

“Sensoriamento Remoto aplicado ao Projeto de Zoneamento Econômico e Ecológico da região fronteira Brasil-Venezuela compreendida entre os municípios de Vila Paracaima (BR) e Santa Elena do Uaiarén (VE)”.

Edison Crepani - INPE  
Valdete Duarte - INPE

## **INTRODUÇÃO**

Dentro do Projeto Plurianual de Cooperação Amazônica da Organização dos Estados Americanos - OEA e do Grupo de Trabalho V - “Meio Ambiente”, da Comissão Binacional de Alto Nível Brasil-Venezuela - COBAN, a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM executará estudos e trabalhos relacionados com o Projeto Conjunto Brasil-Venezuela para o Ordenamento Territorial e Zoneamento Ecológico e Econômico da região fronteira entre Vila Paracaima e Santa Elena de Uaiarén, em estreita colaboração com a contraparte venezuelana representada pela CVG TECMIN, C.A.

A área do projeto localiza-se ao longo da fronteira Brasil-Venezuela tendo como limites geográficos os paralelos 4°00' e 5°00' de latitude Norte e os meridianos 60° 00' e 62° 00' de longitude Oeste, abrangendo 20.000 km<sup>2</sup>.

A metodologia escolhida para a realização do projeto foi aquela desenvolvida pelo convênio estabelecido entre a Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República - SAE/PR e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, que tem como objetivo capacitar técnicos brasileiros a confeccionar cartas de vulnerabilidade da paisagem para subsidiar o Zoneamento Ecológico-Econômico - ZEE da Amazônia brasileira.

Esta metodologia utiliza imagens TM-Landsat como “âncora” para a integração de dados de Geologia, Pedologia, Geomorfologia, Vegetação e Clima aproveitando as características de resolução espacial, temporal, espectral e radiométrica oferecidas pelas imagens, permitindo a delimitação de unidades territoriais básicas que considerem os aspectos dinâmicos da evolução da paisagem.

Para a transferência da metodologia foi oferecido um curso para os técnicos brasileiros e venezuelanos que participam do projeto, realizado entre os dias 4 e 9 de Novembro de 1996 nas dependências da CVG TECMIN, C.A. em Ciudad Bolívar, Venezuela.

### **1 - HISTÓRICO DO CURSO**

Neste curso é apresentada uma metodologia para capacitar técnicos dos estados da Amazônia Legal na elaboração da primeira fase do Zoneamento Ecológico-Econômico desta região. Assim, através da aplicação desta metodologia, é possível gerar cartas de vulnerabilidade natural à erosão para subsidiar o Zoneamento Ecológico-Econômico da Amazônia.

Esta metodologia foi desenvolvida a partir do conceito de Ecodinâmica (Tricart, 1977), baseado na relação morfogênese/pedogênese, e da

potencialidade para estudos integrados das imagens TM-LANDSAT, uma vez que permitem uma visão sinóptica, repetitiva e holística da paisagem.

De acordo com essa metodologia, primeiramente é elaborado um mapa de unidades de paisagem natural e polígonos de ação antrópica, obtido através da análise e interpretação de imagens TM-LANDSAT (composições coloridas com as bandas 3, 4 e 5 associadas com as cores azul, verde e vermelho, respectivamente, na escala de 1:250.000) considerando os padrões fotográficos identificados pelas variações de cores e elementos de textura de drenagem e relevo. Em seguida são realizadas associações das informações temáticas preexistentes (mapas geológicos, geomorfológicos, pedológicos, de cobertura vegetal e dados climatológicos) com o mapa de unidades de paisagem obtido das imagens. Esta associação permite caracterizar tematicamente as unidades de paisagem natural.

Posteriormente é feita uma classificação do grau de vulnerabilidade de cada unidade de paisagem natural, segundo as relações entre os processos de morfogênese e pedogênese. A vulnerabilidade é expressa pela atribuição de valores (de 1 a 3, num total de 21 valores) para cada unidade de paisagem. Com este procedimento metodológico é possível elaborar cartas de vulnerabilidade natural à erosão na escala de 1:250.000.

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 Clima.

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

No estágio atual do treinamento realizado pelo INPE 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 foram abordadas com o tema "Vulnerabilidade Natural à Erosão".

