



Número: 47/2006

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

**FELIPE BAROZZI SEABRA**

Análise Geossistêmica Aplicada ao Estudo da Fragilidade das Terras em Áreas do Cerrado  
Paulista

Dissertação apresentada ao Instituto de Geociências  
como parte dos requisitos para obtenção do título de  
Mestre em Geografia.

**Orientador:** Prof. Dr. Archimedes Perez Filho

**CAMPINAS - SÃO PAULO**

Dezembro - 2006

**Catálogo na Publicação elaborada pela Biblioteca  
do Instituto de Geociências/UNICAMP**

Se11a	Seabra, Felipe Barozzi Análise geossistêmica aplicada ao estudo da fragilidade das terras em áreas do cerrado paulista / Felipe Barozzi.-- Campinas,SP.: [s.n.], 2006.  Orientador: Archimedes Perez Filho Dissertação (mestrado) Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências.  1. Geossistema. 2. Degradação ambiental. 3. Homem – Influência sobre a natureza. 4. Cerrados – São Paulo (Estado). 5. Solo – Erosão. I. Peres Filho, Archimedes. II. Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências. III. Título.
-------	--

CRS

Título em inglês: Geosystemic analysis applied to landscape fragility in Savannah areas at Sao Paulo State.

Keywords: - Geosystem;

- Degradation environmental;
- Man – influence of environment;
- Savannah areas at Sao Paulo State.

Área de concentração: Análise ambiental e Dinâmica Territorial

Titulação: Mestre em Geografia

Banca examinadora: - Archimedes Perez Filho;

- Luci Hidalgo Nunes;
- Carlos Roberto Espíndola.

Data da defesa: 12/12/2006



**UNICAMP**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA  
ÁREA ANÁLISE AMBIENTAL E DINÂMICA  
TERRITORIAL**

AUTOR: FELIPE BAROZZI SEABRA

**Análise Geossistêmica Aplicada ao Estudo da Fragilidade das Terras em  
Áreas do Cerrado Paulista**

**ORIENTADOR: Prof. Dr. Archimedes Perez Filho**

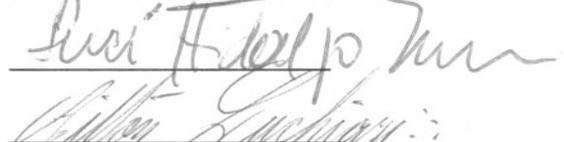
Aprovada em: 15 / 12 / 2006

**EXAMINADORES:**

**Prof. Dr. Archimedes Perez Filho**

**Profa. Dra. Luci Hidalgo Nunes**

**Prof. Dr. Ailton Luchiari**

  
\_\_\_\_\_  
- Presidente  
  
\_\_\_\_\_

Campinas, 15 de dezembro de 2006

200721748

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus e à sua mais bela obra, objeto de estudo nesse trabalho: A Natureza.

Agradeço aos meus pais que tanto me apoiaram e que viveram para gerar as melhores condições aos seus filhos.

Agradeço à UNICAMP e aos professores do Instituto de Geociências. O empenho e conhecimento desses profissionais é algo maravilhoso de ser compartilhado.

Agradeço aos Professores Archimedes Perez Filho e Selma Simões de Castro que, de um dia para outro, me convidaram para o mais belo dos trabalhos de campo no coração do Cerrado Brasileiro. Essa jornada de vinte dias me fez como eles, um apaixonado pela Geografia. Obrigado por acreditar em mim!

Agradeço especialmente a um grande amigo, colega de trabalho, professor e orientador de tudo nessa vida. Marcos Leandro Kazmierczak, seu coração é gigante e seu senso de humor é maior ainda! Conviver com um grande sábio é para poucos! Obrigado!

## **EPIGRAFE**

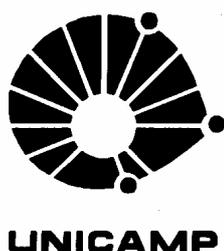
“O meu propósito não é empreender uma leitura sistêmica do universo; não é cortar, classificar, hierarquizar os diferentes tipos de sistemas, desde os sistemas físicos até o sistema homo. O meu propósito é mudar o olhar sobre todas as coisas, da física ao homo. Não é dissolver o ser, a existência da vida no sistema, mas compreender o ser, a existência da vida, com a ajuda também do sistema”.

(MORIN, EDGAR. 2002).

## SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO.....	01
2 – REVISÃO DE LITERATURA .....	03
2.1 - O Geossistema .....	03
2.3 – Motivos do surgimento dos processos de degradação ambiental .....	06
2.2 - O desequilíbrio do Geossistema .....	05
2.4 - Modelos de análise da degradação ambiental.....	07
2.5 - Indicadores de degradação ambiental .....	07
2.6 - Definição de indicadores .....	08
3 – OBJETIVOS.....	09
3.1 - Objetivo geral .....	09
3.2 - Objetivos Específicos.....	09
4 – CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	10
4.1 - Localização da área.....	10
4.2 - Formação sócio-econômica-espacial e o uso atual das terras .....	12
4.3 - Aspectos Geomorfológicos.....	13
4.4 - Geologia .....	15
4.5 - Solos .....	16
4.6 – Clima.....	17
4.7 - Localização das Topossequências.....	18
5 – METODOLOGIA.....	19
5.1 – Relações entre vegetação, solo e relevo .....	19
5.1.1 – Definição dos pontos de amostragem.....	19
5.1.2 – Análises das amostras .....	20
5.1.3 – Análises das topossequências .....	20
5.2 – Demais relações estabelecidas na Topossequência 2 e o emprego da Geoestatística.....	21
5.2.1 – Relações entre infiltração da água e compactação do solo.....	21
5.2.2 - Relações entre a temperatura ambiente e a temperatura do solo.....	24
5.3 – Geração de um índice de suscetibilidade de degradação ambiental .....	24
5.3.1 - Seleção dos indicadores considerando-se a realidade do Brasil .....	24
5.3.2 – Processo de geração dos indicadores e do ISDA através do SIG.....	26
5.3.2.1 – Definição das Notas de Cada Indicador .....	26
5.3.2.2 – Fusão das Imagens de Satélite .....	27
5.3.2.3 – Classificação do Indicador de Uso e ocupação das terras .....	27
5.3.2.4 – Geração do Indicador NDVI.....	30
5.3.2.5 – Geração do Indicador de Precipitação .....	31
5.3.2.6 – Geração do Indicador Pressão Exercida pela Pecuária.....	32
5.3.2.7 - Digitalização dos Mapas de Solos.....	33
5.3.2.8 – Geração do Mapa de Declividade.....	33
5.3.2.9 - Cálculo do Indicador de Erodibilidade.....	34

5.3.2.10 - Geração da grade de Análise Espacial .....	35
5.3.2.11 – Inserção dos atributos na grade .....	36
5.3.2.12 – Geração do ISDA.....	36
6 - RESULTADOS.....	38
6.1 – Resultados das relações entre vegetação, solo e relevo .....	38
6.1.1 – As classes de cobertura vegetal do solo nos pontos de amostragem.....	41
6.1.2 - Resultados obtidos na área de estudo.....	43
6.1.2.1 - Resultados obtidos com material cartográfico disponível. ....	43
6.1.2.2 – Resultados obtidos com material cartográfico disponível e análise laboratorial de física dos solos. ....	47
6.1.2.2 – Resultados obtidos com material cartográfico disponível e análise laboratorial de química dos solos .....	52
6.1.3 – Resultados dos trabalhos de topossequência .....	56
6.2 – Resultados das demais relações estabelecidas na Topossequência 2.....	65
6.2.1 – Resultados das relações entre infiltração da água e compactação do solo .....	65
6.2.2 – Resultados das Relações entre a temperatura ambiente e a temperatura do solo .....	68
6.3 – Índice de degradação ambiental .....	72
6.3.1 – Processamento da Imagem de Satélite.....	72
6.3.2. - Indicador de Uso da Terra.....	73
6.3.3. Indicador NDVI.....	81
6.3.4 – Indicador Precipitação .....	84
6.3.5 - Indicador Pressão Exercida pela Pecuária.....	86
6.3.6 – Indicador Erodibilidade .....	90
6.3.7– Índice de Suscetibilidade de Degradação Ambiental - ISDA.....	97
6.4 – Cenários Futuros: Simulação .....	99
7 - CONCLUSÕES.....	101
8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	103
9 – BIBLIOGRAFIA.....	107



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**  
**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**  
**Pós-Graduação em Geografia**

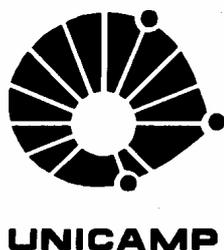
## **Análise Geossistêmica Aplicada ao Estudo da Fragilidade das Terras em Áreas do Cerrado Paulista**

### **RESUMO**

**Dissertação de Mestrado**

**Felipe Barozzi Seabra**

Os problemas ambientais, em função de sua expressividade espacial subjacente, tornam-se questões inerentes à análise geográfica. Os estudos de impacto consistem no processo de prever e avaliar os efeitos da atividade humana sobre as condições do meio natural e delinear procedimentos a serem utilizados preventivamente para evitar os efeitos tidos como negativos. Um dos principais problemas que têm afetado os recursos naturais no País refere-se à presença dos processos erosivos acelerados e de formações de extensas áreas denominadas “areais”. No Estado de São Paulo, tais processos concentram-se em áreas localizadas no Planalto Ocidental e na Depressão Periférica Paulista, onde as Formações Superficiais Cenozóicas originam solos extremamente arenosos e, portanto, de alta fragilidade. Nessa perspectiva, esta Dissertação de Mestrado propôs um entendimento sistêmico dos processos de degradação ambiental das terras do Cerrado Paulista se utilizando um Geossistema modelo. Uma metodologia capaz de relacionar os mais diversos elementos espaciais (Geossistema e Sistema Socioeconômico) foi aplicada nessa pesquisa, que contribuiu com a compreensão da organização espacial da paisagem. Assim, foram estabelecidas relações entre solo, relevo, clima e vegetação (Geossistema) em terras localizadas na região de contato entre Depressão Periférica, Zona das Cuestas e Planalto Ocidental Paulista. Os elementos do Geossistema foram relacionados com o sistema antrópico viabilizando a elaboração de um índice de suscetibilidade de degradação ambiental que pode orientar um uso mais racional e minimizar os efeitos de processos erosivos e de arenização no Estado de São Paulo. Este projeto faz parte de um programa temático que visa não só o entendimento de processos de degradação ambiental no Estado de São Paulo, mas em diversas áreas do Brasil, com algumas características geográficas semelhantes, a exemplo de algumas regiões do Sul, Centro-Oeste e Nordeste brasileiro.



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
Pós-Graduação em Geografia

## **Análise Geossistêmica Aplicada ao Estudo da Fragilidade das Terras em Áreas do Cerrado Paulista**

### **ABSTRACT**

**Dissertação de Mestrado**

**Felipe Barozzi Seabra**

The environmental problems, as a function of its spatial expression, became inherent questions to geographic analysis. The impact studies consist into to assess and to evaluate the effect of the human activities over the natural resources, delineating procedures to be used preventively to avoid negative effects. One of the main problems that have affected the Brazilian natural resources is the presence of erosive processes. In the State of Sao Paulo, such processes are concentrated at the Occidental Plateaus and Sao Paulo Peripheral Depression, where the Cenozoic Formations originated arenaceous areas and therefore extremely high fragility areas. In this perspective, this dissertation considered a systemic agreement of the environmental degradation processes using a Geosystem model. The methodology relating the most diverse space elements was applied in this research, and contributed with the understanding of the landscape spatial organization. Thus, relations between ground, relief, climate and vegetation in lands located in the region of contact between Peripheral Depression, Cuestas Zones and Plateaus had been established. The Geosystem elements had been related with the antropism making possible the elaboration of an index of susceptibility environmental degradation that can guide a more rational use and to minimize the effect of erosive processes in the State of Sao Paulo. This project is part of a thematic program that not only aims at the agreement of processes of environmental degradation in the State of Sao Paulo, but in several areas of Brazil, with some similar geographic characteristics, as example of some regions of the South, Center-West and Brazilian Northeast.

## 1 – INTRODUÇÃO

A presença do homem e, conseqüentemente da sociedade no mundo, é um fator na diversificação da natureza, pois ela atribui às coisas um valor, acrescentando ao processo de mudança física um dado social. As invenções técnicas aumentam o poder de intervenção e autonomia relativa do homem frente ao meio ambiente físico, transformando a natureza.

“Através do conhecimento das potencialidades dos recursos naturais, o homem interfere na dinâmica natural da Terra de maneira rápida e agressiva, gerando sérios problemas ambientais. Isso faz com que alguns pesquisadores defendam a idéia de estarmos hoje vivenciando uma nova realidade ambiental, onde as derivações antrópicas apresentam-se cada vez mais influentes e contundentes” (VICENTE e PEREZ FILHO, 2003).

O simples conhecimento das potencialidades do meio ambiente natural, passando pelos levantamentos dos solos, relevo, rochas, águas, clima, enfim, de todas as componentes do estrato físico geográfico, dá suporte à vida animal e ao homem. O conhecimento setorizado dos elementos acima mencionados ocasionou inúmeros problemas ambientais devido ao seu aspecto reducionista, que não leva em consideração as conexões e a complexidade dos elementos naturais como um sistema. Analisar o meio através de seus componentes dissociados acarreta uma perda de informação e pode ocasionar um desequilíbrio natural.

Para a análise da fragilidade do meio, traduzida neste trabalho pelo Índice de Suscetibilidade de Degradação Ambiental, entretanto, exige-se que esses conhecimentos setorizados sejam avaliados de forma integrada, calcada sempre no princípio de que na natureza a funcionalidade é intrínseca entre os componentes físicos (geossistema) e humanos (sistema socioeconômico). A idéia de *organização* é fundamental na compreensão do meio, pois expressa a existência de ordem e entrosamento entre as partes ou elementos componentes de um conjunto. Daí considerarmos que esse entendimento seja de cunho geográfico, pois tal disciplina possui nada mais que a própria *organização espacial* como objeto de estudo.

A Geografia não pode ficar alheia à problemática ambiental, e deve contribuir através do desenvolvimento de metodologias de pesquisa que permitam um planejamento ambiental integrado do espaço. Torna-se significativo salientar que os problemas ambientais, em função da expressividade espacial subjacente, tornam-se questões inerentes à análise geográfica.

Nessa perspectiva, esta pesquisa propõe um entendimento sistêmico dos processos de degradação ambiental das terras<sup>1</sup> originalmente (anterior ao uso atual) recobertas por vegetação nativa do tipo Cerrado com suas variações fisionômicas (Cerradão, Cerrado, Campo-cerrado) em áreas do estado paulista, criando uma metodologia capaz de relacionar os mais diversos elementos espaciais. Essa dissertação é parte de um trabalho temático inserido num projeto maior que visa não só o entendimento de processos de degradação ambiental no Estado de São Paulo, mas em diversas áreas do Brasil que apresentem características geográficas semelhantes, como em algumas regiões do Sul, Centro-Oeste e Nordeste.

Um dos principais problemas que tem afetado os recursos naturais no Brasil refere-se à presença dos processos erosivos acelerados e de formações de extensas áreas denominadas “areais”. No Estado de São Paulo, tais processos se concentram em áreas localizadas no Planalto Ocidental e Depressão Periférica Paulista, onde as Formações Superficiais Cenozóicas originam solos extremamente arenosos e, portanto, de alta fragilidade. A área de trabalho está localizada no Reverso das Cuestas Basálticas e tem sua forma, como hipótese genética, como resultado de erosão diferencial causada pela drenagem conseqüente e seus atributos subseqüentes. Vários autores admitem que processos tectônicos ou neotectônicos contribuíram para a formação das escarpas da mesma. No Planalto Ocidental Paulista, o relevo se apresenta com domínios de morrotes e colinas, destacando-se, entretanto, os planaltos residuais de Marília, Catanduva e Monte Alto. O relevo do Planalto Ocidental reflete “forte controle estrutural das camadas subzonais da bacia do Paraná, com leve caimento para Oeste, formando uma extensa plataforma estrutural extremamente suavizada onde se destacam alguns platôs residuais sustentados por arenitos do Grupo Bauru”. (PONÇANO 1987)

O uso intensivo dessas terras no Estado de São Paulo, acelerado pelo desenvolvimento industrial, processou-se, em sua maior parte, do antropismo sobre sua vegetação natural, com o desmatamento de extensas áreas ocupadas pela Floresta Latifoliada e Tropical e pelas diferentes fisionomias de Cerrado, inicialmente para se transformar em extensas áreas de pastagens e de cultivos anuais e/ou perenes. O solo desnudo de cobertura vegetal torna-se mais susceptível aos

---

<sup>1</sup> Terras: Considera-se aqui terra como um segmento da superfície do globo terrestre definido no espaço e reconhecido em função de características e propriedades compreendidas pelos atributos da biosfera, que sejam razoavelmente estáveis ou ciclicamente previsíveis, incluindo aquelas de atmosfera, solo, substrato geológico, hidrologia e resultado das atividades futuras e atuais humanas até o ponto que estes atributos exerçam influência significativa no uso presente ou futuro da terra pelo homem (FAO, 1976).

agentes erosivos relacionados à precipitação e à direção dos ventos, acelerando, assim, o processo evolutivo da paisagem. O resultado é uma ruptura no equilíbrio entre relevo-solo-vegetação, que ocasiona, dentre as diversas conseqüências, a perda do solo e de seus nutrientes. O uso inadequado das terras em algumas localidades, juntamente com a fragilidade natural apresentada, tem favorecido a ocorrência de processos erosivos e de arenização. Esses processos consistem na evolução espacial de manchas de areia devido principalmente ao transporte eólico erosivo que, diferentemente da desertificação, ocorre em áreas tropicais e sub-tropicais, onde a precipitação se diferencia das áreas desérticas. A arenização ocorre sob áreas de reduzida biomassa evoluindo para manchas arenosas ou areais propriamente ditos, passando por feições de degradação como áreas de sulcos, ravinas e de formação de voçorocas.

Foram estabelecidas nessa dissertação as relações entre solo, relevo, clima, vegetação (geossistema), uso e ocupação das terras (sistema socioeconômico) nessas áreas tidas como frágeis, associando-se a comparação dos resultados obtidos com aqueles coletados em campo e analisados em laboratório. Tais relações permitiram gerar um diagnóstico ambiental que poderá subsidiar ações de controle que efetivamente possam atenuar/reduzir os efeitos da degradação ambiental na área estudada.

## **2 – REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 - O Geossistema**

A noção de *sistema* foi trabalhada de maneira distinta e em períodos diferentes na evolução do pensamento científico. Diversos pensadores desenvolveram tal noção, principalmente ao se depararem com questões não respondidas pelo pensamento científico de ordem cartesiana.

No início do século XX ocorre um acirramento do pensamento sistêmico, como aponta Bertalanffy (1973). Esse mesmo autor (BETALANFFY), buscando uma revisão da ordem científica vigente, traz à tona, em um seminário de filosofia, realizado em Chicago em 1937, a discussão dessa perspectiva em sua obra “Teoria Geral dos Sistemas”, um embrião da tentativa de uma sistematização filosófica do conceito de sistemas. Sua proposta tinha como essência a busca de uma linguagem científica única que englobasse todas as áreas do conhecimento através da

definição e análise de componentes e estruturas funcionais inerentes a todos os campos da realidade, que se colocam como suporte para sua compreensão, os sistemas.

Diversas são as definições para o conceito de sistema, e a mais simples de todas é a do próprio Bertalanffy (1973) definindo-o como “um conjunto de elementos em interação”. Tal simplicidade faz referência a condição mais geral e básica que permeia todos os tipos de sistemas. Mais recentemente Haig (1985) assinalou que “um sistema é uma totalidade que é criada pela integração de um conjunto estruturado de partes componentes, cujas inter-relações estruturais e funcionais criam uma inteireza que não se encontra implicada por aquelas partes componentes quando desagregadas”.

No período entre a metade da década de 60 até o final dos anos 70, autores como Tricart (RIBEIRO, 1997), Chorley e Kennedy (GREGORY, 1992), Hartshorne e Snyko (SANT’ANNA NETO, 1995), entre outros, analisaram e aplicaram a abordagem sistêmica na Geografia através do conhecimento geossistêmico. Sotchava (1962) introduziu o termo geossistema na literatura soviética com a preocupação de estabelecer uma tipologia aplicável aos fenômenos geográficos, enfocando aspectos integrados dos elementos naturais numa entidade espacial. Para Sotchava, a principal concepção do geossistema é a conexão da natureza com a sociedade, pois, embora os Geossistemas representem fenômenos naturais, todos os fatores econômicos e sociais influenciando sua estrutura e particularidades especiais são levados em consideração durante sua análise. Sotchava salienta que os geossistemas são sistemas dinâmicos, flexíveis, abertos e hierarquicamente organizados, com estágios de evolução temporal, numa mobilidade cada vez maior sob a influência do homem. Essa perspectiva conceitual engloba a abordagem tradicional inserida na literatura soviética, dedicada aos estudos dos complexos geográficos naturais (CHRISTOFOLETTI, 1986).

O estudo dos geossistemas vem ganhando importância e aplicação crescente nos últimos anos, contribuindo com o fornecimento de subsídios que levem à conservação e ao uso racional dos recursos. Christofoletti (1999) menciona que os geossistemas, também designados como sistemas ambientais físicos, representam a organização espacial resultante da intervenção dos elementos físicos e biológicos da natureza (clima, topografia, geologia, águas, vegetação, animais, solos). Assim, tais sistemas possuem uma

expressão espacial na superfície terrestre, como resultado da interação dos fluxos de matéria e energia entre os seus componentes.

A perspectiva sistêmica orienta as análises pertinentes ao sub-sistema ambiental-físico, um componente do sistema maior, o Espaço Geográfico. Essa estruturação está fundamentada em Christofolletti (Op Cit) conforme a Figura 2.1:

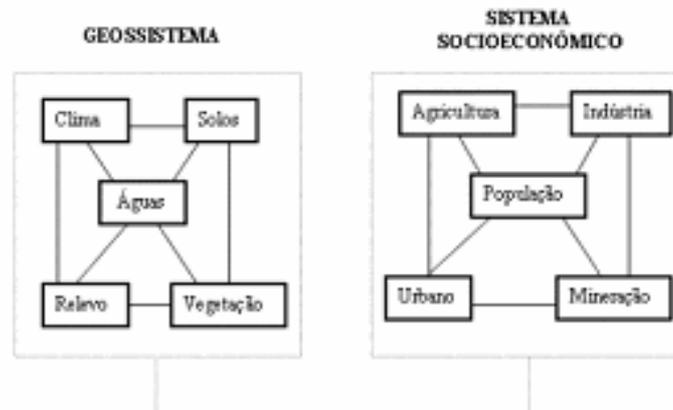


Figura 2.1 - Representação do Geossistema e Sistema Socioeconômico conforme Christofolletti (Op Cit)

É de vital importância ressaltar que os geossistemas sofrem a interferência do sistema socioeconômico, modificando processos e fluxos de matéria e energia, repercutindo nas respostas da estruturação espacial geossistêmica. Assim, os seres humanos atuam como agente que influencia as características visuais e os fluxos de matéria e energia, modificando o equilíbrio dinâmico dos geossistemas. Nunes (1999) lembra que a história do homem no planeta é repleta de exemplos que comprovam que a velocidade em alterar o meio é bem mais rápida do que a dos processos naturais vigentes.

## 2.2 - O desequilíbrio do Geossistema

A avaliação das transformações ocorridas na superfície terrestre, assim como a análise da integração dos vários elementos dos geossistemas, pode orientar um uso das terras que evite a degradação generalizada do ambiente.

A degradação ambiental pode ser vista como o resultado de uma pressão excessiva do uso das terras imposta pelo homem e envolve componentes espaciais e temporais. Como consequência, resulta em perda da produtividade, redução da biodiversidade, mudanças na qualidade e na disponibilidade de água e diminuição da viabilidade econômica de uma determinada área. 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).

Os processos de degradação ambiental têm se difundido, afetando diversos países em todos os continentes. As populações de áreas propensas a estes processos sofrem consequências 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 superior às décadas passada. Como abordado por Hutchinson et al. (1994), o problema é onde começar e quão longe ir.

Do ponto de vista usual, a degradação ambiental é função do estado atual de manejo, da tecnologia empregada e da legislação ambiental. A superestimativa das potencialidades de produção e a violação das relações naturais têm resultado em degradação ambiental (ZONN, 1994). Garduño (1994) ressalta que esta degradação tem se tornado um problema crítico em nações em desenvolvimento, uma vez que os processos de degradação da terra agem muito mais rápido do que os processos de reabilitação.

### **2.3 – Motivos do surgimento dos processos de degradação ambiental**

Para fins de conceituação, assume-se que a degradação ambiental pode ser definida como “um processo de contínua degradação da terra que resulta na incapacidade do ambiente em sustentar a demanda provocada pelo sistema socioeconômico, considerando os níveis existentes de tecnologia e desenvolvimento econômico e as condições climáticas prevalentes” (KAZMIERCZAK, 1996B).

Diversos processos físicos, biológicos e socioeconômicos contribuem para a instalação dos processos de degradação ambiental, incluindo a alteração da cobertura vegetal (uso da terra), o desmatamento, o sobrepastoreio, a erosão, a poluição da água, do solo, da atmosfera, o crescimento urbano e o mau gerenciamento dos recursos hídricos (Aru et al., 1994; ARROYO, 1994).

O sobrepastoreio tem resultado na degradação extensiva da vegetação, caracterizada pela perda da estrutura florística, perda de espécies e invasão por arbustos adaptados. De acordo com Kerley et al. (1994), surgem também alterações na estrutura do solo e no microclima.

#### **2.4 - Modelos de análise da degradação ambiental**

Mouat et al. (1993) desenvolveram um índice de degradação ambiental para a região sul do Estado de Utah (EUA), empregando 5 indicadores: Risco de erosão, Índice de Palmer, Pressão exercida pela pecuária, Vegetação exótica e Índice de vegetação NDVI. Neste trabalho foram obtidos resultados bastante interessantes, com a simulação de cenários futuros em decorrência das alternativas a serem implementadas pelos métodos de manejo dos recursos naturais.

#### **2.5 - Indicadores de degradação ambiental**

Para a definição de indicadores de degradação ambiental é preciso levar em consideração uma série de aspectos. Em muitas situações os dados não estão disponíveis; algumas avaliações requerem uma alta dose de julgamento pessoal; e os modelos podem ser práticos, mas nem sempre podem ser alimentados com dados confiáveis.

Mabutt (1986) define um indicador como “um fenômeno estritamente associado com uma condição ambiental particular, em que a sua presença pode ser tomada como um indicativo da sua condição”. Um indicador direto geralmente irá fornecer um elemento de diagnose. Com o objetivo de auxiliar a escolha de indicadores para avaliar os processos de

degradação ambiental, Mabutt (1986) cita que os indicadores devem compartilhar algumas propriedades:

- especificidade com as pressões da degradação ambiental;
- sensibilidade às mudanças no estado da degradação ambiental;
- significância no conteúdo da informação;
- prontamente observáveis, ou disponíveis estatisticamente;
- capacidade de contínuas observações (atualização); e
- facilidade de mensuração.

A aplicabilidade de diversos indicadores biológicos pode variar amplamente com o uso da terra e a cobertura do solo. Observações do dossel vegetal, da biomassa e de espécies-chaves são indicadores largamente empregados. A vantagem do uso de dados obtidos a partir de sensores orbitais é comentada por diversos autores.

## **2.6 - Definição de indicadores**

Parte do problema verificado 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 conduziu a degradação ambiental. A constatação de que as pressões ecológicas exercidas sobre os recursos naturais tendem a crescer se as ações antrópicas continuarem a alterar os ecossistemas é óbvia. A mudança aqui proposta, para definição de indicadores, é integrar todos os recursos no sentido de prover estimativas quantitativas e não apenas qualitativas dos efeitos dos diversos fatores que agem sobre o ambiente.

O pisoteio causado pela pecuária (bovina, ovina ou caprina) acelera os processos de degradação ambiental através da perda de solos e do escoamento superficial. Conduzindo estudos em quatro áreas do semi-árido americano, Belnap (1994) verificou que as áreas pisoteadas pelo gado tinham 8% de matéria orgânica, contra 32% em áreas

não pisoteadas. Nas áreas pisoteadas foi encontrada uma única espécie de cianobactéria, enquanto nas áreas não pisoteadas, foram encontradas 6 espécies de líquens e 4 espécies de cianobactérias. Concluiu ainda que as concentrações de nitrogênio e outros macronutrientes em plantas anuais e perenes é significativamente maior em ambientes onde não há pisoteio.

O conhecimento das causas e conseqüências das mudanças da vegetação afeta a capacidade de manejar ecossistemas (REYNOLDS et al., 1994). As alterações provocadas em um ecossistema são melhor compreendidas no contexto da distribuição espacial e temporal dos recursos do solo. Isto equivale a dizer que, durante o processo de degradação ambiental de uma área de pastagens produtivas, o que era uma distribuição relativamente uniforme de água, nitrogênio e outros recursos do solo, é substituído por um aumento em sua heterogeneidade, tanto espacial quanto temporal. Estes recursos promovem a invasão de arbustos, uma vez que os recursos do solo tendem a se acumular sobre eles (arbustos), enquanto o vento e a água removem os recursos entre os espaços ocupados pelas plantas, transportando-os para fora da área.

### **3 – OBJETIVOS**

#### **3.1 - Objetivo geral**

Com base na perspectiva sistêmica estabelecer relações entre solo, relevo, clima e vegetação (Geossistema) em área localizada na região de contato entre Depressão Periférica, Zona das Cuestas e Planalto Ocidental Paulista. Os elementos do Geossistema devem ser relacionados com o sistema antrópico com o objetivo de elaborar um índice que quantifique o grau de suscetibilidade de degradação ambiental, orientando um uso mais racional e minimizando os efeitos de processos erosivos e de arenização no Estado de São Paulo.

### **3.2 - Objetivos Específicos**

1. Identificar fisionomias de Cerrado estabelecendo relações com a classe e com as características físicas e químicas dos solos.
2. Gerar um índice de suscetibilidade de degradação ambiental (fragilidade) através dos indicadores de clima (precipitação), uso das terras, pressão exercida pela pecuária, tipos de solo, relevo e biomassa, contribuindo na definição de locais representativos do estudo local e na criação de um modelo de análise espacial embasado na perspectiva geossistêmica.
3. Relacionar, ao longo de uma topossequência, diferentes fisionomias de Cerrado com a granulometria, capacidade de infiltração da água, química (disponibilidade de nutrientes para a planta), posição na vertente, declividade e temperatura do solo.
4. Criar uma base de dados ambientais para a área estudada fornecendo assim subsídios para a pesquisa em conjunto com demais pesquisadores do Instituto de Geociências da UNICAMP que estão trabalhando no mesmo Geossistema e/ou em Geossistemas semelhantes.

## **4 – CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

### **4.1 - Localização da área**

O Geossistema trabalhado se localiza na Região de São Carlos, no Compartimento Geomorfológico do Planalto Ocidental Paulista pertencendo à Bacia Sedimentar do Paraná. Abrange uma área de 20X25km (Grade de análise) situada entre os Municípios de Itirapina, Brotas, São Carlos e Analândia. A Figura 4.1.1 a seguir mostra sua exata localização:

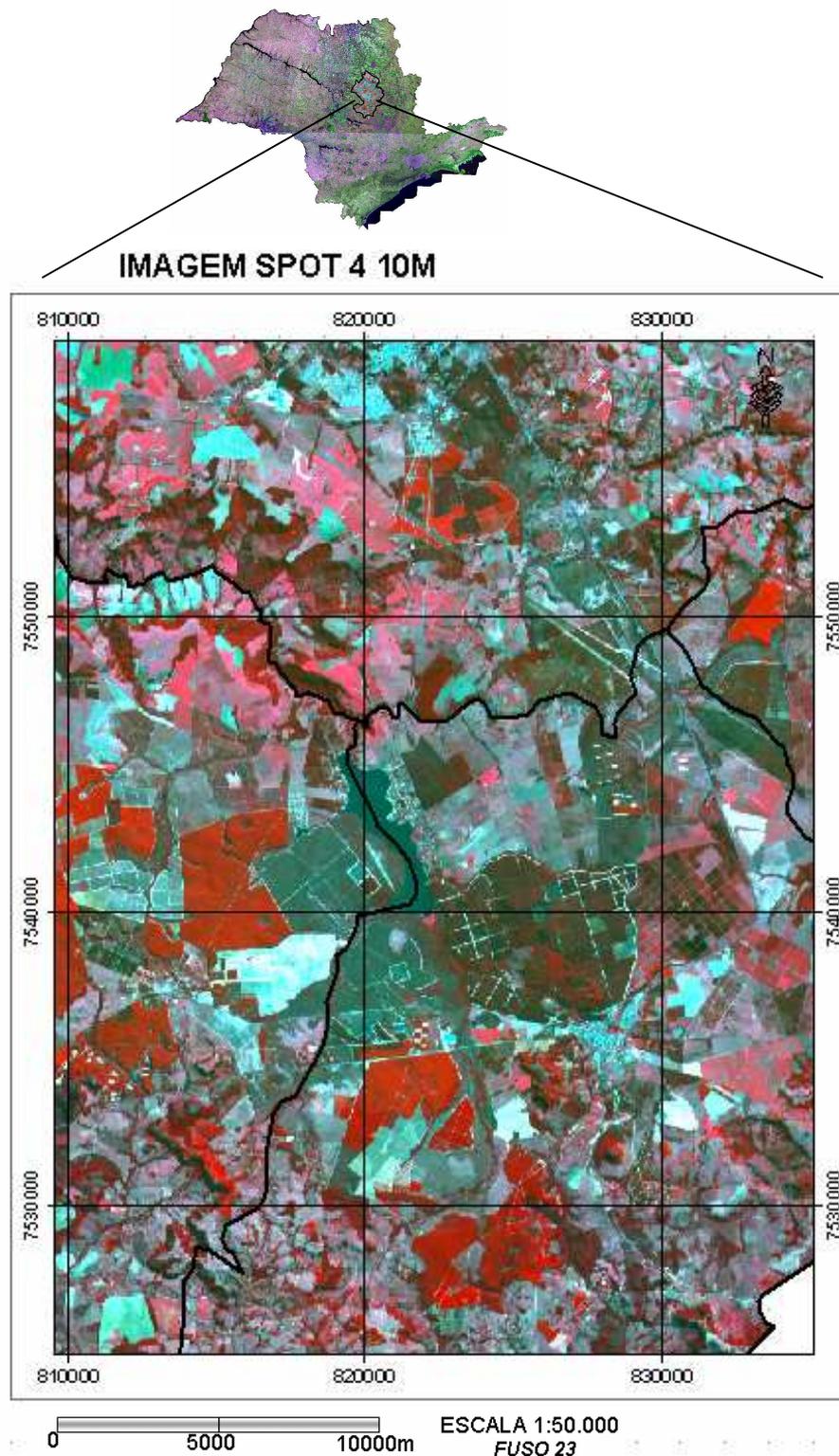


Figura 4.1.1: Localização da área de trabalho.

