implementado no ArcMap. O método *Spline* é o mais adequado para se trabalhar com dados de pluviometria, visto que os valores desconhecidos são estimados através de uma função matemática que suaviza a curvatura da superfície global, resultando em uma superfície que passa pelos pontos de entrada.

2.4 Cobertura vegetal – Uso e Ocupação do Solo

As características e a distribuição dos diversos tipos de ocupação do solo da região estudada são de suma importância para o entendimento da fragilidade ambiental apresentada, já que a cobertura vegetal representa a defesa da unidade de paisagem contra a erosão. Isto decorre do fato de que a vegetação evita o impacto direto das gotas de chuva no solo, impedindo a desagregação das partículas, e a consequente compactação do solo, que diminui a capacidade de absorção de água, aumenta a capacidade de infiltração do solo pela difusão do fluxo de água da chuva e ainda suporta a vida silvestre que, pela presença de estruturas biológicas como raízes de plantas perfurações de vermes e buracos de animais, aumentam a porosidade e a permeabilidade do solo.

A partir da interpretação de imagens de satélite foi possível identificar a densidade da cobertura vegetal na área de estudo, determinando-se assim as classes de vulnerabilidade. Foram utilizadas imagens do satélite Landsat 7, sensor ETM+, pontos 66 e 65 da órbita 215 e ponto 66 da órbita 216, do período de 2001 à 2002, disponíveis gratuitamente na Divisão de Geração de Imagens (DGI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Para a utilização das imagens Landsat, foi necessário georreferenciá-las como primeira etapa, ou seja, foram atribuídas coordenadas a pontos na imagem, vinculando-os a um determinado sistema de referência (World Geodetic System- WGS84) num determinado sistema de projeção. O georreferenciamento das imagens foi feito utilizando o software SPRING 5.1.4, através da criação de pontos de controle, onde para cada imagem utilizada, foram criados entre 5 e 7 pontos de controle para cada imagem, a partir das coordenadas obtidas no Google Earth 4.3.

O segundo passo foi a classificação não-supervisionada da imagem. Utilizou-se o ArcMap para confeccionar a composição colorida das bandas 3, 4 e 5, como mostra a Figura 2, onde a faixa vermelha corresponde à banda 5, a faixa verde à banda 4 e a faixa azul à banda 3. Em seguida, foi realizada a classificação não-supervisionada da composição colorida RGB543, utilizando o algoritmo de máxima verossimilhança presente no ArcMap. A classificação é um processo de extração de informações em imagens para reconhecer padrões e objetos homogêneos podendo ser supervisionada ou não-supervisionada. Na classificação supervisionada, o usuário identifica alguns pixels pertencentes à classe desejada e o computador procura por pixels semelhantes aos indicados. Na classificação não-supervisionada, o computador decide baseado em funções estatísticas quais as classes a serem separadas e quais os pixels pertencerão a cada uma. A classificação realizada compreendeu 12 classes, que posteriormente foram agrupadas e reclassificadas de acordo com o grau de vulnerabilidade à erosão em virtude da cobertura vegetal apresentado por FIGUEIRÊDO *et al* (2007), conforme descrito na Tabela 3.

Tabela 3: Fragilidade segundo a cobertura vegetal (adaptada de FIGUEIRÊDO *et al*, 2007)

Uso e Ocupação do Solo	Classes agrupadas	Fragilidade
Estável	Vegetação densa, mata ciliar	1
Intermediária	Vegetação esparsa	2
Instável	Solo exposto, afloramentos rochosos, áreas urbanas, áreas agrícolas, pastagens	3
Áreas não-classificadas	Sombra, nuvens, água	-

2.5 Mapa de Fragilidade Potencial

Os mapas de declividade, solo e intensidade pluviométrica foram sobrepostos, através de álgebra de mapas, após análise multicritério para a obtenção do mapa de fragilidade

potencial. Nesta análise, adotou-se pesos iguais para os critérios analisados para simplificação do processo. Muitos estudos (DONHA *et al*, 2003 e 2005; ZAMBON *et al*, 2005) revelam que na análise multicritério, a consulta a especialistas é um recurso bastante utilizado, pois é possível definir pesos diferenciados para cada aspecto envolvido no problema.

