

Aplicação da metodologia ZEE para a análise da vulnerabilidade à perda de solo em ambiente semi-árido

Alessandra Rodrigues Gomes¹

Edison Crepani¹

Vitor Celso de Carvalho¹

José Simeão de Medeiros¹

¹INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{agomes, vitor, crepani}@dsr.inpe.br e simeão@dpi.inpe.br

Abstract. This paper aim describes the method planned to ecological-economic zoning (ZEE) and applied in a semi-arid environment. The methodology uses Landsat/TM images and thematic information available (Geology, Geomorphology, Pedology, Vegetation, Climate and the Land Use) to model the landscape formation. This kind of studies can help about irrigation projects and desertification problems.

Keywords: semi-arid environment, geoprocessing, ecological-economic zoning (ZEE), ambiente semi-árido, geoprocessamento, zoneamento ecológico-econômico (ZEE)

1. Introdução

Na região nordeste do Brasil, o clima, aliado à litologia, relevo, solo e cobertura vegetal, causa um processo natural de perda de solo que tem sido acelerado devido à ocupação humana em áreas consideradas vulneráveis.

Visando uma análise sistêmica da paisagem, Crepani et al. (1996) desenvolveram, baseados no conceito de Ecodinâmica de Tricart (1977), uma metodologia para facilitar a divisão de qualquer região em classes com maior ou menor vulnerabilidade aos processos de perda de solo. Para a aplicação desta metodologia é necessário um sistema integrado composto por imagens Landsat/TM, mapas temáticos e banco de dados montados em um Sistema de Informação Geográfica, no caso, o SPRING (Software para Processamento de Informações Georreferenciadas).

Avaliando as análises entre a imagem Landsat/TM e os dados temáticos, este trabalho tem, como objetivo, a demonstração da aplicação desta metodologia no que diz respeito à atribuição de pesos para cada uma das classes dos temas analisados em um ambiente semi-árido, tendo como área piloto uma região na porção central do Estado do Pernambuco (PE), Brasil.

Como embasamento teórico, foi adotado o conceito de abordagem de paisagem dado por Pires Neto (1995) de forma sistêmica descrito por Tricart (1977), semelhante aos estudos de Zonneveld (1989) que podem ser demonstrados a partir da descrição da metodologia para a geração da carta de vulnerabilidade desenvolvida por Crepani et al. (1996).

2. Área de Estudo

A área de estudo encontra-se no interior do Estado de Pernambuco e é definida pelas coordenadas geográficas de 8°00'00" a 8°27'00" de latitude sul e de 39°36'00" a 39°54'30" de longitude oeste (**Figura 1**). Corresponde a uma parte da folha Parnamirim (SC 24-V-B-II) na escala 1:100.000, produzida pelo Serviço Geográfico do Exército em 1968.

A definição desta área está relacionada à possibilidade de testar a metodologia em uma região com condições de semi-aridez acentuada. Trata-se de uma área onde estudos tornam-se importantes para auxiliar a crescente necessidade de implantação de projetos de irrigação e complementar e/ou facilitar os estudos de desertificação.

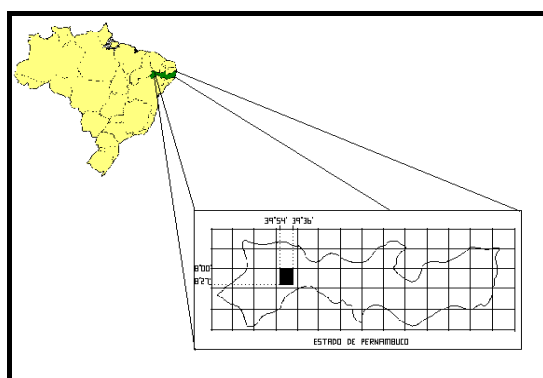


Figura 1 – Localização da área de estudo

3. Metodologia

A metodologia elaborada para a geração da carta de vulnerabilidade à perda de solo foi desenvolvida a partir do conceito de Ecodinâmica preconizada por Tricart (1977). Os meios estáveis, intermediários e fortemente instáveis foram divididos de acordo com a relação morfogênese/pedogênese. Assim sendo, Crepani et al. (1996) convencionam esta relação, caracterizando as UTBs (Unidades Territoriais Básicas) em estáveis, intermediárias e instáveis, com valores que variam de 1 a 3. As UTBs são delimitadas a partir da imagem orbital (“âncora”) e definidas de acordo com padrões de interpretação (**Figura 2**).