## 4.2 - Formação sócio-econômica-espacial e o uso atual das terras

O Estado de São Paulo, por abrigar a maior demanda por insumos básicos e por possuir a estrutura industrial mais complexa do país, foi contemplado no II Plano Nacional de Desenvolvimento (1974-1979) não só com grande número de empreendimentos privados, mas também com um volume significativo de investimentos estatais, notadamente na petroquímica, siderurgia, telecomunicações, microeletrônica, em setores de tecnologia militar e aeroespacial, além de investimentos em diversos institutos de pesquisa (HOGAN et al 2000). No interior do Estado, a articulação da moderna agricultura com o setor industrial foi responsável pela geração dos complexos agroindustriais. A localização dessas novas atividades econômicas tem se orientado pelos grandes eixos de ligação à capital, privilegiando as cidades com melhores redes de distribuição. As rodovias Bandeirantes e Anhanguera, com a derivação para a rodovia Washington Luiz, onde se localiza a região de São Carlos, é um dos eixos dos principais corredores agrícolas do Estado.

Assim, a base técnica da agricultura passou por um conjunto de transformações, através da ampliação da mecanização, da intensificação do uso do solo e de insumos químicos e biológicos com a introdução de novas variedades de cultura e de raças animais. O reflexo desse aumento de produtividade das terras age como *input* no Geossistema em estudo que apresentava grandes áreas de vegetação de cerrado na década de 60 e que foram substituídas por áreas de pastagem, reflorestamento (*Pinus* e *Eucalyptus*) e citricultura. O plantio da laranja (100% da citricultura do Geossistema) foi incrementado em função do início da implantação de um conjunto de unidades processadoras de suco, voltadas quase exclusivamente ao mercado externo já no início dos anos 80. Nos anos 70 houve um aumento da área de pastagem cultivada em quase 20% em todo o Estado de São Paulo, aumento esse que foi ainda superior nas áreas de reflorestamento, reflexo dos incentivos ocorridos na mesma década para esse uso.

As formações de cerrado no Geossistema e no Estado de São Paulo como um todo encontram-se hoje mal representadas devido à ocupação desse bioma por diversas atividades econômicas. Verifica-se a existência de inúmeros pequenos remanescentes (menores que 100ha), a maioria dispersa. Cabe ressaltar que a flora do cerrado ainda não é completamente conhecida, embora um grande número de espécies já tenha sido descrito. Estima-se que a biodiversidade do cerrado possa alcançar entre 4 e 10 mil espécies vasculares, superior à grande parte de outras floras mundiais (WWF-PRO-CER, 1995).

### 4.3 - Aspectos Geomorfológicos

A área de estudo se localiza na zona de transição entre o Planalto Ocidental Paulista e a Depressão Periférica numa zona de Cuestas e de Morros Testemunhos. De acordo com a seção geológica do Estado de São Paulo (AB'SABER, 1949) essa região está inserida no reverso das Cuestas Basáltica. Essa classificação se assemelha a de 1981 apresentada pelo IPT (IPT, 1981) como mostra a figura 4.3.1:

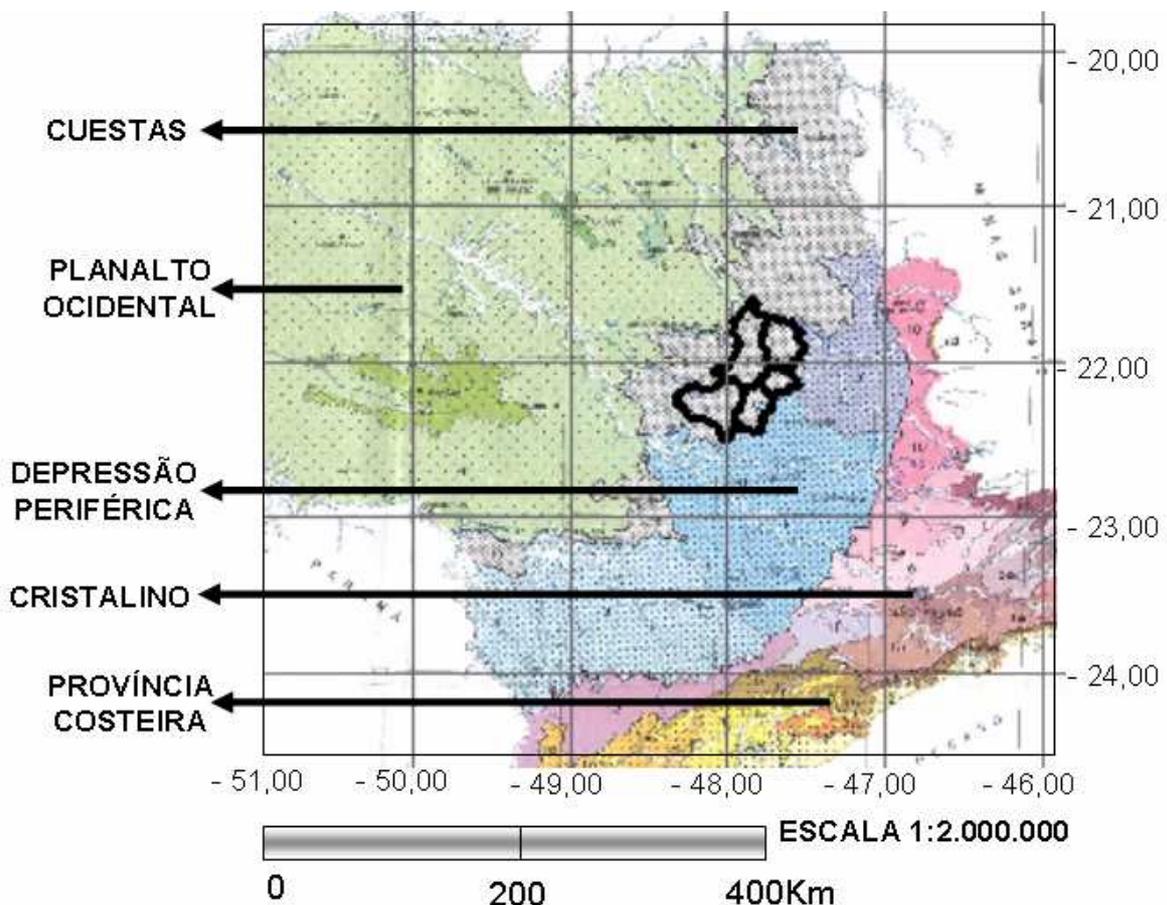


Figura 4.3.1 – Divisão Geomorfológica do Estado de São Paulo (IPT 1981).

Porém, na classificação executada mais recentemente (IPT, 1997), a mesma área situa-se no compartimento do Planalto Ocidental Paulista. Esta última classificação está mais em conformidade com as características da região que apresenta formas de relevo convexas e com suave à média ondulação. O modelo numérico do terreno da área e o perfil obtido através das cartas topográficas de escala 1:50 000 da área na Figura 4.3.2 representam essas características.

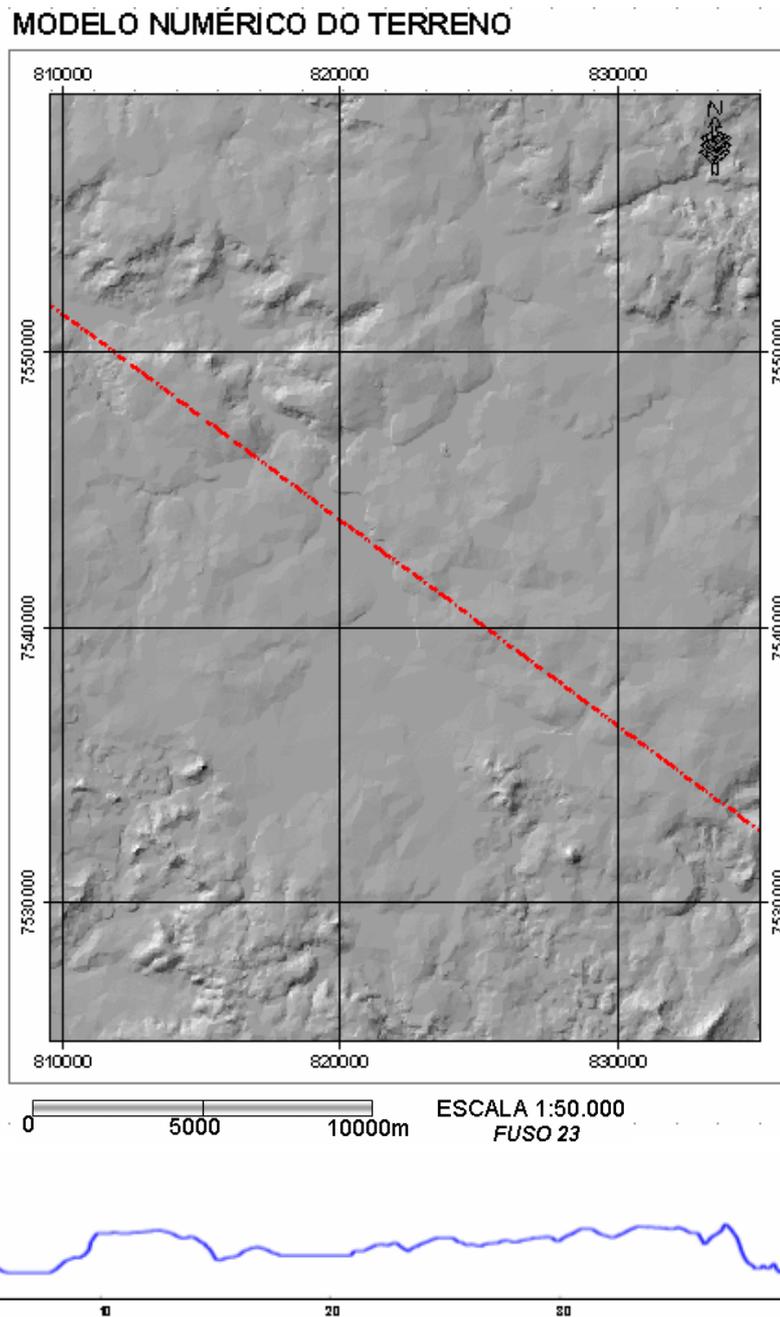


Figura 4.3.2 – Modelo Numérico do Terreno (com resolução de 20 metros) e perfil topográfico representativo da área, com base na trajetória identificada em vermelho.

O Modelo Numérico do Terreno ilustra a classificação do Mapa de Formas de Relevo (IPT, 1981) que apresenta o predomínio de colinas amplas e de morros amplos. Há um exagero

vertical na figura do perfil do relevo que na realidade é suave ondulado com baixo grau de declividade.

#### 4.4 - Geologia

De acordo com o mapa geológico do Estado de São Paulo do (IPT, 1981), são dois os arenitos predominantes na área: o da Formação Botucatu e o da Formação Pirambóia (Figura 4.4.1).

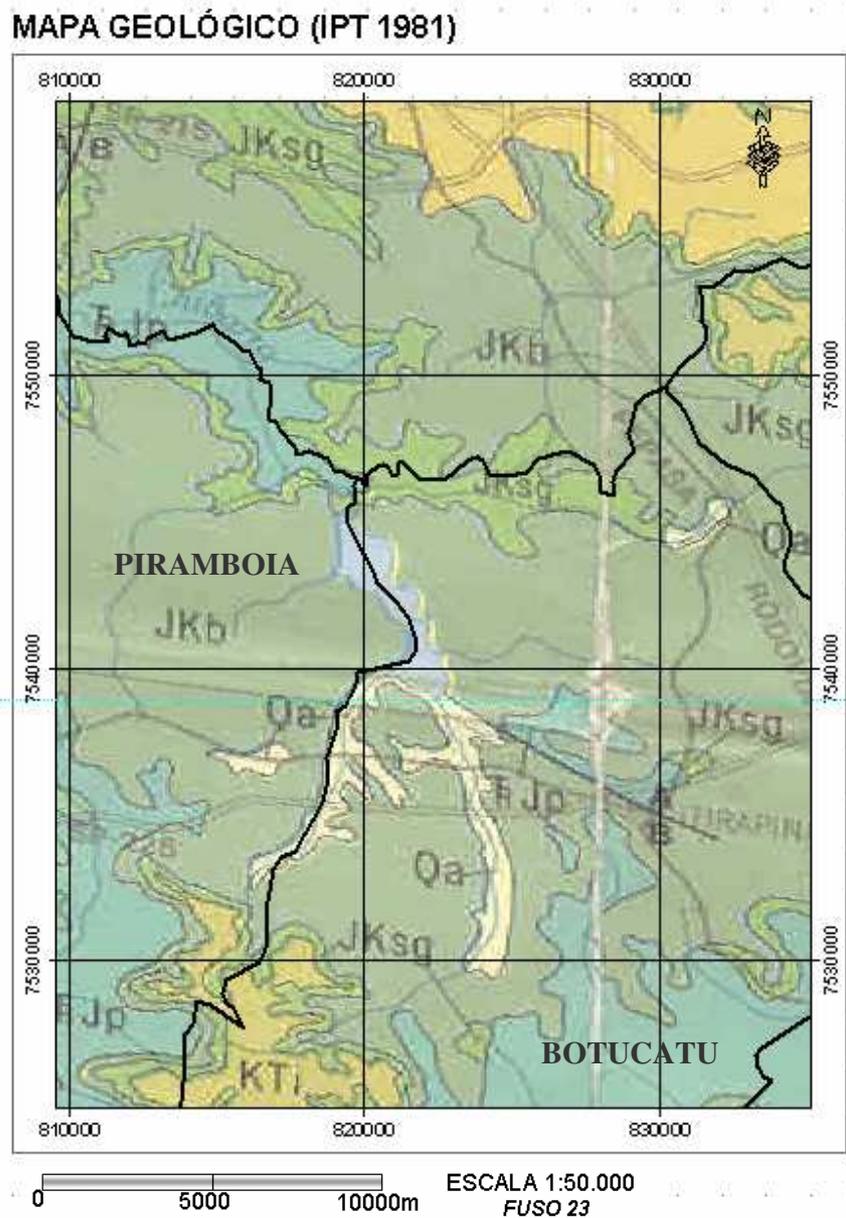


Figura 4.4.1 - Mapa Geológico do Estado de São Paulo (IPT 1981)

A história geológica da área de estudo foi caracterizada por eventos de sedimentação continental e arenosa durante o Triássico. O clima era predominantemente desértico e as sedimentações eólicas geraram em escala geológica os arenitos dunares, apresentando um material muito bem selecionado, originando o que se denomina de Arenito Botucatu. O Arenito Pirambóia, que também ocorre na área, tem sua gênese ligada à sedimentação de depósitos lacustres e em pequenas lagoas de planícies aluviais durante o Triássico. Devido ao tipo de transporte do sedimento que originou a rocha, o Pirambóia se diferencia do Botucatu pela menor seleção de material. O intemperismo dos dois tipos de rocha gera solos distintos. Ressalta-se também a ocorrência de manchas de basalto provindas de intrusões básicas.

#### **4.5 - Solos**

Com base no Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo, na quadrícula de S. Carlos (ALMEIDA et al, 1981), que engloba a área de estudo, foram identificados dois tipos de solos predominantes: os Neossolos Quartzarênicos (RQ) e o Latossolo Vermelho-Amarelo (LV). A Figura 4.5.1 ilustra a predominância dessas classes de solos.

Os Neossolos Quartzarênicos compreendem solos minerais, casualmente orgânicos na superfície, hidromórficos ou não, geralmente profundos, essencialmente quartzosos, com textura bem arenosa em pelo menos a uma profundidade de 2 metros da superfície. A sua textura varia entre 0 à 15% de argila. Sua gênese, explicitada por diferentes autores, está relacionada ao intemperismo do Arenito Botucatu. O Latossolo Vermelho-Amarelo apresenta uma textura menos arenosa em relação aos Neossolos Quartzarênicos, pois a sua rocha originária no local é o arenito Pirambóia, que possui uma granulometria distinta do outro arenito predominante na área. Sua textura varia entre 15 a 35% de argila. Cabe ressaltar que no local ocorrem manchas isoladas de Latossolo Roxo, provindo do intemperismo das rochas basálticas. Esse tipo de solo, diferentemente dos outros já mencionados, apresenta textura argilosa.

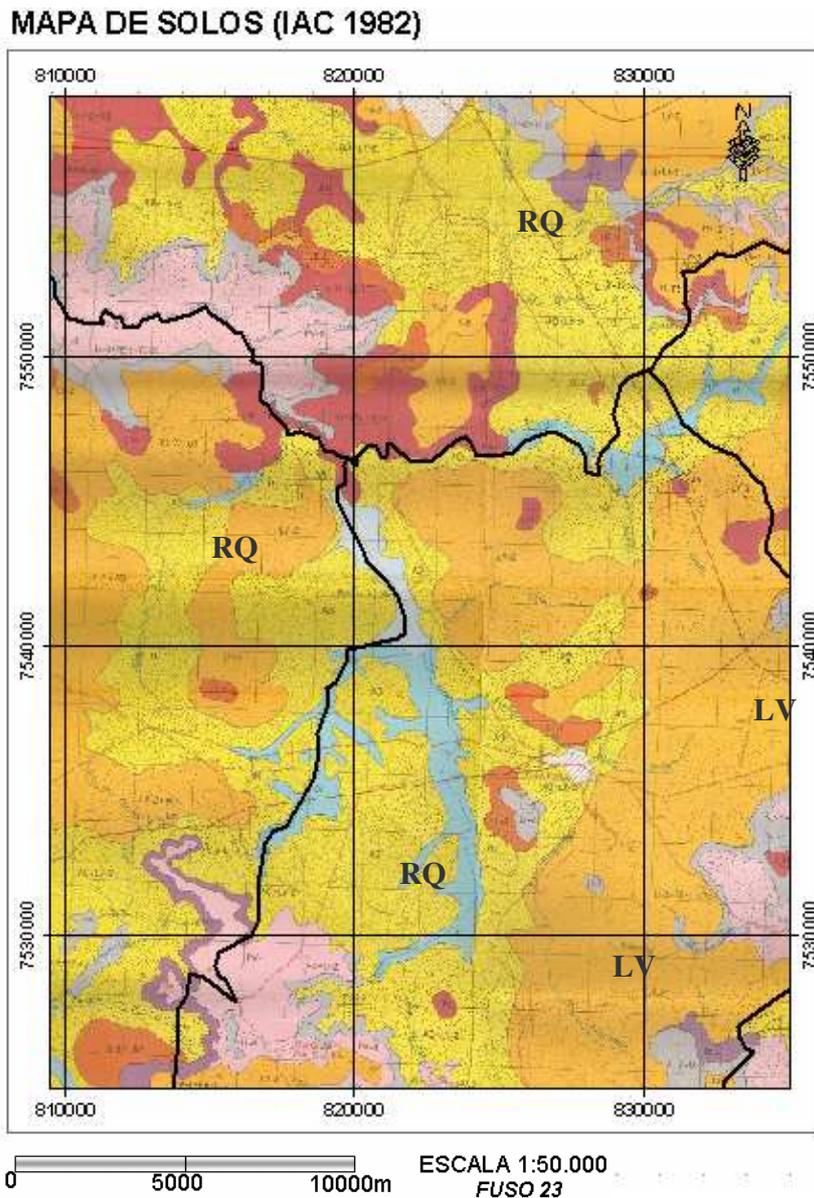


Figura 4.5.1 - Levantamento pedológico semi-detalhado (ALMEIDA et al, 1981).

#### 4.6 – Clima

O clima, segundo a classificação de Köppen, é Cwa: quente, de inverno seco, para clima tropical com verão úmido e inverno seco, precipitação média anual entre 1400 e 1500mm (MESSINA, 1998). O período chuvoso se estende de outubro a março, e responde por 84% do total de precipitação anual. O período seco corresponde aos meses de abril a setembro e apresenta 16% do total de precipitação anual. A temperatura média anual é de 19,7°C, sendo que os meses mais quentes são janeiro e fevereiro, com valores de 22,2 e 22,3°C, coincidindo com os meses

mais chuvosos. Os meses mais frios são junho e julho, com temperaturas médias de 16,4 e 16,2 °C, correspondendo ao menos chuvoso.

#### 4.7 - Localização das Topossequências

A área de detalhamento, onde foram realizadas as topossequências (Topo 1 em laranja e Topo 2 em amarelo) pode ser observada na Figura 4.6.1

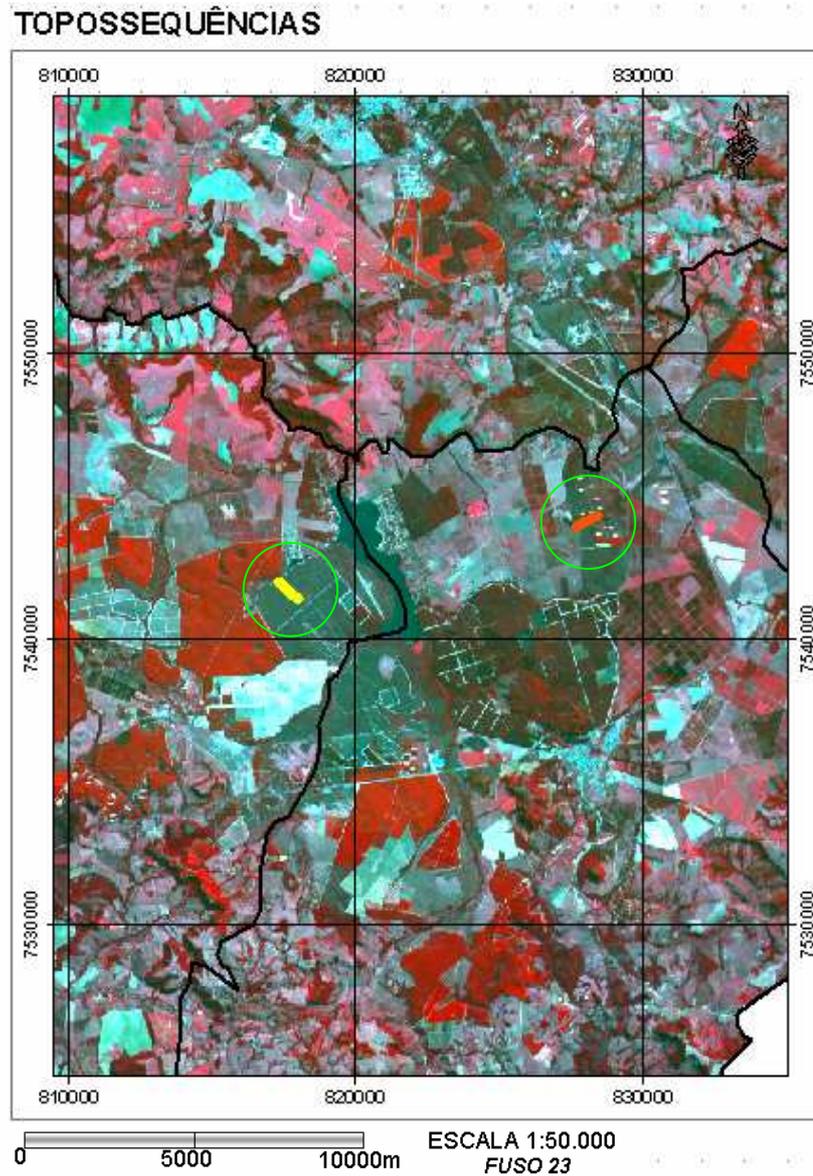


Figura 4.6.1 – Localização das duas áreas de estudo local. Topossequência 1 (Laranja) e Topossequência 2 (Amarelo).

## **5 – METODOLOGIA**

### **5.1 – Relações entre vegetação, solo e relevo**

A relação existente entre a cobertura vegetal e as características físicas do solo e do relevo foi obtida através da foto-interpretção das fotos aéreas em escala 1:25.000 de 1962 (PROSPEC, 1962) que revelam resquícios de vegetação praticamente nativa (no caso o Cerrado com suas variações: Cerradão, Cerrado e Campo-cerrado). As fotos aéreas foram classificadas gerando quatro unidades fisionômicas de Cerrado, baseados fundamentalmente na variação da tonalidade, textura, telhado da imagem, forma geométrica e na densidade e no porte da vegetação percebidos com o auxílio da estereoscopia. Com a utilização das cartas topográficas, técnicas de geoprocessamento (AUTOCAD e GPS) foram realizadas atividades de campo e coletadas amostras de solo efetuadas com o trado pedológico do tipo holandês (disponível no IG/UNICAMP) em três profundidades (0-20cm, 80-100cm, 180-200cm) para cada ponto relacionado. Análises físicas de granulometria obtidas pelo método da pipeta (CAMARGO, 1986) foram realizadas no Laboratório de Solos da FEAGRI/UNICAMP e as químicas em laboratório especializado.

#### **5.1.1 – Definição dos pontos de amostragem**

Com o auxílio do equipamento óptico Kartoflex, foi possível localizar com precisão os pontos marcados na foto aérea de escala 1:25.000 no material cartográfico de escala 1:50.000. Após esse procedimento os dados foram digitalizados com o auxílio do software AUTOCAD 14/2000 obtendo-se as coordenadas geográficas precisas em UTM de cada ponto amostrado. No GPS foram inseridas as coordenadas UTM de cada ponto para a localização dos mesmos em campo. Foram selecionados ao todo 24 pontos de coleta na área total e 20 no estudo das topossequências (9 na topossequência 1 e 11 na Topossequência 2).

Em cada um dos pontos amostrados, foram coletadas 3 amostras de solo em três diferentes profundidades: 0 a 20cm, 80 a 100 cm e 180 a 200cm, buscando os horizontes diagnóstico de cada tipo de solo. As amostras foram coletadas durante trabalho de campo com a utilização de um trado pedológico. Assim, com três amostras para cada um dos pontos coletados, tem-se 72 amostras da área total e 60 das topossequências. Essas amostras foram encaminhadas para análise laboratorial.

### **5.1.2 – Análises das amostras**

Foram realizadas análises química e física dos solos. As análises granulométricas pelo método da pipeta com determinação de cinco frações de areia (física) auxiliaram a comprovar a hipótese da relação entre cobertura vegetal e a textura do solo, objetivo primeiro dessa dissertação. Isso foi permitido através da relação estabelecida entre os resultados laboratoriais (média de argila e areia) e a classificação da cobertura vegetal para cada ponto de coleta.

As análises químicas determinaram a quantidade de nutriente existente em cada amostra, tais como Sódio, Magnésio, Potássio, Cálcio, Alumínio, além de identificar o coeficiente de troca catiônica e a acidez dos solos.

### **5.1.3 – Análises das topossequências**

Os trabalhos de campo executados ao longo da pesquisa, assim como os resultados das análises laboratoriais, auxiliaram na escolha de dois locais representativos de toda a área. Foram selecionadas duas vertentes nas quais foram realizados trabalhos de topossequência. A fase inicial desse estudo consistiu basicamente na medição do perfil da vertente do topo ao fundo do vale, assim como na coleta de amostras de solo.

Diversos materiais foram utilizados na medição das vertentes, entre eles uma trena de cinquenta metros, uma mira de quatro metros e um nível. Com isso, mediu-se a extensão e as variações nas cotas das vertentes a cada cinquenta metros, obtendo assim o perfil detalhado de cada uma delas.

As amostras de solo da topossequências foram coletadas a cada cem metros, do topo ao fundo do vale, descrevendo-se e fotografando-se o tipo de vegetação em cada ponto coletado. As duas topossequências juntas totalizam aproximadamente dois quilômetros de extensão. O total de pontos coletados nas duas vertentes resultou na análise de 60 amostras de solo. Essas amostras foram encaminhadas ao laboratório de solos da FEAGRI/UNICAMP. Não houve análise química para essas amostras.

Através dos resultados das análises granulométricas obtidas pelo Método da pipeta (EMBRAPA 1997), calculou-se a média da quantidade de areia, silte e argila das três profundidades de cada ponto coletado (0-20; 80-100; 180-200cm), relacionando-se com o tipo de vegetação e com sua posição na vertente.

A variação da vegetação ao longo da vertente foi também evidenciada através da medição em campo da quantidade de árvores em áreas amostrais. Com o auxílio da trena, mediu-se a altura e a largura das árvores numa área de 10 metros quadrados em 3 pontos distintos da vertente, sendo um no topo, um na média vertente e outro no fundo do vale. Cada quadrado foi selecionado buscando a representação de cada posição. Essa relação estabelecida, assim como as demais, descritas no próximo item, foram realizadas apenas na Topossequência 2, pois não foi possível adquirir autorização para efetivá-las na outra vertente.

## **5.2 – Demais relações estabelecidas na Topossequência 2 e o emprego da Geoestatística**

Foram estabelecidas na Topossequência 2 relações entre infiltração da água e compactação do solo, assim como relações entre a temperatura ambiente e a temperatura do solo. Essas relações foram estabelecidas em 3 posições distintas da vertente estudada. Os dados levantados no trabalho de campo foram associados a pontos em função de suas coordenadas geográficas, com o emprego do GPS e de cartas topográficas.

Os dados associados aos pontos levantados em campo foram processados utilizando-se uma das extensões do ArcGIS, denominada Geostatistical Analyst. Esta ferramenta permite gerar superfícies geoestatísticas em que a variável de interesse é estimada por algoritmos, que consideram a contribuição espacial de cada um dos pontos amostrados. Pode-se assim estimar com alta precisão os valores desta variável de interesse para as áreas não amostradas.

Definida a variável, o software faz um processamento que considera a anisotropia, ou seja, a inexistência de uma direção única de variabilidade, e calcula estatisticamente os valores de outros pontos. A Krigagem é uma das técnicas mais apropriadas para geração de superfícies, e foi empregada nesta dissertação para ilustrar algumas das relações, a exemplo daquelas estabelecidas no próximo item.

### **5.2.1 – Relações entre infiltração da água e compactação do solo.**

A água da chuva que chega no solo pode ser armazenada em pequenas depressões, ou se infiltrar, contribuindo, dessa forma, para aumentar a capacidade de armazenamento de água nos solos. Esse processo vai ser influenciado pelas propriedades do solo, características das chuvas, tipo de cobertura vegetal, uso e manejo do solo, características das encostas e microtopografia da superfície do terreno (EVANS 1980). O processo de infiltração é fundamental para se

compreender a dinâmica de erosão, MORGAN (1986) enfatiza que, durante uma tempestade, os espaços existentes entre as partículas de solo preenchem-se de água, e as forças de capilaridade decrescem, de tal forma que as taxas de infiltração decaem, tornando o solo saturado e dando início ao escoamento superficial.

O início desse escoamento acarreta processos erosivos, daí a importância em relacionar os espaços existentes no solo (porosidade/compactação) com a velocidade de infiltração da água para estabelecer locais mais frágeis a processos de erosão e perda de nutrientes. Para isso, utilizou-se duas metodologias diferentes: o método dos círculos concêntricos (para medir a capacidade de infiltração de água no solo) e o Penetrógrafo (para avaliar o nível de compactação dos solos). Ambas metodologias foram executadas nos mesmos três pontos já estudados da Topossequência 2 com leituras no topo, na média vertente e no fundo do vale.

O método dos círculos concêntricos utiliza um equipamento que permite quantificar o volume de água (identificado em centímetros numa régua cilíndrica com água no seu interior) infiltrado no solo para cada intervalo de tempo pré-estabelecido (Figura 5.2.1.1).



Figura 5.2.1.1: O método dos círculos concêntricos

Com uma planilha preenchida sobre uma prancheta de campo, 16 intervalos de leitura são registrados, totalizando 2 horas de processo para cada ponto da vertente (Tabela 5.2.1.1).

Tabela 5.2.1.1 – Intervalos de leitura da infiltração.

Minutos	
Intervalo	Acumulado
1	1
1	2
1	3
1	4
1	5
5	10
5	15
5	20
5	25
5	30
10	40
10	50
10	60
15	75
15	90
30	120

Outro equipamento utilizado nessa relação é o Penetrógrafo. Essa ferramenta gera um gráfico do comportamento do solo em relação à compactação através de uma haste de metal com 60cm de comprimento que é inserida no solo numa velocidade constante pelo operador (Figura 5.2.1.2).



Figura 5.2.1.2 – Utilização do Penetrógrafo em campo.

### **5.2.2 - Relações entre a temperatura ambiente e a temperatura do solo**

A temperatura do solo é um importante fator no crescimento e desenvolvimento vegetal, pois afeta diretamente a germinação das sementes, o desenvolvimento das raízes e da planta, a atividade dos microorganismos, a difusão dos solutos e dos gases, as reações químicas e uma série de processos importantes (REICHARDT, 1985).

Dados de temperatura dos solos foram também coletados em campo. Foram realizadas 4 leituras diárias nos três pontos da vertente em duas estações do ano. Com o auxílio de um termômetro digital com uma haste de metal acoplada foram extraídas temperaturas da superfície, dos primeiros 10cm e 20cm do solo.

### **5.3 – Geração de um índice de suscetibilidade de degradação ambiental**

O índice de suscetibilidade de degradação ambiental da área de estudo foi resultado da integração dos 5 indicadores a seguir.

#### **5.3.1 - Seleção dos indicadores considerando-se a realidade do Brasil**

A seleção de indicadores que sejam sensíveis ao potencial de degradação ambiental e que forneçam dados de maneira rápida e eficiente pode ser considerada como o ponto fundamental do estudo. Entretanto, é impraticável medir todos os indicadores de um determinado recurso natural para avaliar o stress causado pela degradação ambiental. Deste modo, a definição de indicadores apropriados é crucial, para que estes possam ser avaliados e para que possam estimar a dinâmica dos recursos naturais com uma precisão aceitável.

Kazmierczak (1996B) analisou 93 indicadores numa primeira seleção, priorizando aqueles que apresentavam maior potencialidade de fornecer informações sobre os processos de degradação ambiental, sem deixar de considerar a questão do acesso e da disponibilidade de dados. Infelizmente, diversos indicadores não puderam ser selecionados devido a completa falta de condições para quantificá-los. Por outro lado, o objetivo era justamente definir uma metodologia voltada à realidade do Brasil.

Na primeira fase da seleção, dos 93 indicadores levantados, foram selecionados 21. Esta listagem sofreu uma segunda triagem para definição daqueles que seriam utilizados no modelo. Esta definição baseou-se, além da relação com os processos de degradação ambiental, na

disponibilidade e qualidade dos dados já existentes, visando evitar um tempo ainda maior para o início do trabalho de modelagem. Os 21 indicadores listados foram: Precipitação, Albedo, Declividade, Erodibilidade, Estrutura do solo, Textura do solo, Fertilidade do solo, Índice de erosão, Cobertura vegetal e uso da terra, Áreas desmatadas, Áreas de agricultura, Áreas de Pecuária, Áreas irrigadas, Pressão exercida pela pecuária, Densidade da população, Estrutura de idades da população, Sistema de propriedade da terra, Renda per capita, Índice de Vegetação Diferença Normalizada, Índice de Palmer e Produtividade Primária Líquida. Desta segunda triagem, foram selecionados 5 indicadores:

- **Precipitação:** Um dos elementos-chave na distribuição da vegetação e do tipo de uso da terra, a precipitação pode apresentar uma alta variabilidade tanto espacial quanto temporal.
- **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.
- **Cobertura vegetal e uso da terra:** O uso atual da terra é apontado como o fator relevante no controle da erosão do solo. Alguns autores afirmam que indicadores da vegetação, juntamente com informações do solo e avaliações feitas com Sensoriamento Remoto, podem ser empregadas para estimar mudanças relacionadas com a degradação ambiental.
- **Pressão exercida pela pecuária:** Os solos com composição significativa de areia em geral são altamente erodíveis (baixos níveis de matéria orgânica, grande tamanho de suas partículas). A compactação dos solos, resultante da pecuária, é refletida no decréscimo de infiltração da água e conseqüentemente menor disponibilidade de água (WEBB, 1983; WILSHIRE, 1983), que por sua vez influencia a atividade da biota do solo, a dinâmica do ciclo de nitrogênio (TORBERT e WOOD, 1992), o vigor vascular da planta e a sua reprodução (CRAWFORD, 1979; SKUJINS, 1984), e a taxa de decomposição da matéria orgânica do solo (WEST, 1981). Outro efeito da compactação é a redução dos espaços de ar (porosidade) do solo, o que é extremamente prejudicial a estabilidade do solo e para o microambiente da biota do solo (DREGNE, 1983a; STOLY e NORMAN, 1961).