Finalmente, é importante enfatizar que os procedimentos apresentados neste trabalho seguem as orientações das Diretrizes Metodológicas e Patamar Mínimo para o Zoneamento Ecológico-Econômico (SAE/PR-CCZEE, 1991). Também foi sugerido por Becker e Egler (1996) que os procedimentos metodológicos desenvolvidos pelo INPE devam ser ponto de referência para aprofundar a avaliação das unidades de paisagem natural, bem como elemento fundamental para compor a carta síntese de propostas de zoneamento para os estados da Amazônia Legal.

## **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”**.

Segundo Becker e Egler (1996), as unidades territoriais básicas são as células elementares de informação e análise para o zoneamento ecológico econômico. Como em um ser vivo, cada célula contém um conjunto de informações fundamentais à manutenção e à reprodução da vida e compõe um tecido que desempenha determinadas funções em seu desenvolvimento. Uma unidade territorial básica é uma entidade geográfica que contém atributos ambientais que permitem diferenciá-la de suas vizinhas, ao mesmo tempo em que possui vínculos dinâmicos que a articulam à uma complexa rede integrada por outras unidades territoriais.

As unidades de paisagem natural são definidas sobre as imagens a partir da interpretação dos seus elementos básicos: elementos de textura de relevo e de drenagem e matizes de cores. Os polígonos de ação antrópica correspondem às feições decorrentes da intervenção humana na paisagem, manifestada na forma de alterações nos 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, espectral, temporal e radiométrica) da imagem podem 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.

A adoção das imagens TM como “âncora” para o Zoneamento Ecológico-Econômico traz consigo a possibilidade de se utilizar todo o potencial disponível do Sensoriamento Remoto e dos Sistemas de Informações Geográficas, além de desenvolver uma metodologia perfeitamente aplicável a novos produtos orbitais que estarão disponíveis no futuro.

## **3 - AS UNIDADES DE PAISAGEM NATURAL**

As unidades de paisagem natural, enquanto unidades territoriais básicas passíveis de georreferenciamento, contém uma porção do terreno onde se inscreve uma combinação de eventos e interações, visíveis e invisíveis, cujo resultado é registrado e pode ser visto na forma de imagem fotográfica de um determinado momento, representando um elo de ligação entre a geografia e a ecologia.

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 se analisar uma unidade de paisagem natural é necessário conhecer sua gênese, constituição física, forma e estágio de evolução, bem como o tipo da cobertura vegetal que sobre ela se desenvolve. Estas informações são 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 análise morfodinâmica das unidades de paisagem natural pode ser feita a partir dos princípios da Ecodinâmica (Tricart, 1977) que estabelece diferentes categorias morfodinâmicas resultantes dos processos de morfogênese ou pedogênese. Quando predomina a morfogênese prevalecem os processos erosivos, modificadores das formas de relevo, e quando predomina a pedogênese prevalecem os processos formadores de solos.

A contribuição da Geologia para a análise e definição da categoria morfodinâmica das unidades de paisagem natural compreende as informações relativas à história da evolução do ambiente geológico, e as informações relativas ao grau de coesão das rochas que a compõem. Por grau de coesão das rochas entende-se a intensidade da ligação entre os minerais ou partículas que as 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.

Na metodologia proposta, a Geomorfologia oferece para a caracterização da estabilidade das unidades de paisagem natural, as informações relativas à Morfometria que influenciam de maneira marcante os processos ecodinâmicos. As informações morfométricas utilizadas são: a amplitude de relevo, a declividade e o grau de dissecação da unidade de paisagem. Essas informações caracterizam a forma de relevo da unidade de paisagem natural e permitem 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 natural que apresentam valores altos de amplitude de relevo, declividade e grau de dissecação, prevalecem os processos morfogenéticos, enquanto que em situações de baixos valores para as características morfométricas prevalecem os processos pedogenéticos.

A Pedologia participa da caracterização morfodinâmica 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 permitem o predomínio dos processos de pedogênese gerando solos maduros, lixiviados e bem desenvolvidos.

As informações vindas da Fitogeografia 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 pela transformação de energia potencial em energia cinética.

