

USO DE SENSORIAMENTO REMOTO NO ZONEAMENTO ECOLÓGICO-ECONÔMICO

EDISON CREPANI¹
JOSÉ SIMEÃO DE MEDEIROS¹
PEDRO HERNANDEZ FILHO¹
TERESA GALLOTTI FLORENZANO¹
VALDETE DUARTE¹

¹ INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515, CEP 12227-010, São José dos Campos, SP, Brasil

LUIS GUIMARÃES DE AZEVEDO²
(Consultor)

²SAE/PR - Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República
CCZEE - Comissão Coordenadora do Zoneamento Ecológico-Econômico
SAISO - Área 5 - Quadra 1 - Bloco G, 70610-200

Abstract. This work discusses how remote sensing techniques can be used to identify different landscape units during the diagnostic phase of an ecologic-economic zoning. TM-Landsat images are used as the basic reference (as a “anchor”) for photointerpretation of two basic territorial units: (1) “natural landscape units” and (2) “anthropogenic polygons”. Geological, Geomorphological, Pedological, Vegetation and Climatological informations within each natural landscape unit are integrated, based on the Tricart’s Ecodynamics principle. Each natural landscape unit is assigned a numerical value from a vulnerability scale and represented in a map supported by a TM-Landsat (band 5, **Red**; band 4, **Green**; band 3, **Blue**) colour composite.

Keywords: Remote Sensing, Ecologic-Economic Zoning.

1 Introdução

O uso de Sensoriamento Remoto nos trabalhos de zoneamento ecológico-econômico deve explorar o potencial de informações disponível nas imagens de satélite complementando as informações disponíveis nos diversos trabalhos existentes. O simples cruzamento de mapas temáticos ou de planos de informação, no caso dos sistemas de informações geográficas (SIG) gerando novos dados, sem o acréscimo de conhecimento que o especialista pode obter a partir da interpretação das imagens, estará desprezando informações de inestimável importância. A integração de informações disponíveis, sobre as imagens de satélite **simultaneamente** à sua interpretação, leva a melhores e mais completos resultados no sentido de entender o meio ambiente de maneira holística. Segundo Tricart (1981), o sensoriamento remoto deveria ser usado para melhorar a descrição das paisagens e o conhecimento de nosso ambiente. Ele define paisagem, adaptando de J. P. Deffontaines, como “*uma porção perceptível a um observador onde se inscreve uma combinação de fatos*

visíveis e invisíveis e interações as quais, num dado momento, não percebemos senão o resultado global”. Tricart e KiewietdeJonge (1992) apresentam uma discussão bastante interessante sobre sensoriamento remoto e ecodinâmica, além de discutirem diversos procedimentos para o estudo do meio ambiente, abordando também a gestão dos ambientes rurais.

2 A imagem TM-Landsat como “Âncora” para o zoneamento

Dentro dessa proposta de promover a integração de dados sobre uma imagem que possa ser interpretada, as **unidades territoriais básicas** de um zoneamento ecológico-econômico podem ser divididas em duas categorias: as “**unidades de paisagem natural**” e os “**polígonos de ação antrópica**”.

As unidades de paisagem natural são definidas sobre as imagens a partir da fotointerpretação dos seus elementos básicos: elementos de textura de relevo e de drenagem, e tonalidades de cinza ou matizes de cores.

Os polígonos de ação antrópica correspondem às feições decorrentes da intervenção humana na paisagem, manifestada na forma de alterações na tonalidade de cinza ou matizes de cores, dentro de padrões característicos.

A delimitação das unidades territoriais básicas sobre uma imagem de satélite permite o acesso às informações que as diferentes resoluções (espacial, temporal e radiométrica) da imagem pode oferecer, ao contrário do simples cruzamento de informações, gerado a partir de dados de diferentes escalas, épocas, e metodologias de trabalho, que nem sempre apresentam um resultado consistente para um determinado momento.

3 As Unidades de Paisagem natural

As unidades de paisagem natural, definidas a partir de critérios de fotointerpretação sobre a “âncora” representada pelas imagens orbitais, devem ser analisadas à luz de suas características genéticas e daquelas relacionadas à sua interação com o meio ambiente, para que se possa conhecer e classificar sua capacidade de sustentação à ação humana.