Figura 2 – Imagem Landsat da área de estudo e UTBs delimitadas a partir desta.

São adotados intervalos de valores de estabilidade/instabilidade (ou vulnerabilidade) distribuídos entre as situações de predomínio dos processos pedogenéticos (valores próximos de 1,0), passando por situações intermediárias (valores ao redor de 2,0) e situações de predomínio dos processos de morfogênese (valores próximos de 3,0).

Para avaliar cada unidade de paisagem e chegar a uma caracterização sobre a sua vulnerabilidade, é realizada uma média aritmética entre os valores já definidos de cada um dos temas:

$$\text{Vulnerabilidade} = (\text{Geologia} + \text{Geomorfologia} + \text{Pedologia} + \text{Vegetação e uso do solo} + \text{Clima}) / 5$$

O número obtido com a média calculada procura caracterizar cada uma das UTBs dentro de uma escala de estabilidade/vulnerabilidade com 21 valores estabelecidos empírica e relativamente na metodologia para a geração de cartas de vulnerabilidade à perda de solo.

Para a representação cartográfica da estabilidade, ou vulnerabilidade, das unidades de paisagem natural foram selecionadas 21 cores (**Tabela 1**) obtidas a partir da combinação das três cores aditivas primárias (Azul, Verde e Vermelho) de modo que se associasse a cada classe de vulnerabilidade sempre a mesma cor, obedecendo ao critério de que ao valor de maior estabilidade (1,0) se associa a cor azul, ao valor de estabilidade intermediária (2,0) se associa a cor verde e ao valor de maior vulnerabilidade (3,0) a cor vermelha. Aos valores situados entre 1,1 e 1,9 na escala de vulnerabilidade associam-se cores resultantes da combinação entre o azul e o verde, crescendo a participação do segundo a medida em que se aproxima de 2,0, enquanto que aos valores situados entre 2,1 e 2,9 associam-se cores resultantes da combinação entre o verde e o vermelho, crescendo a participação do segundo a medida em que o valor da vulnerabilidade se aproxima de 3,0.

Tabela 1 – Representação da vulnerabilidade e/ou estabilidade das UTBs

UNIDADE DE PAISAGEM	MÉDIA		GRAU DE VULNERABILIDADE	GRAU DE SATURAÇÃO			
				VERM	VERDE	AZUL	CORES
U1	↑	3,0		255	0	0	
U2		2,9		255	51	0	
U3		2,8		255	102	0	
U4	V	2,7		255	153	0	
U5	U	2,6		255	204	0	
U6	L	2,5		E	255	255	
U7	N	2,4	S	204	255	0	
U8	E	2,3	T	153	255	0	
U9	R	2,2	A	102	255	0	
U10	A	2,1	B	51	255	0	
U11	B	2,0	I	0	255	0	
U12	I	1,9	L	0	255	51	
U13	L	1,8	I	0	255	102	
U14	I	1,7	D	0	255	153	
U15	D	1,6	A	0	200	204	
U16	A	1,5	D	0	255	255	
U17	D	1,4	E	0	204	255	
U18	E	1,3		0	153	255	
U19		1,2		0	102	255	
U20		1,1		0	51	255	
U21		1,0	↓	0	0	255	

Fonte: Crepani et al. (1996)

4. Resultados e Discussão

Os resultados deste trabalho estão relacionados à análise morfodinâmica, em que atribuíram-se valores considerados vulneráveis/estáveis à perda de solo para cada um dos temas analisados.