A participação da cobertura vegetal na caracterização morfodinâmica das unidades de paisagem natural está, portanto, diretamente ligada à sua capacidade de proteção. Assim aos processos morfogenéticos relacionam-se as coberturas vegetais de densidade (cobertura do terreno) 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 morfodinâmica das unidades de paisagem natural representam o contraponto ao papel de defesa desempenhado pela cobertura vegetal. Estas informações, relativas à pluviosidade anual e à duração do período chuvoso, que definem a *intensidade pluviométrica*, permitem a quantificação empírica do grau de risco a que está submetida uma unidade de paisagem, pois situações de intensidade pluviométrica elevada, 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.

Estas situações reúnem as melhores condições para o desenvolvimento dos processos morfogenéticos cujo vetor principal, para nossas condições climáticas, é o "runoff". De forma inversa, a baixa pluviosidade anual distribuída em um maior período de tempo, caracterizando intensidade pluviométrica reduzida, leva a situações de menor risco para a integridade da unidade de paisagem, pois é menor a disponibilidade de água para o "runoff".

#### **4 - OS POLÍGONOS DE AÇÃO ANTRÓPICA**

Como representantes, nas imagens fotográficas, da área física onde se dá a atuação humana que modifica 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, deve-se conhecer os componentes físico-bióticos (Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Fitogeografia e Clima) que interagindo, levaram ao estabelecimento das unidades de paisagem natural.

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

Os materiais que compõem as unidades de paisagem natural, os processos que nela atuam e a sua geometria, fazem parte de um conjunto auto-regulador em que toda *forma* é resultado do ajustamento entre *materiais* e *processos*. O equilíbrio deste sistema, presente em cada unidade de paisagem natural, mostra o ajustamento completo das suas variáveis internas às condições externas, e como estes sistemas são abertos eles mantêm-se estabilizados na medida em que as forças atuantes, provindas do meio ambiente, possam ser absorvidas pela flexibilidade existente na estrutura do sistema. Quando a introdução de novas forças gera processos que ultrapassem o grau de absorção há um reajuste em busca de um novo estado de equilíbrio.

As unidades de paisagem natural apresentam diferentes graus de absorção aos estímulos exteriores, assim como seus componentes (formas de relevo, solos, vegetação etc.) apresentam escalas diferentes para a reajustagem frente às modificações provocadas externamente até que se restaure o equilíbrio perdido, podendo oscilar da escala medida em anos até milhões de anos.

As atividades desenvolvidas dentro dos polígonos de ação antrópica introduzem novas forças que podem alterar, em escala variável, as condições de equilíbrio do sistema representado pela unidade de paisagem natural. A agricultura, a pecuária, a silvicultura, a mineração e as obras de engenharia civil são exemplos de atividades que, em maior ou menor escala, introduzem estímulos externos ao sistema.

No Brasil, e particularmente na Amazônia, a agricultura e a pecuária são as atividades mais importantes, devido a seu caráter extensivo que envolve grandes áreas e busca sempre novas fronteiras.

A primeira intervenção destas atividades no sistema representado pelas unidades de paisagem natural é a *alteração da cobertura vegetal*, que acontece na forma de retirada de matéria orgânica pelo desmatamento seguido de queimadas. A exposição da superfície do solo ao Sol e a chuva em

conseqüência da alteração da cobertura vegetal, desencadeia processos que, dependendo do grau de absorção do sistema podem não ser completamente absorvidos, iniciando um reajustamento em busca de uma nova situação de equilíbrio cujos efeitos são extremamente danosos aos seres vivos.

A vida vegetal depende de boas condições de porosidade e permeabilidade do solo para respirar e se abastecer corretamente de água e de nutrientes, e estas condições dependem da “grumosidade” do solo. O solo exposto, sem poder contar com a proteção da densa cobertura vegetal, tem seus grumos desmanchados pelo impacto direto das gotas de chuva, ao mesmo tempo em que a diminuição da microvida devido à retirada de matéria orgânica e a exposição ao Sol, inibe a formação de substâncias agregantes pela decomposição da matéria orgânica, como ácidos poliurônicos, que permitiriam a formação de novos grumos.

O resultado dessa mudança nas condições da *bioestrutura* do solo é a compactação da superfície e a formação de adensamentos ou “pans” em subsuperfície devido ao carreamento da parte fina solo adentro (argila lixiviada de grumos destruídos), constituindo-se em barreiras que dificultam a correta circulação de água, nutrientes e ar e impedem o livre desenvolvimento radicular, que implicam na perda de qualidade dos solos para o suporte da vida vegetal, base da cadeia trófica.