Para que se analise uma unidade de paisagem natural é necessário que se conheça sua gênese, constituição física, forma e estágio de evolução, bem como a natureza da cobertura vegetal que sobre ela se desenvolve. Estas informações serão fornecidas pela Geologia, Geomorfologia, Pedologia e Fitogeografia e precisam ser integradas para que se tenha um retrato fiel do comportamento de cada unidade frente à sua ocupação. Finalmente, é necessário o auxílio da Climatologia para que se conheçam algumas características climáticas da região onde se localiza a unidade de paisagem, a fim de que se antevêja o seu comportamento frente às alterações impostas pela ocupação.

A integração das características da unidade de paisagem natural pode ser feita a partir dos princípios da Ecodinâmica (Tricart, 1977) que estabelece uma gradação entre a morfogênese, onde prevalecem os processos erosivos modificadores das formas de relevo, e a pedogênese, onde prevalecem os processos formadores de solos.

A contribuição da Geologia para a definição e análise das unidades de paisagem natural compreende as informações relativas ao grau de coesão das rochas que a compõem, fornecidas pela Mineralogia e Petrologia, e as informações relativas à história de evolução do seu ambiente geológico, fornecidas pela Tectônica e pela Geologia Estrutural. Por grau de

coesão das rochas entenda-se a intensidade da ligação entre os minerais ou partículas que a constituem. O grau de coesão das rochas é a informação básica da Geologia a ser integrada a partir da Ecodinâmica, uma vez que em rochas pouco coesas prevalecem os processos modificadores das formas de relevo, enquanto que nas rochas bastante coesas prevalecem os processos de formação de solos.

A Geomorfologia oferece para a caracterização das unidades de paisagem natural, as informações relativas à Morfometria que influenciam de maneira definitiva os processos ecodinâmicos. As informações morfométricas utilizadas são: a amplitude de relevo, a declividade e o grau de dissecação da unidade de paisagem. A integração dessas informações caracteriza a forma de relevo da unidade de paisagem e permite que se quantifique empiricamente a energia potencial disponível para o “runoff” (Morisawa, 1968), isto é, a transformação de energia potencial em energia cinética responsável pelo transporte de materiais que esculpe as formas de relevo. Dessa maneira podemos entender que em unidades de paisagem que apresentam valores altos de amplitude de relevo, declividade e grau de dissecação, prevalecem os processos morfogenéticos da Ecodinâmica, enquanto que em situações de baixos valores para as características morfométricas prevalecem os processos pedogenéticos da Ecodinâmica.

A Pedologia participa da caracterização das unidades de paisagem natural fornecendo o indicador básico da posição ocupada pela unidade dentro da escala gradativa da Ecodinâmica: a maturidade dos solos. A maturidade dos solos, produto direto do balanço morfogênese/pedogênese, indica claramente se prevalecem os processos erosivos da morfogênese que geram solos jovens, pouco desenvolvidos, ou se, no outro extremo, as condições de estabilidade permitiram o predomínio dos processos de pedogênese gerando solos maduros, lixiviados e bem desenvolvidos.

As informações vindas da Fitogeografia, utilizadas por último na integração que definirá a capacidade de sustentação da unidade de paisagem natural, se revestem da maior importância, pois a cobertura vegetal representa a defesa da unidade de paisagem contra os efeitos dos processos modificadores das formas de relevo (erosão).

A ação da cobertura vegetal na proteção da paisagem se dá de diversas maneiras: a) evita o impacto direto das gotas de chuva contra o terreno que promove a desagregação das partículas; b) impede a compactação do solo que diminui a capacidade de absorção de água; c) aumenta a capacidade de infiltração do solo pela

difusão do fluxo de água da chuva; d) suporta a vida silvestre que, pela presença de estruturas biológicas como raízes de plantas, perfurações de vermes e buracos de animais, aumenta a porosidade e a permeabilidade do solo. Em última análise, compete à cobertura vegetal um papel importante no trabalho de retardar o ingresso das águas provenientes das precipitações pluviais nas correntes de drenagem, pelo aumento da capacidade de infiltração, pois o ingresso imediato provoca incremento do “runoff” (massas de água em movimento), com o conseqüente aumento na capacidade de erosão e transporte, pela transformação de energia potencial em energia cinética. Isto também pode ser verificado nos experimentos discutidos por De Ploey (1981).

A participação da cobertura vegetal na caracterização das unidades de paisagem está, portanto, diretamente ligada à sua capacidade de proteção, assim aos processos morfogenéticos relacionam-se as coberturas vegetais de densidade mais baixa, enquanto que os processos pedogenéticos ocorrem em situações onde a cobertura vegetal mais densa permite o desenvolvimento e maturação do solo.