4.1 – Geologia

Para as classes onde havia apenas um tipo de litologia foi adotado o valor definido por Crepani et al. (1996). Para a classe pré-Cambriano indiviso foi realizada uma média aritmética entre as litologias, pois ele representa um complexo de rochas metamórficas (migmatito, xisto e granito-gnaiss) que sofreram modificações ao longo do tempo principalmente devido ao cisalhamento que deu origem ao Lineamento de Patos.

As rochas granitóides possuem características que a colocam como estáveis devido à alta resistência à intemperização. Este fato é bastante observado nas áreas onde o solo é pedregoso ou o granito aflora devido ao seu lento desgaste. Por se tratar de um conjunto de litologias com estabilidade diferente, o complexo gnaiss-migmatito-xisto apresenta valores moderadamente estáveis. O gnaiss e o migmatito possuem valores que os caracterizam como

estáveis aos processos de intemperismo e o xisto, com uma vulnerabilidade maior a este processo.

Os sedimentos inconsolidados estão entre os mais instáveis, com alta vulnerabilidade, pois se localizam ao longo dos leitos dos rios, áreas onde uma grande quantidade de material é transportado pela água, principalmente a areia durante os períodos onde o fluxo de água nos canais de drenagem é intenso.

A **Tabela 2** apresenta a classe de Geologia, baseadas na litologia da área, e seus valores de estabilidade e vulnerabilidade à perda de solo.

Tabela 2 – Valores de estabilidade/vulnerabilidade para as classes encontradas na área de estudo, de acordo os parâmetros de Geologia analisados

LITOLOGIAS	VALORES DE ESTABILIDADE/ VULNERABILIDADE
Rochas granitóides	1,1
Gnaiss + migmatito + xisto	1,5
Sedimentos inconsolidados	3,0

4.2 – Geomorfologia

Com relação à Geomorfologia, foram encontradas superfícies aplainadas que são caracterizadas por relevos planos a suavemente ondulados onde os valores são considerados estáveis aos processos de perda de solo. As áreas com relevo dissecado em colinas apresentam valores intermediários pois, apesar da dissecação, os topos côncavos não permitem a perda de solo tão rápida quanto a que acontece em relevos dissecados em cristas. Nestas áreas as vertentes são mais inclinadas e a água das chuvas provoca uma aceleração nos processos de perda de solo e escoamento superficial.

A planície aluvionar é a mais instável das classes, pois neste tipo de relevo ocorre a acumulação de sedimentos. Estes sedimentos, provenientes do arraste de outras áreas pela ação da água, decorrem dos processos de modificação do relevo.

Para a variável amplitude altimétrica foram definidos intervalos de 20 metros, variando de 0 a 160 metros de acordo com Ross (1992), Ross (1994) e Crepani et al. (1996).

Os valores de dimensão interfluvial mais altos indicam um relevo mais plano, que é mais estável aos processos de perda de solo. Por outro lado, um valor pequeno desse mesmo parâmetro, significa um relevo mais dissecado onde o solo pode ser carregado com bastante facilidade.

De uma forma geral, a geomorfologia, apresentando uma média entre os três índices morfométricos, indicou que a região estudada possui extensas áreas aplainadas, com baixa amplitude interfluvial, onde a estabilidade predomina. A amplitude altimétrica predominantemente alta na área de estudo indica a presença de relevos residuais que afetam a geração da grade e, por conseguinte, sua espacialização. Os relevos residuais possuem valores diferenciados devido às características das suas vertentes que aliadas à chuva, adquire uma alta velocidade e um alto poder de escoamento superficial (*runoff*). A **Tabela 3** apresenta, portanto, as classes dos parâmetros de Geomorfologia analisados e os seus valores de estabilidade/vulnerabilidade.

Tabela 3 – Valores de estabilidade/vulnerabilidade para os parâmetros de Geomorfologia

FORMAS DE RELEVO	VALORES DE ESTABILIDADE/VULNERABILIDADE
Planície aluvionar	3,0
Relevo dissecado em cristas	2,7
Relevo dissecado em colinas	2,0
Superfície aplainada	1,3

Tabela 3 – Continuação...