- **Índice de Vegetação Diferença Normalizada – NDVI:** As mudanças na vegetação assumem um papel significativo nos processos de degradação ambiental (MELIÁ et al., 1994), e o emprego de dados orbitais pode ser de grande valia no mapeamento dos níveis de degradação. Estas estimativas são usualmente realizadas através de imagens índice de vegetação, tal como o NDVI.

### **5.3.2 – Processo de geração dos indicadores e do ISDA através do SIG**

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) constituem-se num modelo avançado, derivado diretamente de uma perspectiva sistêmica, a qual só pode concretizar-se mediante as categorias de análise da Geografia (VICENTE e PEREZ FILHO, 2003).

Uma vez definido os indicadores que resultarão no Índice de Suscetibilidade de Degradação Ambiental (ISDA) da área regional, torna-se necessária a elaboração de uma rotina baseada em sistemas de informações geográfica. O tratamento e as relações das informações espaciais foram manipulados com a utilização do software ArcInfo 9.1 da ESRI e do software de tratamento de imagens da Leica Geosystem, o Erdas Imagine 8.7. Essas ferramentas geraram os subsídios necessários para a elaboração dos indicadores de fragilidade ambiental.

Para cada um dos temas foi definido um plano de informação, visando armazenar dados específicos. Através das diversas rotinas disponíveis no ArcInfo, foram realizados os processamentos necessários para garantir a exequibilidade da aplicação do algoritmo e para a produção do mapa final, com a distribuição das áreas mais susceptíveis aos processos de degradação ambiental.

#### **5.3.2.1 – Definição das Notas de Cada Indicador**

Como visto no item 5.3.1 os indicadores definidos para compor o ISDA são cinco: Precipitação, Erodibilidade, Uso e Ocupação das Terras, Pressão Exercida pela Pecuária e NDVI.

Considerando-se a dificuldade de estabelecer critérios para definir os limites superior e inferior das classes de cada um dos indicadores selecionados, optou-se por empregar a metodologia descrita na seqüência. Para cada indicador, foram geradas as estatísticas básicas: média, variância, desvio padrão, valor mínimo e máximo. A amplitude foi dividida por 5, gerando o intervalo de classe (IC). Tem-se assim classes que correspondem a valores identificados como Muito Baixos, Baixos, Médios, Altos e Muito Altos. Esta legenda foi aplicada

para todos os indicadores. Para o indicador Uso e Ocupação das Terras, as notas aplicadas estão relacionadas à classe de cada célula da grade de 100 metros, a ser detalhada no item 5.3.2.10.

Caso os valores de uma variável fossem: 10, 20, 30, 20, 50, 20, 10, 20, 30 e 50, ter-se-ia um valor mínimo de 10, um valor máximo de 50 e uma amplitude de 40. Considerando-se sempre 5 classes de análise, o intervalo de classe seria de 8 (40/8). Assim, os intervalos obedeceriam a seguinte definição:

Tabela 5.3.2.1.1 – Exemplo de intervalos de classe em função da abordagem de definição das Notas.

	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR	NOTA
CLASSE 1	10	18	1
CLASSE 2	18	26	2
CLASSE 3	26	34	3
CLASSE 4	34	42	4
CLASSE 5	42	50	5

### 5.3.2.2 – Fusão das Imagens de Satélite

As imagens Spot-4 (713/394 e 713/395, ambas de 14 de Julho de 2005) relativas a área de interesse foram processadas no ambiente do Erdas Professional 8.7, software de processamento digital de imagens. Utilizando uma de suas funcionalidades, a imagem multiespectral (de 20 metros de resolução) foi fusionada com a imagem pancromática (de 10 metros de resolução), gerando uma imagem com as características espectrais de 20 metros e com as características espaciais de 10 metros. Esta técnica é utilizada em todo o mundo para que a extração de informações tenha melhor qualidade.

Após o processamento de fusão das imagens, foi feito o recorte da área, para redução do tamanho dos arquivos na classificação do uso e ocupação das terras.

### 5.3.2.3 – Classificação do Indicador de Uso e ocupação das terras

A classificação foi realizada utilizando-se a imagem fusionada no item anterior, com base nas classes definidas na seqüência:

- **Corpos d'água:** açudes, represas, e demais áreas com água armazenada;
- **Área Urbana:** área antropizada em que há edificações, independentemente da intensidade desta ocupação (alta, média ou baixa densidade);

- **Cerrado:** áreas de vegetação primária (original), em consonância com a classificação desta fisionomia florestal;
- **Mata de Galeria:** resquícios de vegetação primária cuja distribuição espacial encontra-se associada a rede de drenagem;
- **Reflorestamento:** áreas ocupadas com espécies exóticas, notadamente *Pinus* e *Eucalypto*;
- **Agricultura I** (culturas permanentes): áreas ocupadas por culturas permanentes, notadamente laranja;
- **Agricultura II** (culturas temporárias): áreas ocupadas por culturas anuais, sem discriminação de espécies;
- **Pastagem:** áreas ocupadas por vegetação herbácea, independentemente da modalidade de pecuária (intensiva ou extensiva);
- **Solo exposto:** áreas em que o solo apresenta-se exposto, não permitindo a identificação do uso a ser dada na seqüência (reflorestamento, pecuária, loteamento urbano, etc).

No caso da classe Pastagem, a tarefa de classificação foi estendida para a área total de abrangência dos municípios da área de estudo regional (São Carlos, Itirapina, Brotas e Analândia). Esta ampliação da área de classificação decorre do fato de que, para calcular a Pressão Exercida pela Pecuária, um dos indicadores de modelagem do ISDA, torna-se necessário quantificar todas as áreas ocupadas pela pecuária dentro dos limites de cada Município.

Para todas as classes, como elemento auxiliar para refinar a classificação, foram utilizadas ortofotos coloridas na escala 1:10.000, geradas em 2000, como ilustrado na figura a seguir.

### DETALHE DA ORTOFOTO

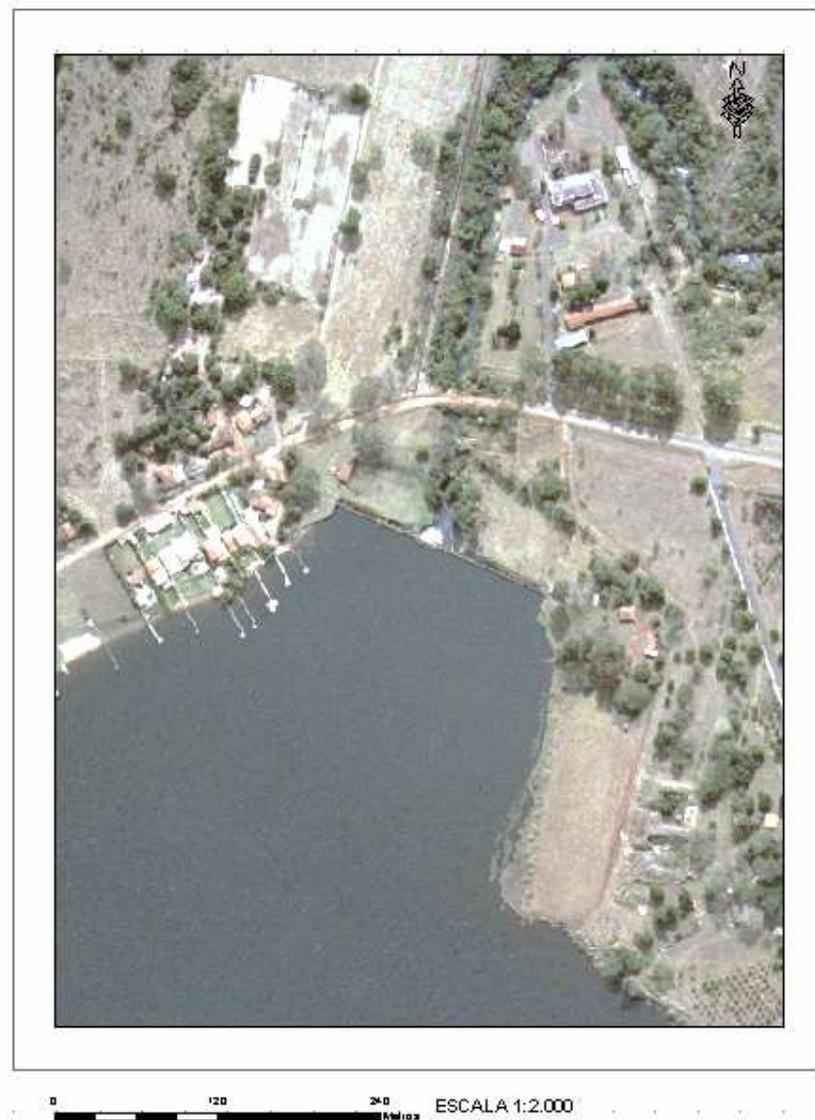


Figura 5.3.2.3.1 - Detalhe de ortofoto, em escala 1:2.000.

Na modelagem do ISDA na grade (vide item 5.3.2.10), para estas 9 classes de uso e ocupação das terras, foram atribuídos os seguintes valores de suscetibilidade para o primeiro indicador (Tabela 5.3.2.3). Considera-se que classes que protegem o solo assumem valores menores de suscetibilidade, enquanto classes em que esta proteção é menor assumam valores cada vez maiores.

Tabela 5.3.2.3.2 - Notas das classes de uso do solo, em função da sua suscetibilidade á degradação.

CLASSE	VALOR
Corpos d'água	1
Área Urbana	3
Cerrado	2
Mata de Galeria	2
Reflorestamento	2
Agricultura I (culturas permanentes)	3
Agricultura II (culturas temporárias)	4
Pastagem	4
Solo exposto	5

#### 5.3.2.4 – Geração do Indicador NDVI

O índice de vegetação é utilizado para identificar diferenças entre as diversas classes de uma cena, e entre alvos da mesma classe que apresentam diferenças entre si. Desta forma, é possível discriminar áreas de floresta de áreas com agricultura, pois a primeira classe apresenta uma biomassa significativamente maior do que a segunda. Numa área com uma cultura agrícola, é possível discriminar áreas em que a cultura apresenta um estado vegetativo mais avançado do que outras.

O NDVI (Normalized Difference Vegetation Index, ou Índice de Vegetação Diferença Normalizada) opera os valores coletados pelo satélite SPOT 4 nas Bandas 2 (Vermelho) e 3 (Infravermelho Próximo), extraindo o valor de cada píxel em cada uma das duas bandas e calculando o valor do NDVI, conforme a Equação 1 abaixo:

$$\text{NDVI} = (\text{Banda 3} - \text{Banda 2}) / (\text{Banda 3} + \text{Banda 2}) \quad (\text{Equação 1})$$

Sobre a imagem Spot-4 fusionada no item 5.3.2.1., com resolução de 10 metros, foram executados os algoritmos de geração do Erdas Professional 8.7, que consistem em calcular o NDVI sobre a imagem.

Como exemplo, se as medidas obtidas pelo satélite sobre 3 píxeis diferentes forem aqueles ilustrados na Tabela 5.3.2.4.1, com base no calculo do NDVI, tem-se que o píxel 3 apresenta uma biomassa 75% maior do que o píxel 1.

Tabela 5.3.2.4.1 - Exemplo de cálculo do NDVI para 3 píxeis.

<b>PÍXEL</b>	<b>BANDA 2</b>	<b>BANDA 3</b>	<b>NDVI</b>
1	40	60	0,2000
2	35	57	0,2391
3	25	52	0,3506

Tendo em vista o tempo de processamento dos dados na etapa de manipulação para geração do Algoritmo ISDA (Índice de Suscetibilidade de Degradação Ambiental), a imagem resultante da classificação do NDVI foi degradada para uma resolução de 100 metros.

Na modelagem do ISDA na grade, foram definidas 5 classes, sendo atribuídos os seguintes valores de suscetibilidade do segundo indicador do ISDA (Tabela 5.3.2.4.2). Para tanto considera-se que baixos valores de NDVI geram altos valores de suscetibilidade.

Tabela 5.3.2.4.2 – Nota do grau de suscetibilidade para as classes do NDVI.

<b>CLASSE</b>	<b>VALOR</b>
1	5
2	4
3	3
4	2
5	1

A inversão 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 têm valores menores.

### **5.3.2.5 – Geração do Indicador de Precipitação**

Os dados de precipitação, obtidos junto ao DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica), foram espacializados, conforme a Figura 5.3.2.5.1. Percebe-se que a sua distribuição espacial é coerente com o objetivo de definir padrões de precipitação total anual (média de 30 anos) e mensal (Janeiro a Dezembro) para a área de interesse. Para cada estação foram processados os valores diários de precipitação, gerando as informações do terceiro indicador do algoritmo que quantifica o ISDA. Ponderou-se 50% para cada total adquirido sendo 50% para o total mensal e 50% para o total anual.

### ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS

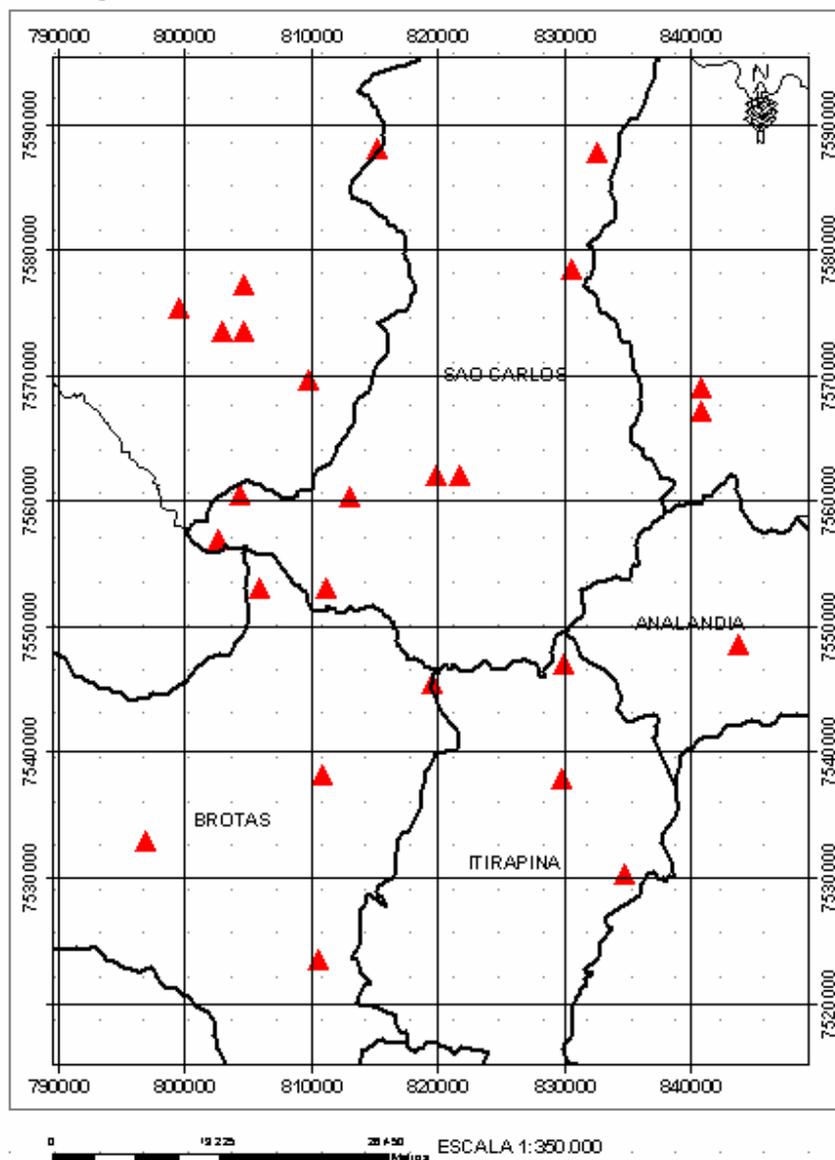


Figura 5.3.2.5.1 - Distribuição espacial das 25 estações pluviométricas.

### 5.3.2.6 – 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 do IBGE, ano base de 2004. Para cada um dos quatro

municípios que abrangem a área de estudo regional foram quantificados estes valores, sumarizados na Tabela 5.3.2.6.1.

Tabela 5.3.2.6.1. – Dados de rebanho de gado para cada Município da área regional.

<b>MUNICÍPIO</b>	<b>REBANHO</b>
SÃO CARLOS	61.834
ITIRAPINA	15.970
BROTAS	53.074
ANALÂNDIA	15.400
<b>TOTAL</b>	<b>146.278</b>

Para a definição da Pressão Exercida pela Pecuária (PEP), os valores com o rebanho de cada município foram divididos pelo valor da área total ocupada pelas pastagens, conforme mencionado anteriormente no item 5.3.2.2., gerando o quarto indicador do ISDA. Quanto maior a lotação de gado por unidade de área, maior a nota. As áreas que não apresentam pastagens recebem a nota 0 (zero).

### **5.3.2.7 - Digitalização dos Mapas de Solos**

Os dados obtidos nas cartas de solo em escala 1:100.000 (ALMEIDA, 1981), foram digitalizados e tiveram seus limites de classes vetorizados, de forma a gerar um mapa digital dos solos. Esse dado, junto à informação de declividade foi utilizado na elaboração do Indicador de Erodibilidade.

### **5.3.2.8 – Geração do Mapa de Declividade**

Como é necessário considerar a declividade no grau de propensão de erodibilidade de uma determinada mancha de solo, foi gerado um mapa de declividade a partir da base de dados altimétricos existentes nas cartas 1:50.00 do IBGE. As curvas de nível e os pontos cotados foram empregados para geração de um Modelo de Elevação Digital (ou DEM, *Digital Elevation Model*).

Utilizando-se uma das funcionalidades do ArcINFO, estes pontos e vetores foram processados gerando o DEM, que posteriormente 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%.

### 5.3.2.9 - Cálculo do Indicador de Erodibilidade

A erodibilidade foi calculada considerando-se em conjunto o tipo de solo e a declividade de cada píxel, conforme a Tabela 5.3.2.9.1 apresentada na seqüência, com os valores do quinto e último indicador do ISDA.

Tabela 5.3.2.9.1 – Valores de suscetibilidade ambiental do indicador de erodibilidade.

<b>SOLOS HIDROMÓRFICOS</b>					
0 a 3%	3 a 6%	6 a 12%	12 a 20%	20 a 45%	45 a 70%
1	1	Não existe	Não existe	Não existe	Não existe
<b>TERRA ROXA ESTRUTURADA</b>					
0 a 3%	3 a 6%	6 a 12%	12 a 20%	20 a 45%	45 a 70%
1	1	1	1	2	3
<b>LATOSSOLO ROXO</b>					
0 a 3%	3 a 6%	6 a 12%	12 a 20%	20 a 45%	45 a 70%
1	1	1	1	2	3
<b>LATOSSOLO VERMELHO ESCURO</b>					
0 a 3%	3 a 6%	6 a 12%	12 a 20%	20 a 45%	45 a 70%
1	1	1	2	3	4
<b>LATOSSOLO VERMELHO AMARELO</b>					
0 a 3%	3 a 6%	6 a 12%	12 a 20%	20 a 45%	45 a 70%
1	1	2	3	4	5
<b>PODZÓLICO VERMELHO AMARELO</b>					
0 a 3%	3 a 6%	6 a 12%	12 a 20%	20 a 45%	45 a 70%
1	1	2	3	4	5
<b>SOLOS LITÓLICOS</b>					
0 a 3%	3 a 6%	6 a 12%	12 a 20%	20 a 45%	45 a 70%
1	1	2	3	4	5
<b>NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS (RQ)</b>					
0 a 3%	3 a 6%	6 a 12%	12 a 20%	20 a 45%	45 a 70%
1	2	3	4	5	5

Exemplificando, se uma determinada área está localizada em um solo que pertence ao grupo Neossolos Quartzarênicos e tem uma declividade de 18%, foi classificado com uma suscetibilidade 4, considerada alta. Por outro lado, uma área localizada em um solo que pertence ao grupo Latossolo Vermelho Escuro, com declividade de 4%, foi classificado como tendo uma suscetibilidade 1, considerada muito baixa. Em linhas gerais, o valor 1 representa uma

suscetibilidade muito baixa; 2 representa suscetibilidade baixa; 3 representa suscetibilidade média; 4 representa suscetibilidade alta e 5 representa suscetibilidade muito alta.

### 5.3.2.10 - Geração da grade de Análise Espacial

Para manipulação do Índice de Suscetibilidade de Degradação Ambiental 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. A Figura 5.3.2.10.1 a seguir ilustra um detalhe desta grade.

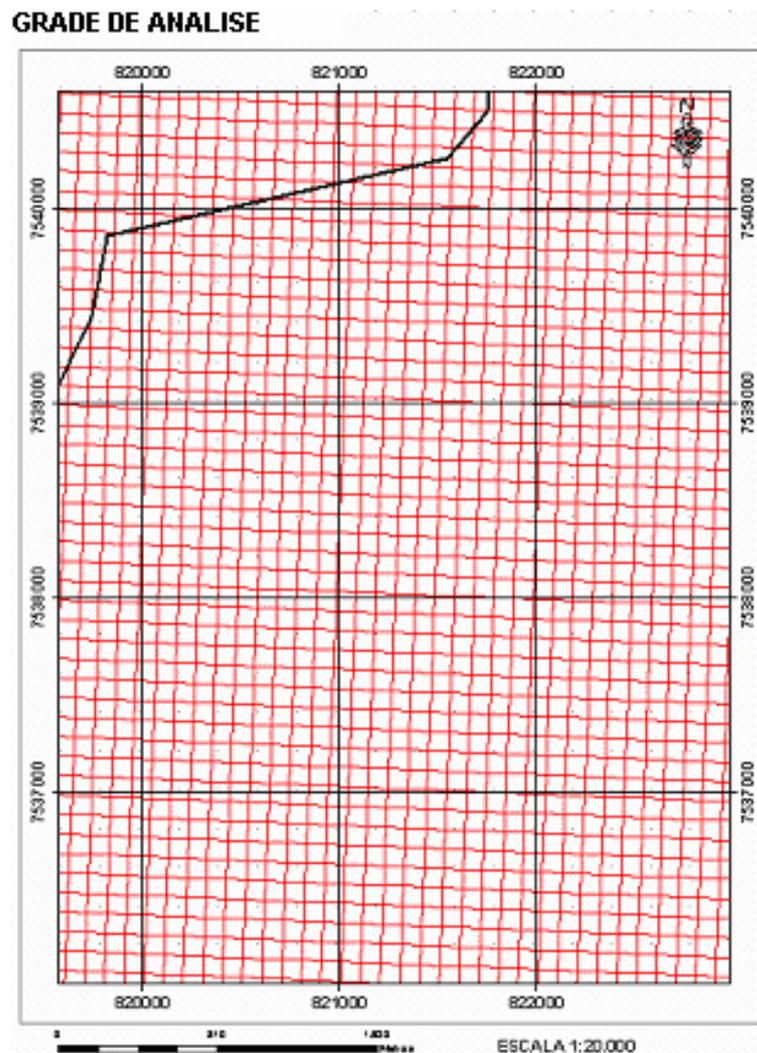


Figura 5.3.2.10.1 - Grade de análise.

### 5.3.2.11 – Inserção dos atributos na grade

Os valores de cada polígono (classe) de cada indicador foram transferidos para a grade gerada no item anterior, de forma a dispor de todos os valores de todos os indicadores em um único arquivo digital. Para isso, foram feitas operações de análise espacial selecionando-se as células da grade que interceptavam os polígonos de cada indicador. Cada linha da Figura 5.3.2.11. ilustra os atributos de uma célula de 100x 100 m.

IND_PPT_4	TIP_SOLO	DEC_PERC	DEC_GRAU	CLAS_DECL	GRUP_SOLO	ERODIB	NDVI	PEP	CLASSE_USO	USO	ISDA	PPT_▲
2,47222	39	29	13	3	6	5	3	0	9	4	14,47222	
2,47222	39	20	9	2	6	4	1	0	9	4	11,47222	
2,47222	39	11	5	1	6	3	1	0	9	4	10,47222	
2,47222	39	16	7	2	6	4	1	0	9	4	11,47222	
2,47222	39	16	7	2	6	4	1	0	9	4	11,47222	
2,47222	39	9	4	1	6	3	1	0	9	4	10,47222	
2,47222	39	9	4	1	6	3	1	0	9	4	10,47222	
2,47222	39	9	4	1	6	3	1	0	3	1	7,47222	
2,47222	39	9	4	1	6	3	1	0	3	1	7,47222	
2,47222	39	9	4	1	6	3	2	0	3	1	8,47222	
2,50000	39	9	4	1	6	3	2	3	8	4	14,50000	
2,50000	39	11	5	1	6	3	3	3	8	4	15,50000	
2,50000	39	13	6	2	6	4	1	3	8	4	14,50000	
2,50000	39	13	6	2	6	4	1	3	8	4	14,50000	
2,50000	39	13	6	2	6	4	1	3	8	4	14,50000	
2,47222	39	27	12	3	6	5	1	0	9	4	12,47222	
2,47222	39	18	8	2	6	4	1	0	9	4	11,47222	
2,47222	39	13	6	2	6	4	1	0	9	4	11,47222	
2,47222	39	18	8	2	6	4	1	0	9	4	11,47222	
2,47222	39	18	8	2	6	4	1	0	9	4	11,47222	
2,47222	39	11	5	1	6	3	1	0	9	4	10,47222	
2,47222	39	11	5	1	6	3	1	0	3	1	7,47222	
2,47222	39	9	4	1	6	3	1	0	3	1	7,47222	
2,47222	39	11	5	1	6	3	1	0	3	1	7,47222	

Figura 5.3.2.11.1 - Atributos da grade.

### 5.3.2.12 – Geração do ISDA

Há um sentimento de que modelos relativamente simples possam descrever com certa confiança os processos de interesse. Além disso, devido a questões como custos e acesso a informação, os modelos simples apresentam maior praticidade de uso e podem ser aplicados em grandes áreas. Os modelos (ou índices) servem como um instrumento para facilitar um diagnóstico integrado do uso dos recursos naturais e dos recursos humanos. A avaliação do grau (ou do estado) de propensão à degradação ambiental é necessária por diversas razões:

- para estabelecer a magnitude e a extensão do problema, no sentido de despertar a atenção dos órgãos governamentais e a comunidade local;

- para identificar os impactos da degradação ambiental e compreender a sua natureza e as suas causas; e
- 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.

O algoritmo do índice então computa o grau de suscetibilidade, que pode variar de 4 a 25, dependendo dos valores assumidos por cada píxel da grade de análise. Todos os indicadores têm um peso igual, afetando da mesma forma a suscetibilidade computada pelo índice. Isto implica no fato de que a suscetibilidade 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. Neste caso, os aspectos espaciais e temporais dos processos de degradação ambiental são afetados na mesma escala dos indicadores individuais.

O estabelecimento de pesos para os indicadores baseado 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.

Para a obtenção do algoritmo que se propõe a modelar a suscetibilidade de degradação ambiental, cada indicador assume valores de 1 a 5, em função das classes de suscetibilidade estabelecidas. O Índice de Suscetibilidade de Degradação ambiental ISDA (KAZMIERCZAK, 1996B) é dado pela Equação 2:

$$[\text{ISDA}] = \text{USO} + \text{NDVI} + \text{PPT} + \text{PEP} + \text{ERO} \quad (\text{Equação 2})$$

O USO é o uso das terras, 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.

Como o objetivo do ISDA é identificar as áreas mais vulneráveis aos processos de degradação ambiental, foi feito o processamento final, para produção do mapa de risco. Utilizando os mesmos critérios estabelecidos para a definição das classes dos indicadores, este mapa resulta da reclassificação do plano de informação gerado.

Como exemplo tem-se a seguinte situação.

- Tipo de Uso e ocupação das terras: Pastagem
- Nota do Indicador Uso e ocupação das terras: 4
- Classe de NDVI: 2
- Nota do Indicador NDVI: 4
- Classe de Precipitação: 3
- Nota do Indicador Precipitação: 3
- Classe de Pressão Exercida pela Pecuária: 5
- Nota da Pressão Exercida pela Pecuária: 5
- Tipo de Solo: Areia Quartzosa
- Classe de declividade: 20%
- Nota do Indicador Erodibilidade: 5

Desta forma ter-se-ia um valor do ISDA de 21 (resultado da soma de 4+4+3+5+5) para uma determinada célula de 100 X 100 metros que apresenta os valores ilustrados nesta simulação.

## **6 - RESULTADOS**

### **6.1 – Resultados das relações entre vegetação, solo e relevo**

As relações entre vegetação, solo e relevo, foram estabelecidas de duas maneiras distintas. A primeira envolveu o material cartográfico disponível, baseando-se na relação dos resultados da classificação das manchas de vegetação (fotos aéreas de 1962) com o mapa de solos da área. A segunda envolveu análises laboratoriais dos solos, confirmando a intrínseca relação entre esses elementos. As figuras a seguir (6.1.1, 6.1.2, 6.1.3, 6.1.4, 6.1.5, 6.1.6, 6.1.7) revelam algumas características da área regional mencionadas anteriormente. A visualização das mesmas auxilia a compreensão dos resultados apresentados nesse item da dissertação.



Figura 6.1.1 - Perfil do Arenito Botucatu.

A Figura 6.1.1, referente a um corte na estrada, nos revela um perfil do Arenito Botucatu. A estratigrafia cruzada desse Arenito indica os movimentos dunares ocorridos no Cretáceo. Sob essa litologia são desenvolvidos solos arenosos como os Neossolos Quartzarênicos, pobres em nutrientes.



Figura 6.1.2 - Solo exposto e reflorestamento de *Pinus*.

A Figura 6.1.2 revela ao fundo um reflorestamento de *Eucalyptus*, também comum na área regional e mais à frente, um areal resultado do tempo de exposição do solo desnudo.



Figura 6.1.3 – Pastagem com resquícios de vegetação nativa.

A Figura 6.1.3 revela outro uso comum na região: pastagem com resquícios de Cerrado nativo. Diferentemente do pinus já plantado, esses locais são muito susceptíveis a processos erosivos. As poucas árvores do Cerrado têm a função de fornecer sombra ao gado, mas não são suficientes para proteger o solo. As gramíneas são plantadas em substituição a vegetação nativa gerando um desequilíbrio no Geossistema local. A textura arenosa dos solos encontrados na área não gera agregados e faz com que o vento se encarregue de acelerar a arenização. Além disso, o pisoteio do gado que segue preferencialmente o “caminho” da drenagem acelera demais processos erosivos como o ravinamento.



Figura 6.1.4 - Empilhamento de Eucalipto.



Figura 6.1.5 - Estrada Vicinal.

A Figura 6.1.4 mostra um outro uso comum do solo na área que é o de reflorestamento de *Eucalypto*. Quando adulto, o eucalipto é capaz de reter o processo de arenização.

A Figura 6.1.5 mostra a dificuldade de se manter uma estrada vicinal devido ao processo erosivo. O Cerradão, com árvores de porte mais alto, está sobre um Latossolo Vermelho-Amarelo, mais rico em nutrientes (mais argiloso) que o Neossolo Quartzarênico exposto na parte frontal da fotografia. Essas relações iniciais entre solo e vegetação foram feitas anteriormente às análises laboratoriais com o auxílio do mapa de solos da região, conforme documentado na Figura 6.1.6 a seguir:



Figura 6.1.6 - Cerrado e cerradão em Latossolo Vermelho-Amarelo (à esquerda) e campo-cerrado em Neossolo Quartzarênico (à direita).

### 6.1.1 – As classes de cobertura vegetal do solo nos pontos de amostragem

As formações superficiais e os solos são, para objetivos desse trabalho, elementos fundamentais do Geossistema. A relação existente entre a cobertura vegetal e as características físicas do solo e do relevo foi estudada através da foto-interpretação uma vez que as fotos aéreas em escala 1:25000 de 1962 revelam resquícios de vegetação praticamente nativa (Cerrado) com suas variações (Cerradão, Cerrado e Campo-cerrado). Com base nas fotos aéreas foram classificadas quatro tipos de cobertura do solo, baseados fundamentalmente na variação da tonalidade, na densidade e no porte da vegetação percebidos com o auxílio da estereoscopia:

- A – Cinza escuro (Cerradão)
- B – Cinza médio (Cerrado)
- C – Cinza claro (Campo-cerrado)
- D ou Bco – Cinza muito claro – Solo Exposto (Areais)

Em cada mancha foram selecionadas áreas representativas com um círculo de 3mm de diâmetro, que sofreram a classificação acima. Os pontos selecionados orientaram a tradagem do solo efetivada nos trabalhos de campo. A foto aérea a seguir (Figura 6.1.1.1) apresenta o tipo de classificação realizada com o auxílio da estereoscopia.

