

# Índice de susceptibilidade de degradação ambiental [ISDA] em áreas do cerrado paulista

Marcos Leandro Kazmierczak  
Felipe Barozzi Seabra

IMAGEM Soluções de Inteligência Geográfica  
Rua Itororó, 555, Vila Bandeirantes, São José dos Campos - SP, Brasil  
{[mleandro](mailto:mleandro), [fseabra](mailto:fseabra)} @[img.com.br](http://img.com.br)

**Abstract.** The environmental degradation may be viewed as a sequel of excessive pressure over natural resources, involving spatial and temporal components, resulting in productivity/biodiversity reduction, shifts on water quality/availability and economic viability cutback. The proposed ISDA index computes the susceptibility risk of environmental degradation processes. The selected indicators were land use, precipitation patterns, NDVI, grazing pressure and erosion potential. The susceptibility risk is accumulative and is made evident spatially by the index. A GIS is particularly useful in this kind of modeling, and the assessment of environmental degradation was successfully obtained applying the ISDA index. Field work allowed to find out that in the worst areas (18,94% with high or very high risk) the processes were really present, with a 79,16% accuracy rate.

Palavras-Chave: ISDA, degradação ambiental, índice, cerrado paulista, indicadores, environmental degradation, index, savannah, indicators.

## 1. Introdução

A degradação ambiental pode ser vista como um dos resultados da pressão excessiva do uso das terras e envolve componentes espaciais e temporais, resultando na redução da produtividade de biomassa e da biodiversidade, em mudanças na qualidade e disponibilidade de água e na diminuição da viabilidade econômica. Se os processos que atuam nesta área tiverem magnitude e duração suficientes, os efeitos podem atingir um tamanho grau de severidade que podem se tornar irreversíveis (Kazmierczak, 1996A). As populações de áreas propensas a estes processos sofrem conseqüências econômicas e sociais como resultado da degradação do solo e dos recursos hídricos. Com o conhecimento já adquirido sobre estes processos e os recursos oferecidos pelo geoprocessamento, há um potencial crescente para obter-se dados em uma escala impossível de ser imaginada na década passada. Como abordado por Hutchinson et al. (1994), o problema é onde começar e quão longe ir.

Parte do problema no estudo da degradação ambiental no passado tem sido a tendência de tratar de modo independente os diferentes aspectos a ela relacionados. De acordo com Mouat et al. (1993), devido ao fato destes aspectos estarem intrinsecamente ligados e freqüentemente codependentes, o tratamento dado tendeu a conduzir a degradação ambiental.

Modelos relativamente simples possam descrever com certa confiança os processos de degradação ambiental. Além disso, devido a questões como custos e acesso a informação, os modelos simples apresentam maior praticidade de uso, servindo como um instrumento para facilitar um diagnóstico integrado do uso dos recursos naturais e do antropismo. A avaliação do grau (ou do estado) de propensão à degradação ambiental é necessária para: (a) estabelecer a magnitude e a extensão do problema, no sentido de despertar a atenção dos órgãos governamentais e a comunidade local; (b) para identificar os impactos da degradação ambiental e compreender a sua natureza e as suas causas; e (c) para definir uma resposta apropriada no planejamento e na seleção de projetos e no estabelecimento de tecnologias para atenuar/suprimir as causas do processo de degradação.

## 2. Objetivo

Gerar um índice de susceptibilidade à degradação ambiental pelo uso de indicadores que reflitam os efeitos da degradação. A proposta da definição de indicadores e da geração de um índice é integrar os indicadores selecionados no sentido de prover estimativas quantitativas e não apenas qualitativas dos efeitos dos diversos fatores que agem sobre o ambiente.

## 3. Área de Estudo

A área de estudo localiza-se na Região de São Carlos, Estado de São Paulo, no Compartimento Geomorfológico do Planalto Ocidental Paulista, e abrange uma área de 20x25 km, conforme a Figura 1. Segundo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT (1997), a área situa-se no compartimento do Planalto Ocidental Paulista. Esta classificação está baseada na presença de formas de relevo convexas que variam de suave à média ondulação, como mostra o perfil da área na Figura 1.