As informações climatológicas necessárias à caracterização das unidades de paisagem natural representam o contraponto do papel de defesa da unidade de paisagem desempenhado pela cobertura vegetal. Estas informações, relativas à pluviosidade anual e à duração do período chuvoso, permitem a quantificação empírica do grau de risco a que está submetida uma unidade de paisagem, pois situações de pluviosidade concentrada, isto é, alta pluviosidade anual e curta duração do período chuvoso, podem ser traduzidas como situações onde a quantidade de água disponível para o “runoff” é muito grande, e portanto é maior a capacidade de erosão e transporte. De forma inversa, a quantidade de água distribuída em um maior período de tempo leva a situações de menor risco para a integridade da unidade de paisagem, pois é maior a possibilidade de haver infiltração.

Dentro desse conceito, a participação da informação climatológica na caracterização das unidades de paisagem se reveste de grande importância, pois em regiões submetidas a pluviosidade anual elevada com curta duração para o período chuvoso, devem se encontrar as melhores condições para o desenvolvimento dos processos morfogenéticos, cujo vetor principal para nossas condições climáticas é o “runoff”, por outro lado, regiões que apresentam menores quantidades pluviométricas anuais e maior duração para o período chuvoso, devem hospedar os processos pedogenéticos, onde a infiltração constante

promove a lixiviação responsável pelo amadurecimento dos solos.

4 Os Polígonos de Ação Antrópica

Como representantes da área física onde se dá a atuação humana modificando as condições naturais, os polígonos de ação antrópica podem localizar-se sobre uma única, ou várias unidades de paisagem natural, dependendo exclusivamente de suas dimensões.

Esta simples constatação a respeito dos polígonos de ação antrópica demonstra a necessidade de se conhecer previamente as unidades de paisagem natural. A atuação do homem sobre o meio ambiente, sem o prévio conhecimento do equilíbrio dinâmico existente entre os diversos componentes que permitiram a “construção” das diferentes unidades de paisagem pode levar a situações desastrosas, do ponto de vista ecológico e econômico. Portanto, antecedendo qualquer ocupação, dever-se-ia conhecer os componentes físico-bióticos (Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Fitogeografia e Clima) que interagindo, levaram ao estabelecimento das unidades de paisagem.

O conhecimento profundo dos mecanismos que atuam nas unidades de paisagem permite orientar as atividades a serem desenvolvidas dentro do polígono de ação antrópica, de maneira a evitar agressões irreversíveis e obter maior produtividade, e pode também dirigir ações corretivas dentro daqueles polígonos onde o uso inadequado provoca malefícios notáveis.

5 Elaboração de uma carta de vulnerabilidade natural a erosão

Sobre as imagens TM/Landsat na composição 5R4G3B (banda 5, **Vermelho**; banda 4, **Verde**; banda 3, **Azul**) e escala 1:250.000 (a “âncora” escolhida), desenvolveu-se o trabalho de fotointerpretação que permitiu a separação das unidades territoriais básicas do mapeamento: as **unidades de paisagem natural** e os **polígonos de ação antrópica**. A partir de sua identificação, cada unidade de paisagem natural passou a ser analisada, com a integração entre os dados disponíveis no acervo bibliográfico e as informações contidas nas imagens.

A integração dos dados disponíveis foi feita segundo um modelo que prevê 21 classes de vulnerabilidade à erosão, distribuídas entre as situações de predomínio dos processos de pedogênese (às quais se atribuíram valores próximos de 1,0), passando por situações intermediárias (às quais se atribuíram valores

ao redor de 2,0) e situações de predomínio dos processos de morfogênese (às quais se atribuíram valores próximos de 3,0), idealizado a partir dos conceitos da Ecodinâmica (Tricart, 1977), como mostra a Tabela 1.

TABELA 1 - VALORES DE ESTABILIDADE DE UNIDADES DE PAISAGEM

Unidade	Relação pedogênese /morfogênese	Valor
Estável	Prevalece a pedogênese	1.0
Intermediária	Equilíbrio entre pedogênese e morfogênese	2.0
Instável	Prevalece a morfogênese	3.0

Modificado de Tricart, 1977

O modelo foi aplicado a cada tema individualmente dentro de cada unidade de paisagem, respeitando uma abordagem holística e posteriormente recebeu um valor final, resultante da média dos valores individuais (Tabela 2), que representa a posição desta unidade de paisagem dentro da escala de vulnerabilidade à erosão.