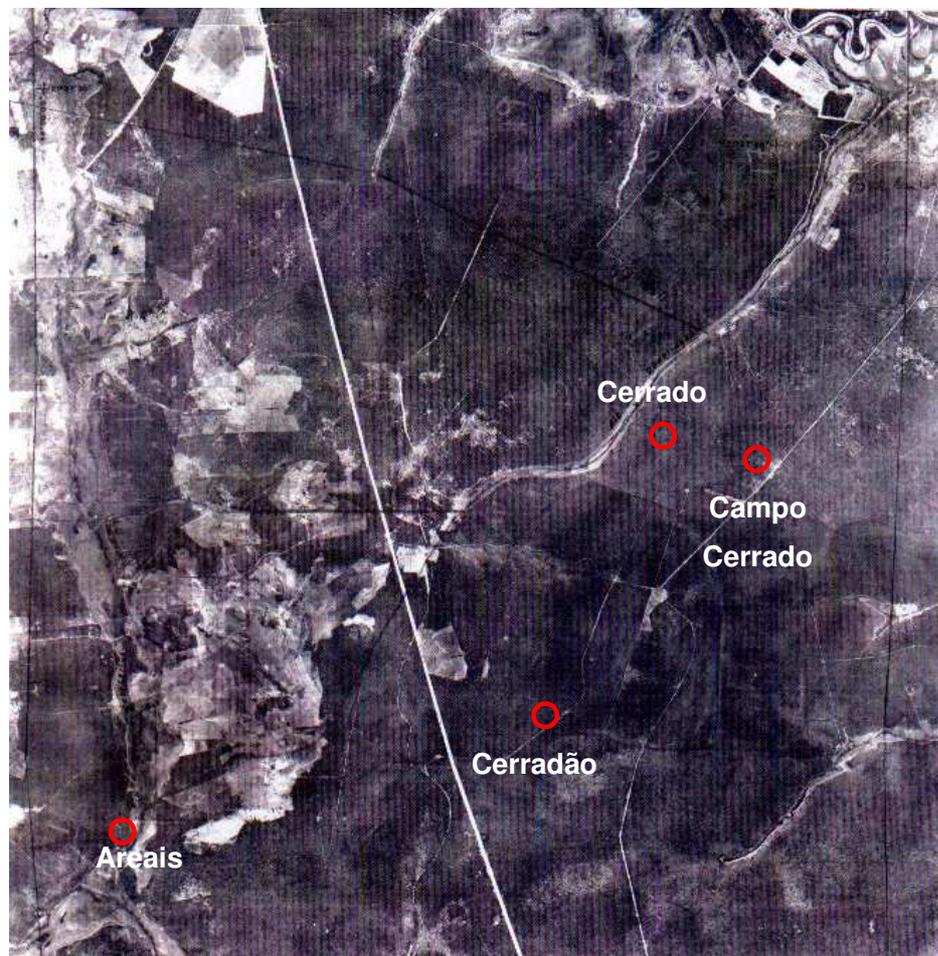


Figura 6.1.1.1 - Foto aérea com resquícios de Cerrado (PROSPEC, 1962).

## 6.1.2 - Resultados obtidos na área de estudo

Um dos objetivos dessa dissertação é de estabelecer relações entre diferentes tipos de cobertura vegetal das terras com o tipo de solo onde se encontram. Os itens a seguir apresentam os resultados desse estudo de duas maneiras: uma com o material cartográfico disponível e outra com a utilização de dados de laboratório e trabalho de campo.

### 6.1.2.1 - Resultados obtidos com material cartográfico disponível.

Dos 24 pontos amostrados (Figura 6.1.2.1.1), 15 se encontram na classe dos solos Neossolos Quartzarênicos (RQ) e 9 na classe dos Latossolos Vermelho-Amarelo (LV). Em relação à classificação estereoscópica pré-definida dos tipos de cobertura vegetal, dos 24 pontos amostrados, 2 estão classificados como Cerradão (A), 7 como Cerrado, 9 como Campo-Cerrado e 5 como Areais ou solo exposto (Branco – Bco). As Tabelas 6.1.2.1.1 e 6.1.2.1.2 ilustram esses dados:

Tabela 6.1.2.1.1 - Tipo de solo e pontos amostrados.

Neossolos Quartzarênicos (RQ)	Latossolo Vermelho-Amarelo (LV)
15	9

Tabela 6.1.2.1.2 – Classe de vegetação e pontos amostrados.

A- Cerradão	B- Cerrado	C- Campo-cerrado	D – Areais/solo exposto	TOTAL
2	8	9	5	24

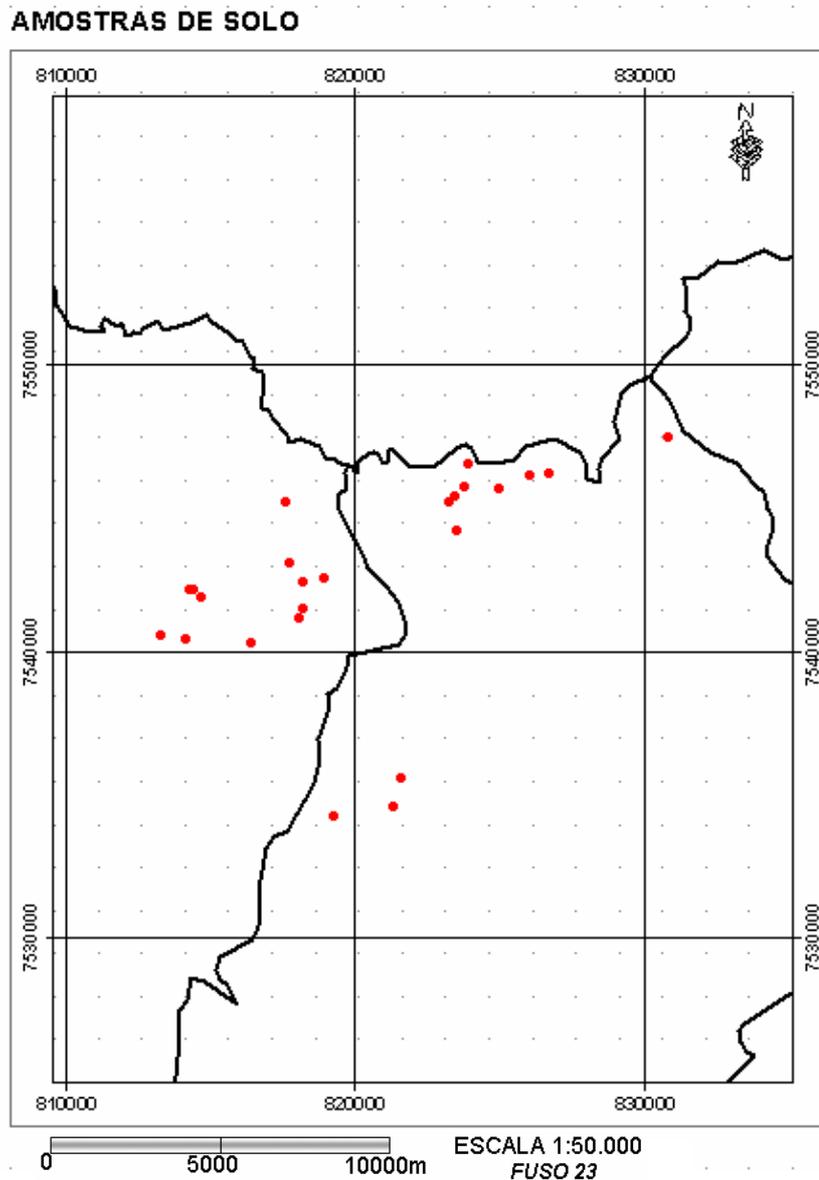


Figura 6.1.2.1.1 - Distribuição espacial do pontos de coleta de solos em campo.

Mesmo sem levar em consideração os resultados das análises granulométricas, pode-se relacionar, tipo de cobertura vegetal (A, B, C, D) dos 24 pontos selecionados com a classe geral do solo em que se localizam. A partir dessa relação presente na Tabela 6.1.2.1.2 a seguir, foram elaborados gráficos (Figuras 6.1.1.2.2 e 6.1.1.2.3) que caracterizam essa relação no Geossistema regional:

Tabela 6.1.2.1.2 - pontos amostrados, classe de solo e vegetação.

Ponto	Solo	Classificação Vegetal
4b	LV	Campo Cerrado (C)
117	RQ	Cerrado(B)
121b	LV	Solo Exposto (Bco)
142b	RQ	Solo Exposto (Bco)
141c	RQ	Solo Exposto (Bco)
141d	RQ	Solo Exposto (Bco)
4L	LV	Cerradão(A)
1L	LV	Cerrado(B)
2L	LV	Campo Cerrado (C)
3L	LV	Campo Cerrado (C)
7L	RQ	Campo Cerrado (C)
8L	LV	Cerradão(A)
9L	LV	Cerrado(B)
10L	RQ	Campo Cerrado (C)
19L	RQ	Cerrado(B)
20L	RQ	Campo Cerrado (C)
21L	RQ	Cerrado(B)
22L	RQ	Cerrado(B)
23L	RQ	Solo Exposto (Bco)
17L	RQ	Cerrado(B)
18L	RQ	Campo Cerrado (C)
16L	LV	Cerrado(B)
25B	RQ	Campo Cerrado (C)
24B	RQ	Campo Cerrado (C)

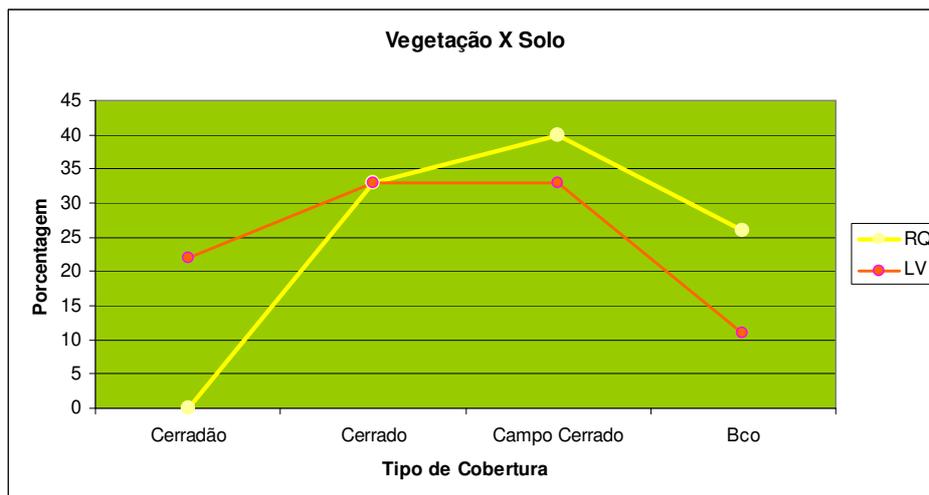


Figura 6.1.1.2.2 – Tipo de solo com a classe vegetal estabelecida.

Observa-se na Figura 6.1.1.2.2 a predominância de cobertura vegetal menos densa nas áreas de Neossolos Quartzarênicos (RQ). Esse comportamento é diferente nas áreas onde o solo possui mais argila (LV) e conseqüentemente maior disponibilidade de nutrientes para as plantas. Não existe local amostrado onde a vegetação é do tipo Cerradão e o solo é do tipo mais arenoso (Neossolo Quartzarênico). Já nas áreas onde a cobertura vegetal é de Campo-cerrado, há o predomínio desse tipo de solo. As Figuras 6.1.1.2.3 e 6.1.1.2.4 refletem essa intrínseca relação entre cobertura vegetal e textura dos solos.

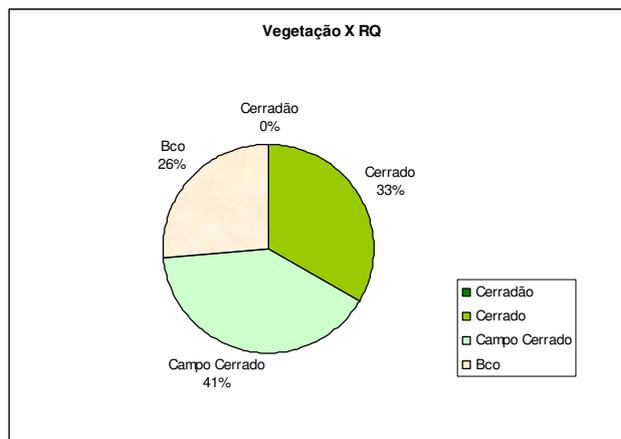


Figura 6.1.1.2.3 – Tipo de cobertura vegetal em RQ.

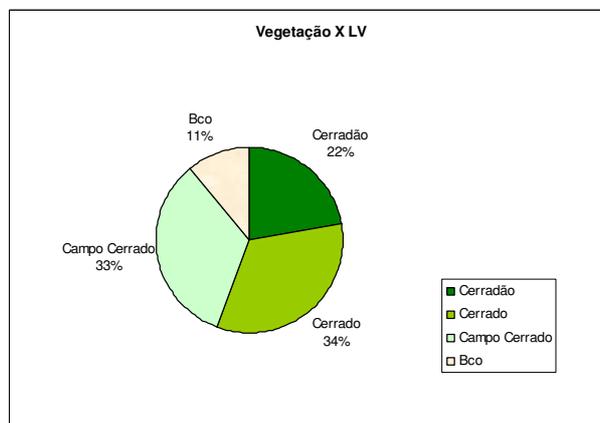


Figura 6.1.1.2.4 – Tipo de cobertura vegetal em LV.

### 6.1.2.2 – Resultados obtidos com material cartográfico disponível e análise laboratorial de física dos solos.

Com os resultados das análises granulométricas realizada no laboratório de solos da FEAGRI/UNICAMP, foi possível detalhar a relação solo/vegetação, obtendo-se os dados da quantidade de areia, silte e argila para as três profundidades de cada um dos 24 pontos amostrados. Esses resultados estão presentes na Tabela 6.1.2.2.1:

Tabela 6.1.2.2.1 – Análise granulométrica das amostras coletadas.

<b>Análise: Granulométrica (Método da pipeta) g/kg</b>								
Amostra	AREIA						ARGILA	SILTE
	Muito Grossa	Grossa	Média	Fina	Muito Fina	AREIA TOTAL		
<b>4B</b> 0-20	8	63	225	375	209	880	81	39
80-100	19	101	259	316	170	865	95	40
180-200	16	63	216	352	211	858	100	42
<b>117</b> 0-20	10	59	267	231	97	664	255	81
80-100	13	52	220	211	103	599	305	96
180-200	10	36	201	217	109	573	328	99
<b>121B</b> 0-20	23	89	240	347	156	855	84	61
80-100	25	99	282	312	152	870	93	37
180-200	15	80	249	320	153	817	104	79
<b>142B</b> 0-20	0	21	299	425	188	933	46	21
80-100	2	23	335	332	189	881	77	42
180-200	2	22	293	348	211	876	89	35
<b>141C</b> 0-20	1	28	347	353	180	909	71	20
80-100	2	20	293	328	231	874	88	38
180-200	1	13	205	350	279	848	103	49
<b>141D</b> 0-20	1	16	453	285	161	916	57	27
80-100	0	11	411	275	180	877	90	33
180-200	0	10	340	286	228	864	97	39
<b>4L</b> 0-20	6	59	270	338	136	809	156	35
80-100	13	56	278	323	132	802	173	25
180-200	11	38	226	326	164	765	196	39
<b>1L</b> 0-20	13	122	253	318	117	823	125	52
80-100	11	88	211	302	163	775	181	44
180-200	23	107	210	285	152	777	182	41
<b>2L</b> 0-20	33	110	259	343	127	872	93	35
80-100	27	102	251	304	150	834	133	33
180-200	47	102	218	321	154	842	131	27
<b>3L</b> 0-20	39	214	320	215	60	848	112	40
80-100	38	229	338	204	54	863	112	25
180-200	25	205	324	231	70	855	117	28
<b>7L</b> 0-20	15	41	188	355	186	785	122	93
80-100	17	63	233	318	158	789	166	45
180-200	33	87	254	315	124	813	155	32

<b>8L</b>	0-20	15	82	381	292	76	846	99	55
	80-100	14	79	360	268	87	808	141	51
	180-200	10	56	317	299	102	784	160	56
<b>9L</b>	0-20	39	113	281	297	90	820	143	37
	80-100	29	93	227	268	119	736	203	61
	180-200	13	79	246	316	124	778	187	35
<b>10L</b>	0-20	11	115	401	313	93	933	49	18
	80-100	28	160	349	243	102	882	89	29
	180-200	24	143	373	247	97	884	92	24
<b>19L</b>	0-20	13	61	356	355	136	921	56	23
	80-100	15	61	313	333	172	894	84	22
	180-200	9	48	298	355	174	884	81	35
<b>20L</b>	0-20	10	62	277	397	180	926	61	13
	80-100	15	72	283	338	178	886	85	29
	180-200	12	72	292	340	166	882	88	30
<b>21L</b>	0-20	8	100	327	358	119	912	59	29
	80-100	15	80	257	342	166	860	95	45
	180-200	15	91	280	340	144	870	103	27
<b>22L</b>	0-20	18	112	336	359	96	921	52	27
	80-100	18	152	355	329	70	924	50	26
	180-200	20	66	254	326	192	858	106	36
<b>23L</b>	0-20	4	43	334	388	177	946	37	17
	80-100	4	46	322	366	183	921	54	25
	180-200	7	64	362	310	168	911	58	31
<b>17L</b>	0-20	15	48	248	431	212	954	33	13
	80-100	11	52	306	379	184	932	48	20
	180-200	11	48	264	400	206	929	50	21
<b>18L</b>	0-20	7	65	247	414	180	913	57	30
	80-100	13	70	261	380	164	888	82	30
	180-200	11	52	205	389	209	866	95	39
<b>16L</b>	0-20	11	59	305	369	162	906	68	26
	80-100	15	76	299	327	157	874	97	29
	180-200	9	82	295	385	127	898	68	34
<b>25B</b>	0-20	7	81	310	364	154	916	57	27
	80-100	20	107	332	326	118	903	66	31
	180-200	17	90	312	322	149	890	76	34
<b>24B</b>	0-20	16	82	329	373	121	921	56	23
	80-100	18	93	336	326	118	891	81	28
	180-200	15	85	307	338	141	886	85	29
Areia grossa: fração da TFSA entre 2,0 mm e 0,25mm (obtida por tamisagem)									
Areia fina: fração da TFSA entre 0,25mm e 0,053mm (obtida por tamisagem)									
Silte: fração da TFSA entre 0,053mm e 0,002mm (obtida por diferença)									
Argila: fração da TFSA < 0,002mm (obtida por pipetagem)									
Referência do método: Camargo et al., 1986 e EMBRAPA, 1997.									

Foi possível relacionar a média da quantidade de areia e de argila das três profundidades coletadas de cada ponto com a classificação do tipo de cobertura vegetal previamente

estabelecida. Constatou-se novamente uma nítida relação entre solo e vegetação. As Figuras 6.1.2.2.1 e 6.1.2.2.2 foram extraídas da Tabela 6.1.2.2.2, comprovando essa intrínseca relação. Nota-se que, com uma pequena variação na textura, há uma mudança significativa no tipo de cobertura vegetal.

Tabela 6.1.2.2.2- Pontos tradados, vegetação, solo e médias texturais.

Número da amostra	Tipo de Solo	Cobertura Vegetal	% de Areia	% de Silte	% de Argila
4b	LV	C	86,76	4,03	9,20
117	RQ	B	61,20	9,20	29,60
121b	LV	Bco	84,70	5,90	9,36
142b	RQ	Bco	86,63	3,26	7,06
141c	RQ	Bco	87,70	3,56	8,73
141d	RQ	Bco	88,56	3,30	8,13
4L	LV	A	79,20	0,03	17,50
1L	LV	B	79,16	4,56	16,26
2L	LV	C	84,90	3,16	11,90
3L	LV	C	85,53	3,10	11,36
7L	RQ	C	79,56	5,66	14,76
8L	LV	A	81,26	5,40	13,33
9L	LV	B	77,80	4,43	17,76
10L	RQ	C	89,96	2,36	7,66
19L	RQ	B	89,96	2,66	7,36
20L	RQ	C	89,80	2,40	7,80
21L	RQ	B	88,06	3,36	8,56
22L	RQ	B	90,10	2,96	6,93
23L	RQ	Bco	92,60	2,43	4,96
17L	RQ	B	93,10	1,80	4,36
18L	RQ	C	88,90	3,30	7,88
16L	LV	B	89,26	2,96	7,76
25B	RQ	C	90,30	3,06	6,63
24B	RQ	C	89,93	2,66	7,40

A média da porcentagem de areia dos pontos classificados como Cerradão é de 80% (Figura 6.1.2.2.1). Essa média aumenta para 84%,87% e 88% respectivamente conforme diminui a biomassa da cobertura vegetal (Cerrado, Campo-cerrado e Areais/Solo exposto).

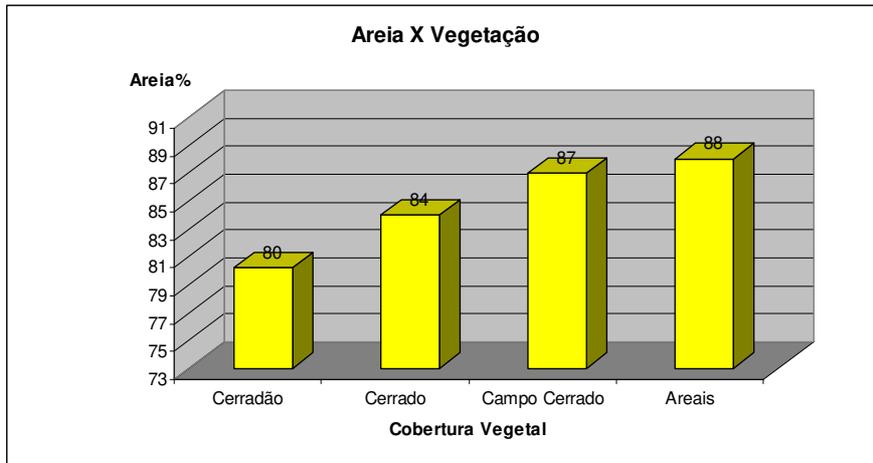


Figura 6.1.2.2.1 - Relação entre porcentagem de areia e cobertura vegetal.

Diferente da argila, a areia não apresenta grande atividade físico-química no solo. A textura arenosa é uma característica dos Neossolos Quartzarênicos (RQ) também conhecidos como Areias Quartzosas. Essa característica faz com que os RQ apresentem baixa capacidade de retenção de cátions e baixa disponibilização de nutrientes para as plantas.

A variação apresentada anteriormente é inversa quando se relaciona a porcentagem de argila com o tipo de cobertura vegetal de cada ponto (Figura 6.1.2.2.2). Nas áreas onde a cobertura vegetal é de Cerradão, a média da porcentagem de areia dos pontos amostrados é de 15%, variando entre 12%, 9% e 7% respectivamente, nos locais onde a cobertura vegetal é de Cerrado, Campo-cerrado e solo exposto.

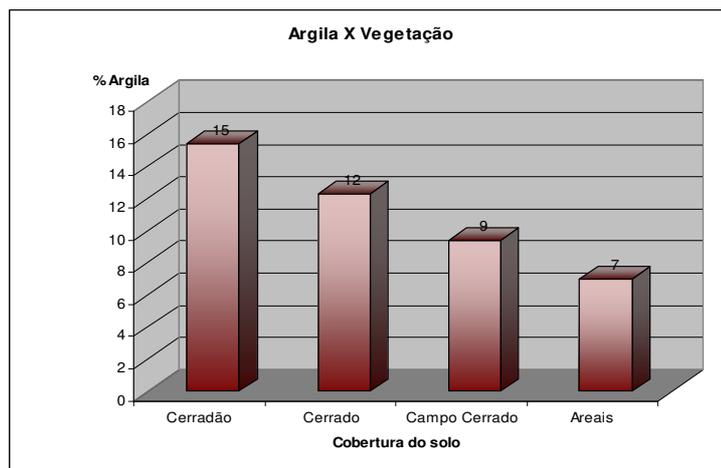


Figura 6.1.2.2.2 - Relação entre porcentagem de argila e cobertura vegetal.

A fração do solo que mais decisivamente determina seu comportamento físico é a fração argila, que é matéria secundária. Ela possui a maior área específica (área por unidade de massa) e por isso, é a fração mais ativa em processos físico-químicos que ocorrem no solo. Partículas de argila absorvem água e são responsáveis pelos processos de expansão e contração quando um solo absorve ou perde água. A maioria delas é carregada negativamente e, devido a isto, formam uma camada eletrostática dupla (REICHARD, 1985).

Essa característica faz da argila um elemento essencial na disponibilização de nutrientes para as plantas através da troca catiônica. Reflexo disso, comprova-se que, no Geossistema em estudo, as diferentes feições fisionômicas do Cerrado variam em função da textura de cada tipo de solo em que se encontram. Quanto mais argiloso, maior a retenção de água e nutrientes para a planta e, conseqüentemente, maior a densidade e porte do tipo de Cerrado encontrado. Assim, constatou-se que os locais mais susceptíveis a tal processo dinâmico erosivo são os que apresentam uma cobertura vegetal mais pobre, conseqüentemente em solos de textura mais arenosa. Essa relação é ainda maior na camada superficial dos solos amostrados (0 a 20cm) que sofrem constante lavagem dos nutrientes através da percolação da água. Esse processo acarreta na migração dos nutrientes (plasma) para as camadas mais profundas. A Figura 6.1.2.2.3 comprova uma sutil variação textural entre as profundidades de coleta.

Estes aspectos comprovam a hipótese de que os elementos solo e cobertura vegetal possuem grande influência no Geossistema em estudo. A metodologia utilizada possibilitou comprovar o que fora visto empiricamente em campo: uma intrínseca relação da cobertura vegetal (variações fisionômicas do cerrado) com a variação da textura dos solos encontrados na área. Num Geossistema, existem relações que se prevalecem frente às demais, influenciando de maneira mais forte a representação da totalidade no espaço.

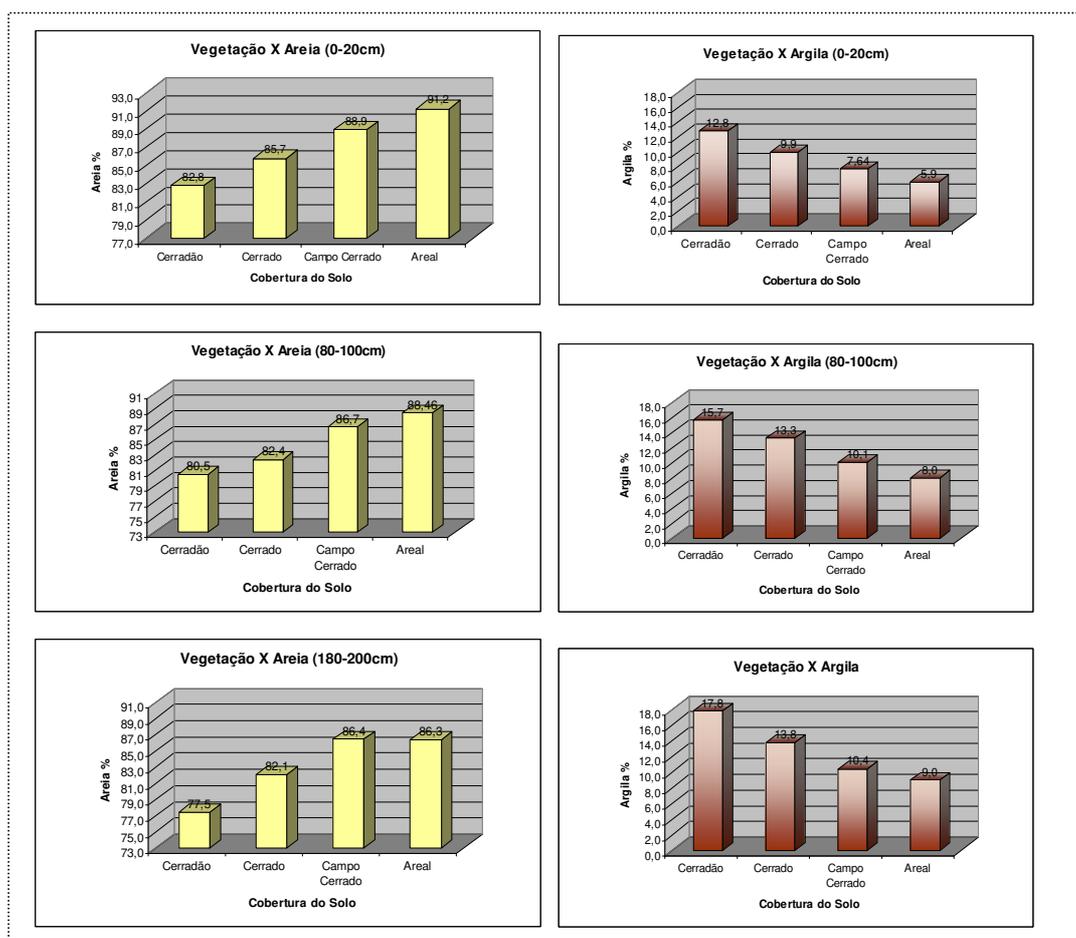


Figura 6.1.2.2.3 – Relação entre textura e cobertura vegetal nas 3 profundidades de coleta.

### 6.1.2.2 – Resultados obtidos com material cartográfico disponível e análise laboratorial de química dos solos

As mesmas amostras estudadas no capítulo anterior foram encaminhadas para análise laboratorial de química dos solos. Utilizou-se nessa dissertação os resultados da média da porcentagem de nutrientes disponíveis no solo nas três profundidades (0-20cm; 80-100cm; 180-200cm), relacionando-os com as classes da cobertura do solo definidas no item 6.1.1. Foram considerados como nutrientes disponíveis para a planta os elementos químicos: cálcio, magnésio, potássio e alumínio.

Esse mesmo procedimento foi adotado para os resultados de porcentagem de matéria orgânica existente nas amostras. Tanto a argila como a matéria orgânica contribuem na capacidade de troca iônica entre solo e planta. Foi gerada uma classificação de 1 a 5 para cada um

dos elementos químicos mencionados. Com esses valores, gerou-se a média das classes entre os 4 elementos químicos. Essa média é o indicador Classe de Nutriente apresentado a seguir. Os resultados demonstram uma intrínseca relação entre os nutrientes disponíveis no solo e a cobertura vegetal desse (Figura 6.1.2.2.1; 6.1.2.2.2 e 6.1.2.2.3).

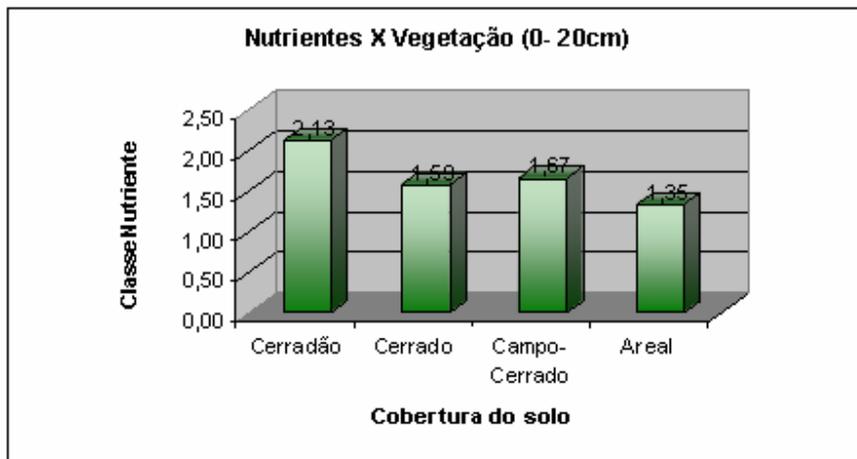


Figura 6.1.2.2.1 - Relações entre nutrientes e cobertura do solo (0 a 20cm)

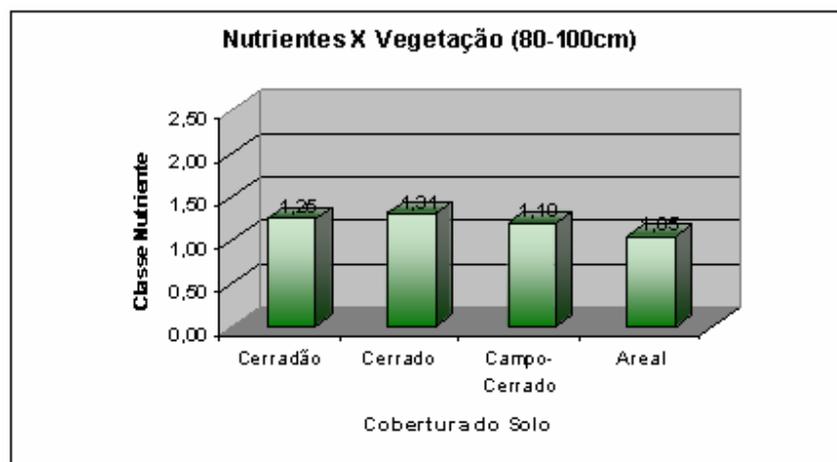


Figura 6.1.2.2.2 - Relações entre nutrientes e cobertura do solo (80 a 100cm).

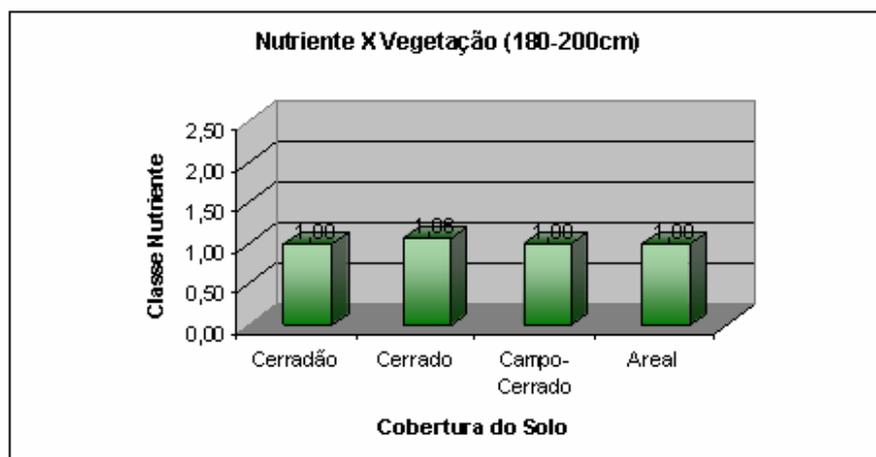


Figura 6.1.2.2.3 - Relações entre nutrientes e cobertura do solo (180 a 200cm).

Essa relação é semelhante a do item anterior apresentada com o resultado das amostras de textura do solo. Nota-se que, para esse Geossistema em estudo, quanto maior a porcentagem de argila, maior a quantidade de nutrientes no solo e maior o porte da cobertura vegetal. Isso ocorre devido a uma relação diretamente proporcional entre CTC (Capacidade de Troca Catiônica) e a disponibilidade de nutrientes dos solos amostrados. Tal relação é mais forte nos primeiros centímetros do solo (0 a 20cm) onde a atividade radicular é mais intensa. A matéria orgânica também contribui sensivelmente para a capacidade de troca iônica além de exercer uma grande influência na estruturação do solo (OLIVEIRA, 1992). Essa estruturação refere-se à aglutinação das partículas primárias (areia, silte e argila) em partículas compostas, delimitadas umas das outras por superfícies de fraqueza ou separadas por discontinuidades, dando origem a agregados. Um solo bem agregado (ou estruturado) apresenta uma boa quantidade de poros de tamanho relativamente grande (macroporos). Assim, a matéria orgânica existente no solo contribui na penetração das raízes, na circulação de ar (aeração), no manejo do ponto de vista agrícola e na infiltração de água. Os resultados a seguir são reflexos dessa afirmação uma vez que comprovam uma intrínseca relação entre a cobertura vegetal e a porcentagem de matéria orgânica das amostras coletadas no Geossistema em estudo (Figuras 6.1.2.2.4; 6.1.2.2.5; 6.1.2.2.6):

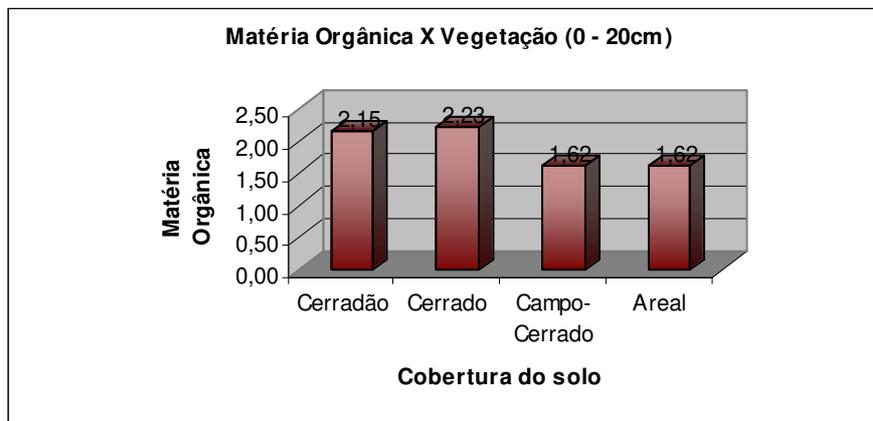


Figura 6.1.2.2.4 - Relações entre nutrientes e cobertura do solo (0 a 20cm).