O mapa geológico do Estado de São Paulo elaborado pelo IPT (1981) mostra que as Formações Botucatu e Pirambóia são predominantes na área, tendo o intemperismo gerado solos distintos, com ocorrência de manchas de basalto provindas de intrusões básicas. Com base no Levantamento Pedológico Semidetalhado do Estado de São Paulo, na quadrícula de S. Carlos (IAC 1982), predominam Neossolos Quartzarênicos e Latossolos Vermelho-Amarelo.

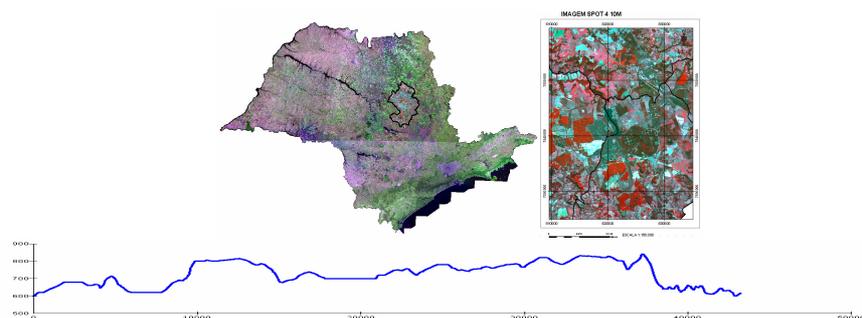


Figura 1. Localização da área e perfil topográfico representativo da área.

## 4. Metodologia

### 4.1. Seleção dos indicadores

A seleção de indicadores que consideram a realidade do Brasil, que sejam sensíveis ao potencial de degradação ambiental e que ainda forneçam dados de maneira rápida e eficiente pode ser considerada como o ponto crucial do estudo. Com base nestes critérios, Kazmierczak (1996B) analisou 93 indicadores, priorizando aqueles que apresentavam maior potencialidade para fornecer informações sobre os processos de degradação ambiental, sem deixar de considerar a questão do acesso aos dados. Dos 93 indicadores, foram selecionados 21. Após uma segunda triagem para definição daqueles que seriam utilizados no modelo, foram selecionados 5 indicadores:

- **Uso do solo:** o uso atual do solo é um fator relevante no controle da erosão do solo.
- **Índice de Vegetação Diferença Normalizada – NDVI:** áreas com maior concentração de biomassa tendem a oferecer maior proteção ao solo, atenuando o impacto da chuva e do vento.
- **Precipitação:** um dos elementos-chave na distribuição da vegetação, a precipitação pode apresentar uma alta variabilidade tanto espacial quanto temporal.

- **Pressão exercida pela pecuária:** a compactação dos solos resultante da pecuária é refletida na menor disponibilidade de água, que por sua vez influencia a atividade da biota do solo, a dinâmica do ciclo de nitrogênio, o vigor vascular da planta, a sua reprodução e a taxa de decomposição da matéria orgânica do solo.
- **Erodibilidade:** analisando-se o tipo de solo e a declividade pode-se ter uma noção da fragilidade do ambiente em relação ao seu potencial de erosão.

#### 4.2 - Geração da Grade de Análise Espacial

Para manipulação do Índice de Susceptibilidade de Degradação Ambiental (ISDA) foi gerada uma grade com resolução de 100 metros. Assim, cada elemento da grade considera uma área de 100 m X 100 metros, de forma a incorporar os valores atribuídos para cada um dos indicadores considerados na célula em questão. Os valores de cada polígono (classe) de cada indicador foram transferidos para esta grade, de forma a dispor todos os valores de todos os indicadores em um único arquivo. Para isso, foram feitas operações de análise espacial selecionando-se as células da grade que interceptavam os polígonos de cada indicador.

Para cada indicador foram geradas as estatísticas básicas (média, variância, ...). A amplitude foi dividida em 5 classes, gerando o intervalo de classe de cada indicador. Tem-se assim classes que correspondem a valores identificados como “Muito Baixos”, “Baixos”, “Médios”, “Altos” e “Muito Altos”. Esta legenda foi aplicada para os indicadores Precipitação, Erodibilidade, Uso do Solo, NDVI e Pressão Exercida pela Pecuária. Para cada indicador as notas aplicadas estão relacionadas a cada célula que se sobrepõe a cada classe. Na atribuição das notas (de 1 a 5) para cada indicador, classes que protegem o solo assumem valores menores de susceptibilidade, enquanto classes em que esta proteção é menor assumem valores cada vez maiores. A única exceção é para Pastagem, que pode receber “0” (zero) caso não haja esta classe na célula em questão.