Como toda água da chuva que cai sobre o solo só pode seguir três caminhos: voltar à atmosfera como vapor, infiltrar-se no solo ou escorrer em direção aos rios e oceanos, é fácil compreender que o adensamento e a compactação aumentam a quantidade de água disponível para escorrer, e água escorrendo é a transformação de energia potencial em energia cinética, caracterizando o “runoff” responsável pela erosão hídrica, seja ela laminar, em sulcos ou ravinas, capaz de destruir em um único ano o que natureza levou centenas ou milhares de anos para construir, e exigir vultosos recursos, quase sempre inexistentes, para a tentativa de sua recuperação.

O tipo de atividade antrópica desenvolvida sobre uma determinada unidade de paisagem natural pode representar sua destruição devido a sua pequena capacidade de absorver os estímulos advindos desta atividade econômica, enquanto que sua interação com outra unidade de menor vulnerabilidade, seguindo os sistemas de manejo mais indicados com práticas conservacionistas, pode representar uma atividade economicamente rentável. Isto parece mostrar que a escolha entre um desastre ecológico ou o desenvolvimento sustentado, passa pelo conhecimento da natureza da interação existente entre as **unidades de paisagem natural** e os **polígonos de ação antrópica**.

A Tabela 1 mostra como pode variar a resposta de uma *mesma* unidade de paisagem natural ao estímulo da atividade antrópica desenvolvida sobre ela.

Uso da terra	Perda de Solo (Kg/Ha/Ano)	Proporção Relativa (Mata=1)
Mata	4	1
Pastagem	700	175

Cultura Perene (Café, Laranja, Seringueira)	1.100	275
Cultura Anual (Milho, Algodão, Soja)	38.000	9.500

Tabela 1- Uso da terra e perda anual de solo por hectare.

Modificado de Gilluly et al, in Lepsch, 1976.

Enquanto a mata ainda estava intacta imaginava-se que a Amazônia fosse uma planície imensa, pelo fato de os principais rios apresentarem desníveis muito baixos, como o Rio Amazonas que apresenta um desnível de apenas 60 metros num percurso de quase 2000 km, com uma declividade de 0,003%, porém com os grandes desmatamentos atingindo milhões de hectares verificou-se que a paisagem não é plana, mas bastante ondulada e até acidentada, e que as copas das árvores é que se nivelaram numa altura única, com as árvores crescendo melhor nas baixadas e muito menos nas colinas.

Os solos da Amazônia em sua maioria são pobres, e os solos mais férteis estão nas várzeas, graças aos sedimentos trazidos pelas águas dos rios, e precisam ser drenados para utilização, processo difícil e oneroso. Existem alguns solos latossólicos de fertilidade média a alta, mas os levantamentos do Projeto RADAM já mostraram que apenas 10% dos solos são próprios para uso agrícola suportando culturas anuais, os 90% restantes somente poderão ser manejados debaixo de uma cobertura permanente, seja ela de pastagens ou de culturas arbustivas ou arbóreas. O sustento da vegetação nativa vem da delgada camada de matéria orgânica da superfície, onde a maior parte das raízes se desenvolve.

A mata da Amazônia, em parte exuberante, baseia-se num equilíbrio delicado entre a matéria orgânica, a estrutura do solo, a umidade do ar e o nível freático. É um ecossistema extremamente frágil que depende das árvores para ausência de vento na paisagem e a proteção de seus solos contra o Sol e o impacto das chuvas equatoriais, (que ocorrem graças à mata densamente fechada), além da água transpirada que garante a umidade do ar, e depende também da distribuição equilibrada das chuvas durante todo o decorrer do ano, devido à reduzida capacidade de retenção de água da maioria dos solos.

O clima da região amazônica equatorial úmida se mostra extremamente favorável à produção vegetal, como prova a "hiléia" (floresta pluvial amazônica), mas não se pode esquecer que o clima interage com a mata, que como imenso termostato evita os extremos de temperatura. Pastagens não agem como termostato, portanto não se pode esperar a manutenção do clima amazônico após a modificação total da paisagem, com a troca indiscriminada de mata por pastagens.