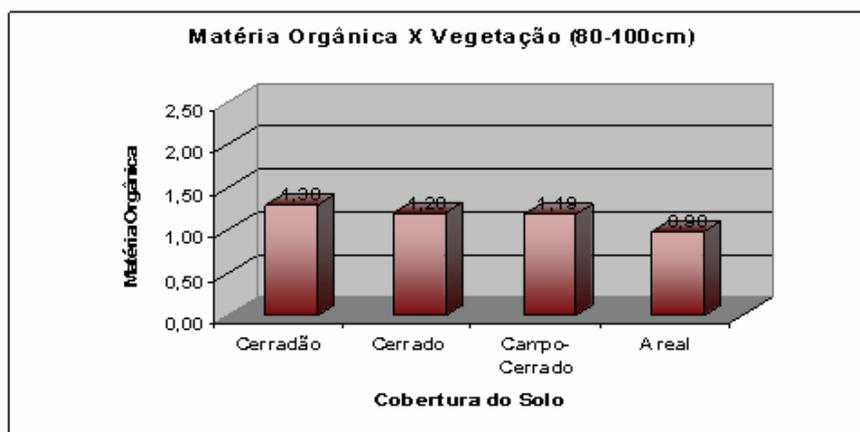


Figura 6.1.2.2 - Relações entre nutrientes e cobertura do solo (profundidade: 80 – 100 cm).

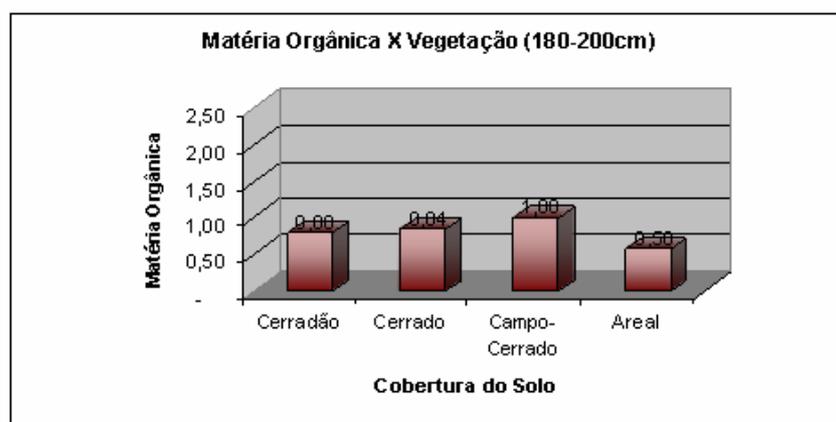


Figura 6.1.2.2.6 - Relações entre nutrientes e cobertura do solo (profundidade: 180 – 200 cm).

Os valores apresentados nessas figuras referem-se à porcentagem de matéria orgânica das amostras. Nota-se que a relação entre matéria orgânica e cobertura vegetal é, como no caso dos nutrientes, maior no nível de coleta superior (0-20cm).

### **6.1.3 – Resultados dos trabalhos de topossequência**

O estudo concernente às vertentes representa um dos mais importantes setores da pesquisa geomorfológica, englobando a análise de processos e formas (CRISTOFOLETTI, 2000). A vertente é uma forma tridimensional que foi modelada pelos processos de desnudação, atuantes no presente ou no passado, e representando a conexão dinâmica entre o interflúvio e o fundo do vale (DYLIK, 1968). As relações solo-geomorfologia obtidas no estudo de uma vertente fornecem dados importantes na compreensão dos diferentes tipos de solos da paisagem e, conseqüentemente, nas diferentes fisionomias de Cerrado encontradas na área, assim como na fragilidade do meio quanto à processos erosivos (PEREZ FILHO, 1982).

No trabalho de topossequência, as vertentes analisadas possuem uma vegetação de Cerrado em recuperação. Verificou-se uma variação da fisionomia do Cerrado que se apresentava mais denso, fechado e com árvores de maior porte no topo das vertentes. Ao longo destas, em direção ao fundo do vale, a densidade, o porte e o tamanho das árvores de Cerrado diminuíam até alcançar uma fisionomia de Campo-cerrado. Essa tendência de variação da vegetação na vertente é característica de toda a região estudada. As fotos aéreas de 1962 apresentam resquícios de vegetação de Cerrado praticamente nativo e foram essenciais na escolha dos locais da pesquisa (Figura 6.1.3.1). Foram selecionadas duas vertentes cujo uso atual é caracterizado pela preservação de vegetação nativa, no caso o Cerrado (Figura 6.1.3.2).

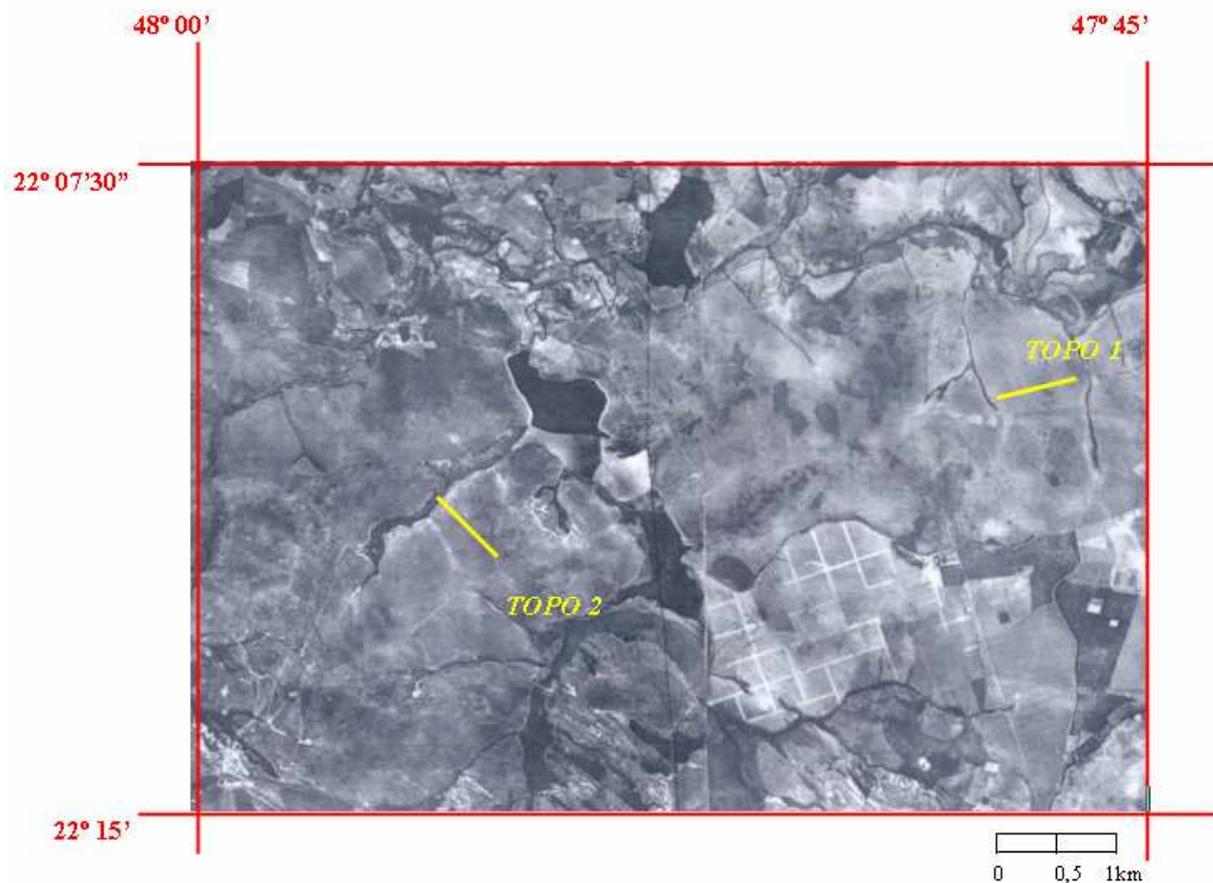
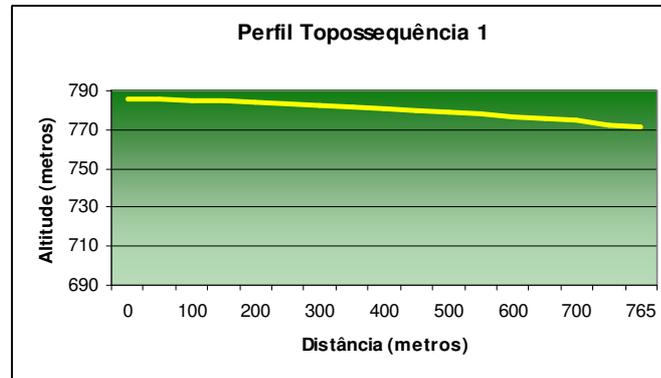


Figura 6.1.3.1 – Vertentes selecionadas para o estudo local em foto aérea de 1962.

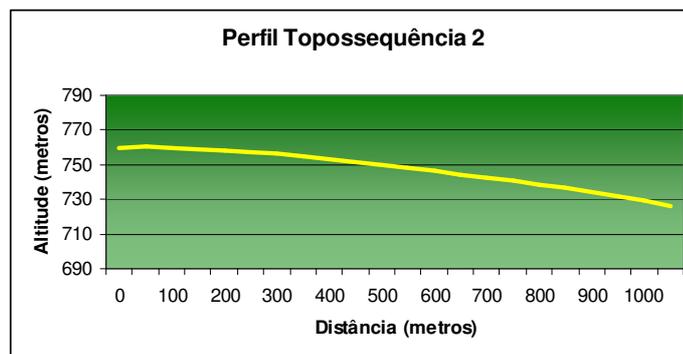
Observa-se uma variação nos tons de cinza na foto aérea em ambas as topossequências (Figura 6.1.3.1). Há uma maior densidade de vegetação de Cerrado no topo das vertentes, e que vai diminuindo em direção ao fundo do vale. Essa variação fica ainda mais perceptível com o auxílio do equipamento óptico (pares estereoscópicos).

A Topossequência 1 localizada na Fazenda Botelho, no Município de Itirapina, em área de preservação de Cerrado. A Topossequência 2, no mesmo Município, localiza-se hoje na Estação Ecológica Itirapina.

Para cada vertente, foi elaborado um perfil topográfico com dados de altitude obtidos em campo (Figura 6.1.3.3). Com o auxílio de balizas, bússola, trena e GPS, foram cotados pontos equidistantes ao longo de cada vertente, do topo ao fundo do vale.



(A)



(B)

Figura 6.1.3.3 - Perfil da Toposequência 1 (A) e da Toposequência 2 (B).

As duas vertentes possuem uma característica semelhante em toda a área regional: uma nítida variação do porte da vegetação do topo ao fundo do vale. Ou seja, nota-se uma relação existente entre relevo e vegetação. Nas cotas mais altas, a vegetação se apresenta com maior porte e densidade, já nas cotas mais baixas, possui uma feição inversa (Figuras 6.1.3.4, 6.1.3.5; 6.1.3.6, 6.1.3.7)



Figura 6.1.3.4 – Cobertura vegetal do topo da Topossequência 1.



Figura 6.1.3.5 – Cobertura vegetal do fundo do vale da Topossequência 1

Essa tendência apresentada nas duas vertentes foi quantificada na área local da Topossequência 2. Através da contagem do número de árvores com porte acima de 2 metros, numa grade de 10 metros quadrados em três pontos distintos da vertente, foi possível mensurar essa variação no topo, na média vertente e no fundo do vale (Figura 6.1.3.8).



Figura 6.1.3.6 – Cobertura vegetal do topo da Topossequência 2.



Figura 6.1.3.7 – Cobertura vegetal do fundo do vale da Topossequência 2.

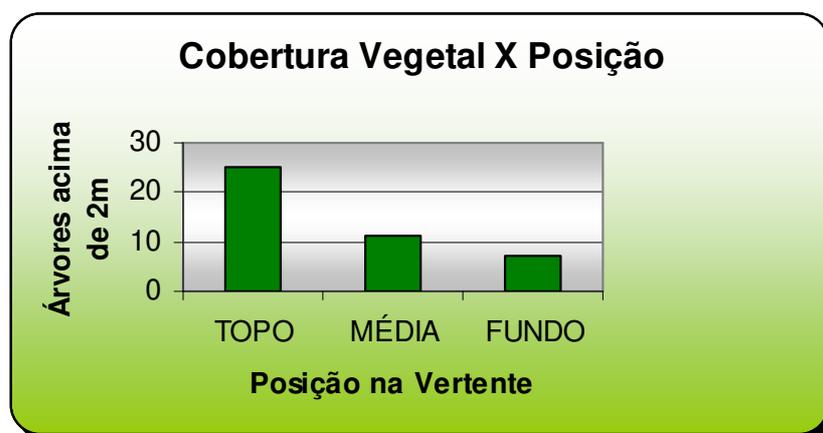


Figura 6.1.3.8 - Variação da vegetação ao longo da vertente na Topossequência 2.

A relação entre vegetação e solo, comprovada, também foi objeto de análise nas topossequências. Comprovou-se que há uma importante relação entre solo, vegetação e posição na vertente, principalmente na escala de estudo das topossequências. Os resultados das análises laboratoriais de textura (física) dos solos estão presentes na tabela 6.1.3.1 Com média da porcentagem de argila e de areia das três profundidades de coleta de cada ponto (Tabela 6.1.3.2), relacionou-se a fertilidade do solo (textura do solo) com o relevo (posição na vertente). Essa relação é comprovada com as Figuras 6.1.3.10, 6.1.3.11, 6.1.3.12, 6.1.3.13.

Tabela 6.1.3.1 – Resultados das análises de granulometria dos solos das topossequências.

Amostra e profundidade (centímetros)	AREIA g/kg						ARGILA	SILTE
	Muito Grossa	Grossa	Média	Fina	Muito Fina	AREIA TOTAL	g/kg	g/kg
A1 0-20	24	162	433	236	48	903	77	20
80-100	20	147	410	229	59	865	122	13
180-200	10	97	396	271	75	849	129	22
A2 0-20	16	136	449	263	49	913	76	11
80-100	20	127	406	234	86	873	121	6
180-200	26	122	403	241	63	855	122	23
A3 0-20	10	95	409	304	79	897	89	14
80-100	7	90	431	264	63	855	121	24
180-200	14	100	389	270	78	851	123	26
A4 0-20	11	100	350	356	84	901	83	16
80-100	17	114	385	283	76	875	106	19
180-200	12	96	334	316	101	859	120	21
A5 0-20	23	161	398	299	46	927	60	13
80-100	42	172	340	257	70	881	98	21
180-200	19	163	370	257	72	881	98	21
A6 0-20	22	113	405	327	68	935	53	12
80-100	18	105	398	295	78	894	86	20
180-200	48	147	361	260	79	895	87	18
A7 0-20	16	112	472	284	62	946	43	11
80-100	17	162	426	237	73	915	72	13
180-200	14	118	409	282	80	903	80	17
A8 0-20	4	48	432	378	87	949	42	9
80-100	3	43	375	372	118	911	64	25
180-200	3	60	372	339	129	903	72	25
A9 0-20	4	48	394	369	126	941	40	19
80-100	6	66	407	333	108	920	57	23
180-200	5	41	301	357	178	882	82	36
C1 0-20	5	50	271	419	174	919	56	27
80-100	21	97	318	327	116	879	88	33
180-200	10	56	233	367	200	866	93	41
C2 0-20	5	51	270	417	174	917	56	27

80-100	21	97	318	327	116	879	88	33
180-200	10	56	233	367	200	866	93	41
C3 0-20	13	63	322	375	142	915	64	21
80-100	6	52	297	361	161	877	93	30
180-200	18	62	271	331	183	865	107	28
C4 0-20	8	73	332	369	136	918	60	22
80-100	10	73	315	322	164	884	95	21
180-200	14	79	330	307	146	876	96	28
C5 0-20	13	70	319	368	146	916	65	19
80-100	6	58	273	348	186	871	93	36
180-200	13	74	323	324	147	881	94	25
C6 0-20	14	46	284	422	161	927	56	17
80-100	14	68	320	325	151	878	91	31
180-200	8	45	302	359	166	880	96	24
C7 0-20	11	60	323	380	144	918	56	26
80-100	21	82	303	319	165	890	86	24
180-200	27	79	291	313	172	882	95	23
C8 0-20	11	50	342	399	135	937	47	16
80-100	11	55	327	373	174	940	42	18
180-200	10	47	321	363	165	906	78	16
C9 0-20	3	37	338	404	180	962	35	3
80-100	7	43	276	370	208	904	76	20
180-200	4	51	338	360	179	932	53	15
C10 0-20	4	37	302	441	182	966	27	7
80-100	6	41	321	398	181	947	40	13
180-200	3	24	267	437	208	939	48	13
C11 0-20	2	17	231	504	213	967	27	6
80-100	2	17	234	467	228	948	40	12
180-200	1	17	244	445	230	937	47	16

Tabela 6.1.3.2 - Médias da quantidade de areia, argila e silte da cada ponto coletado nas duas topossequências.

Topossequência 1			Topossequência 2		
Ponto	Areia (%)	Argila(%)	Ponto	Areia (%)	Argila(%)
<b>A1</b>	87,23	10,9	<b>C1</b>	88,6	8,5
<b>A2</b>	88,03	10,6	<b>C2</b>	88,7	7,9
<b>A3</b>	86,76	11,0	<b>C3</b>	88,5	8,8
<b>A4</b>	87,83	7,1	<b>C4</b>	89,2	8,3
<b>A5</b>	89,63	8,5	<b>C5</b>	88,9	8,4
<b>A6</b>	90,0	7,5	<b>C6</b>	89,5	8,1
<b>A7</b>	92,13	6,5	<b>C7</b>	89,6	7,9
<b>A8</b>	92,1	5,9	<b>C8</b>	92,7	5,5
<b>A9</b>	91,4	5,9	<b>C9</b>	93,2	5,4
			<b>C10</b>	95,0	3,8
			<b>C11</b>	95,0	3,8

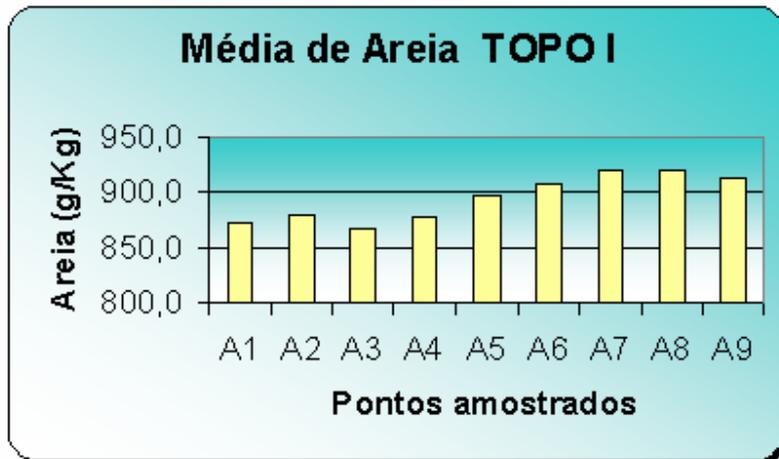


Figura 6.1.3.10 – Relação entre relevo e textura dos solos na Topossequência 1 (areia).

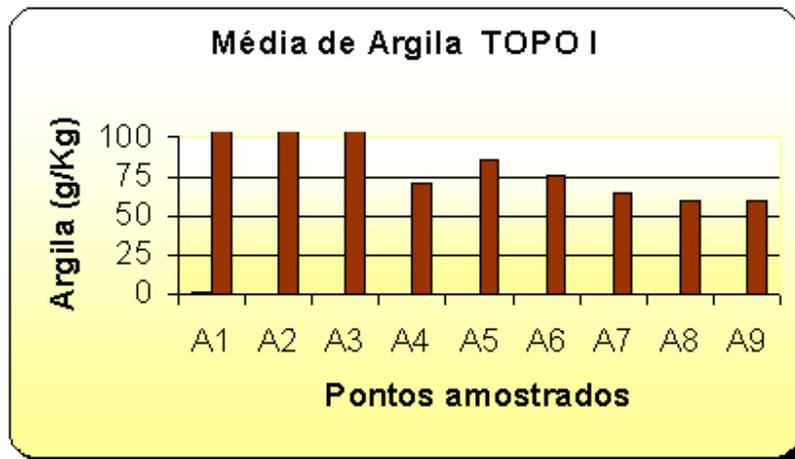


Figura 6.1.3.11 – Relação entre relevo e textura dos solos na Topossequência 1 (argila).

Na Topossequência 1, os pontos A1,A2,A3, que se localizam predominantemente no topo da vertente, apresentam as menores médias de quantidade de areia e, conseqüentemente as maiores para a quantidade de argila. A mesma tendência se repete para a Topossequência 2:

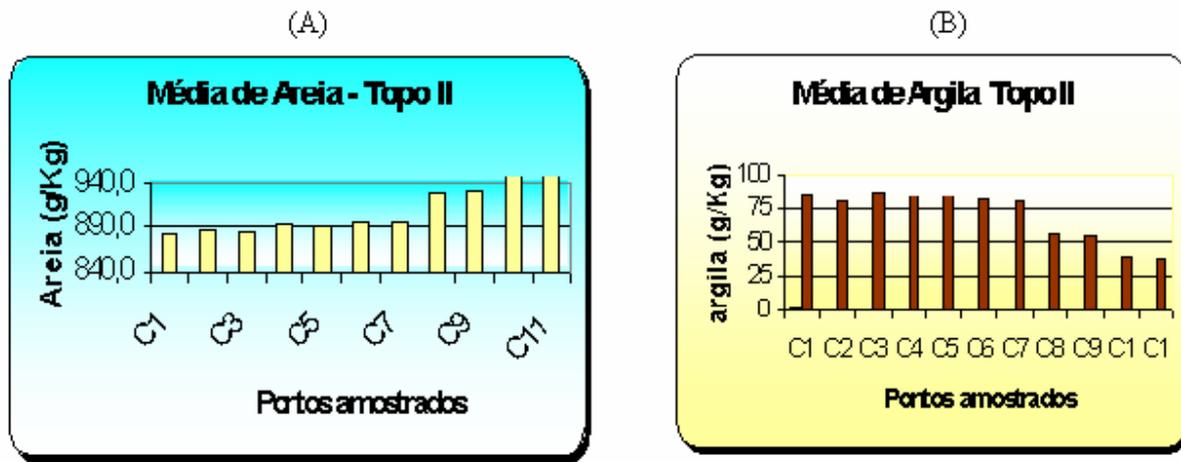


Figura 6.1.3.12 – Relação entre relevo e textura dos solos na Topossequência 2 para areia (A) e para argila (B).

Essas médias variam progressivamente em função da posição em que os pontos se encontram na vertente e, conseqüentemente com o tipo de vegetação de Cerrado. Os primeiros pontos coletados nas duas topossequências apresentam uma vegetação de Cerrado mais densa, fechada e com árvores de porte mais alto se relacionando diretamente com a textura do solo onde se encontram. Esses primeiros pontos, mais próximos ao topo, apresentam as maiores médias de quantidade de argila e as menores de areia. Quanto mais argilosa a textura, maior a retenção de água e nutrientes para a planta e, conseqüentemente, mais denso o tipo de cerrado encontrado. O inverso ocorre para as médias da quantidade de areia, que são maiores nos últimos pontos amostrados em cada topossequência, pois, quanto mais arenoso um solo, menor é a retenção de nutrientes para as plantas, mais aberto é o Cerrado encontrado, mais susceptível é o solo frente a processos erosivos.

Com as duas vertentes representativas de toda a área de estudo, foi possível compreender melhor o Geossistema local e relacionar seus elementos constitutivos. As relações estabelecidas ajudaram a comprovar a hipótese de estudo graças à metodologia empregada na pesquisa. Os elementos solo e relevo são assim vitais na determinação do tipo de Cerrado encontrado na área e, conseqüentemente na avaliação da suscetibilidade do meio frente a processos erosivos.

## 6.2 – Resultados das demais relações estabelecidas na Topossequência 2

Os próximos itens apresentam os resultados das relações entre infiltração da água e compactação do solo e entre temperatura ambiente e temperatura dos solos. Essas relações foram estabelecidas em três pontos da Topossequência 2: o topo, a média vertente e o fundo do vale.

### 6.2.1 – Resultados das relações entre infiltração da água e compactação do solo

O método dos círculos concêntricos permitiu quantificar o volume de água infiltrado no solo por intervalos de tempo pré-estabelecido, conforme detalhado na metodologia. A Tabela 6.2.1.1 mostra o resultado coletado em campo nos três pontos da Topossequência 2.

Tabela 6.2.1.1 - Comportamento da infiltração da água no solo ao longo da vertente.

Alturas Acumuladas			Tempo - Minutos	
Topo	Média	Fundo	Leitura	Acumulado
2,5	2,2	0,1	1	1
4,8	4,6	0,2	1	2
7,1	7,2	0,4	1	3
9,3	9,9	0,6	1	4
12,0	12,5	0,8	1	5
23,5	25,5	2,7	5	10
35,9	38,7	4,4	5	15
46,7	51,0	6,3	5	20
58,3	63,4	8,2	5	25
69,2	75,3	10,4	5	30
91,0	98,8	14,4	10	40
112,5	121,1	18,5	10	50
132,8	142,6	22,5	10	60
162,0	176,1	28,2	15	75
195,2	207,0	33,8	15	90
261,0	268,0	45,1	30	120

A Figura 6.2.1.1, gerada a partir da Tabela 6.2.1. ilustra, de maneira mais clara, o comportamento da infiltração da água no solo. É importante ressaltar que para efetuar tal metodologia, a superfície onde se instala o equipamento é totalmente limpa, ficando apenas o solo exposto. Assim, pode-se enfatizar a compactação do solo e o sistema radicular como principais determinantes da velocidade de infiltração da água.

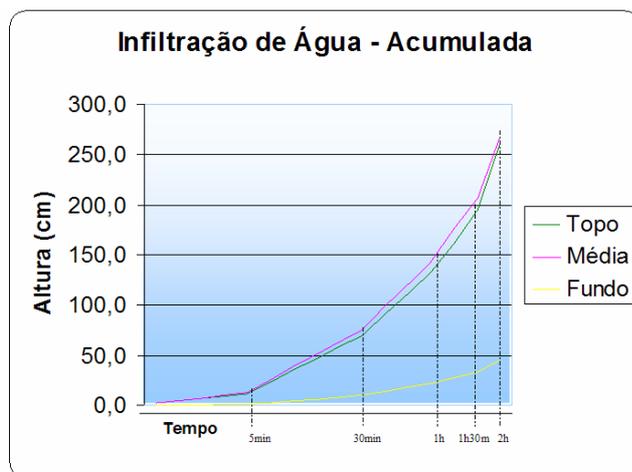


Figura 6.2.1.1 - Relação entre infiltração de água e relevo (posição na vertente).

Uma nítida variação entre o padrão das curvas pode ser notada no que se refere à do fundo do vale. Essa variação percebida no gráfico foi interpolada para toda vertente através da superfície geoestatística gerada (Figura 6.2.1.2). Os valores de infiltração foram agrupados em 3 classes distintas e, para cada uma delas foi designada uma cor (Tabela 6.2.1.2).

Tabela 6.2.1.2 – Classes de Infiltração da superfície geoestatística da Topossequência 2.

Classe	Cor
Alta – Infiltração Rápida	Verde
Média – Infiltração Media	Azul Claro
Baixa – Infiltração Moderada	Azul escuro

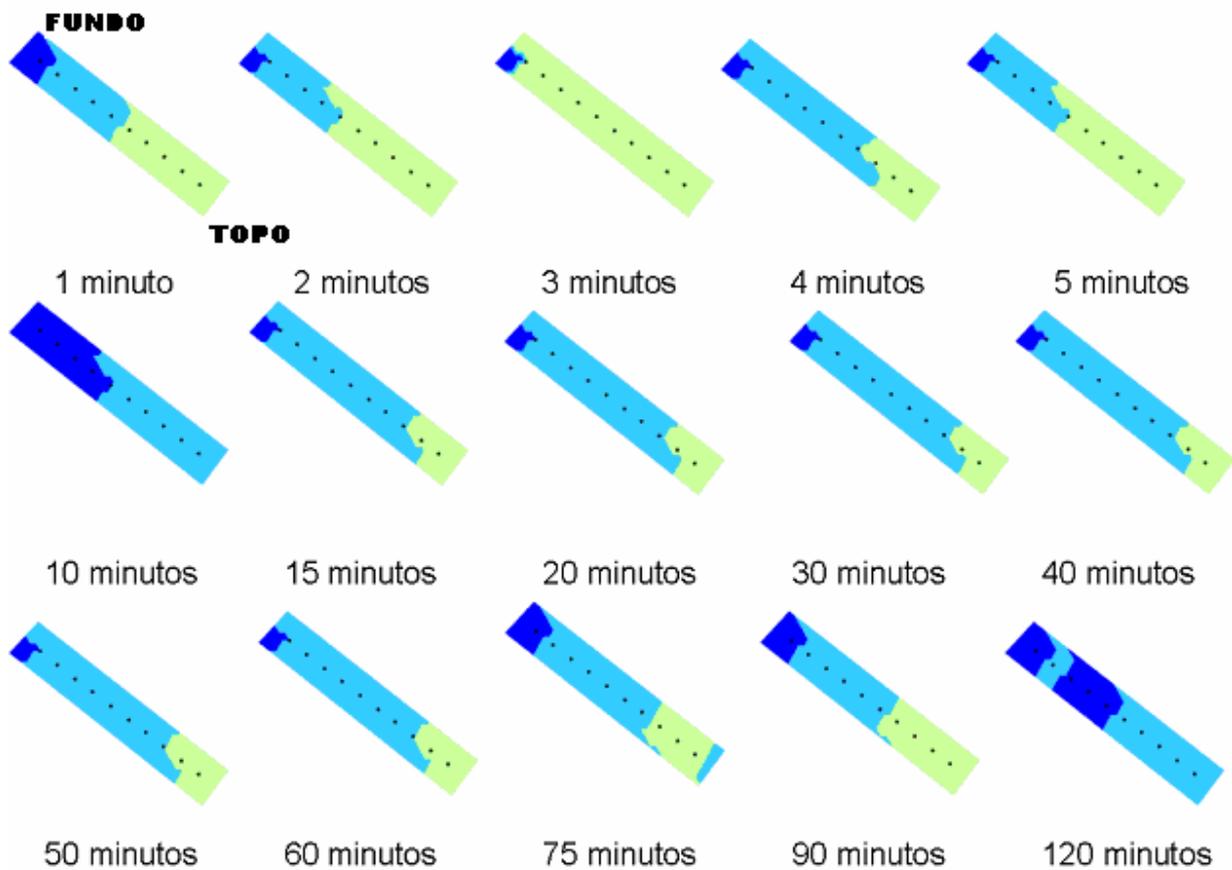


Figura 6.2.1.2 – Comportamento geoestatístico da infiltração da água na Topossequência 2.

Verifica-se o predomínio da cor verde nas cotas mais elevadas da vertente, reflexo de uma infiltração relativamente mais rápida. A cor azul escuro que representa uma infiltração mais lenta se apresenta nas cotas mais próximas ao fundo da Topossequência 2. Isso é explicado pela proximidade do lençol freático que deixa o solo mais próximo ao saturamento. Esse acúmulo de água ou saturação do solo contribui com a estabilização da argila, tornando-o ainda mais pobre em nutrientes. Nessa escala de trabalho, deve-se considerar o fundo do vale como um ponto de alta fragilidade frente a processos erosivos. A baixa capacidade de enriquecimento da cobertura vegetal, que é a proteção natural desses solos, se torna um alerta frente ao planejamento do uso das terras em Geossistemas semelhantes.

Os dados de campo coletados com o equipamento Penetrógrafo complementam esse diagnóstico uma vez que a capacidade de infiltração de água no solo é reflexo da compactação e da intensidade da atividade radicular existente (Figura 6.2.1.2).

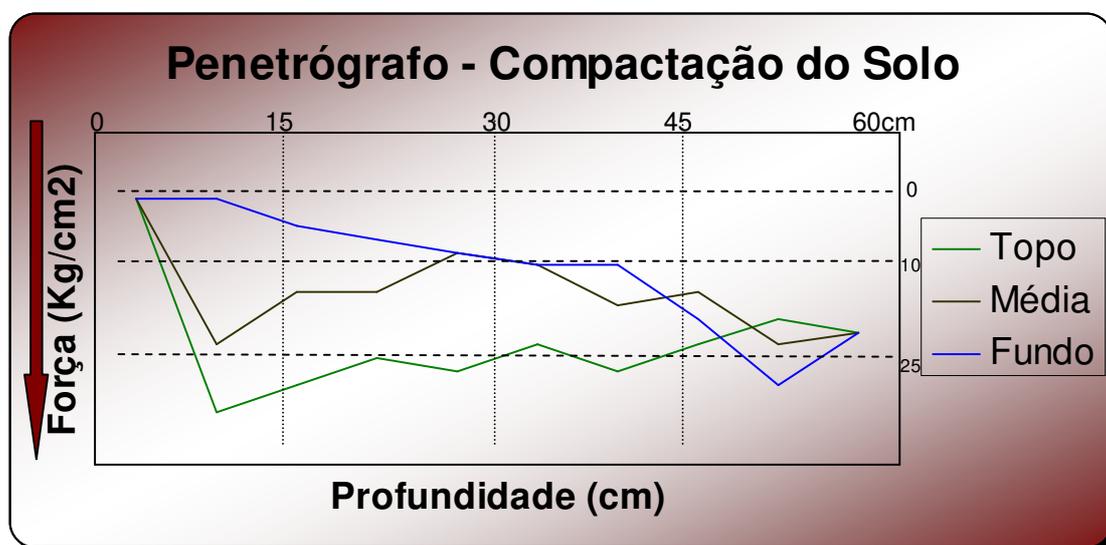


Figura 6.2.1.2 –Compactação do solo gerado pelo Penetrógrafo.

Observa-se que a quantidade de força inserida nos primeiros centímetros do solo é muito superior às demais, principalmente para o topo e média vertente. Isso é explicado pelo sistema radicular, que dificulta a infiltração da haste. No fundo do vale o padrão da curva é mais constante pela menor concentração desses elementos, o que contribui na migração do plasma argiloso para os horizontes mais profundos do solo.