AMPLITUDE ALTIMÉTRICA (m)	
>160	3,0
80 – 160	2,5
80 – 40	2,0
20 – 40	1,5
<20	1,0
DIMENSÃO INTERFLUVIAL (m)	
<250	3,0
250 A 750	2,5
750 A 2000	2,0
>2000	1,5

4.2 – Solos

Com relação à análise morfodinâmica dos solos da área estudada, pode-se observar que os latossolos são considerados solos estáveis aos processos de perda de solo pois são bem desenvolvidos, com grande profundidade e porosidade e alta maturidade. Os solos considerados “intermediários” abrangem as classes dos podzólicos, planossolos e bruno-não cálcicos. Estes solos possuem diferenças com relação aos outros solos baseadas na textura entre os horizontes A e B, dificultando a infiltração da água e favorecendo os processos de perda de solo.

Os solos vulneráveis da área de estudo, representados pelos regossolos, litossolos e vertissolos, são considerados solos pouco desenvolvidos. Nelas ocorre a ausência do horizonte B, assentando-se diretamente sobre o horizonte C ou sobre a rocha mãe. Apesar da rocha mãe (granito) ser bastante resistente aos processos de intemperismo, o solo, em particular, é bastante instável. A **Tabela 4** apresenta, por sua vez, os valores de estabilidade e vulnerabilidade para as classes de solos ou associações de solos encontrados na área de estudo.

Tabela 4 – Valores de estabilidade e vulnerabilidade para as classes de solos e associações

SOLOS (OU ASSOCIAÇÕES)	VALOR DE ESTABILIDADE/VULNERABILIDADE
Latossolo	1
Latossolo + Podzólico	1,4
Podzólico + Latossolo	1,6
Podzólico + Planossolo	2,0
Podzólico + Latossolo	1,6
Podzólico + Latossolo	1,6
Podzólico	2,0
Podzólico + Bruno Não-Cálcico	2,0
Podzólico + Bruno Não-Cálcico	2,0
Podzólico + Planossolo	2,0
Podzólico + Planossolo	2,0
Bruno Não-Cálcico + Planossolo + Podzólico	2,0
Bruno Não-Cálcico + Litólico	2,4
Bruno Não-Cálcico + Solonetz Solodizado + Litólico	2,1
Bruno Não-Cálcico + Litólico	2,4
Planossolo + Podzólico + Litólico	2,1
Planossolo + Podzólico + Litólico	2,1
Planossolo + Bruno Não-Cálcico + Litólico	2,1
Planossolo + Litólico	2,4
Planossolo + Litólico	2,4
Vertissolo + Planossolo	2,6
Regossolo + Planossolo + Litólico	2,7
Regossolo + Litólico + Planossolo	2,9
Aluvial + Cambissolo	2,6
Aluvial + Solonetz Solodizado	2,6

Tabela 4 – Continuação...

SOLOS (OU ASSOCIAÇÕES)	VALOR DE ESTABILIDADE/VULNERABILIDADE
Aluvial + Planossolo	2,6
Litólico + Podzólico + Planossolo	2,6
Litólico + Planossolo + Podzólico	2,6
Litólico + Podzólico + Afloramento	2,7
Litólico + Planossolo	2,6
Afloramento rochoso	3,0

4.3 – Vegetação e Uso da terra

A metodologia para a análise à perda de solo leva em consideração a cobertura que a vegetação e a atividade antrópica proporcionam ao solo, protegendo-o da ação erosiva das águas das chuvas. Partindo desta premissa, as áreas mais estáveis seriam as ocupadas por vegetação densa e fechada, como a caatinga arbórea fechada e a caatinga arbórea-arbustiva fechada. A caatinga arbórea-arbustiva aberta permite uma maior penetração da água da chuva, favorecendo o escoamento superficial do solo. A classe denominada caatinga antropizada foi avaliada com base em duas outras classes, caatinga arbórea-arbustiva aberta e solo exposto, pois representava áreas com uma vegetação pouco densa e o aparecimento do solo em determinadas porções da paisagem.