#### 4.3. Geração do Indicador Uso do Solo

As imagens Spot-4 (713/394 e 713/395, ambas de 14 de Julho de 2005) relativas à área de estudo foram processadas no ambiente do software de processamento digital de imagens Erdas Professional 8.7. A imagem multiespectral (20 m) foi fusionada com a imagem pancromática (10 m), e a imagem resultante foi processada com as funcionalidades de classificação não supervisionada disponíveis no Erdas. Foram definidas 30 classes, com 10 interações (10) e um fator de convergência de 0,950. A partir deste resultado inicial foram feitos os refinamentos, visando obter nove classes:

- **Corpos d’água:** açudes, represas e demais áreas com água armazenada;
- **Área Urbana:** área antropizada, independentemente da intensidade desta ocupação;
- **Cerrado:** áreas de vegetação primária (original) desta fisionomia florestal;
- **Mata de Galeria:** resquícios de vegetação primária associada à rede de drenagem;
- **Reflorestamento:** áreas com espécies exóticas, notadamente pinus e eucalipto;
- **Agricultura I:** áreas ocupadas por culturas permanentes, notadamente citrus;
- **Agricultura II:** áreas ocupadas por culturas anuais, sem discriminação de espécies;
- **Pastagem:** áreas ocupadas por herbáceas, com pecuária intensiva ou extensiva; e
- **Solo exposto:** áreas em que o solo apresenta-se exposto, sem cobertura vegetal.

Na classe Pastagem, a classificação foi estendida para a área total dos quatro municípios (São Carlos, Itirapina, Brotas e Analândia). Esta ampliação decorre do fato de que, para

calcular a Pressão Exercida pela Pecuária, um dos indicadores da modelagem, torna-se necessário quantificar todas as áreas ocupadas pela pecuária em cada município.

#### 4.4. Geração do Indicador NDVI

A partir da imagem Spot-4 fusionada foram gerados os valores de NDVI, com as funcionalidades do Erdas. Na modelagem do ISDA na grade, foram definidas 5 classes, sendo atribuídos os valores de susceptibilidade do segundo indicador do ISDA. A inversão das notas aplicada para este indicador está embasada no fato de que as áreas com maior biomassa propiciam maior a proteção ao solo, e desta forma devem ter valores menores.

#### 4.5. Geração do Indicador de Precipitação

Os dados de precipitação, obtidos junto ao DAEE (2006), para um total de 25 estações existentes na área de estudo, num período de 30 anos, foram espacializados, e para cada estação foram processados os valores diários de precipitação, gerando as informações do terceiro indicador do algoritmo que quantifica o ISDA.

#### 4.6. Geração do Indicador Pressão Exercida pela Pecuária

Os dados com o tamanho do rebanho de gado (de corte e leiteiro) foram obtidos através do Boletim de Informações Municipais (IBGE, 2004), ano base de 2004. Para a definição da Pressão Exercida pela Pecuária (PEP), o valor com o rebanho total de cada município foi dividido pelo valor da área total ocupada pelas pastagens, gerando o quarto indicador do ISDA.

#### 4.7. Geração do Indicador Erodibilidade

Os dados de solos do IAC (escala 1:100.000) foram vetorizados, gerando-se o arquivo de solos. Considerou-se a declividade no grau de propensão de erodibilidade de uma determinada mancha de solo, a partir de um mapa de declividade gerado com a altimetria das cartas 1:50.000 do IBGE. Com as funcionalidades do ArcGIS, estes pontos e vetores foram processados gerando o Modelo de Elevação do Terreno, que foi fatiado conforme os seguintes valores de declividade: 0 a 3%, 3 a 6%, 6 a 12%, 12 a 20%, 20 a 45% e maior que 45%.

Solos com composição significativa de areia em geral são altamente erodíveis (baixos níveis de matéria orgânica e grande tamanho de suas partículas). A erodibilidade foi calculada considerando-se em conjunto o tipo de solo e a declividade de cada célula da grade, conforme a Tabela 1, com as notas do quinto e último indicador do ISDA. Se uma determinada área está localizada em um solo que pertence ao grupo Areias Quartzosas e tem uma declividade de 18%, foi classificado com uma susceptibilidade 4, considerada “Alta”.