### 6.2.2 – Resultados das Relações entre a temperatura ambiente e a temperatura do solo

A temperatura do solo afeta a germinação das sementes, o desenvolvimento das raízes e das planta, a atividade dos microorganismos, a difusão dos solutos e dos gases, as reações químicas e uma série de processos importantes (REICHARDT, 1985). Estudos que relacionam variações de temperatura com a absorção radicular e acúmulo de nutrientes nas plantas, são numerosos e diversificados, dificultando uma interpretação global. De uma maneira geral, as atividades biológicas no solo aumentam com o aumento da temperatura, até um máximo de 30°C (REICHARDT, Op Cit). Tal fato foi levado em consideração na interpretação dos resultados.

Os dados de temperatura do solo coletados em campo forneceram informações relacionadas à condução do calor entre a superfície e os primeiros 10 e 20 centímetros do solo nos três pontos da Topossequência 2 (Tabelas 6.2.2.1 e 6.2.2.2).

As medições foram realizadas em duas épocas distintas do mesmo ano, uma mais quente e outra mais fria. Dentre as observações e relações estabelecidas, houve uma que se tornou foco para esse estudo e está aqui documentada.

**Dados de Temperatura - Topossequência II - Estação Ecológica Itirapina  
INVERNO**

**Temperaturas em Graus Celsius**

Horário de Medição: **18:00hs** de 30/8/2004

	TOPO	MÉDIA	FUNDO
Ambiente	18,8	17,5	13,8
10cm	21,8	23,8	22,2
20cm	20,9	21,7	20,7

Diferenças entre Ambiente/10cm e 10/20cm

18:00hs	TOPO	MÉDIA	FUNDO
Amb/10cm	-3	-6,3	-8,4
10/20cm	0,9	2,1	1,5

Horário de Medição: **24:00hs** de 30/8/2004

	TOPO	MÉDIA	FUNDO
Ambiente	11,9	10,1	7,6
10cm	20,6	19,2	20,1
20cm	21,4	19,9	20,9

Diferenças entre Ambiente/10cm e 10/20cm

24:00hs	TOPO	MÉDIA	FUNDO
Amb/10cm	-8,7	-9,1	-12,5
10/20cm	-0,8	-0,7	-0,8

Horário de Medição: **6:00hs** de 31/8/2004

	TOPO	MÉDIA	FUNDO
Ambiente	8,9	8,3	3,9
10cm	17,2	17,2	17,8
20cm	19	19,1	19,3

Diferenças entre Ambiente/10cm e 10/20cm

6:00hs	TOPO	MÉDIA	FUNDO
Amb/10cm	-8,3	-8,9	-13,9
10/20cm	-1,8	-1,9	-1,5

Horário de Medição: **12:00hs** de 31/8/2004

	TOPO	MÉDIA	FUNDO
Ambiente	31	31,5	31,2
10cm	19,5	21,1	18,6
20cm	18,5	19,2	18,3

Diferenças entre Ambiente/10cm e 10/20cm

12:00hs	TOPO	MÉDIA	FUNDO
Amb/10cm	11,5	10,4	12,6
10/20cm	1	1,9	0,3

Tabela 6.2.2.1 – Temperatura da superfície e do solo na Topossequência 2 durante o inverno.

## Dados de Temperatura - Topossequência II - Estação Ecológica Itirapina

Período mais quente de coleta

Temperaturas em Graus Celsius

Horário de Medição: **12:00hs** de 08/04/2005

	<b>TOPO</b>	<b>MÉDIA</b>	<b>FUNDO</b>
Ambiente	35	34,9	34,5
10cm	24,2	23,9	29
20cm	24	23,6	24,8

Diferenças entre Ambiente/10cm e 10/20cm

<b>12:00hs</b>	<b>TOPO</b>	<b>MÉDIA</b>	<b>FUNDO</b>
Amb/10cm	10,8	11	5,5
10/20cm	0,2	0,3	4,2

Horário de Medição: **18:00hs** de 08/04/2005

	<b>TOPO</b>	<b>MÉDIA</b>	<b>FUNDO</b>
Ambiente	23,5	23,2	22,5
10cm	25,9	24,8	25,3
20cm	25,7	24,7	25,1

Diferenças entre Ambiente/10cm e 10/20cm

<b>18:00hs</b>	<b>TOPO</b>	<b>MÉDIA</b>	<b>FUNDO</b>
Amb/10cm	-2,4	-1,6	-2,8
10/20cm	0,2	0,1	0,2

Horário de Medição: **24:00hs** de 08/04/2005

	<b>TOPO</b>	<b>MÉDIA</b>	<b>FUNDO</b>
Ambiente	20,8	20,3	20,7
10cm	23,5	23,1	23,4
20cm	25,1	23,8	24,1

Diferenças entre Ambiente/10cm e 10/20cm

<b>24:00hs</b>	<b>TOPO</b>	<b>MÉDIA</b>	<b>FUNDO</b>
Amb/10cm	-2,7	-2,8	-2,7
10/20cm	-1,6	-0,7	-0,7

Horário de Medição: **6:00hs** de 09/04/2005

	<b>TOPO</b>	<b>MÉDIA</b>	<b>FUNDO</b>
Ambiente	22	22,6	22
10cm	26,6	26,7	26
20cm	25,8	25,1	27,6

Diferenças entre Ambiente/10cm e 10/20cm

<b>6:00hs</b>	<b>TOPO</b>	<b>MÉDIA</b>	<b>FUNDO</b>
Amb/10cm	-4,6	-4,1	-4
10/20cm	0,8	1,6	-1,6

Tabela 6.2.2.2 – Temperatura da superfície e do solo na Topossequência 2 durante o período de coleta com estação mais quente.

Observou-se que, principalmente durante o verão, as temperaturas medidas na superfície são levemente mais elevadas no topo da vertente em estudo. Porém, há uma amenização da condutividade do calor para as camadas mais profundas do solo em função da biomassa presente nesse local. Tal afirmação é reforçada quando se observa uma condução de calor superior (na mesma hora de leitura – 12:00hs) no fundo do vale onde a temperatura do ambiente é semelhante, mas a temperatura dos 10 primeiros centímetros do solo é bem superior (Tabela 6.2.2.3).

Tabela 6.2.2.3 – Temperatura da superfície e do solo na Topossequência 2 durante o o período de coleta com estação mais quente às 12:00hs.

Estação mais quente 12:00hs	<b>TOPO</b>	<b>MÉDIA</b>	<b>FUNDO</b>
Ambiente	<b>35,0</b>	34,9	<b>34,5</b>
10cm	<b>24,2</b>	23,9	<b>29,0</b>
20cm	24,0	23,6	24,8

Os dados de temperatura também foram espacializados com a geração de uma superfície geostatística. Nela, pode-se visualizar as áreas mais críticas, onde há uma maior condução de calor da superfície para as camadas mais profundas do solo. A Figura 6.2.2 ilustra essa situação.

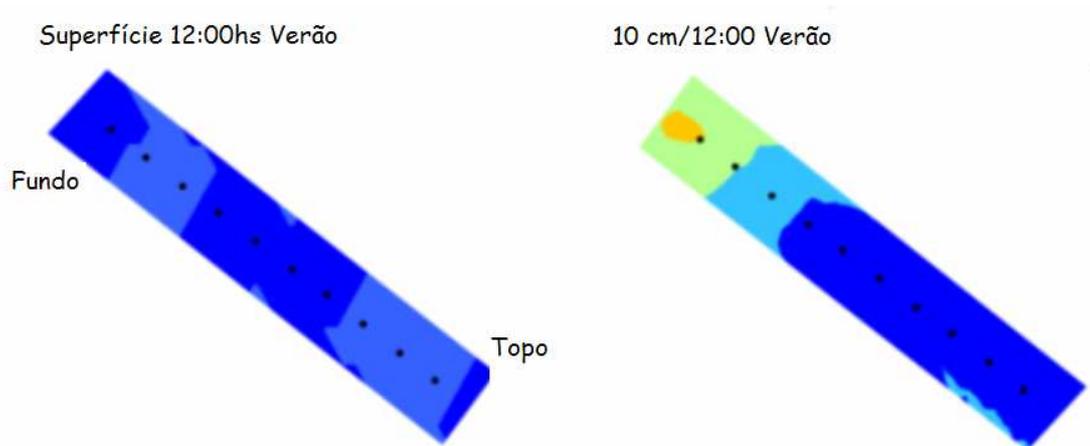


Figura 6.2.2 – Variação da temperatura ao longo da Topossequência 2 as 12h00min no o período de coleta com estação mais quente.

Observa-se que na superfície as cores do mapa gerado não possuem grande variação refletindo comportamento da temperatura ao longo da vertente. O mesmo não ocorre aos 10cm de profundidade onde os tons verdes e amarelos, refletem temperaturas mais elevadas quanto mais próximo ao fundo do vale.

O máximo germinativo da vegetação existente no fundo do vale pode estar sendo superado durante os dias quentes, uma vez que atingiu os 29° C no dia da leitura da temperatura. Isso faz com que as áreas de solo exposto no Geossistema em estudo apresentem um grau elevado de fragilidade ambiental, pois, somado aos outros fatores, tem a capacidade de germinação das espécies nativas comprometida.

### **6.3 – Índice de degradação ambiental**

As relações estabelecidas entre os elementos do Geossistema em estudo que foram descritas e detalhadas nessa dissertação, nortearam a criação de um índice de suscetibilidade ambiental para toda a área de estudo. Através da metodologia descrita nos itens anteriores, foi gerado um mapa para cada um dos 5 indicadores do ISDA e um mapa final integrando esses 5 indicadores.

#### **6.3.1 – Processamento da Imagem de Satélite**

A imagem Spot 4 foi fusionada, gerando como produto uma imagem colorida com 10 metros de resolução, conforme ilustra a Figura 6.3.1.1

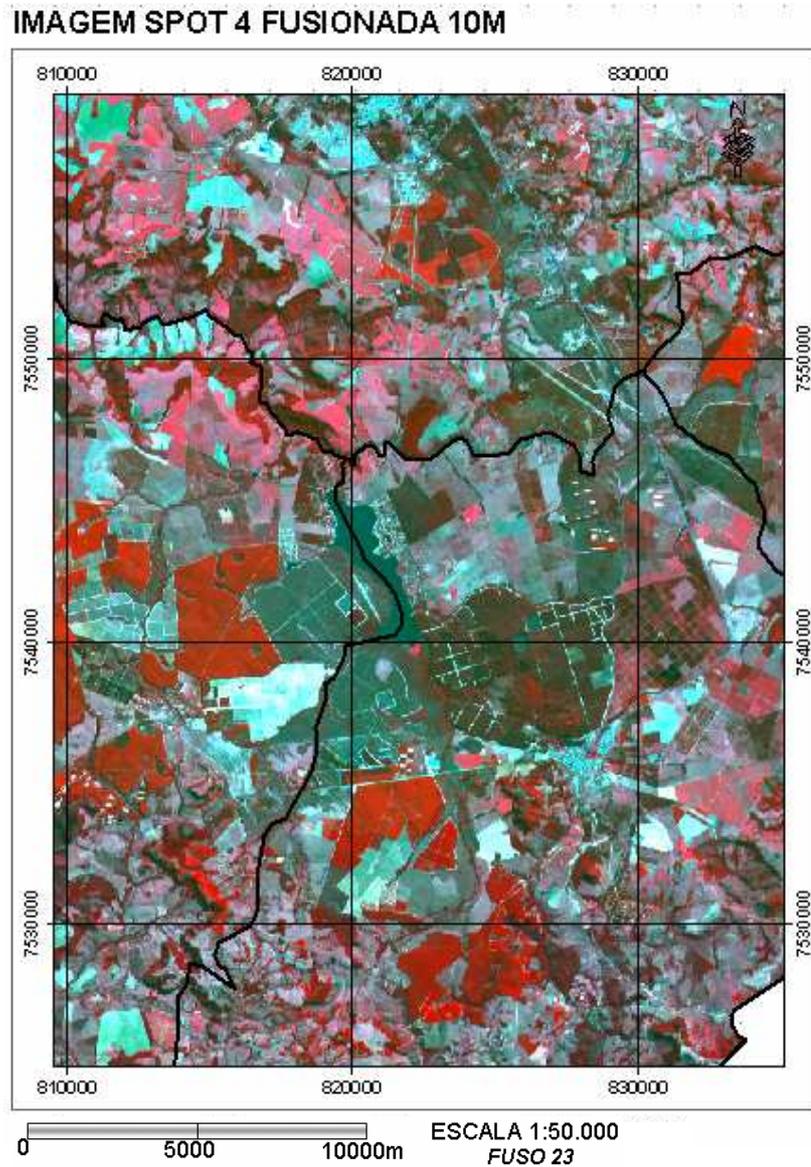


Figura 6.3.1.1- Imagem Spot 4 fusionada.

### 6.3.2. - Indicador de Uso da Terra

A imagem gerada no item anterior foi classificada utilizando-se as funcionalidades de classificação disponíveis no Erdas Professional 8.7. Para início do processamento foram definidos os parâmetros de classificação, conforme ilustra a Figura 6.3.2.1.

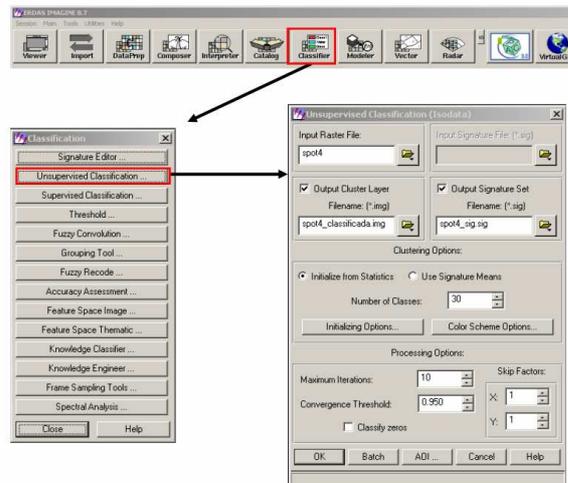


Figura 6.3.2.1 - Parametrização da classificação no Erdas.

Entre as funcionalidades disponíveis no Módulo Classifier (Classificador), de classificação, está a *Unsupervised Classification* (Classificação Não Supervisionada), que permite que, fornecidos alguns parâmetros de entrada, o software seja capaz de particionar a imagem em classes, de acordo com as similaridades de seus elementos, visando maximizar a diferença entre estas classes. Para esta etapa, foram fornecidos o nome da imagem de entrada (spot4), o nome da imagem de saída (spot4\_classificada), o nome do arquivo de assinaturas (spot4\_sig), o número de classes (30), o número de interações (10) e o fator de convergência (0,950).

Desta forma, o software foi configurado para particionar a imagem Spot 4 em 30 classes, com 10 interações e um limiar de 95% de confiabilidade estatística. Isto significa que a cada rodada de processamento, denominada interação, ele procurou dividir cada elemento da imagem na classe mais apropriada, visando obter pelo menos 95% de probabilidade de ter atribuído um determinado píxel à sua classe mais correta. Quando o classificador atingiu este limiar de 95%, a classificação foi finalizada. Caso este valor não tivesse sido atingido, seria preciso aumentar o número de interações ou reduzir o número de classes. No presente estudo este limiar de 95% foi atingido na nona interação.

A partir deste resultado inicial, foi adequado o número de classes, conforme definido no item 5.3.2.3 (9 classes). Ao final desta etapa, associou-se uma cor a cada classe e quantificou-se os valores da área ocupada por cada classe para análise (Figura 6.3.2.2):

### IMAGEM SPOT 4 CLASSIFICADA

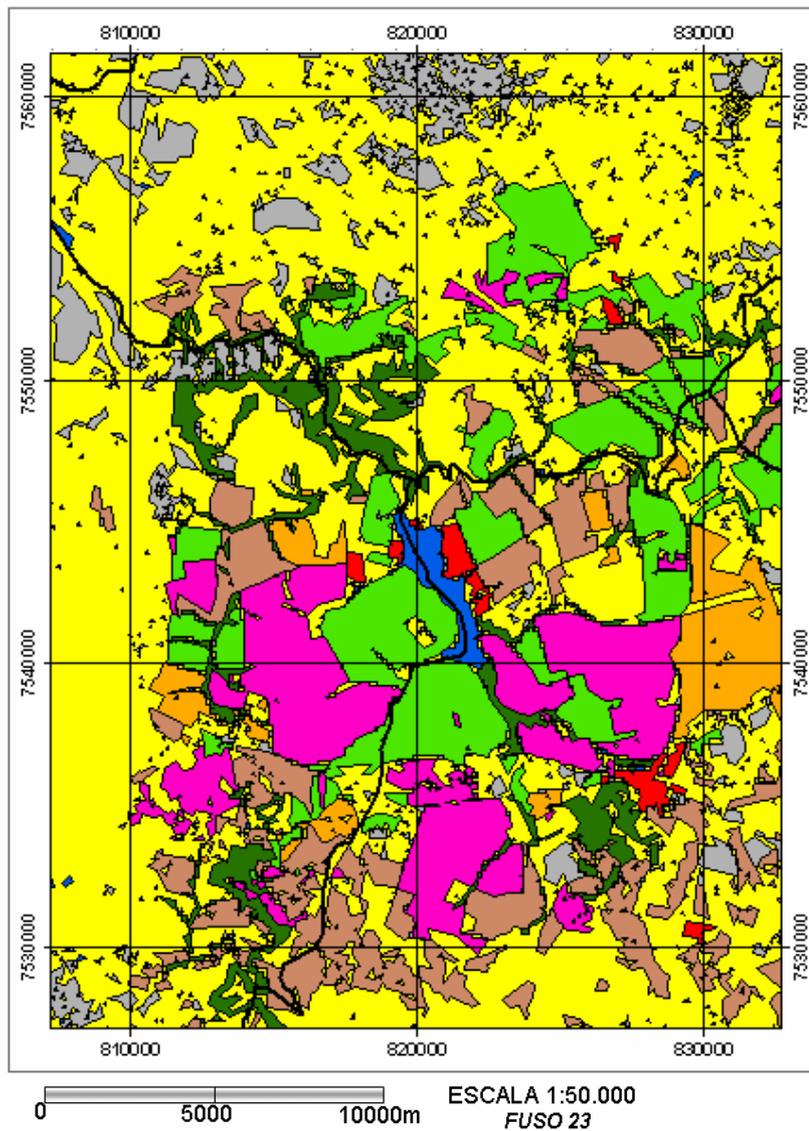


Figura 6.3.2.2 - Classificação do uso das terras.

Tabela 6.3.2.1 - Resultados da classificação de Uso da Terra sobre a imagem Spot 4.

CLASSE	DESCRIÇÃO	COR	ÁREA (Ha)	%
9	Agr. Temp.	Amarelo	11.129	21,90%
5	Cerrado	Verde	9.488	18,67%
8	Pastagem	Marrom	8.351	16,43%
7	Reflorestamento	Magenta	7.374	14,51%
3	Mata de Galeria	Verde Escuro	5.533	10,89%
6	Solo Exposto	Cinza	4.130	8,13%
4	Agr. Perm.	Laranja	3.303	6,50%
2	Áreas urb.	Vermelho	771	1,52%
1	Água	Azul	746	1,47%
TOTAL			50.825	100,00%

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 18,67% de Cerrado e 10,89% de Mata de Galeria. Na Figura 6.3.2.2 pode-se ter uma noção dos resultados da classificação realizada e a distribuição espacial do Indicador Uso do Solo.

A classe predominante (Agricultura Temporária) apresenta uma suscetibilidade ambiental elevada (Nota 4 – Alta) a exemplo da classe de Pastagem que apresenta a terceira maior área (16,43%). A classe mais susceptível a tais processos, o Solo Exposto, apresenta uma área de 4.130ha, ou 8,13% do total. As classes de uso que possuem nota de susceptibilidade ambiental Muito Baixa (Água, Mata Galeria e Reflorestamento) representam 26,87% do total. A citricultura é um uso muito comum em toda a região, representando quase a totalidade dos 3.303ha da classe Agricultura Permanente (6,50%). A área não abrange manchas urbanas bem estabelecidas pelo fato de não compreender nenhuma sede de município, essa classe apresenta apenas 1,52% do total.

As Figuras 6.3.2.3, 6.3.2.4 e 6.3.2.5 apresentam um detalhe desta classificação, nas imediações da barragem existente na represa do Broa (ou represa do Lobo) e seu entorno. Na Figura 6.3.2.3 tem-se o *zoom* (detalhe) realizado sobre a imagem Spot 4. Na Figura 6.2.3.4 a respectiva classificação e na Figura 6.3.2.5 uma noção do grau de detalhamento auxiliar utilizado, caracterizado pela ortofoto em escala 1:10.00, gerada em 2000.

### IMAGEM SPOT 4 FUSIONADA 10M

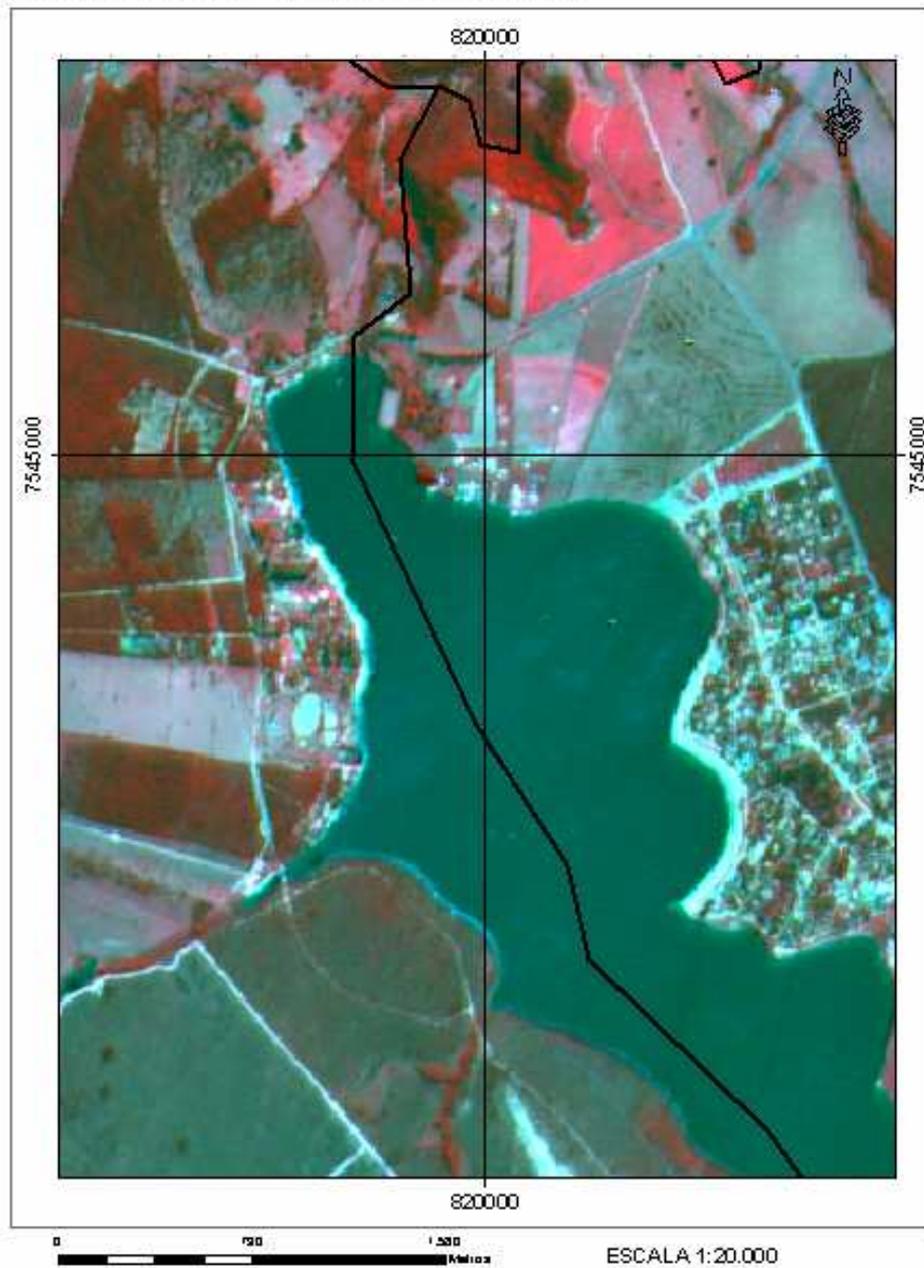


Figura 6.3.2.3 – Detalhe da imagem Spot 4.

### IMAGEM SPOT 4 CLASSIFICADA 10M

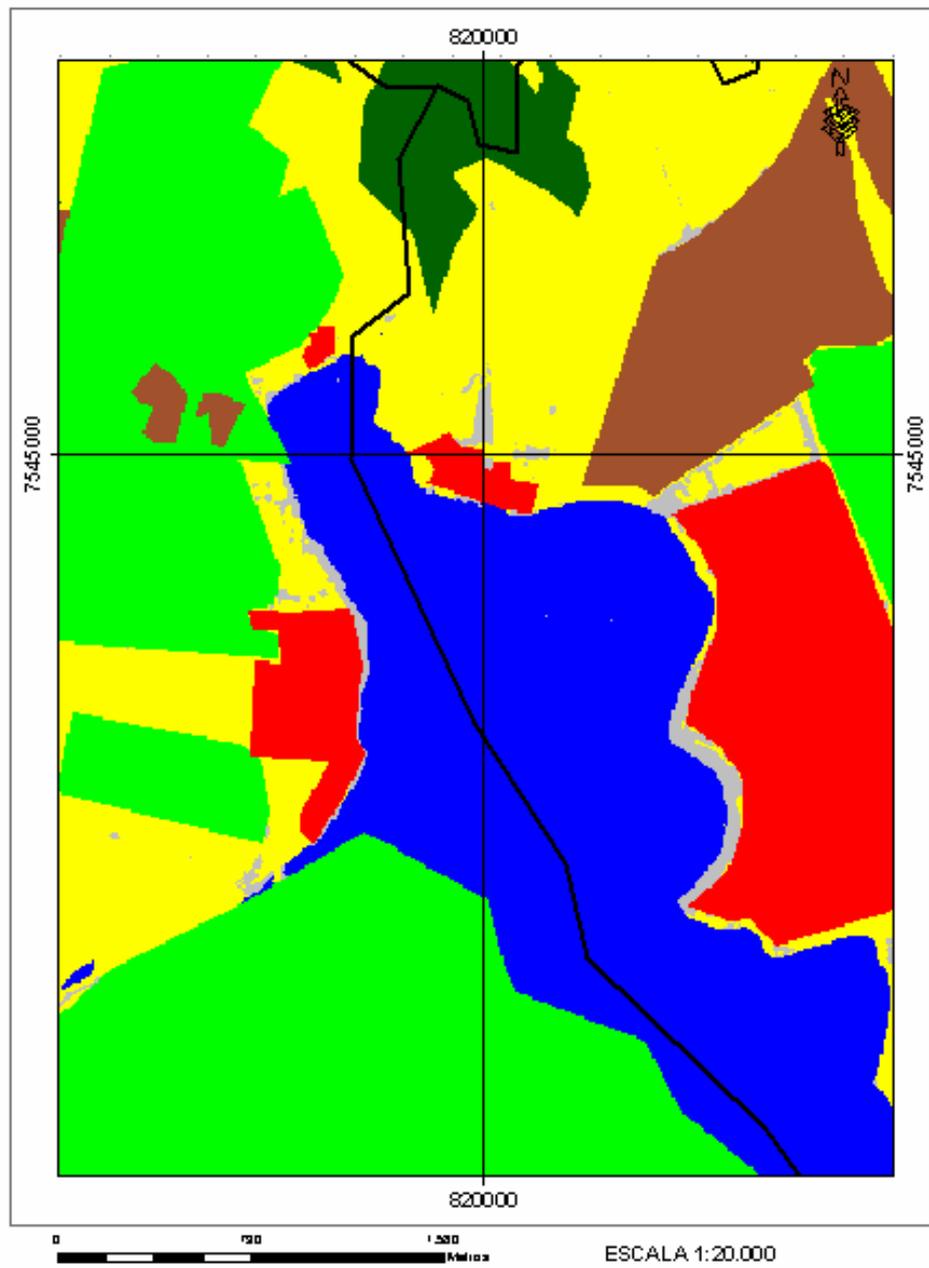


Figura 6.3.2.4 - Detalhe da classificação Spot 4.



Figura 6.3.2.5 – Detalhe da Ortofoto.

Na Figura 6.3.2.6 pode-se observar a distribuição espacial do Indicador Uso do Solo, conforme a reclassificação realizada. A legenda e os resultados quantitativos podem ser observados na Tabela 6.3.2.2.

## INDICADOR USO DAS TERRAS

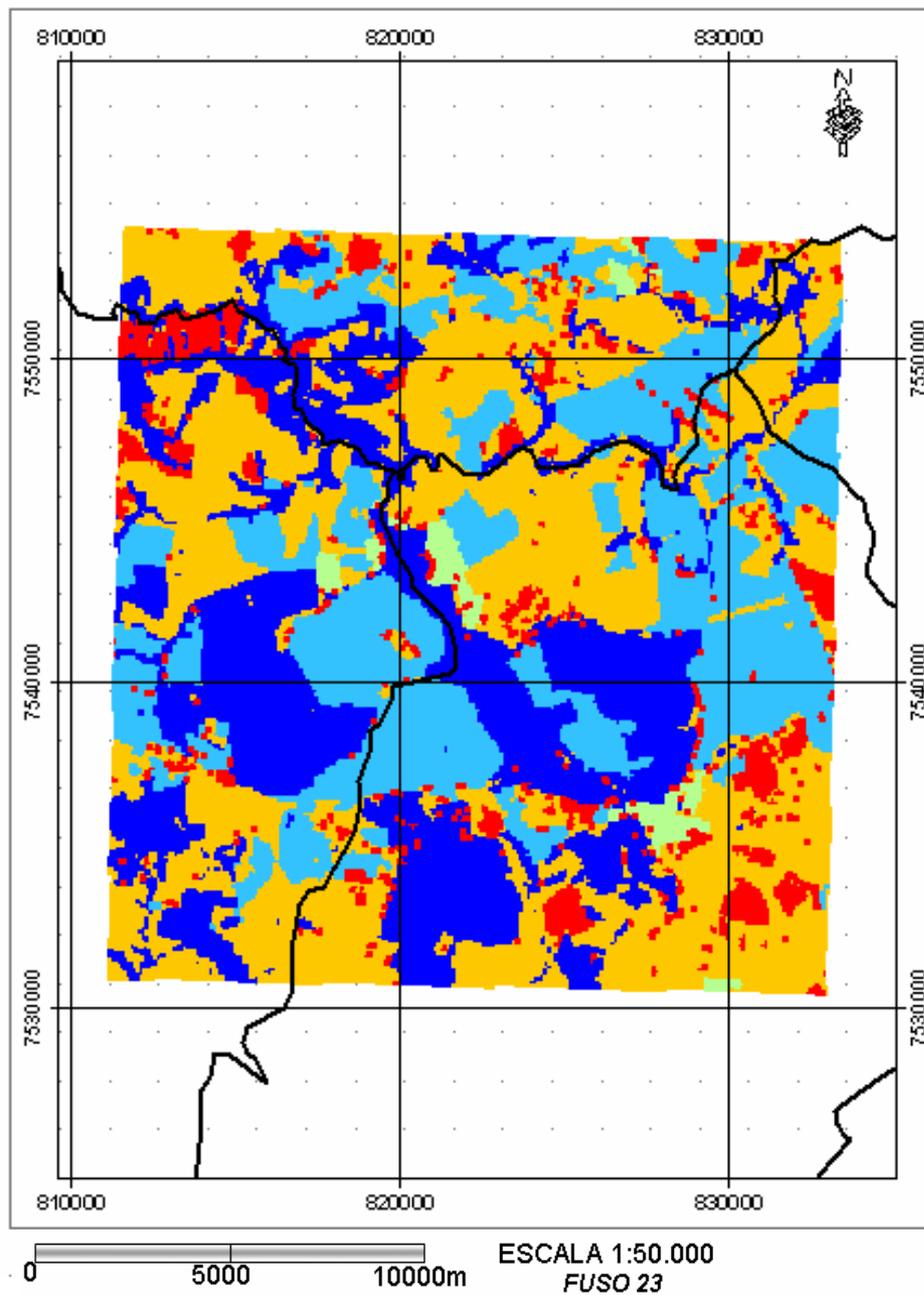
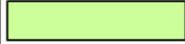


Figura 6.3.2.6 - Distribuição espacial do Indicador Uso das Terras.

Tabela 6.3.2.2 - Resultados da suscetibilidade do Indicador Uso do Solo.

CLASSE	SUSCEPTIBILIDADE	COR	ÁREA (Ha)	%
1	Muito Baixa		13.653	26,86%
2	Baixa		12.791	25,17%
3	Média		771	1,52%
4	Alta		19.480	38,33%
5	Muito Alta		4.130	8,13%
TOTAL			50.825	100,00%

Verifica-se que a classe de suscetibilidade ambiental Alta abrange a maior área, com 38,33% do total. Somada à classe de suscetibilidade Muito Alta (8,13%), esse total atinge quase a metade de toda a área de estudo: 46,46%. Por outro lado, as classes de suscetibilidade Muito Baixa e Baixa totalizam 52,03%, refletindo o uso com menor agressão ao solo, como o Reflorestamento, a Mata Galeria, Águas, Cerrado e Agricultura Permanente. A classe 3 (suscetibilidade média) é reflexo direto do uso e ocupação em áreas urbanas, 1,52%.

### 6.3.3. Indicador NDVI

A Figura 6.3.3.1 apresenta o resultado do processamento da imagem Spot 4, gerando uma imagem temática da distribuição espacial da biomassa na área de estudo.