As áreas onde ocorre atividade humana, como solo exposto, culturas anuais e pastagens, possuem um alto valor de vulnerabilidade aos processos de perda de solo, devido à baixa cobertura do solo e ao constante preparo para a agricultura. Alia-se a este fato, a falta de manejo adequado do solo com práticas conservacionistas que procurassem minimizar o impacto da agricultura. Os valores para cada classe encontrada é observado na **Tabela 5**.

Tabela 5 – Valores de estabilidade/vulnerabilidade para as classes de vegetação e uso do solo da área de estudo

CLASSES	VALORES DE ESTABILIDADE/VULNERABILIDADE
Caatinga Arbórea Fechada	1,7
Caatinga Arbustiva Arbórea Fechada	2,1
Caatinga Arbustiva Arbórea Aberta	2,3
Caatinga antropizada	2,6
Pastagem	2,8
Solo exposto	3,0
Cultura anual	3,0
Água (lagos, represas e açudes)	3,0

4.4 - Clima

O clima foi avaliado a partir de um conjunto de amostras que representavam a intensidade pluviométrica de cada um dos postos selecionados. Estes valores foram incorporados aos intervalos estabelecidos por Crepani et al. (1996), apresentados na **Tabela 6**.

Tabela 6 – Valores de estabilidade/vulnerabilidade para as classes de intensidade pluviométrica encontradas na área de estudo

POSTOS PLUVIOMÉTRICOS	INTENSIDADE PLUVIOMÉTRICA (mm/ano)	VALOR ESTABILIDADE /VULNERABILIDADE
Fazenda Macambira	587,4	3,0
Companhia das Pedras	545,6	3,0
Orocó	540,9	3,0
Colinas	512,2	2,9
Urimamã	509,4	2,9
Jacaré	468,5	2,7
Parnamirim 2	468,0	2,7
Fazenda São Bento	432,7	2,6

Tabela 6 – Continuação...

Fazenda Tapera	395,2	2,4
Sítio Estaca	363,5	2,3
Icaçara	363,2	2,3
Parnamirim I	358,1	2,3
Matias	164,6	1,5

A análise dos temas permitiu gerar um mapa que possuía, ao invés de classes temáticas, dados numéricos que representavam os valores de vulnerabilidade e estabilidade para cada tema analisado. De acordo com a **Figura 3**, pode-se visualizar o esquema dos resultados obtidos sob a forma de mapas numéricos.