A atribuição de valores para cada tema, dentro de cada unidade de paisagem natural, obedeceu aos seguintes critérios:

Geologia- os elementos considerados para atribuição de valores para as 21 classes de vulnerabilidade do tema Geologia, a partir das informações bibliográficas, são basicamente aqueles relacionados à história da evolução do ambiente geológico onde se insere a unidade de paisagem, o que permite entender sua origem e sua tendência futura, e os elementos relativos ao grau de coesão das rochas que suportam a unidade de paisagem, atribuindo-se valores próximos à estabilidade (1,0) para as rochas que apresentem maior grau de coesão para as condições a que está submetida a unidade de paisagem, valores intermediários (ao redor de 2,0) para as rochas que apresentem valores intermediários no seu grau de coesão, e valores próximos à vulnerabilidade (3,0) para as rochas que apresentam os menores valores no seu grau de coesão.

Geomorfologia- para este tema, os índices morfométricos: amplitude de relevo, declividade e grau de dissecação (obtidos nas cartas topográficas e/ou interpretados nas imagens), são considerados para estabelecer as 21 classes de vulnerabilidade. Às unidades de paisagem que apresentem os menores valores para os índices morfométricos são atribuídos valores próximos à estabilidade (1,0), àquelas que

apresentem valores intermediários para as combinações dos elementos morfométricos são atribuídos valores intermediários (ao redor de 2,0) e para as unidades de paisagem que apresentem os maiores valores para os índices morfométricos são atribuídos valores próximos da vulnerabilidade (3,0).

Pedologia- a característica considerada para estabelecer as 21 classes de vulnerabilidade dos solos é a maturidade. Assim, a partir de dados bibliográficos associados à interpretação da imagem, são atribuídos valores ao solo, ou associação de solos, que predomina na unidade de paisagem, de maneira que aos solos mais maduros, com predominância de latossolos, são atribuídos valores próximos à estabilidade (1,0), os valores intermediários (ao redor de 2,0) são atribuídos às associações de solos onde predominam os solos podzólicos, enquanto que ao predomínio de solos litólicos atribuem-se valores próximos da vulnerabilidade (3,0).

Vegetação- a densidade de cobertura vegetal é parâmetro a ser obtido, da documentação existente e da interpretação das imagens, para se determinar as 21 classes de vulnerabilidade deste tema. A densidade de cobertura vegetal da unidade de paisagem, fator de proteção da unidade, determina se o valor se aproxima da estabilidade (1,0), se apresenta valores intermediários (ao redor de 2,0) ou, se apresentando baixa densidade, como a savana parque, tem valores próximos da vulnerabilidade (3,0).

Climatologia- uma relação entre os valores extremos da pluviosidade e da duração do período chuvoso, da região onde se localiza a unidade de paisagem natural, determina o intervalo de valores que, por interpolação, fornecerão as 21 classes de vulnerabilidade desta região. Assim, as unidades de paisagem localizadas em regiões que apresentem menores índices pluviométricos anuais e maior duração para o período chuvoso receberão valores próximos à estabilidade (1,0), aos valores intermediários associam-se os valores de vulnerabilidade/estabilidade ao redor de 2,0, e às unidades de paisagem localizadas em regiões de maiores índices de pluviosidade anual e menor duração do período chuvoso atribuem-se valores próximos da vulnerabilidade (3,0).

A simples operação de extração da média aritmética entre os valores individuais dos temas, para cada unidade de paisagem permite sua disposição numa escala de estabilidade/vulnerabilidade com 21 classes, onde as unidades mais estáveis ocuparão os espaços mais próximos de 1,0, as intermediárias ao redor de 2,0 e as unidades de paisagem mais vulneráveis estarão próximas de 3,0.