## ÍNDICE DE VEGETAÇÃO NDVI

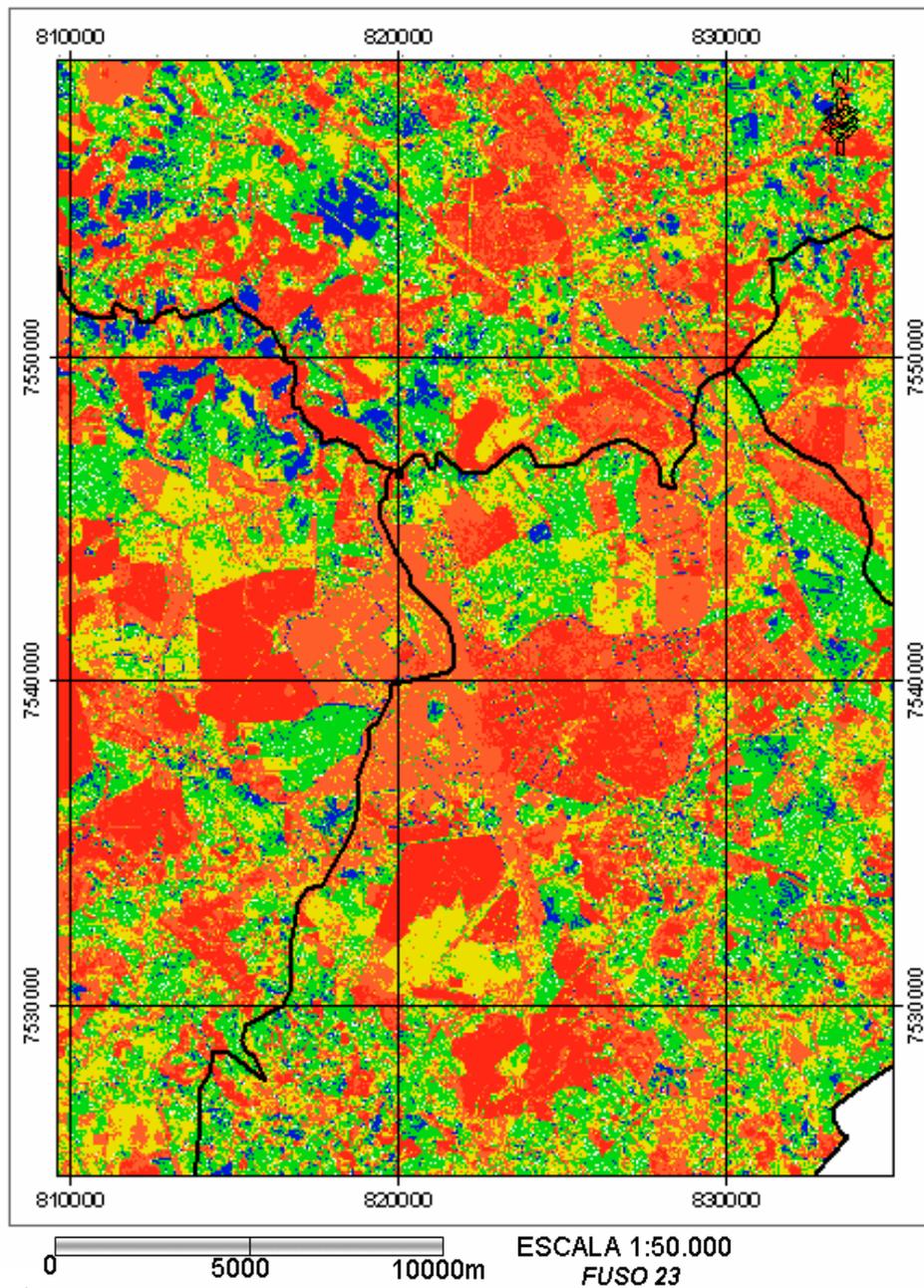


Figura 6.3.3.1 - Índice de Vegetação NDVI, com a distribuição espacial da biomassa (Resolução de 10m).

Na Figura 6.3.3.2 pode-se observar a distribuição espacial do Indicador NDVI, com a resolução de 100 m, conforme a reclassificação realizada. A legenda e os resultados quantitativos podem ser observados na Tabela 6.3.3.1.

## INDICADOR NDVI

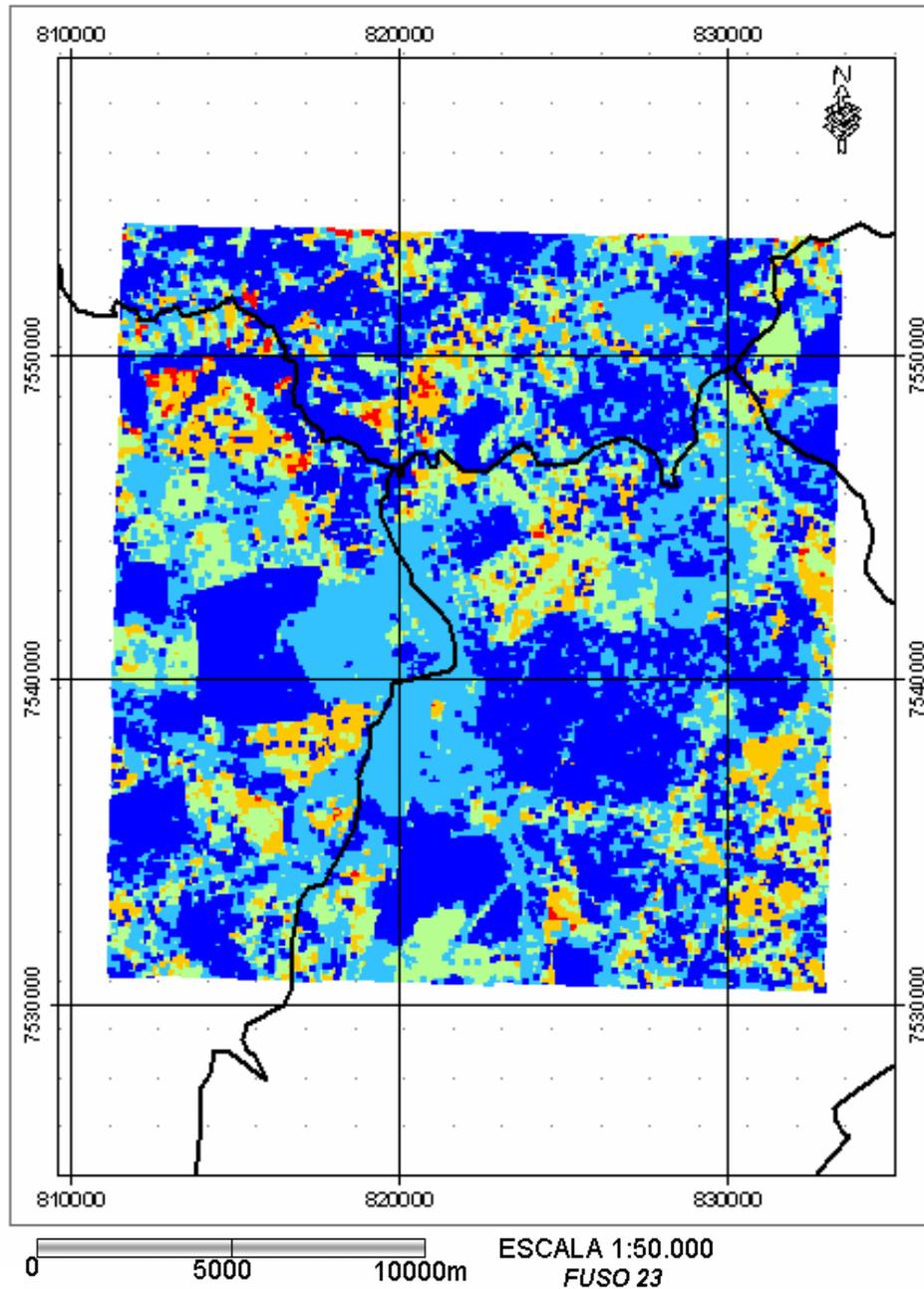


Figura 6.3.3.2 - Distribuição espacial do Indicador NDVI.

Tabela 6.3.3.1- Resultados da suscetibilidade do Indicador NDVI.

NDVI	SUSCEPTIBILIDADE	COR	ÁREA (Ha)	%
1	Muito Baixa		21.890	43,07%
2	Baixa		15.844	31,17%
3	Média		8.181	16,10%
4	Alta		4.585	9,02%
5	Muito Alta		325	0,64%
TOTAL			50.825	100,00%

As cores definidas na tabela são inversas às exibidas na figura original do NDVI. Conforme os resultados da classificação do NDVI (Figura 6.3.3.2), 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%, associados as áreas de solos com alta fragilidade e alta declividade, criam as condições propícias para os processos de degradação.

#### 6.3.4 – Indicador Precipitação

Na Figura 6.3.4.1 pode-se observar a distribuição espacial do Indicador Precipitação, de acordo com os valores médios observados durante 30 anos para cada uma das 25 estações pluviométricas analisadas, conforme a reclassificação realizada. A legenda e os resultados quantitativos podem ser observados na Tabela 6.3.4.1

### INDICADOR PRECIPITAÇÃO

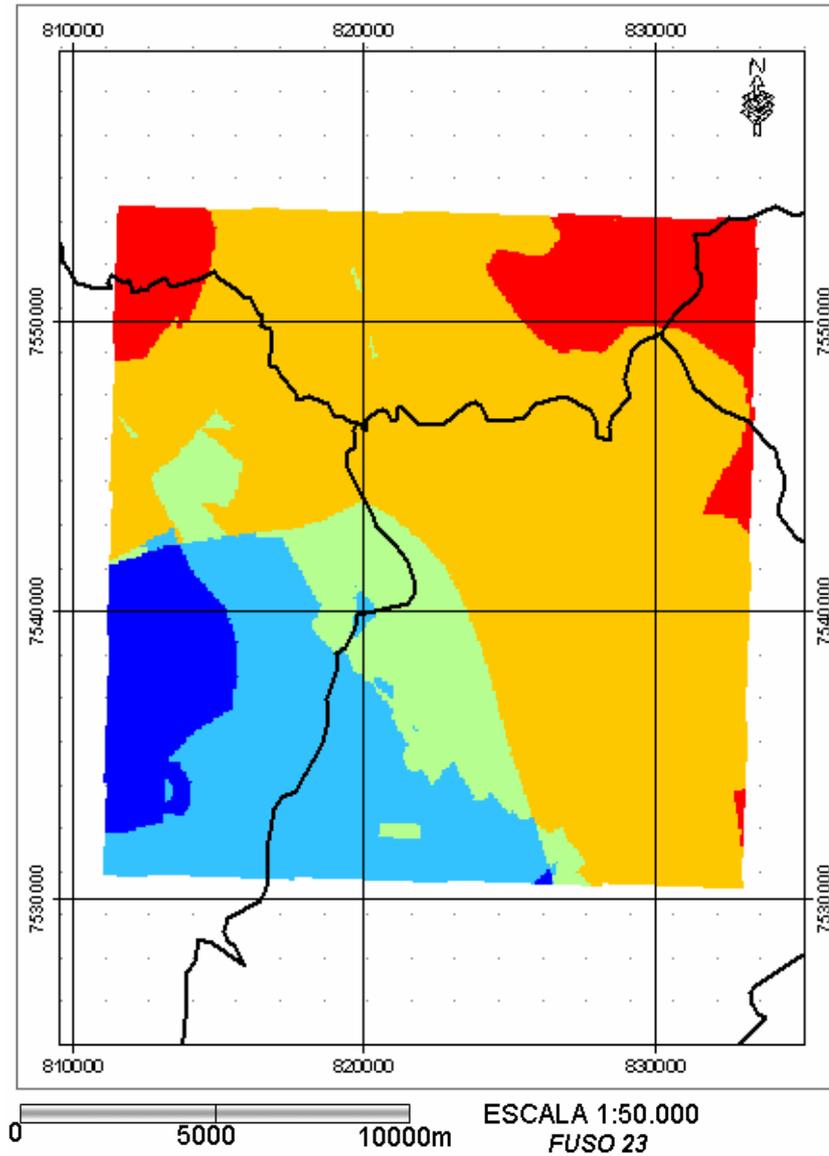


Figura 6.3.4.1 – Distribuição espacial do Indicador Precipitação.

Tabela 6.3.4.1 - Resultados da suscetibilidade do Indicador Precipitação.

CLASS	SUSCEPT	COR	PRECIPITAÇÃO (MM)	ÁREA	%
1	Muito Baixa		1.211 a 1.298	3.290	6,47%
2	Baixa		1.298 a 1.386	8.607	16,93%
3	Média		1.386 a 1.474	5.205	10,24%
4	Alta		1.474 a 1.562	28.312	55,70%
5	Muito Alta		1.562 a 1.649	5.411	10,65%
TOTAL				50.825	100,00%

A Classe 1 recebeu uma Nota 5 por apresentar uma maior precipitação, o que tende a oferecer maior impacto aos solos já susceptíveis. Por outro lado, onde chove menos tem-se uma Nota menor (1 ou 2), pois o reflexo deste indicador é menos impactante. Verifica-se que 66,35% da área que recebe nitidamente mais chuva que a média geral contribuindo desta forma para agravar os processos erosivos.

### **6.3.5 - Indicador Pressão Exercida pela Pecuária**

Para fins de utilização deste indicador foi necessário classificar todas as áreas ocupadas por pastagens nos 4 municípios que abrangem a área de estudo (Figura 6.3.5.1). Isto deve-se ao fato de que para uso do indicador é fundamental dividir o total do rebanho pelo valor da área ocupada pela pecuária em todo o mapa.

### ÁREA OCUPADA POR PASTAGENS

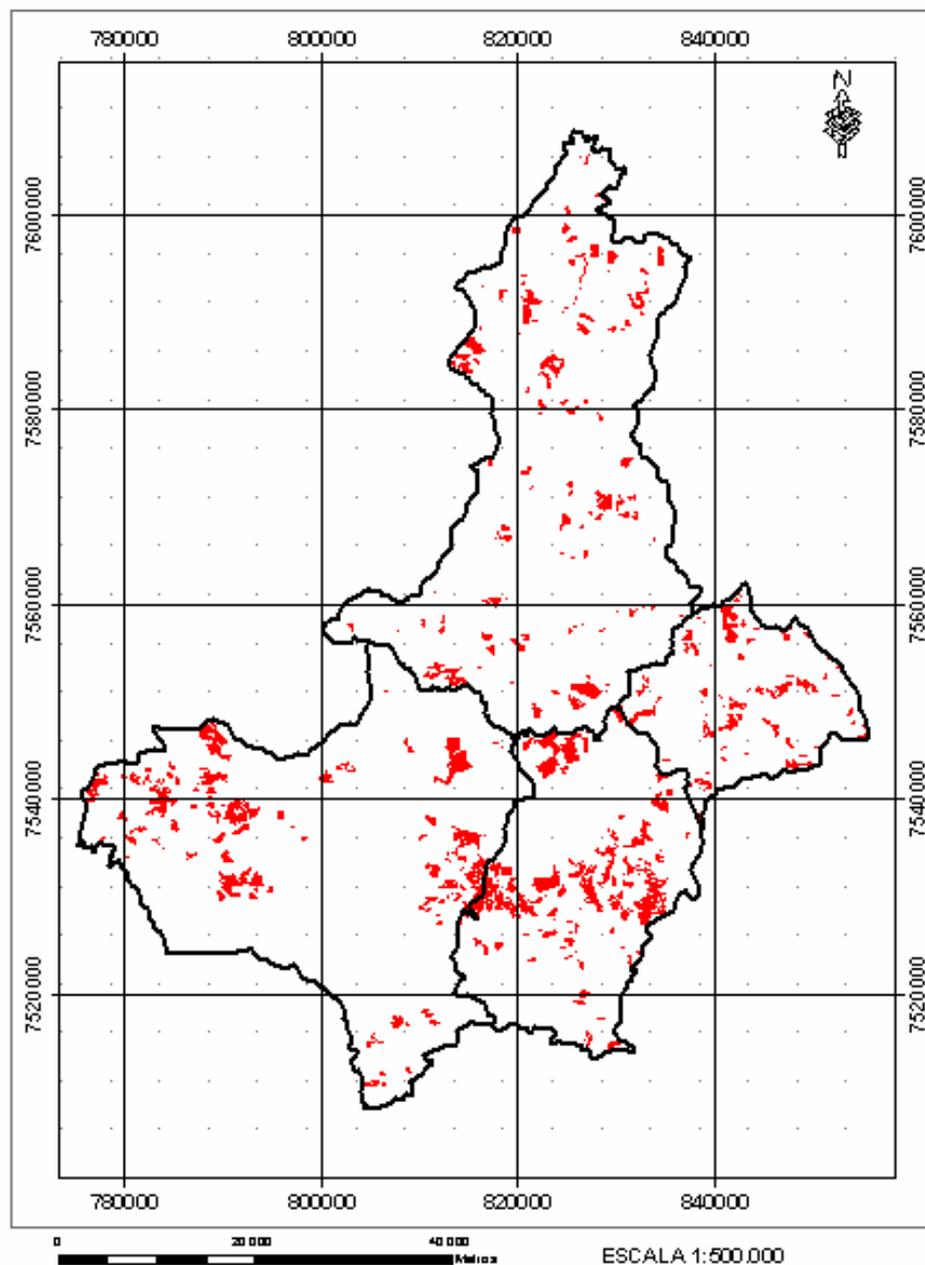


Figura 6.3.5.1 - Distribuição espacial das áreas ocupadas por pastagens nos quatro municípios.

Na Figura 6.3.5.2 a seguir tem-se um detalhamento desta classificação, com um *zoom* na área trabalhada, onde posteriormente foi aplicado o algoritmo do ISDA. Todas as áreas identificadas em vermelho apresentam atividade de pecuária.

### PASTAGENS NA ÁREA DE ESTUDO

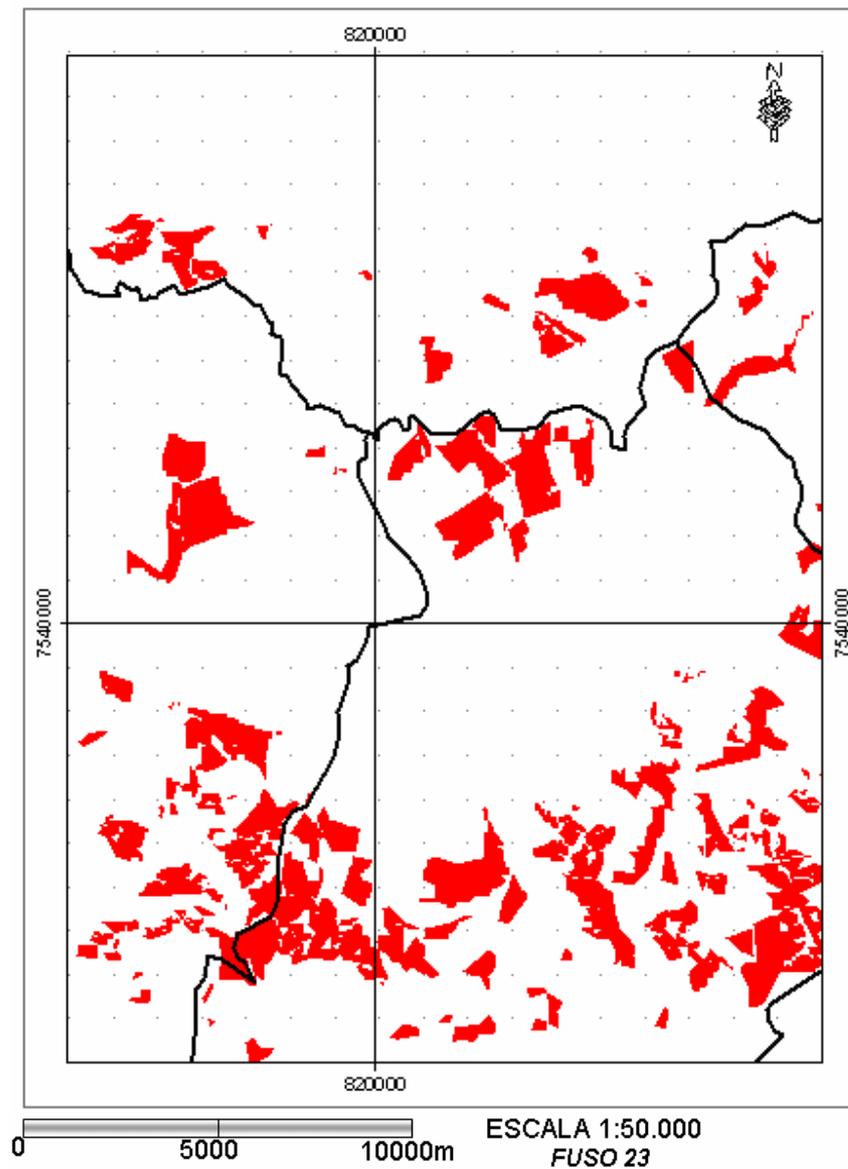


Figura 6.3.5.2 - Pastagens na área de estudo.

Na Figura 6.3.5.3 pode-se observar a distribuição espacial do Indicador Pressão Exercida pela Pecuária, conforme a reclassificação realizada.

### INDICADOR PRESSÃO EXERCIDA PELA PECUÁRIA

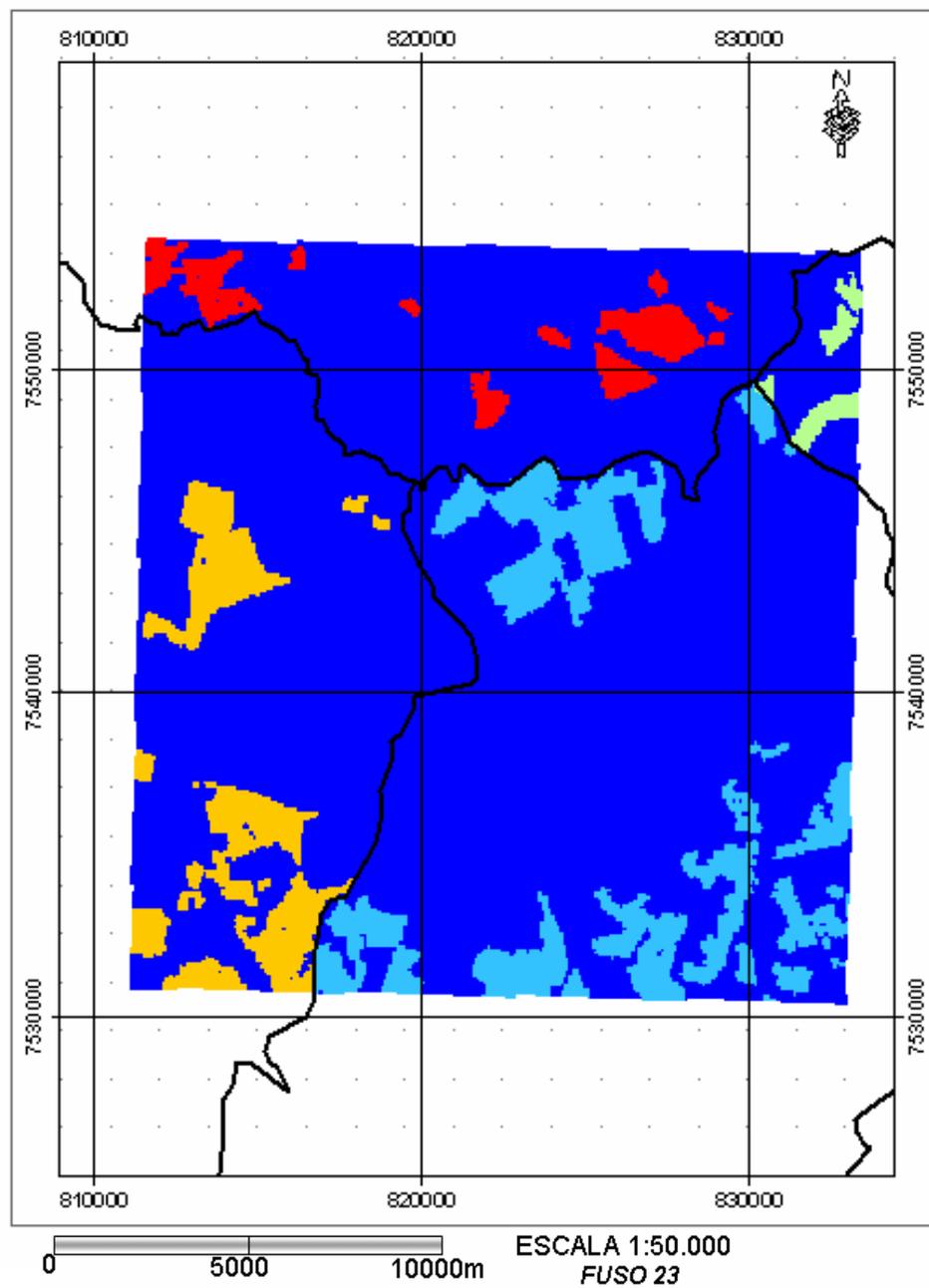


Figura 6.3.5.3 - Distribuição espacial do Indicador Pressão Exercida pela Pecuária.

Os resultados da suscetibilidade do Indicador Pressão exercida pela Pecuária estão presentes na Tabela 6.3.5.1.

Tabela 6.3.5.1 - Resultados do Indicador Pressão exercida pela Pecuária.

CLASSE	SUSCEPTIBILIDADE	COR	ÁREA (Ha)	%
0	Nula		42.192	83,01%
1	Muito baixa		4.502	8,86%
2	Baixa		345	0,68%
3	Média		2.503	4,92%
4	Alta	---	0	0,00%
5	Muito Alta		1.283	2,52%
TOTAL			50.825	100,00%

As pastagens existentes no Município de São Carlos apresentam um índice de suscetibilidade ambiental Muito Alto devido à densidade de gado por hectare. O inverso ocorre no Município de Itirapina (classe Muito Baixa) devido a extensa área de pastagem dedicada a um rebanho de menor número.

### 6.3.6 – Indicador Erodibilidade

A erodibilidade, conforme definido na metodologia, é gerada pelo cruzamento de informações sobre o tipo de solo (Figura 6.3.6.1) e a declividade (Figura 6.3.6.2) de um determinado ponto. Assim, foram analisadas as informações destas duas variáveis, sendo os resultados visualizados na seqüência.

## TIPOS DE SOLOS

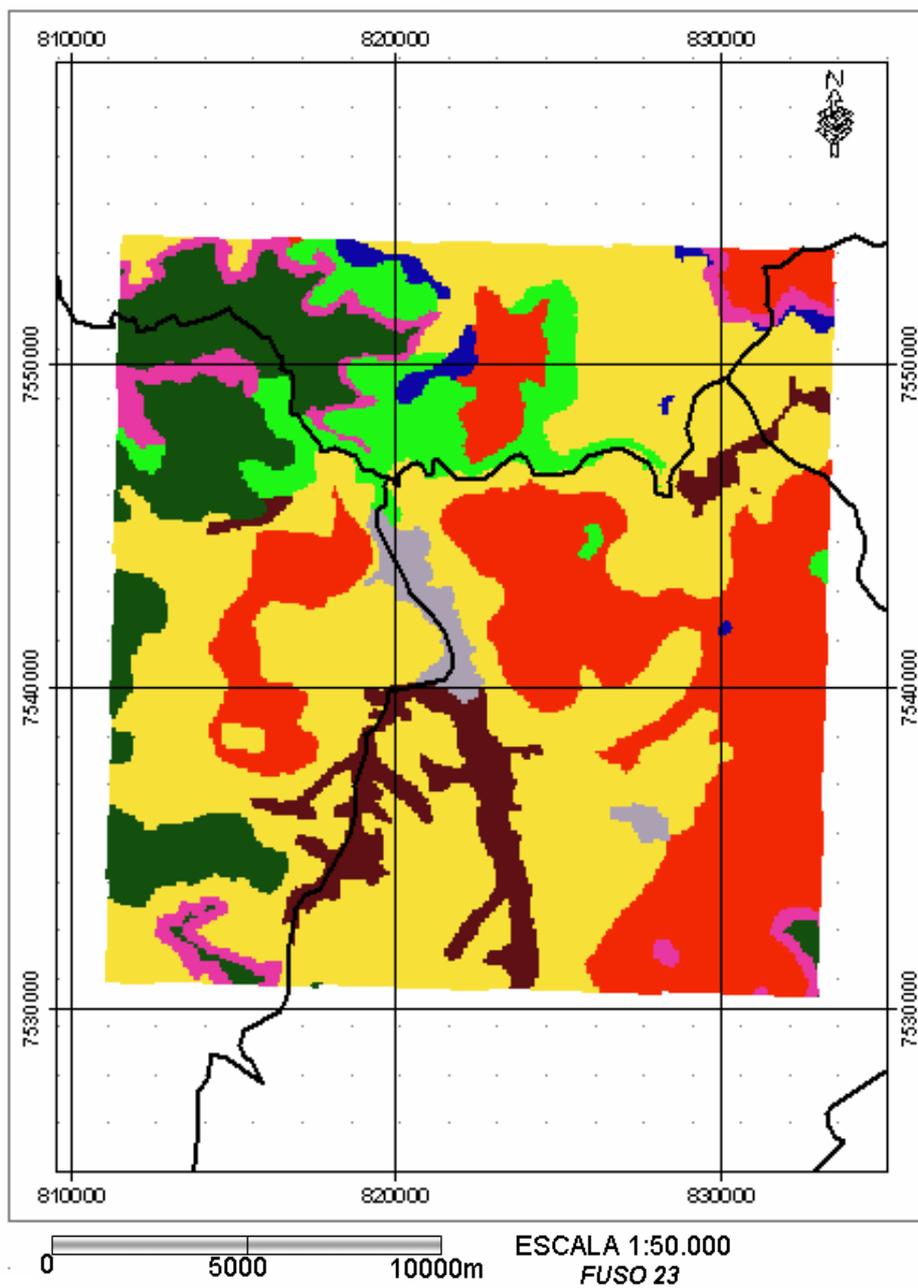


Figura 6.3.6.1 - Mapa de solos, conforme o agrupamento realizado.

Tabela 6.3.6.1 - Quantificação das áreas dos grupos de solos.

CLASSE	DESCRIÇÃO	COR	ÁREA (Ha)	%
0	Sem informações no IAC (áreas urbanizadas, água)		898	1,77%
1	Latossolo Roxo		3.330	6,55%
2	Latossolo Vermelho Escuro		517	1,02%
3	Latossolo Vermelho Amarelo		12.905	25,39%
4	Podzólico Vermelho Amarelo		5.769	11,35%
6	Neossolos Quartzarênicos		22.459	44,19%
7	Litossolos		2.048	4,03%
8	Solos Hidromórficos		2.899	5,70%
TOTAL			50.825	100,00%

Conforme caracterizado no item 4.5 os tipos de solos que predominam na área são extremamente arenosos: os Neossolos Quartzarênicos e os Latossolos Vermelho-Amarelo. Juntos, eles abrangem 69,58% de toda a área regional.

O mapa de declividade apresentado na Figura 6.3.6.2 considera que as áreas mais claras têm menor declividade, aumentando sua tonalidade de cinza na medida em que esta declividade aumenta. Verifica-se que os Litossolos e o Latossolo Roxo estão compreendidos nas áreas de maior declividade (Testemunhos de Cuetas Basálticas).

O mapa de declividade gerado pelo processamento das informações altimétricas inclui todas as curvas de nível e pontos cotados existentes na cartografia em escala 1:50.000.

## DECLIVIDADE, EM PERCENTUAL

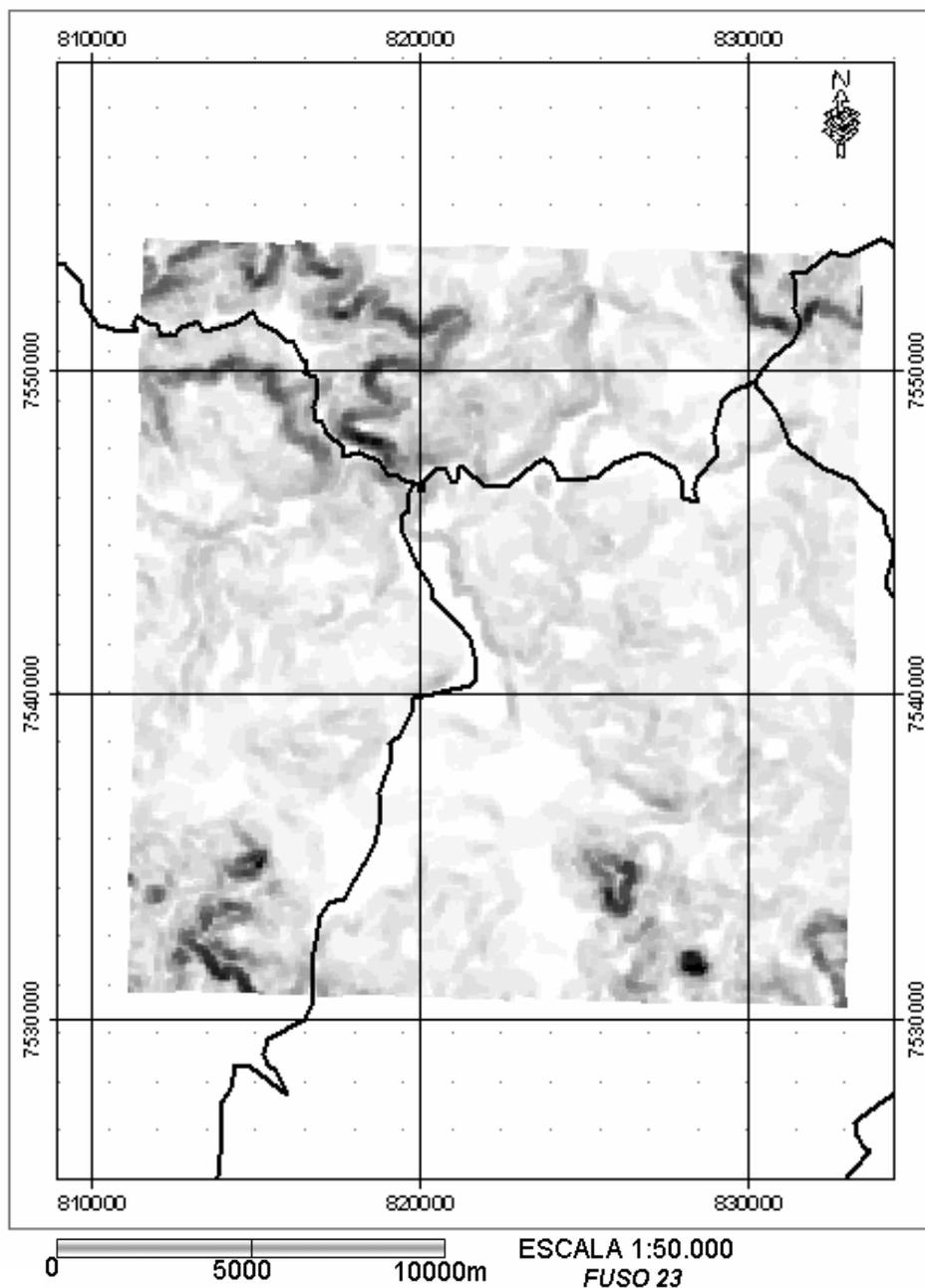


Figura 6.3.6.2 - Mapa de declividade (em percentual).

Os resultados relacionados à declividade são apresentados a seguir, em graus e em percentuais. Todavia, para fins de análise e geração dos indicadores considerou-se os valores em percentuais.

Em graus, as declividades variam de 0 a 27 graus. 85,35% (43.380 ha) da área apresentam declividades de 0 a 5 graus; 12,50% (6.353 ha) tem entre 5 a 15 graus; 2,09% (1.063 ha) tem declividades entre 15 e 25 graus; e apenas 0,06% (29 ha) tem declividades acima de 25 graus. Não foram encontradas declividades superiores a 27 graus.

Em percentuais, as declividades variam de 0 a 60 %. 34,60% (17.587 ha) da área apresentam declividades de 0 e 3%; 20,07% (10.202 ha) tem declividades entre 3 e 6%; 30,68% (15.591 ha) tem declividades entre 6 e 12%; 8,13% (4.133 ha) tem declividades entre 12 e 20%; 6,05% (3.074 ha) tem declividades entre 20 e 45%; e 0,47% (238 ha) tem declividades acima de 45%. Não foram encontradas declividades superiores a 60%. A Tabela 6.3.6.2 a seguir apresenta em detalhe esses valores.

Tabela 6.3.6.2 - Resultados da análise da declividade (em percentual).