Tabela 1. Notas de cada célula, em função do tipo de solo e da sua respectiva declividade.

0 a 3%	3 a 6%	6 a 12%	12 a 20%	20ª 45%	> 45%
SOLOS HIDROMÓRFICOS					
1	1	Não existe	Não existe	Não existe	Não existe
TERRA ROXA ESTRUTURADA					
1	1	1	1	2	3
LATOSSOLO ROXO					
1	1	1	1	2	2
LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO					
1	1	1	2	3	4

0 a 3%	3 a 6%	6 a 12%	12 a 20%	20ª 45%	> 45%
LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO					
1	1	2	3	4	5
PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO					
1	1	2	3	4	5
SOLOS LITÓLICOS					
1	1	2	3	4	5
AREIAS QUARTZOSAS / NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS					
1	2	3	4	5	5

## 4.8. Geração do ISDA

Para modelar a susceptibilidade de degradação ambiental cada indicador assume valores de 1 a 5, em função das classes de susceptibilidade estabelecidas. O índice computa o grau de susceptibilidade, que pode variar de 4 a 25, dependendo dos valores assumidos por cada célula da grade. Todos os indicadores têm um peso igual, afetando da mesma forma a susceptibilidade computada pelo índice. Isto implica no fato de que a susceptibilidade é acumulativa e é evidenciada espacialmente pelo índice.

O uso de pesos iguais para os indicadores é uma aproximação simplista, particularmente no caso de processos dinâmicos como a degradação ambiental, onde os valores de cada indicador variam no tempo e no espaço. Os autores entendem que o estabelecimento de pesos baseados em sua importância é, no momento, completamente subjetivo. No sentido de estabelecer pesos diferentes, é necessário ter um completo entendimento dos efeitos que os múltiplos fatores exercem sobre um determinado ambiente. O ISDA é dado pela Equação 1:

$$[\text{ISDA}] = \text{USO} + \text{NDVI} + \text{PPT} + \text{PEP} + \text{ERRO} \quad (\text{Equação 1})$$

onde USO é o uso do solo, NDVI é o índice de vegetação diferença normalizada, PPT é a precipitação, PEP é a pressão exercida pela pecuária e ERO é o potencial de erodibilidade. Utilizando os mesmos critérios estabelecidos para a definição das classes dos indicadores, este mapa resulta da reclassificação do plano de informação gerado pela somatória das notas individuais de cada indicador em cada célula da grade (100 m).

## 5. Resultados

### 5.1. Indicadores

A classificação das imagens revela que 82,63% da área está antropizada. A classe predominante é Agricultura Temporária (21,90%), seguida de Cerrado (18,67%) e Pastagem (16,43%). Da vegetação original restam 10,89% de Cerrado e 6,50% de Mata de Galeria. Na Figura 2 pode-se ter uma noção dos resultados da classificação realizada e a distribuição espacial do Indicador Uso do Solo. Conforme os resultados da classificação do NDVI (Figura 3), 74,25% da área apresentam-se com biomassa alta ou muito alta, enquanto 9,66% apresentam-se com biomassa baixa ou muito baixa. Estes 9,66%, em solos com alta fragilidade e alta declividade, criam as condições propícias para os processos de degradação.

Na Figura 4 pode-se observar a distribuição espacial do Indicador Precipitação, de acordo com os valores médios observados. Verificou-se que em 66,35% da área chove mais do que a média, para agravamento do quadro. Na Figura 5 tem-se o resultado do mapeamento das pastagens nos quatro municípios, bem como um detalhamento do Indicador Pressão Exercida pela Pecuária (zoom na área de estudo). Todas as áreas identificadas em vermelho apresentam atividade de pecuária.

Na Figura 6 pode-se observar a distribuição espacial do Indicador Erodibilidade. O agrupamento das áreas em função do tipo de solo e da sua respectiva declividade permitiu identificar as áreas mais propensas à erosão. As declividades variam de 0 a 60 %, e 95,28% da área apresenta declividades baixas ou muito baixas. Apenas 1,27% apresenta declividades altas ou muito altas. 0,47% (238 ha) têm declividades acima de 45%, não tendo sido encontradas declividades superiores a 60%.

## 5.2. Índice de Susceptibilidade de Degradação Ambiental - ISDA

Na Figura 7 pode-se observar a distribuição espacial do ISDA, conforme o índice aplicado. Verifica-se na Tabela 2 que 60,75% da área apresentam susceptibilidade baixa/muito baixa.