TABELA 2 - VALORES DE ESTABILIDADE DE UNIDADES DE PAISAGEM

UNIDADES	GEOLOGIA	VALOR	SOLOS	VALOR	RELEVO	VALOR	VEGETAÇÃO	VALOR	--	MÉDIA
U14	Fm. Iriri: Rio- litos, Piroclasi- tos, Granófilos	1,0	Podzólico Verm. Amarelo	2,0	Superfície Pediplanada Diss. Baixa	1,1	Floreta tropical densa	1,0	--	1,3
U17	Aluvião	3,0	Solos Aluviais	3,0	Planície Aluvial	3,0	Floresta tropical densa	1,0	--	2,5
U18	Compl. Xingu: Gran., Gnaiss.- Migmatitos	1,5	Podzólico Verm. Amarelo	2,0	Superfície Pediplanada Diss. Baixa	1,1	Floresta tropical aberta	1,3	--	1,5
U26	Fm. Sobreiro: Andesitos Pórfiros e Porfíricos	1,9	Terra Roxa Podz. Ver. Am. Latos. Ver. Am.	1,9	Colinas Aplanadas Diss. Baixa a Média	1,2	Floresta tropical aberta	1,3	--	1,6
U48	Fm. Gorotire: Arenitos Con- glomeráticos a Finos	2,6	Solos Litólicos	3,0	Ravinas Diss Alta	2,5	Cerradão	1,7	--	2,5

Para a representação cartográfica das unidades de paisagem natural, bem como de sua vulnerabilidade/estabilidade, optou-se por adotar um formato que reunisse a maior compatibilização possível com outros formatos cartográficos, legenda simplificada e apresentasse facilidade de comunicação visual, de maneira que pudesse ser compreendido não só por especialistas e técnicos, mas também pelas autoridades e

pelo público em geral. Dentro desse espírito, os mapas são apresentados obedecendo as folhas da Carta do Brasil na escala 1:250.000, onde estão representadas as unidades de paisagem natural e os principais acidentes geográficos. A Figura 1 mostra um exemplo de forma final concebida para a carta de vulnerabilidade natural a erosão.

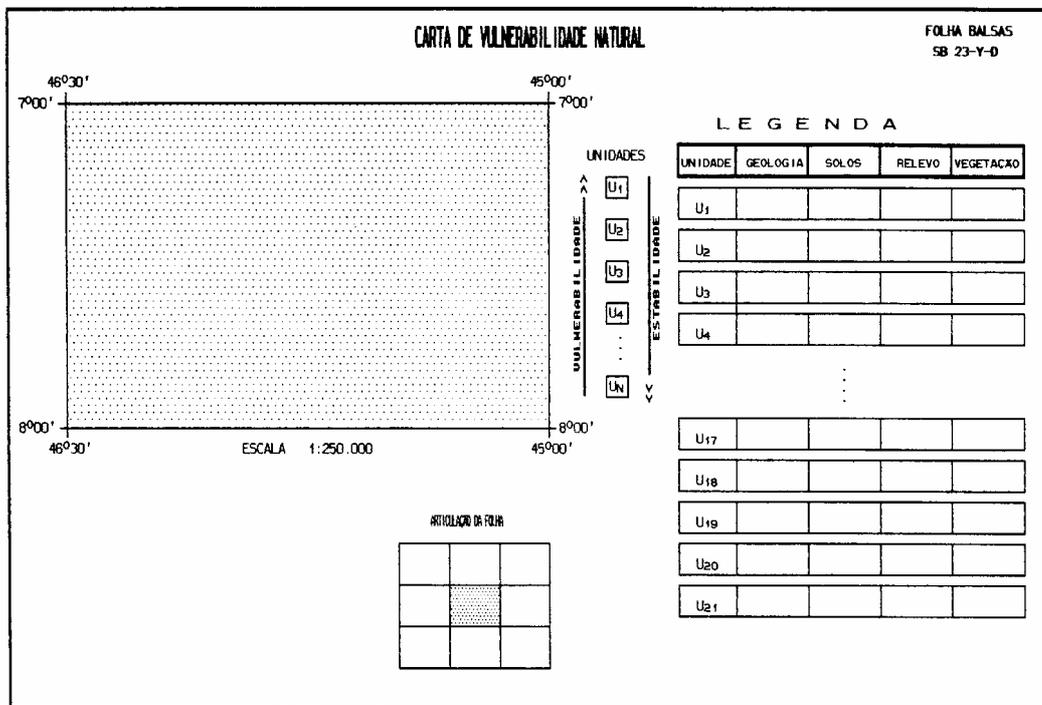


Figura 1. Exemplo de carta de vulnerabilidade natural

A representação da vulnerabilidade ou estabilidade das unidades de paisagem foi feita por meio de cores (Tabela 3). Foram selecionadas 21 cores obtidas a partir da combinação aditiva das três cores primárias (azul, verde, e vermelho), de modo que se associasse a cada classe de vulnerabilidade/estabilidade sempre a mesma cor, obedecendo ao critério de que ao valor médio de maior estabilidade (1,0) associa-se a cor azul, ao valor intermediário (2,0) a cor verde e às unidades de maior

vulnerabilidade (3,0), associa-se a cor vermelha. Às unidades de paisagem com valores intermediários entre 1,0 e 2,0 associam-se cores resultantes da combinação, entre o azul e o verde, crescendo a participação do segundo, e às unidades de paisagem com valores intermediários entre 2,0 e 3,0 associam-se cores resultantes da combinação entre o verde e o vermelho, crescendo a participação do segundo.