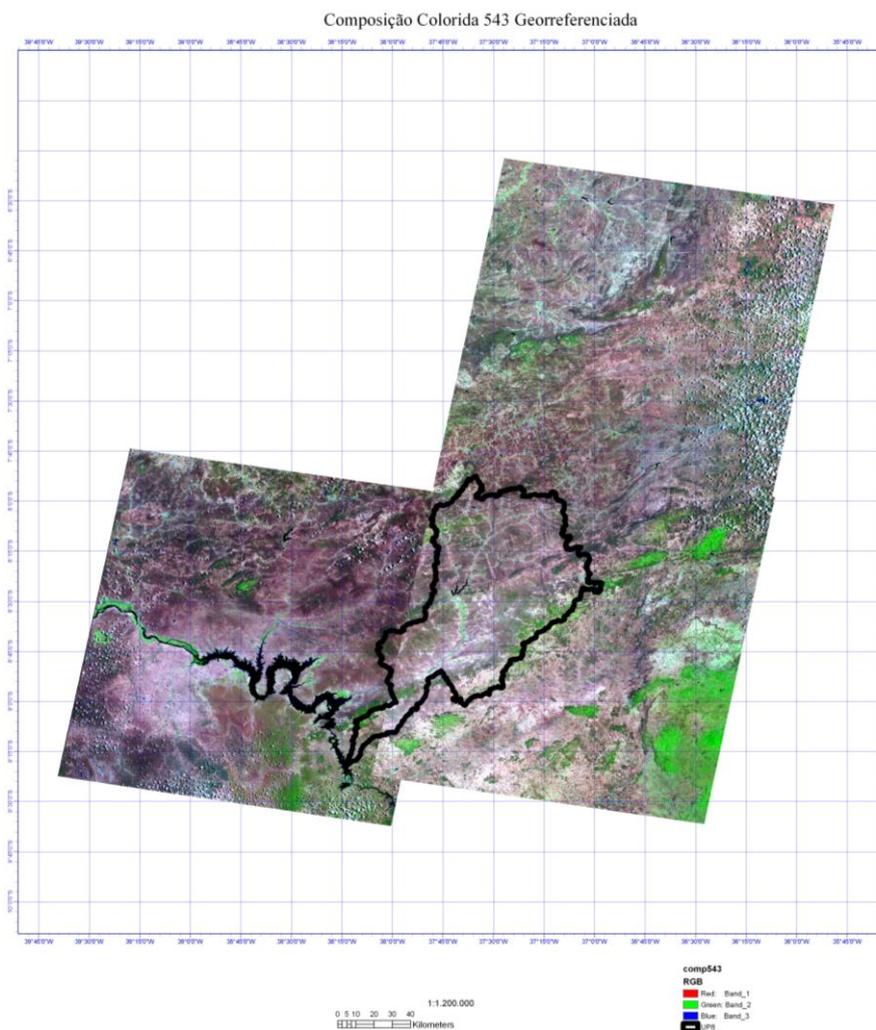


Figura 2 – Mosaico das imagens em composição colorida RGB543 e o polígono da UP8

2.6 Mapa de Fragilidade Emergente

Adotando a mesma metodologia, com uso de álgebra de mapas e realizando análise multicritério, o mapa de fragilidade emergente foi obtido através da soma do mapa de fragilidade potencial com o mapa de cobertura vegetal, revelando assim os impactos das intervenções humanas na bacia.

3. Resultados e Discussões

O mapa de fragilidade por tipo de solo obteve como resultado uma maioria da quantidade de pixels classificada como muito frágil, apesar da diferença entre esta e a quantidade de pixels classificados como pouco frágeis ser pequena – 55,5% para muito frágil e 44,4 para pouco frágil.

Já o mapa de fragilidade por declividade apresentou maior percentual de fragilidade 1 – quase 75%, demonstrando que a bacia possui um relevo pouco acidentado e, conseqüentemente, não é frágil do ponto de vista geomorfológico para esta análise.

O mapa referente à fragilidade por intensidade pluviométrica não obteve nenhum valor classificável como muito frágil. A maior parte dos pixels foi classificada como não frágil, mas a diferença entre esta e a quantidade de pixels classificados como pouco frágeis foi novamente pequena – 57,7% de valores 1 e 42,3% de valores 2.