Tabela 2. Resultados gerados pelo ISDA e simulação de mudança de cenário.

CLASSE DO ISDA	COR NO MAPA	ISDA		SIMULAÇÃO	
		ÁREA (HA)	%	ÁREA (HA)	%
MUITO BAIXA	Azul-escuro	11.751	23,12%	19.216	37,81%
BAIXA	Azul-claro	18.560	36,52%	11.661	22,94%
AMÉDIA	Verde-claro	10.888	21,42%	10.348	20,36%
ALTA	Laranja	6.634	13,05%	6.646	13,08%
MUITO ALTA	Vermelho	2.992	5,89%	2.954	5,81%
		<b>50.825</b>	<b>100,00%</b>	<b>50.825</b>	<b>100,00%</b>

Nos 18,89% de susceptibilidade alta/muito alta, os efeitos puderam ser claramente identificados no campo, conforme a reambulação realizada. Dos 24 pontos visitados, 19 (79,16%) mostraram-se aderentes aos resultados do modelo, apresentando sinais claros de sua degradação.

De acordo com as diversas alternativas de cenários, foi realizada uma simulação para verificar o resultado do ISDA considerando-se a variação de alguns dos indicadores. Nesta mesma Figura 7 verifica-se os resultados da simulação de um decréscimo de 10% no valor da Precipitação e um de decréscimo de 10% na Pressão Exercida pela Pecuária provocam uma melhoria significativa no mapa final, com um incremento nas classes “Muito Baixa” e “Baixa”. 37,17% das áreas anteriormente classificadas como de baixa susceptibilidade foram agora classificadas como muito baixa, e 4,96% que eram de média susceptibilidade migraram para a classe baixa. Não houve alterações significativas das classes mais críticas.

## 6. Conclusões

A existência de processos de degradação ambiental pode ser atribuída como a resultante de dois elementos básicos: a existência de condições físicas favoráveis (solo, vegetação e topografia); e a ruptura do sistema ecológico, causada pelo mau uso da terra e pela demanda crescente, já que para atender as demandas industriais e para sua própria sobrevivência, o homem passou a exercer uma pressão cada vez maior sobre os recursos naturais.

Um sistema de informações geográficas (GIS) é especialmente útil neste tipo de modelagem, pois a degradação ambiental é um fenômeno espacial e a estimativa da degradação ambiental pôde ser obtida pela aplicação do índice proposto. Checagens em campo permitiram ratificar que as áreas mais críticas (18,89%) realmente apresentam-se como tal em 79,16% dos pontos amostrados.

A estimativa dos recursos físicos de uma área é o primeiro passo lógico do manejo racional da terra e das atividades de planejamento. A melhoria das práticas de manejo do solo em áreas susceptíveis aos processos de degradação ambiental requer informações sobre o estado dos recursos existentes, bem como de qualquer mudança ocorrida. Desta forma, esta metodologia pode gerar as informações necessárias para uma primeira avaliação quantitativa dos processos de degradação ambiental instalados na área de estudo.

Além desta disponibilidade imediata e da necessidade de informações sobre os processos de degradação, um banco de dados espaciais pode fornecer diretrizes para futuros trabalhos, como por exemplo a determinação da taxa com que estes processos estão se alterando ou o efeito das ações de atenuação dos processos de degradação ali implementadas.

## 7. Referências Bibliográficas

DAEE. Banco de Dados Pluviométricos do Estado de São Paulo. Disponível em <http://www.sigrh.sp.gov.br/cgi-bin/bdhm.exe/plu>. Acesso em 15/06/2006.

Hutchinson C.F.; Marsh, S.T. Assessing desertification through multispectral and multitemporal remote sensing techniques. In: International Symposium and Workshop on Desertification in Developed Countries: Why can't we control it? **Proceedings**. Tucson, Arizona, 1994.

IAC **Levantamento Pedológico Semidetalhado do Estado de São Paulo**. Quadrícula de S. Carlos. 1982.

IBGE. **Boletim de Informações Municipais 2004**. CD-ROM.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Mapa Geológico do Estado de São Paulo. 1:500.000, 1981.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. 1:500.000, 1997.

Kazmierczak, M.L. **Indicadores de degradação ambiental**. Funceme, Fortaleza, 1996A. Série Técnica #4.