TABELA 3-REPRESENTAÇÃO DA VULNERABILIDADE OU ESTABILIDADE

UNIDADE DE PAISAGEM	MÉDIA		GRAU DE VULNERAB.	GRAU DE SATURAÇÃO					
				VERM.	VERDE	AZUL	CORES (a)		
U1	↑	3,0	VULNERÁVEL	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	MODERADAM. VULNERÁVEL	255	204	0			
U6		L		2,5	E	255		255	0
U7	N	2,4	MODERADAM. VULNERÁVEL	204	255	0			
U8		E		2,3	T	153		255	0
U9		R		2,2	A	102		255	0
U10	A	2,1	MEDIANAM. ESTÁVEL/VULNERÁVEL	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	MODERADAM. ESTÁVEL	0	255	153			
U15		D		1,6	A	0		255	204
U16		A		1,5	D	0		255	255
U17	D	1,4	ESTÁVEL	0	204	255			
U18		E		1,3	E	0		153	255
U19		↓		1,2	ESTÁVEL	0		102	255
U20	1,1		0	51		255			
U21	1,0		0	0		255			

6 Utilização da metodologia e perspectivas

Durante o período de Novembro de 1994 a Outubro de 1995 o INPE, em convênio com a SAE/PR (Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República), desenvolveu projeto de treinamento de equipes multidisciplinares, em todos os Estados da Amazônia Legal, dentro do Projeto de Zoneamento Ecológico-Econômico da Amazônia. A partir das Comissões Estaduais de Zoneamento Ecológico-Econômico cada Estado definiu uma área prioritária, dentro de seu território, e a equipe a ser treinada.

Na composição de cada equipe multidisciplinar procurou-se, sempre que possível, contar com a participação de profissionais atuantes nos diversos temas a serem integrados: Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e Climatologia.

A metodologia aplicada no curso de treinamento foi concebida visando o mapeamento de todo território da Amazônia Legal e pode ser aplicada em todo território nacional, uma vez que tem como “âncora” as imagens TM/Landsat.

No estágio atual do treinamento, foram atendidos os 9 Estados da Amazônia Legal, com o treinamento de 115 técnicos e 9 folhas da carta do Brasil na escala de 1:250.000 estão sendo concluídas com o tema “vulnerabilidade natural a erosão”.

Na avaliação da metodologia apresentada e do treinamento oferecido pode-se afirmar que houve grande aceitação por parte dos técnicos e especialistas das equipes estaduais do ZEE.

O treinamento deverá ser reiniciado em 1996 com a abordagem dos polígonos de ação antrópica (uso da

terra) e de procedimentos para geração de cartas de sustentabilidade.

Finalmente, é importante enfatizar que os procedimentos apresentados seguem as orientações das Diretrizes Metodológicas e Patamar Mínimo para o Zoneamento Ecológico -Econômico (SAE/PR-CCZEE, 1991).

7 Referências

DE PLOEY, J. **The ambivalent effects of some factors of erosion.** Mém. Inst. Geol. Univ. Louvain. t. XXXI, pp 171-181. 1981.

MORISAWA, M. **Streams: their dynamics and morphology.** New York, McGraw-Hill Book Company, 1968, 175p.

SAE/PR-CCZEE. **Diretrizes metodológicas e patamar mínimo para o zoneamento ecológico-econômico do território nacional.** Brasília. SAE/PR. 1991.

TRICART, J. **Ecodinâmica,** Rio de Janeiro, IBGE-SUPREN, (Recursos Naturais e Meio Ambiente), 1977, 91 p.

TRICART, J. **Paisagem e ecologia.** Inter- Fácies, escritos e documentos. São José do Rio Preto. IBILCE-UNESP N^o. 76. 1982. 55p.

TRICART, J. KIEWIETDEJONGE. C. **Ecogeography and rural managment.** Essex, UK. Longman Scientific & Technical. 1992.

Email dos autores

crepani@ltid.inpe.br

simeao@dpi.inpe.br

pedro@ltid.inpe.br

teresa@ltid.inpe.br

valdete@ltid.inpe.br