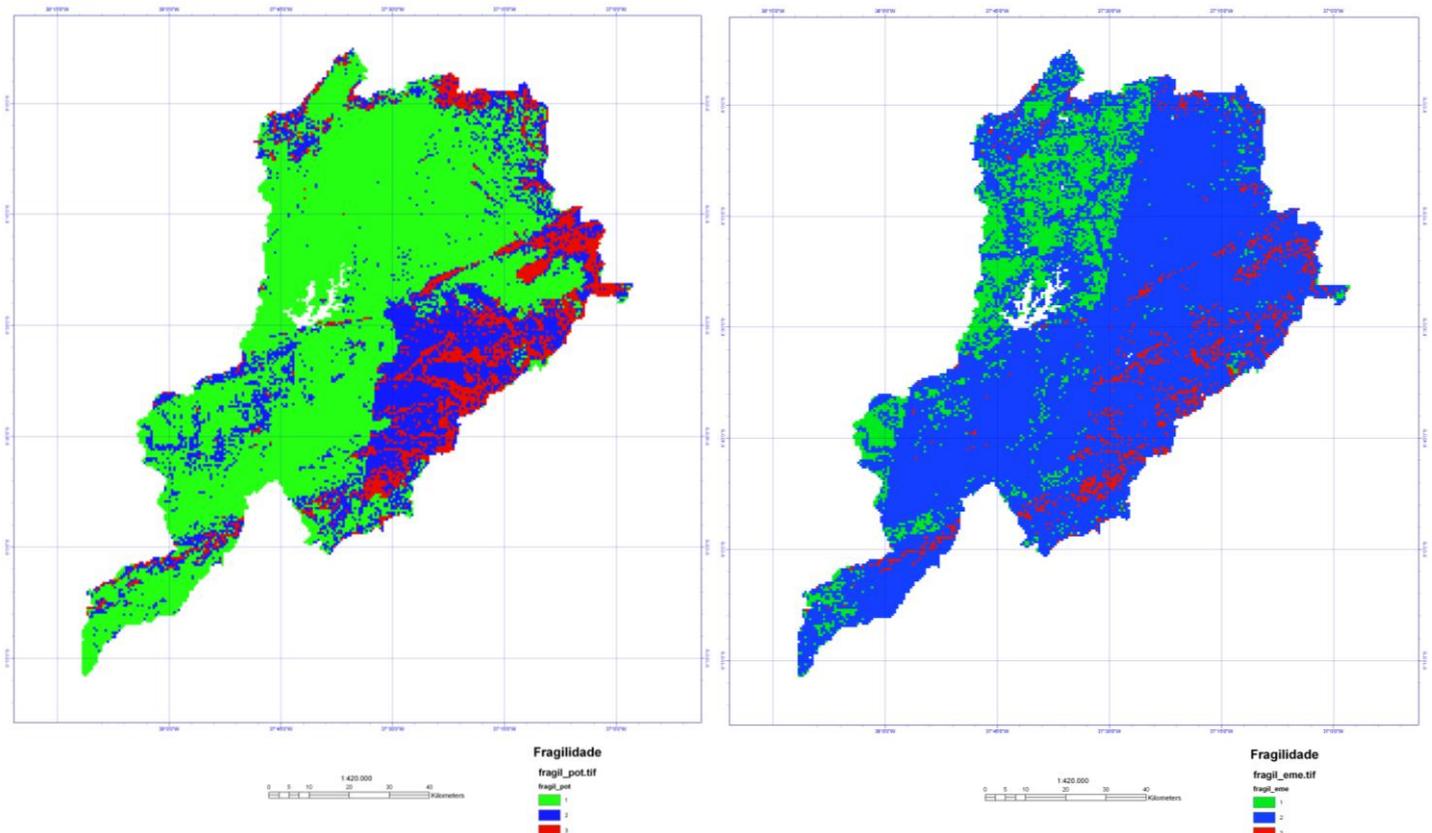
O mapa de fragilidade potencial, ou seja, a integração dos mapas de solos, declividade e intensidade pluviométrica apresentou mais de 60% dos pixels classificados como áreas não frágeis. Isso mostra que as condições naturais da região, apesar da baixa qualidade dos solos, contribuem para que a bacia hidrográfica tenha baixa fragilidade potencial, segundo a metodologia adotada. Salienta-se que 10,9% da área da bacia encontra-se no nível máximo de fragilidade, como mostra a Figura 3.