A queima anual dos solos amazônicos cria "terra queimada" que em pouco tempo não é mais capaz de suportar nenhuma colheita, sendo tomada por plantas silvestres adaptadas ao fogo (capins fibrosos e cespitosos). A superfície desses solos se torna impermeável às precipitações, que oscilam entre 1300 e 4000 mm anuais, e as águas escorrem turvas pelo material em suspensão, acumulando-se nas baixadas onde causam a morte por asfixia das árvores ali existentes.

Nas áreas que não sofreram desmatamento o ciclo da água é perfeito: a chuva cai, infiltra-se lentamente no solo até atingir o lençol freático de onde abastece os rios vagarosamente, é absorvida pelas raízes e transpirada pelas folhas, formam-se nuvens e chove novamente. Nas áreas desmatadas o vento sopra e a umidade evaporada é carregada, criando um ambiente seco. As chuvas atingem diretamente o chão desnudo e escorrem rapidamente causando cheias nunca antes conhecidas em igarapés e rios. A erosão devasta o solo e as doenças aparecem com incrível rapidez e intensidade quase incontrolável.

Nas áreas não desmatadas cada hectare abriga centenas de espécies vegetais diferentes, e apenas de 3 a 5 exemplares de uma mesma espécie, controlando assim eficazmente a multiplicação de pragas. A monocultura comercial, praticada em outras regiões do país, modifica completamente esta distribuição e causa situações como de Fordlândia, falida pela perda de suas seringueiras, do projeto Jari que perdeu milhões de pés de Gmelina, e da pimenta do reino próximo a Belém dizimada por fungos e nematóides. Até plantas nativas da região, como o cajueiro, são atacadas por pragas quando plantadas em monocultura.

Quando se compara a constituição dos solos dos cerrados com a dos solos da Amazônia constata-se que aqueles apresentam maior quantidade de cátions disponíveis e menor teor de alumínio trocável, não sendo, portanto, a maior riqueza do solo nem o menor teor de alumínio responsáveis pela vegetação luxuriante da floresta. Mas há outros três fatores, presentes nos cerrados e responsáveis pela sua vegetação raquítica e xeromorfa, que aos poucos chegam à floresta trazidos pelo desmatamento indiscriminado: o vento, o fogo e a camada adensada do solo.

A ausência de vento e a conseqüente conservação da umidade; o impedimento do fogo e o conseqüente retorno de matéria orgânica ao solo, além da inexistência da camada adensada no solo que o protege dos efeitos negativos das chuvas, parecem ser os fatores que permitem a extraordinária produtividade dos solos pobres da Amazônia. Alterar indiscriminadamente esses fatores pode levar a um desequilíbrio que leve à formação de cerrados, ou pior ainda, de desertos. As evidências de ocupação humana no deserto do Saara, obtidas através da descoberta de antigas aldeias e estradas, são intrigantes e devem servir para reflexão.

## **5 - ELABORAÇÃO DE UMA CARTA DE VULNERABILIDADE NATURAL À EROÇÃO**

Para a elaboração da Carta de Vulnerabilidade Natural à Erosão de uma determinada área há a necessidade mínima dos seguintes materiais: imagens TM/Landsat; relatório do Projeto RADAM e os respectivos mapas temáticos na escala de 1:1.000.000 (Geologia, Geomorfologia, Solos e Vegetação), carta topográfica na escala de 1:250.000, e dados pluviométricos. Havendo disponibilidade de outros dados, que possam contribuir para o conhecimento da área em questão, eles serão evidentemente considerados.

### **5.1 - ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DAS IMAGENS TM/LANDSAT**

Sobre as imagens TM/Landsat na composição 5R4G3B (banda 5 no vermelho; banda 4 no verde e banda 3 no azul) na escala de 1:250.000 (a “âncora” escolhida) desenvolve-se o trabalho de análise e interpretação que permite a confecção de um mapa contendo as **unidades territoriais básicas** (unidades de paisagem natural e polígonos de ação antrópica).