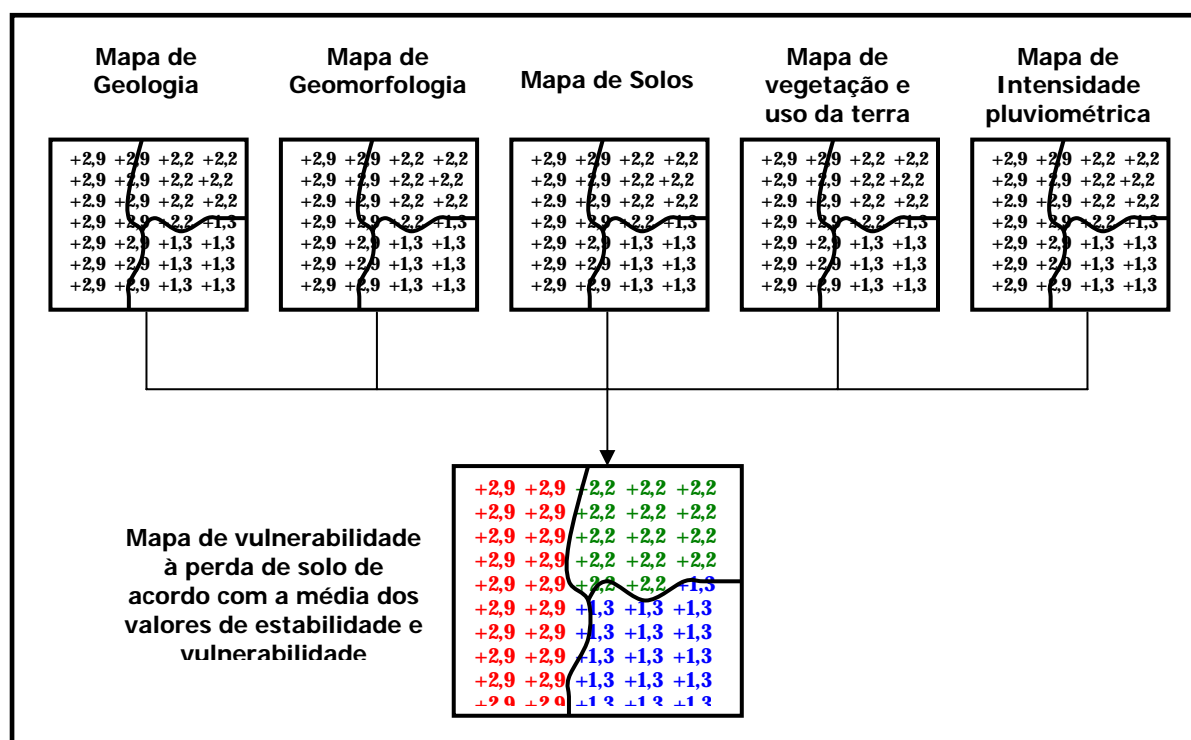


Figura 3 – Resultado da análise morfodinâmica em mapas numéricos.

5. Conclusões

A paisagem da área de estudo é considerada peculiar devido às suas características semi-áridas. Geologicamente, grande parte da região se apresenta estável aos processos de perda de solo devido ao embasamento cristalino, onde as rochas são mais resistentes ao intemperismo. As formas de relevo apresentam áreas condizentes com os processos geológicos, formadas a partir de rochas mais resistentes ou resultado de uma pediplanação e resíduos, sob a forma de morros e elevações. Em diferentes amplitudes altimétricas e interfluviais, índices morfométricos do relevo, o solo vem sendo perdido ora devido aos processos naturais, principalmente em razão da irregularidade e intensidade da precipitação pluviométrica, ora pela falta de cobertura vegetal, intensificada a partir da intervenção humana.

A irrigação adequada também evitaria os riscos de salinização, comuns nas culturas do semi-árido, permitindo o manejo da cobertura vegetal, umidade, temperatura do solo, melhorando as condições para manter a estabilidade do ambiente.

A análise morfodinâmica realizada com o intuito de estabelecer pesos para as classes dos temas abordados se mostrou bastante eficaz, e a aplicação da metodologia de vulnerabilidade à perda de solo fornece uma visão geral e sistêmica de como o ambiente semi-árido se comporta. Em uma próxima etapa os cruzamentos de informações, permitidos através de técnicas de geoprocessamento podem permitir a demonstração visual, a partir de mapas, dos resultados encontrados.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao CNPq e CAPES pelo apoio financeiro durante a execução deste trabalho, à ANEEL e CPTEC/INPE pelo fornecimento de dados, à EMBRAPA/CPATSA pelo apoio durante o trabalho de campo e coleta de informações sobre a área de estudo e ao INPE pelo suporte operacional e logístico.

Referências Bibliográficas

Crepani, E.; Medeiros, J. S.; Azevedo, L. G.; Hernandez Filho, P.; Florenzano, T. G.; Duarte, V. Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico econômico [CD-ROM]. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8., Salvador, 1996. **Anais**. São Paulo: Image Multimídia, 1996. Seção de Comunicações Técnico-Científicas.

Pires Neto, A. Planejamento territorial e a abordagem geológico-geotécnica e o conceito de terreno ou abordagem de paisagem. **Geografia**, v.8, p.51-62. 1995.

Ross, J.L.S. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, n.6, p.17-30, 1992.

Ross, J.L.S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, n.9, p.63-74, 1994.

Tricart, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: FIBGE/SUPREN, 1977, 91p.

Zonneveld, I.S. The land unit – a fundamental concept in landscape ecology and its applications. **Landscape Ecology**, v.3, n. 2, p.67-86, 1989.