O mapa de fragilidade por cobertura vegetal da região apresentou em sua maioria, pixels dentro da categoria muito frágil, ou seja, a cobertura vegetal, constituída predominantemente por caatinga, é deficiente e não está cumprindo seu papel de proteger o solo contra os agentes erosivos. É importante retratar que, na classificação da imagem foram observadas grandes áreas de solo exposto, com traços até de desertificação, o que confirma a fragilidade da bacia.

Por fim, o mapa de fragilidade emergente (Figura 4), resultado da soma dos mapas de fragilidade potencial e fragilidade por cobertura vegetal, obteve como resultados uma classificação de maioria pouco frágil, ou seja, classificada como de valor 2. Tendo em vista que o mapa de fragilidade potencial teve 65,4% dos pixels classificados como 1 e, com a adição do mapa fragilidade por cobertura vegetal a classificação mudou completamente, com cerca de 80% dos pixels sendo classificado como de valor 2, pode-se afirmar que a cobertura vegetal e o uso que se faz do solo na região é o fator que mais exerce influência sobre a fragilidade ambiental na Bacia Hidrográfica do rio Moxotó.

Figura 3 – Mapa de Fragilidade Potencial da UP8

Figura 4 – Mapa de Fragilidade Emergente da UP8



4. Conclusões

Analisando os resultados desta pesquisa, pode-se concluir que os aspectos e os indicadores utilizados por ROSS *et al* (2005), embasados nas metodologias de TRICART (1977), são pertinentes ao estudo da fragilidade ambiental, já que representam a vulnerabilidade à erosão da região. Como já citado, o solo sustenta toda a vida do planeta, e sua degradação através da erosão acarreta na fragilização de todos os outros recursos naturais.

O indicador cobertura vegetal atrelado ao aspecto uso e ocupação do solo é o de maior perigo para um aumento na fragilidade ambiental da região. Pôde-se constatar isso claramente através da diferença de resultados entre o mapa de fragilidade potencial e o mapa de fragilidade emergente, onde houve a mudança de 65% de classificação 1 do primeiro para 80% de classificação 2 no segundo. Ou seja, no geral, a região hidrográfica UP8 pode ser caracterizada como uma região frágil ambientalmente falando, com seus pontos fracos na pedologia, que já se apresenta naturalmente na presença de solos pouco desenvolvidos, e na cobertura vegetal existente, que já é deficiente devido ao sistema semi árido em que está inserido, e através do uso e ocupação do solo que se faz na região, com a agricultura mal planejada, acaba por vulnerabilizar ainda mais a situação gradualmente.

O uso das técnicas de geoprocessamento foi imprescindível para o desenvolvimento da pesquisa, visto que, através das imagens de satélite, foi possível obter o mapa de uso e ocupação do solo da área, assim como manipular, analisar e apresentar na forma de mapas de fragilidade, os aspectos considerados relevantes para avaliação da fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do rio Moxotó.

5. Referências Bibliográficas

ANA. **Atlas Nordeste**. 2005. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br>>

ANA. **Hidroweb**. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br>>

BARROS, M. T. L.; BRAGA, B.; Conejo, J. G. L.; Eiger, S.; Hespanhol, I.; Juliano, N.; Nucci, N.; Porto, M.; Spencer, M. **Introdução à Engenharia Ambiental**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo; Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. São Paulo: Prentice Hall, 2006.

BATISTELLA, M.; MORAN, E. **Geoinformação e Monitoramento Ambiental na América Latina**. Editora SENAC: São Paulo, 2008.

BELFORT, C. F.; FARIAS, M. M. **Avaliação da vulnerabilidade à erosão nas sub-bacias de Jucazinho e Tapacurá em Pernambuco utilizando Geoprocessamento**. Anais da 61ª Reunião Anual da SBPC, Manaus, Brasil.

BERTONI, J.; NETO, F. L. **Conservação do Solo**. 6ª Ed. São Paulo: Ícone, 2008.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; MIERZWA, J. C.; BARROS, M. T. L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução à Engenharia Ambiental**. 2ªed. São Paulo, SP: Pearson Prentice Hall, 2006.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. de; 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, 2001 (INPE 8454-RPQ/722).