O motivo de escolha desta composição se prende ao fato de que nela os matizes de cores relacionados à vegetação apresentam-se mais “amigáveis” ao observador, uma vez que a cor verde é atribuída à banda 4 onde é muito mais evidente a resposta refletida pela vegetação, e assim o fotointérprete faz uma associação direta dos matizes do verde com áreas providas de diferentes densidades de cobertura vegetal. Os matizes do magenta, resultado da resposta refletida pelo solo arenoso em porcentagem maior nas bandas 3 e 5 (azul + vermelho = magenta), identificam áreas com exposição de solo, ou rocha, com reduzida ou ausente cobertura vegetal. Os matizes do azul se relacionam à água e seu relativo conteúdo em suspensão. A figura 1 ilustra o comportamento espectral dos principais alvos da superfície terrestre (vegetação, solo e água) e as bandas do TM/Landsat utilizadas.

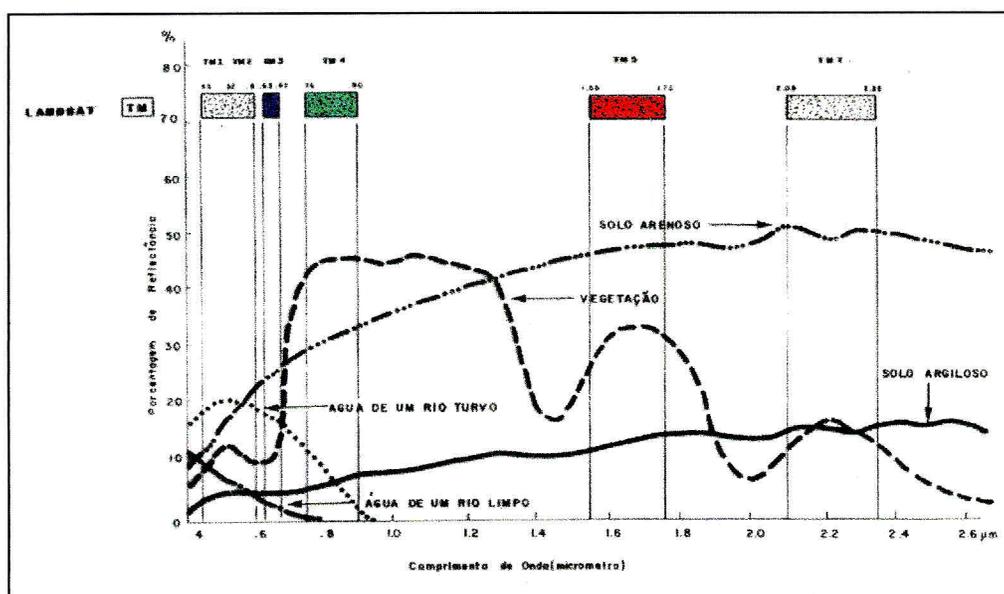


Figura 1 - Padrão de resposta espectral dos principais alvos da superfície terrestre.

Modificado de Lillesand & Kiefer, 1979.

A escolha da escala, 1:250.000, definida pelo convênio SAE-MME (conforme Becker e Egler, 1966), se deve ao fato de ser uma escala intermediária para regular o uso do solo, mas a possibilidade de se utilizar todas as ferramentas disponíveis no tratamento digital das imagens orbitais permite que se explore uma variada gama de combinações de bandas e escalas, de acordo com necessidades específicas.

A definição das unidades territoriais básicas sobre as imagens fotográficas é feita a partir de critérios sistematizados de fotointerpretação que levam em consideração seus elementos fundamentais:

- Elementos de textura de relevo e drenagem que se reúnem e se dispõem na superfície da imagem fotográfica, segundo regras geométricas, definindo estruturas e formas.
- Matizes de cores relacionados aos padrões de resposta espectral da vegetação, solo e água.

A análise e interpretação das imagens fotográficas a partir desses elementos fundamentais permite o reconhecimento de diferentes estruturas e algumas propriedades físicas e químicas de materiais diversos, relacionadas à resistência das rochas à erosão, permeabilidade do conjunto solo/rocha, estimativas sobre o balanço entre intemperismo (eluviação, lixiviação) e erosão. Os elementos de textura de relevo permitem identificar as *quebras de relevo*, positivas e negativas, muito importantes por marcarem, muitas vezes, os limites onde se dão as grandes mudanças nas características que definem as diferentes unidades de paisagem natural.