Kazmierczak, M.L. **Índice de Susceptibilidade de desertificação para o Nordeste do Brasil**. Funceme, Fortaleza, 1996B. Série Técnica #5.

Mouat, D.A.; Lancaster, J.; Minor, T.B.; Mussalem, K.E.; Wade, T.G.; Wickham, J.D.; Kepner, W.G. **Ecological risk study. The development of a Desertification Susceptibility Index: a hypothetical assessment**. Reno, DRI, 1993.

Figura 2. Indicador Uso do Solo.

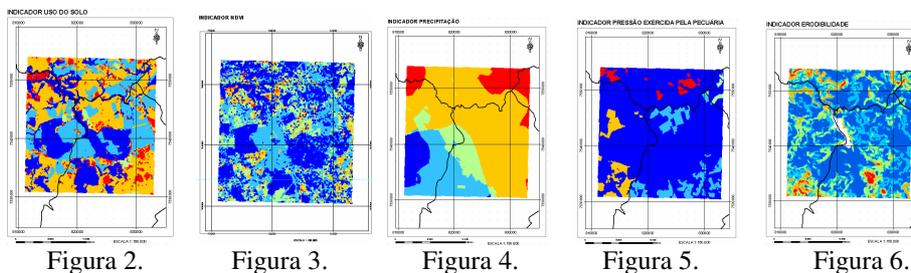
Figura 3. Indicador NDVI.

Figura 4. Indicador Precipitação

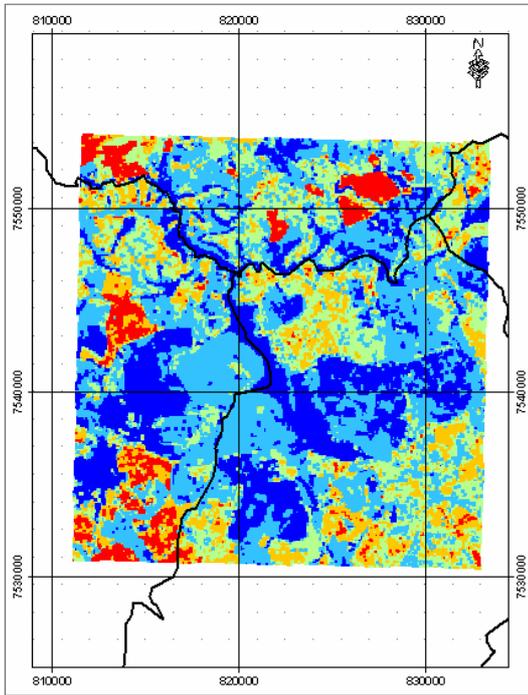
Figura 5. Indicador Pressão Exercida pela Pecuária.

Figura 6. Indicador Erodibilidade.

Figura 7. ISDA (esquerda) e simulação de alteração do cenário (direita).



**ÍNDICE DE SUSCEPTIBILIDADE DE DEGRADAÇÃO AMBIENTAL**



**SIMULAÇÃO**

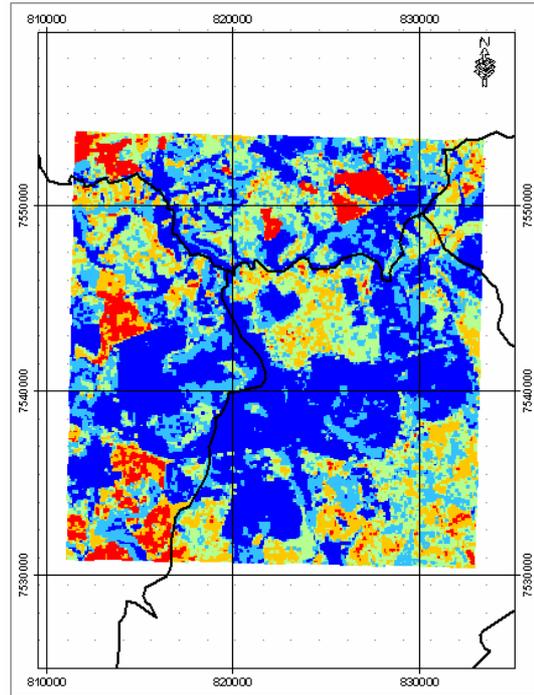


Figura 7.