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. de; PALMEIRA, A. F. **Intensidade Pluviométrica: uma maneira de tratar dados pluviométricos para análise da vulnerabilidade de paisagens à perda de solo**. São José dos Campos, 2004 (INPE 11237-RPQ/760).

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. de; CARVALHO, V. C. de; GOMES, A. R. **Aplicação da metodologia ZEE para a análise da vulnerabilidade à perda de solo em ambiente semi-árido**. In: Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 3519-3526.

DONHA, A. G.; SOUZA, L. C. de P.; SUGAMOSTO, M. L. **Determinação da fragilidade ambiental utilizando técnicas de suporte à decisão e SIG**. In: Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.10, n.1, p.175-181: Campina Grande, PB, 2005.

- DONHA, A. G.; SOUZA, L. C. de P.; SUGAMOSTO, M. L.; LIMA, V. C. **Avaliação da metodologia utilizada na geração dos mapas de fragilidade ambiental em uma área piloto na APA do Iraí.** In: IV Seminário do Projeto Interdisciplinar sobre Eutrofização de Águas de Abastecimento Público na Bacia do Altíssimo Iguaçu, Curitiba-PR, 2003.
- EMBRAPA. **Levantamento de Reconhecimento de Baixa e Média Intensidade dos Solos do Estado de Pernambuco: Escala: 1:100.000.** 2000 Disponível em <<http://www.uep.cnps.embrapa.br/solos>> Acesso em 5 jun 2008.
- FIGUEIRÊDO, M. C. B. de; TEIXEIRA, A. S.; ARAÚJO, L. de F. P.; ROSA, M. F.; PAULINO, W. D.; MOTA, S.; ARAÚJO, J. C. **Avaliação da vulnerabilidade ambiental de reservatórios à eutrofização.** Eng. Sanit. Ambient., Out./Dez. 2007, vol.12, nº.4, p.399-409. ISSN 1413-4152. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v12n4/a06v12n4.pdf>> Acesso em 21 mai 2008.
- JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma Perspectiva em Recursos Terrestres.** 3º Ed; tradução: José Carlos Neves Epiphano et al. São José dos Campos, SP: Parênteses, 2009.
- MALVEZZI, R. **Semi-Árido: Uma visão holística.** Brasília: CONFEA, 2007.
- NASA. **SRTM – Shuttle Radar Topography Mission.** 2000. Disponível em <www2.jpl.nasa.gov/srtm>. Acesso em 5 jun 2008.
- PEAVY, H. S.; ROWE, D. R.; TCHOBANOGLIOUS, G. **Environmental Engineering.** Singapore: McGraw-Hill, 1986)
- ROSS, J. L. S. **Geomorfologia: ambiente e planejamento.** São Paulo: Contexto, 2003.
- ROSS, J. L. S.; LUCHIARI, A.; CAMPOS, K. C.; MORATO, R. G.; KAWAKUBO, F. S. **Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento.** In: Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 2203-2210.
- SANTOS, R. F. dos (org.). **Vulnerabilidade Ambiental.** Brasília: MMA, 2007
- SCHÄFER, A. **Fundamentos de ecologia biogeografia das águas continentais.** Porto Alegre: Ed. da Universidade, UFRGS, 1984.
- SILVA, J. X.; ZAIDAN, T. R. **Geoprocessamento e Análise ambiental.** 3º Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009.
- SPÖRL C.; ROSS J. L. S. **Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos.** GEOUSP. Espaço e Tempo, São Paulo, n. 15. p. 39-49, 2004.
- TRICART, J. **Ecodinâmica.** Rio de Janeiro: IBGE - SUPREN, 1977.
- TEIXEIRA, D. *et al.* **O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local.** Revista Uniara, n.20, 2007.
- ZAMBON, K. L.; CARNEIRO, A. A. F. M.; SILVA, A. N. R.; NEGRI, J. C. **Análise de Decisão Multicritério na Localização de Usinas Termoelétricas Utilizando SIG.** ISSN 1678-5142, 2005. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/pope/v25n2/25705.pdf>> Acesso em 21 de maio de 2009.