## **5.2- ASSOCIAÇÃO DO MAPA DE UNIDADES DE PAISAGEM NATURAL AOS DADOS PREEXISTENTES**

O mapa de unidades de paisagem natural obtido por meio de análise e interpretação das imagens TM/Landsat é associado aos dados preexistentes (mapas geológico, geomorfológico, de solos e de vegetação) de maneira a caracterizar a *morfodinâmica* de cada unidade de paisagem.

Esta associação consiste em promover, dentro de cada unidade territorial, a integração das informações constantes dos mapas temáticos às informações obtidas das imagens fotográficas, de maneira que se atualize as informações temáticas e se tenha um quadro real da situação morfodinâmica da unidade territorial, para a data da imagem fotográfica utilizada.

A caracterização morfodinâmica das unidades de paisagem natural é feita segundo critérios desenvolvidos a partir dos princípios da Ecodinâmica de Tricart (1977) que estabelece as seguintes categorias morfodinâmicas :

- Meios estáveis :
  - cobertura vegetal densa
  - dissecação moderada e
  - ausência de manifestações vulcânicas
- Meios intergrades :
  - balanço entre as interferências morfogenéticas e pedogenéticas
- Meios fortemente instáveis :
  - condições bioclimáticas agressivas, com ocorrências de variações fortes e irregulares de ventos e chuvas
  - relevo com vigorosa dissecação
  - presença de solos rasos
  - inexistência de cobertura vegetal densa
  - planícies e fundos de vales sujeitos a inundações e
  - geodinâmica interna intensa.

Os critérios desenvolvidos a partir desses princípios permitiram a criação de um modelo onde se buscou a avaliação, *de forma relativa e empírica*, do estágio de evolução morfodinâmica das unidades de paisagem

natural, atribuindo valores de estabilidade às categorias morfodinâmicas conforme pode ser visto na Tabela 1.

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

Tabela 1 - Avaliação da estabilidade das categorias morfodinâmicas.

A partir dessa primeira aproximação procurou-se contemplar uma maior variedade de categorias morfodinâmicas, de forma a se construir uma **escala de vulnerabilidade** para situações que ocorram naturalmente. Desenvolveu-se então o modelo mostrado na Tabela 2, que estabelece 21 classes de vulnerabilidade à erosão, distribuídas entre as situações onde há o predomínio dos processos de pedogênese (às quais se atribuem valores próximos de 1,0), passando por situações intermediárias (às quais se atribuem valores ao redor de 2,0) e situações de predomínio dos processos de morfogênese (às quais se atribuem valores próximos de 3,0).

UNIDADE DE PAISAGEM	MÉDIA	GRAU DE VULNERAB.	GRAU DE SATURAÇÃO			
			VERM.	VERDE	AZUL	CORES
U1	3,0	VULNERÁVEL	255	0	0	
U2	2,9		255	51	0	
U3	2,8		255	102	0	
U4	2,7	MODERADAM. VULNERÁVEL	255	153	0	
U5	2,6		255	204	0	
U6	2,5		255	255	0	
U7	2,4	MODERADAM. ESTÁVEL/VULNERÁVEL	204	255	0	
U8	2,3		153	255	0	
U9	2,2		102	255	0	
U10	2,1	MEDIANAM. ESTÁVEL/VULNERÁVEL	51	255	0	
U11	2,0		0	255	0	
U12	1,9		0	255	51	
U13	1,8	MODERADAM. ESTÁVEL	0	255	102	
U14	1,7		0	255	153	
U15	1,6		0	255	204	
U16	1,5	ESTÁVEL	0	255	255	
U17	1,4		0	204	255	
U18	1,3		0	153	255	
U19	1,2	ESTÁVEL	0	102	255	
U20	1,1		0	51	255	
U21	1,0		0	0	255	

Tabela 2 - Escala de Vulnerabilidade das Unidades de Paisagem Natural.

O modelo é aplicado individualmente aos temas (Geologia, Geomorfologia, Solos, Vegetação e Clima) que compõem cada unidade de paisagem natural, que recebe posteriormente um valor final, resultante da média aritmética dos valores individuais segundo uma equação empírica, que busca representar a posição desta unidade dentro da escala de vulnerabilidade natural à erosão:

$$\text{VULNERABILIDADE} = (G + R + S + V + C) / 5$$

onde:

- G = vulnerabilidade para o tema Geologia
- R = vulnerabilidade para o tema Geomorfologia
- S = vulnerabilidade para o tema Solos
- V = vulnerabilidade para o tema Vegetação
- C = vulnerabilidade para o tema Clima

Dentro desta escala de vulnerabilidade as unidades que apresentam maior estabilidade são representadas por valores mais próximos de 1,0, as unidades de estabilidade intermediária são representadas por valores ao redor de 2,0 enquanto que as unidades de paisagem natural mais vulneráveis apresentam valores mais próximos de 3,0.

Para a representação cartográfica da estabilidade, ou vulnerabilidade, das unidades de paisagem natural selecionou-se 21 cores (Tabela 2) 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.

Na escolha das cores procurou-se obedecer aos critérios de comunicação visual que buscam associar às cores “quentes” e seus matizes (vermelho, amarelo e laranja) situações de emergência, e às cores “frias” e seus matizes (azul, verde) situações de tranquilidade.

## **7 - BIBLIOGRAFIA CONSULTADA**

Becker, B. K. ; Egler, C. A. G. **Detalhamento da metodologia para execução do zoneamento ecológico-econômico pelos estados da Amazônia Legal.** Rio de Janeiro/Brasília, (SAE-MMA), 1996.

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

Buckman, H.O. & Brady, N.C. **Natureza e propriedades dos solos.** 4ª ed., Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 595p., 1976.

Caldeiron, S. S. - coordenadora. **Recursos naturais e meio ambiente: uma visão do Brasil.** Rio de Janeiro : IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos ambientais, 154p., 1992.

Cogo, N. P. **Conceitos e princípios científicos envolvidos no manejo de solos para fins de controle da erosão hídrica.** In: XXI Congresso Brasileiro

- de Ciência do Solo, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, pp. 251 - 262., 1988.
- Christofolletti, A. **Geomorfologia**. 2ª Ed., São Paulo, Edgard Blücher, 188p., 1980.
- De Biasi, M. A. **Carta Clinográfica: os métodos de representação e sua confecção**. São Paulo, GEOGRAFIA (6):45-60, 1992.
- Deffontaine. J.P. **Analyse du paysage et étude regionale des systèmes de production agricole**. Economie Rurale, nº 98, pp 3 - 13, 1973.
- De Ploey, J. **The ambivalent effects of some factors of erosion**. Louvain, Mém. Inst. Geol. Univ. Louvain. t. XXXI, pp 171-181. 1981.
- Leinz, V. & Amaral, S.E. do **Geologia Geral**. 4ª ed., São Paulo, Editora Nacional, 487p., 1968.
- Lepsch, I. **Solos:-formação e conservação**. Prisma, São Paulo, 158p., 1977.
- Lillesand, T. M. & Kiefer, R. M. **Remote sensing and image interpretation**. New York, Wiley, 612p., 1979.
- Morisawa, M. **Streams: their dynamics and morphology**. New York, McGraw-Hill Book, 175p, 1968.
- Nimer, E. **Climatologia do Brasil**. 2ª Ed., Rio de Janeiro, IBGE, 421p., 1989.
- Primavesi, A. **O manejo ecológico do solo: agricultura em regiões tropicais**. 5ª Ed., São Paulo, Livraria Nobel, 541p., 1982.
- Projeto RADAMBRASIL. **Levantamento de recursos naturais**. Rio de Janeiro, DNPM, 1977-1987.
- Resende, M. et. al. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. Viçosa, NEPUT, 1995.
- Ross, J.L.S. **Geomorfologia ambiente e planejamento**. Contexto, São Paulo, 1991
- Tricart, J. **Ecodinâmica**, Rio de Janeiro, IBGE-SUPREN, 1977, 91p. (Recursos Naturais e Meio Ambiente),
- Tricart, J. **Paisagem e ecologia**. Inter- Fácies, escritos e documentos. São José do Rio Preto. IBILCE-UNESP Nº. 76. 1982. 55p.
- Tricart, J. & Kiewietdejonge. C. **Ecogeography and rural managment**. Essex, UK. Longman Scientific & Technical. 1992.
- Wischmeier, W. H. & Smith, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington, USDA, 58p., (Agricultural Handbook, 537), 1978.