CLASSE	VALOR DA DECLIVIDADE	ÁREA (Ha)	%
1	0%	8.545	16,81%
2	2%	9.042	17,79%
3	4%	10.202	20,07%
4	7%	7.348	14,46%
5	9%	4.890	9,62%
6	11%	3.353	6,60%
7	13%	1.799	3,54%
8	16%	998	1,96%
9	18%	711	1,40%
10	20%	625	1,23%
11	22%	514	1,01%
12	24%	401	0,79%
13	27%	351	0,69%
14	29%	362	0,71%
15	31%	296	0,58%
16	33%	296	0,58%
17	36%	224	0,44%
18	38%	221	0,43%
19	40%	190	0,37%
20	42%	125	0,25%
21	44%	94	0,18%
22	47%	81	0,16%

23	49%	45	0,09%
24	51%	40	0,08%
25	53%	37	0,07%
26	56%	6	0,01%
27	58%	17	0,03%
28	60%	12	0,02%
<b>TOTAL</b>		<b>50.825</b>	<b>100,00%</b>

Na Tabela 6.3.6.3 tem-se o agrupamento das áreas em função da sua declividade, visando fornecer uma noção da sua maior ou menor contribuição aos processos erosivos existentes na área de estudo.

Tabela 6.3.6.3 - Quantificação das áreas em função da declividade.

<b>CLASSE</b>	<b>SUSCETIBILIDADE</b>	<b>ÁREA (Há)</b>	<b>%</b>
1	Muito Baixa	43.380	85%
2	Baixa	5.048	10%
3	Média	1.750	3%
4	Alta	575	1%
5	Muito Alta	72	0%
<b>TOTAL</b>		<b>50.825</b>	<b>100,00%</b>

Conforme descrito no item 4.3, o relevo da área se caracteriza pela presença de colinas e morros amplos de baixa declividade. Esse fator faz com que a suscetibilidade frente a processos erosivos se enquadre em 95% nas classes Baixa e Muito Baixa (Tabela 6.3.6.3).

Na Figura 6.3.6.3 pode-se observar a distribuição espacial do Indicador Erodibilidade, conforme a reclassificação realizada. A legenda e os resultados quantitativos podem ser observados na Tabela 6.3.6.4.

## INDICADOR ERODIBILIDADE

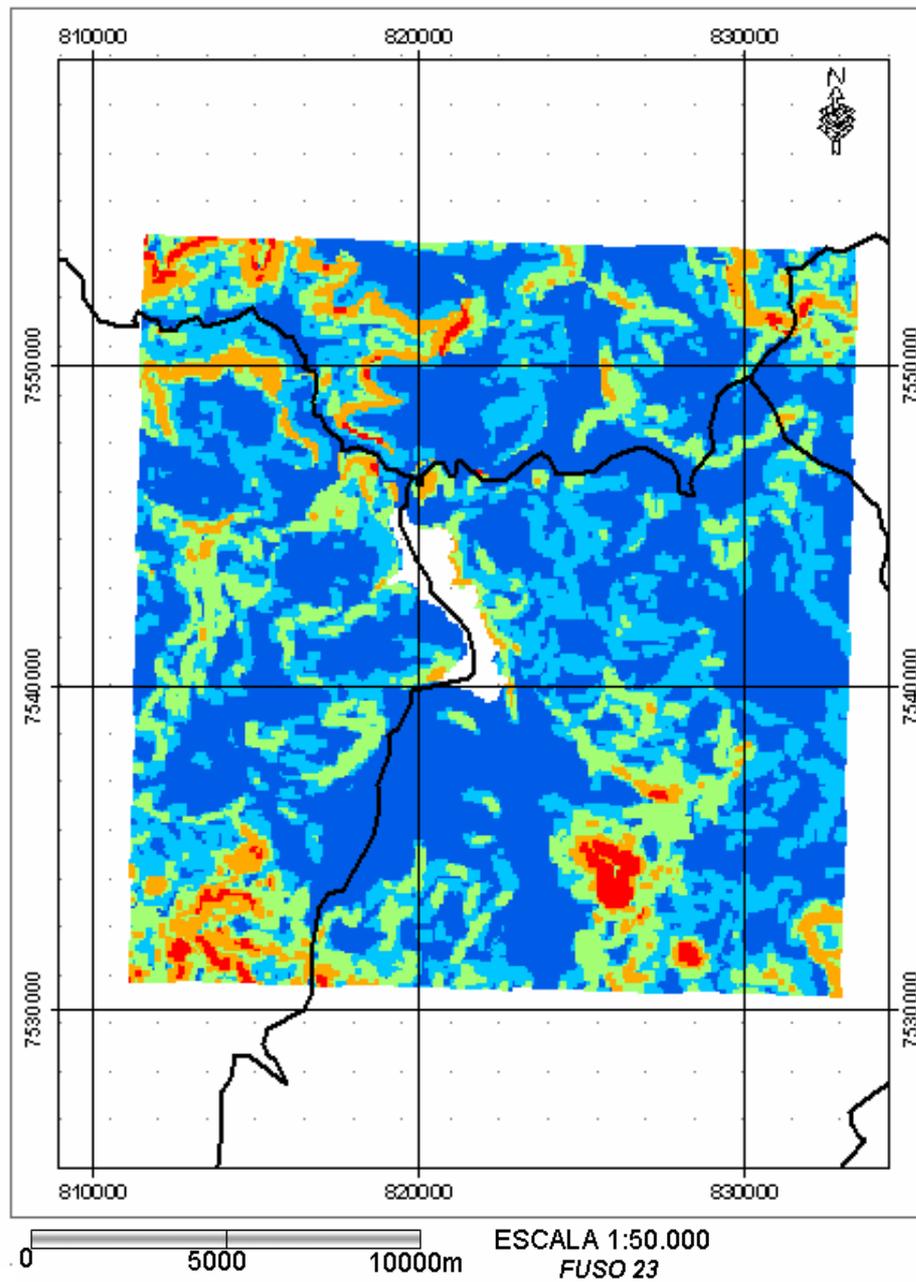


Figura 6.3.6.3 - Distribuição espacial do Indicador Erodibilidade.

Tabela 6.3.6.4 - Resultados da suscetibilidade do Indicador Erodibilidade.

CLASSE	SUSCEPTIBILIDADE	COR	ÁREA (Ha)	%
0	Sem informações	Branco	759	1,49%
1	Muito Baixa		23.989	47,20%
2	Baixa		13.547	26,65%
3	Média		8.642	17,00%
4	Alta		3.194	6,28%
5	Muito Alta		694	1,37%
TOTAL			50.825	100,00%

Verifica-se que, em função principalmente da baixa declividade o indicador de erodibilidade apresenta uma nítida predominância das classes de Baixa e Muito Baixa (73.85%) suscetibilidade. As áreas com classe definida como de média suscetibilidade abrangem 17% da região. As áreas em branco no mapa referem-se às áreas de água e de edificações ocupando apenas 1,49%.

### 6.3.7- Índice de Suscetibilidade de Degradação Ambiental - ISDA

Na Figura 6.3.7.1 pode-se observar a distribuição espacial do ISDA, conforme a classificação realizada com base no algoritmo definido no item 5.3.2.12. A legenda e os resultados quantitativos podem ser observados na Tabela 6.3.7.1.

### ÍNDICE DE SUSCEPTIBILIDADE DE DEGRADAÇÃO AMBIENTAL

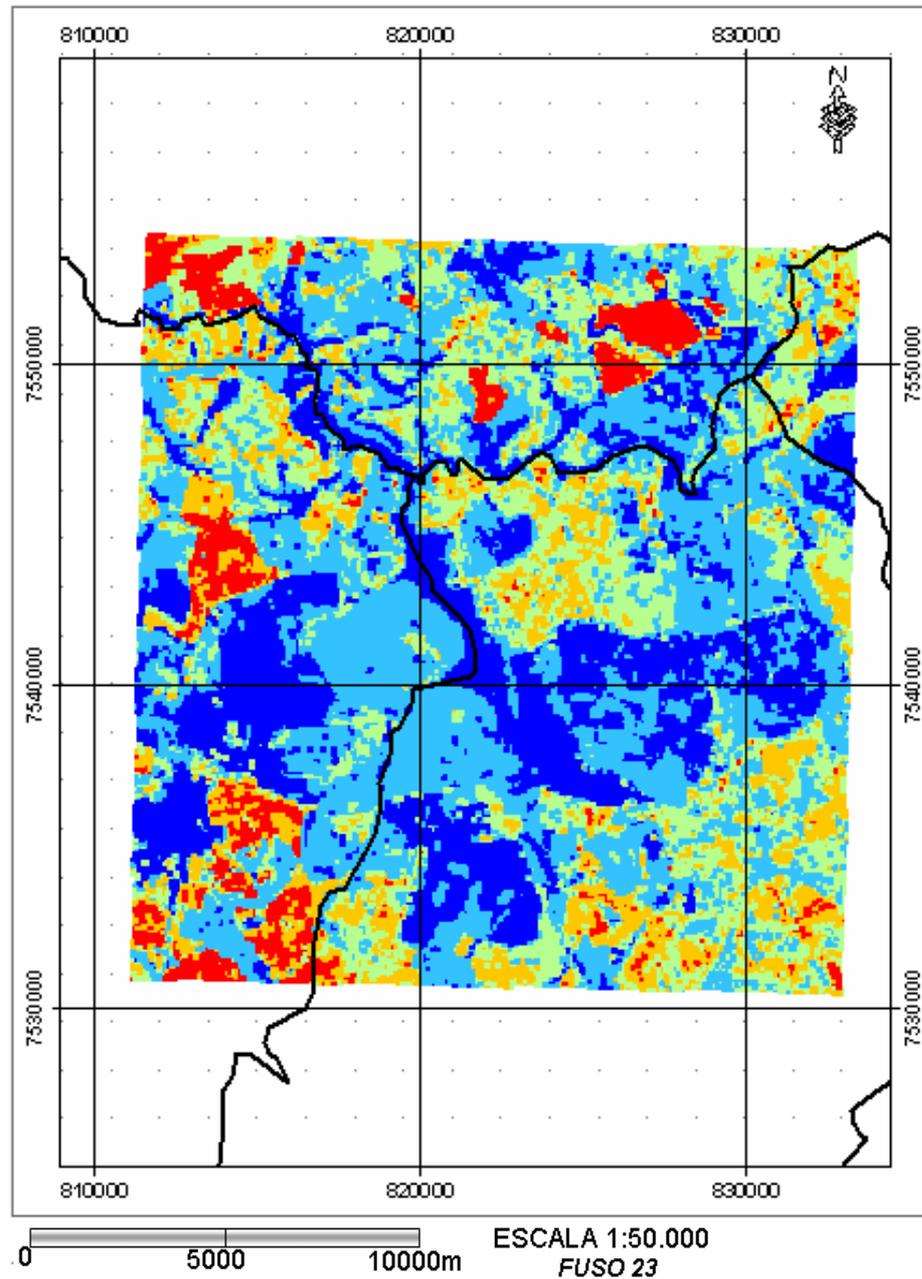
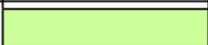


Figura 6.3.7.1 - Distribuição espacial do Índice de Susceptibilidade de Degradação Ambiental.

Tabela Figura 6.3.7.1 Resultados do Índice de Suscetibilidade de Degradação Ambiental.

CLASSE	SUSCEPTIBILIDADE	COR	ÁREA (Ha)	%
1	Muito Baixa		11.751	23,12%
2	Baixa		18.560	36,52%
3	Média		10.888	21,42%
4	Alta		6.634	13,05%
5	Muito Alta		2.992	5,89%
TOTAL			50.825	100,00%

Os resultados do ISDA identificaram áreas críticas de fragilidade ambiental. Essas áreas apresentam classe de suscetibilidade Alta e Muito Alta compreendendo 18,94% da região. Uma percentagem significativa (21,42%) apresenta uma suscetibilidade ambiental classificada como média no Geossistema em estudo. As classes de suscetibilidade Baixa e Muito Baixa abrangem 59,64% da área.

#### 6.4 – Cenários Futuros: Simulação

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 utilizados. Uma vez gerado um modelo, outras simulações podem ser realizadas em função da dinâmica espacial refletida na busca do equilíbrio dinâmico dos Geossistemas. Optou-se na simulação pela alteração de dois indicadores:

- Um decréscimo de 10% no valor da Precipitação
- Um decréscimo de 10% na Pressão exercida pela pecuária.

A Figura 6.4 ilustra o resultado que está detalhado nas tabelas 6.4.1 e 6.4.2.

## SIMULAÇÃO

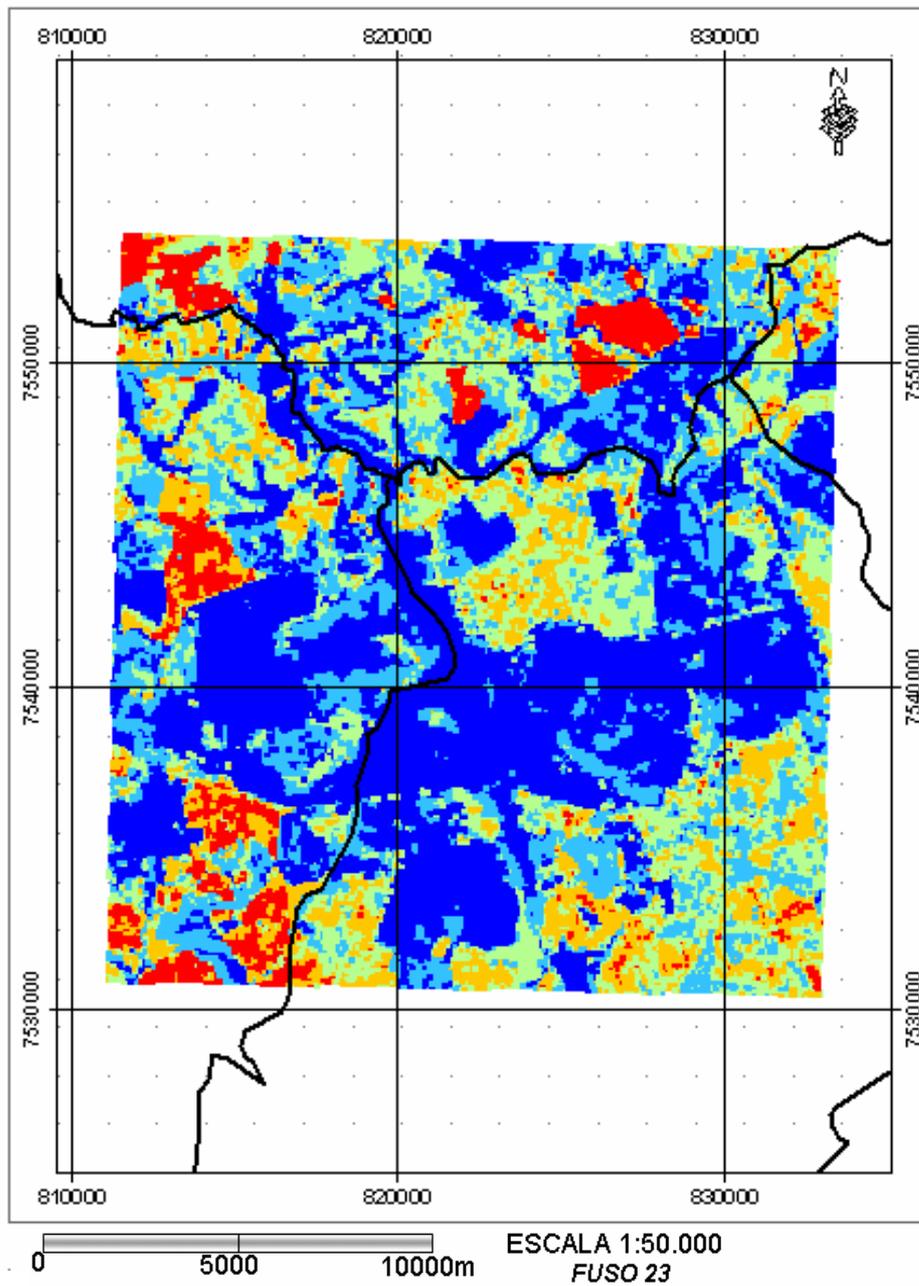


Figura 6.4.1 - Simulação do ISDA mediante um decréscimo de 10% no valor da Precipitação e um decréscimo de 10% na Pressão Exercida pela Pecuária.

Tabela 6.4.1 - Resultados da simulação do Índice de Suscetibilidade de Degradação Ambiental, com decréscimo de 10% na Precipitação e de 10% na Pressão Exercida pela Pecuária.

CLASSE	SUSCETIBILIDADE	COR	ÁREA (Há)	%
1	Muito Baixa		19.216	37,81%
2	Baixa		11.661	22,94%
3	Média		10.348	20,36%
4	Alta		6.646	13,08%
5	Muito Alta		2.954	5,81%
<b>TOTAL</b>			<b>50.825</b>	<b>100,00%</b>

Tabela 6.4.2 - Comparativo dos resultados obtidos pelo ISDA e pela simulação.

CLASSE	SUSCETIBILIDADE	ÁREA ISDA (Ha)	ÁREA SIMULAÇÃO (Ha)	DIFERENÇA %
1	Muito Baixa	11.751	19.216	63,53%
2	Baixa	18.560	11.661	-37,17%
3	Média	10.888	10.348	-4,96%
4	Alta	6.634	6.646	0,18%
5	Muito Alta	2.992	2.954	-1,27%
<b>TOTAL</b>		<b>50.825</b>		

Observa-se que nessas condições, boa parte das áreas com Baixa suscetibilidade ambiental (7.465 ha aproximadamente) se torna ainda menos frágil, migrando para a classe de suscetibilidade Muito Baixa. As alterações definidas na simulação geram assim uma melhoria significativa no mapa final, com um incremento nas classes “Muito Baixa” e “Baixa”. 37,17% das áreas anteriormente classificadas como de Baixa suscetibilidade foram agora classificadas como Muito Baixa, e 4,96% que eram de Média suscetibilidade migraram para a classe Baixa. As áreas críticas por outro lado que apresentam suscetibilidade variando de Média a Muito Alta praticamente se mantêm.

## 7 - CONCLUSÕES

A existência de processos de degradação ambiental pode ser atribuída como a resultante de dois elementos básicos: a existência de condições físicas frágeis no Geossistema (solo, vegetação e relevo); e a ruptura desse sistema, causada pelo mau uso da terra e pela demanda crescente, já que para atender as demandas industriais e para sua própria sobrevivência, o homem (Sistema Socioeconômico) passou a exercer uma pressão cada vez maior sobre os recursos naturais. A soma destas demandas, associada à falta de planejamento na expansão de áreas

agrícolas, aos excessos cometidos pela pecuária (intensiva e extensiva) e a algumas políticas agro-econômicas inadequadas acabou provocando (em alguns casos) ou intensificando (em outros) os processos de degradação ambiental observados no Geossistema em estudo.

A identificação das fisionomias de Cerrado na área foi contemplada com a amostragem de um número de pontos distintos e representativos da vegetação praticamente nativa. Na metodologia utilizada os pontos identificados foram relacionados com as características dos solos onde se encontram. No Geossistema em estudo, uma variação inferior a 10% na textura do solo faz com que o tipo de vegetação de Cerrado transite entre Cerradão, Cerrado e Campo-cerrado. O mesmo reflexo é percebido quando se associa a cobertura vegetal com a disponibilidade de nutrientes existente nos solos. Essa variação é ainda mais sensível já que a disponibilidade de cátions possui amplitude inferior a 3%, sendo maior na profundidade de 0-20cm. Pode-se afirmar que a variação da densidade e do porte da cobertura vegetal de Cerrado, que constitui proteção natural do Geossistema, está diretamente associada a tais elementos.

O Índice de Suscetibilidade de Degradação Ambiental possibilitou a quantificação dos aspectos fundamentais do Geossistema e do Sistema Socioeconômico relacionados aos processos de arenização. Como a degradação ambiental pode ser representada espacialmente e o SIG foi desenvolvido para manusear dados espaciais, a sua estimativa pôde ser obtida pela aplicação do índice proposto. Verificou-se que 59,64% da área apresentam suscetibilidade Baixa/Muito Baixa e 18,94% apresentam suscetibilidade Alta/Muito Alta. A estimativa dos recursos físicos de uma área é o primeiro passo lógico do manejo racional da terra e das atividades de planejamento e 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, a metodologia gerada neste trabalho disponibilizou as informações necessárias para uma primeira avaliação quantitativa dos processos de degradação ambiental instalados na área de estudo.

Os trabalhos de topossequência aprofundaram o entendimento das características da área de estudo uma que vez evidenciaram relações estabelecidas entre vegetação, solo e relevo. A disponibilidade de nutrientes e a textura dos solos estão diretamente relacionados com a posição na vertente. Pode-se afirmar que os atributos de maior significância na estrutura organizacional da paisagem do elemento solo são: a granulométrica (física), a fertilidade (química), a capacidade

de infiltração, a compactação e a temperatura. Os dados coletados nos três pontos representativos da Topossequência 2 comprovam que as áreas de solo exposto, comum no fundo dos vales, apresentam uma condutividade de calor superior em até 5°C nos primeiros 10cm de solo. Isso faz com que a capacidade de germinação das sementes das espécies nativas de Cerrado possa estar comprometida.

A abordagem sistêmica permitiu um melhor entendimento da complexidade espacial da área trabalhada, disponibilizando informações sobre os processos de degradação num banco de dados espaciais. Isso 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. Esse banco já é utilizado por um grupo de pesquisadores do Instituto de Geociências da Unicamp e estará sempre disponível para o avanço do conhecimento Geográfico.

A técnica e ciência presentearam o homem com a capacidade de acompanhar o movimento e os fenômenos naturais. Geógrafos valem-se desses instrumentos de acompanhamento e previsão para aperfeiçoar o conhecimento das leis da natureza física, antever o respectivo comportamento e, de posse dessas informações e alcançar uma implementação conseqüente das atividades econômicas e sociais.

## **8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

AB'SABER, A.N. - Regiões de circundesnudação pós-cretácea no Planalto Brasileiro. Boletim Paulista de Geografia 1 (1): 3-23 São Paulo, 1949.

ALMEIDA, C.L.F. - Levantamento Pedológico Semi-detalhado do Estado de São Paulo - Quadrícula de São Carlos. Instituto Agrônomo, Campinas, 1981.

ARROYO, M. - Extent of the desertification process and proposals for action-oriented measures to ameliorate its effects in seven regions. In: International Symposium and Workshop on Desertification in Developed Countries: Why can't we control it ? Proceedings. Tucson, Arizona, 1994.

BELNAP, J. - Soil surface disturbances: their role in accelerating desertification. In: International Symposium and Workshop on Desertification in Developed Countries: Why can't we control it ? Proceedings. Tucson, Arizona, 1994.

BERTALANFY, L.V - Teoria geral dos sistemas. Petrópolis: Vozes, 1973.

- BERTONI, J., e LOMBARDI NETO, F. - Conservação do solo. Ícone, São Paulo, 1993.
- CAMARGO, - Metodologia de análises granulométricas, EMBRAPA: 1986.
- CHRISTOFOLETTI, A. - A significância da Teoria de Sistemas em Geografia Física. Boletim de Geografia Teórica 16-17, Encontro de Geógrafos da América Latina. Rio Claro, 1986.
- CHRISTOFOLETTI, A. - Geomorfologia. São Paulo: Edgard Blucher, 2000.
- CHRISTOFOLETTI, A. - Modelagem de Sistemas Ambientais. São Paulo: Edgar Blucher, 1999.
- CRAWFORD, C.S. - Desert detritivores: a review of life history patterns and tropic roles. Journal of Arid Environments, 2:31-42. 1979.
- DREGNE, H.E. - Desertification in arid lands: advances in desert and arid land technology and developments. V4. Harwood Academic Publishers, New York, 1983. 242p
- DYLIK, J. Notion du versant em geomorphologie, Bull. De L'Acad. Polonaise des Sciences, 16 (2), pp 125-132, 1968.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos - Manual de métodos de análise de solo. 2.ed.rev.atual. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- EVANS, R. - Mechanics of water erosion and their spatial and temporal controls: an empirical viewpoint. In: Soil erosion. Editors: M.J. Kirkby e R.P.C. Morgan, 102-128, 1980.
- FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. A Framework for Land Evaluation. FAO Soils Bulletin 32, Rome: FAO, 1976.
- GARDUÑO, M.A. - Desertification in Mexico: problems and possible solutions. In: International Symposium and Workshop on Desertification in Developed Countries: Why can't we control it ? Proceedings. Tucson, Arizona, 1994.
- GREGORY, K. J. - A Natureza da Geografia Física. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1992.
- HAIGH, M. J. Geography and general systems theory, philosophical homologies and current practice. Geoforum, 16 (2): 191-203, 1985.
- HOGAN, D; et al. - Migração e Ambiente em São Paulo, Aspectos Relevantes da Dinâmica Recente. Campinas, UNICAMP, 2000.
- HUTCHKINSON, 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.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Divisão de Minas e Geologia Aplicada. - Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo. Monografias, São Paulo, IPT, 5 (1):1-126, 1981.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Divisão de Minas e Geologia Aplicada. - Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo. Monografias, São Paulo, IPT, 3 (1):1-126, 1997.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Divisão de Minas e Geologia Aplicada. - Mapa geológico do Estado de São Paulo. Monografias, São Paulo, IPT, 6(1):1-94, 1981.

KAZMIERCZAK, M.L. - Indicadores de degradação ambiental. Funceme, Série Técnica 4.Fortaleza, 1996A.

KAZMIERCZAK, M.L. - Indicadores de degradação ambiental. Funceme, Fortaleza, Série Técnica 4.1996B.

KERLEY, G.I.H.; KNIGHT, M.H.; DE COCK, M. - Desertification of subtropical thicket to shrubland in the Eastern Cape, South Africa: are there alternatives ? In: International Symposium and Workshop on Desertification in Developed Countries: Why can't we control it ? Proceedings. Tucson, Arizona, 1994.

MABUTT, J.A. - Desertification indicators. Climatic Change, 9: 113-122. 1986.

MESSINA, R.. Elaboração e implantação de um modelo de recomposição ciliar às margens da Represa do Lobo, Itirapina, SP. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos 1998

MONTEIRO, C.A .F. - Geossistemas: a história de uma procura. São Paulo: Contexto, 2000.

MORGAN, R. P. C., MARTIN, L., e NOBLE, C.A. - Soil erosion in the United Kingdom: a case study from Mid-Bedfordshire. Cranfield Institute of Technology, INGLATERRA 1986.

MORIN, E. - O Método 1: A natureza da Natureza. Porto Alegre: Sulina, 2002.

MOUAT, D.A. - Use of time-series AVHRR satellite greenness indices in the assessment of desertification. In: International Symposium and Workshop on Desertification in Developed Countries: Why can't we control it ? Proceedings. Tucson, Arizona, 1994.

MOUAT, D.A.; LANCASTER, J.; MINOR, T.B.; MUSSALEM, K.E.; WADE, T.G.; WICKHAM, J.D.; KEPNER, W.G. - Ecological risk assessment. The development of a Desertification Susceptibility Index: a hypothetical assessment. Reno, DRI, 1993.

NUNES, L.H. - A influência do clima na história. Revista Geopantanal n.5,p 15-23, 1999.

OLIVEIRA, J. B. - Classes Gerais de Solos do Brasil: guia auxiliar para seu reconhecimento, FUNEP 1992.

PEREZ FILHO, A. - Análise de Uma topossequência de solos no Vale do Moji-Guaçu in Revista Geociências V. 2, UNESP, Rio Claro, 1982.

PONÇANO, W. L e PRANDINI, F. L. - Boçorocas do Estado de São Paulo: uma revisão. In: Simpósio Nacional de Controle de Erosão, Marília, 1987.

PROSPEC, - Cobertura Aerofotográfica do Estado de São Paulo executada pela Prospec S.A. 1962

REICHARD, K. - Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera. Fundação Cargill, Campinas, 1985.

REYNOLDS, J.F.; LI, H.; CHEN, J.; KEMP, P.R.; SCHELSINGER, W.; VIRGINIA, R.A. - Local and regional models of desertification: potential management tools ? In: International Symposium and Workshop on Desertification in Developed Countries: Why can't we control it ? Proceedings. Tucson, Arizona, 1994.

RIBEIRO DE MELO, D. - Geossistemas: sistemas territoriais naturais. In: Anais do Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Curitiba, UFPR, 1997.

SANT'ANNA NETO, J. L. - As chuvas no Estado de São Paulo: contribuição ao estudo da variabilidade e tendência da pluviosidade na perspectiva da análise geográfica. São Paulo, 1995. 126p. Tese de Doutorado em Climatologia – FFLCH, Universidade de São Paulo.

SOTCHAVA, V. B. - Définition de Quelques Notions et Termes de Géographie Physique. Institute de Geographie de la Sibirie et Extrem Orient, 1962.

STOLY, G.; NORMAN, A.G.- Factors limiting microbial activities in soil. Archiv Mikrobiologie, 30:341-350. 1961.

TORBERT, H.A.; WOOD, C.W. - Effects of soil compaction and water-filled pore space on soil microbial activity and nitrogen losses, Communications in Soil Science Plant Analysis, 23:1321-1331. 1992.

VICENTE e PEREZ FILHO. - Abordagem Sistêmica na Geografia in Revista de Geografia. Rio Claro: UNESP, 2003.

WEBB, R.H. - Compaction of desert soils by off-road vehicles. In: WEBB, R.H.; WILSHIRE, H.G. Environmental effects of off-road vehicles: impacts and management in arid regions. Springer-Verlag, New York, 1983. pp. 51-80.

WEST, N.E.- Nutrient cycling in desert ecosystems. In: GOODALL, D.A.; PERRY, R.A. Arid land ecosystems: structure, functioning, and management. Cambridge University Press, Cambridge, 1981. pp. 301-324.

WILSHIRE, H.G. - The impact of vehicles on desert soil stabilizers. In: WEBB, R.H.;

WILSHIRE, H.G. Environmental effects of off-road vehicles: impacts and management in arid regions. Springer-Verlag, New York, 1983. pp. 31-50

WWF – PRO – CER. - De grão em grão, o Cerrado perde espaço, Cerrado – Impactos do processo de ocupação. WWF, Brasília, 1995.

ZONN, I. - Desertification in Russia: problems and solutions. In: International Symposium and Workshop on Desertification in Developed Countries: Why can't we control it ? Proceedings. Tucson, Arizona, 1994.

## **9 – BIBLIOGRAFIA**

AKHTAR, M.; MEUSCHING, H.G. - Desertification in the Butana. *Geojournal*, 31(1):41-50. 1993.

ARU, A.; BALDACCINI, P.; BARROCU, G. - Desertification in the Mediterranean: causes and remedies. In: International Symposium and Workshop on Desertification in Developed Countries: Why can't we control it ? Proceedings. Tucson, Arizona, 1994.

BOLLE, H. - Identification and observation of desertification processes with the aid of observations from space: results of EFEDA. In: International Symposium and Workshop on Desertification in Developed Countries: Why can't we control it ? Proceedings. Tucson, Arizona, 1994.

BOX, T.W. - The american rangelands: their condition and policy implications for management. In: *Rangeland Policies for the Future*. Superintendent of Documents, Washington, D.C. 1979.

CASSETI, V. Ambiente e apropriação do relevo. São Paulo: Contexto, 2 ed., 1995.

CASTRO, S. S. Micromorfologia de solos: pequeno quia para descrição de lâminas delgadas. Apostila. IPT/CAPES X COFECUB/DG-USP, 1989.

CHRISTOFOLETTI, A. e A. TAVARES, A.C. - Análise de vertentes: caracterização e correlação de atributos do sistema. *Notícia Geomorfológica*, 1977.

CLOUDSLEY-THOMPSON, J.L. - Desertification or sustainable yields from arid environments. *Environmental Conservation*, 15(3):197-204. 1988.

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

DALSTEAD, K.J. - The use of Landsat-based soil and vegetation survey and graphic information system to evaluate sites for monitoring desertification. *Desert Control Bulletin*, 16:20-26. 1988.

DODD, J.L.- Desertification and degradation of Africa's rangelands. *Rangelands*, 16(5):180-183. 1994b.

DODD, J.L. - Desertification and degradation in Sub-Saharan Africa: the role of livestock. *Bioscience*, 44(1):28-34. 1994a.

DREGNE, H.E. KASSAS, M.; ROZANOV, B. - A new assessment of the world status of desertification. *Desertification Control Bulletin*, 20:6-18. 1990.

FAO. - A framework for land evaluation. Roma: FAO (Soil,Bull,29) e Wageningen, ILRI, 1976.(Publ 22).

FAYOS, C.B.; SOTO, M.D.S.; CASES, A.C.; TIEMESSAN, I.R.; IMESON, A.C. - Properties and erosional response of soils in a degraded ecosystem in Crete (Greece). In: *International Symposium and Workshop on Desertification in Developed Countries: Why can't we control it ? Proceedings*. Tucson, Arizona, 1994.

GILLES, J.L.; JAMTGAARD, K. - Overgrazing in pastoral areas. *Sociologia Ruralis*, 21(2):129-141. 1981.

GOODLAND, R. - *Ecologia do Cerrado*. Belo Horizonte: EDUSP 1979.

GRAETZ, R.D. - Satellite remote sensing of Australian rangelands. *Remote Sensing of Environment*, 23(2):313-332. 1987.

GRUNBLATT, J. - Kenya pilot study to evaluate FAO/UNEP Provisional Methodology for Assessment and Mapping of desertification. *Desertification Control Bulletin*, 19: 19-25. 1994.

GUERRA, A J.T.; CUNHA, S.B. - *Geomorfologia e meio ambiente*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.

HANAN N.P.; PREVOST, Y.; DIOUF, A.; DIALLO, O. - Assessment of desertification around deep wells in the Sahel using satellite imagery. *Journal of Applied Ecology*, 28(1):173-186. 1991.  
JACOBS, L. Amazing graze: how the livestock industry is ruining the American West. *The Animal's Agenda*, 8(1):12-17. 1988.

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

KEPNER, W.G. - Environmental Monitoring and Assessment Program: an ecosystem approach to monitoring and assessing desertification in the United States. In: *International Symposium and Workshop on Desertification in Developed Countries: Why can't we control it ? Proceedings*. Tucson, Arizona, 1994.

KUST. G.S. - Desertification assessment and mapping in the Pre-Aral region. *Desertification Control Bulletin*, 21: 38-43. 1992.

LEONARD, S.G.; TAUSCH, R.J. EMAP-Rangelands vegetation indicators: opportunities to monitor desertification processes at regional scales. In: *International Symposium and Workshop on Desertification in Developed Countries: Why can't we control it ? Proceedings*. Tucson, Arizona, 1994.

MELIÁ, J.; GILABERT, M.A.; GARCÍA-HARO, J. - Modelling soil spectral contribution to NDVI measurements in a semiarid landscape. In: International Symposium and Workshop on Desertification in Developed Countries: Why can't we control it ? Proceedings. Tucson, Arizona, 1994.

MONIZ, A. C. - Elementos de Pedologia, São Paulo: USP 1972

OLADIPO, E.O. - A comprehensive approach to drought and desertification in Northern Nigeria. *Natural Hazards*, 8:235-261. 1993.

PENDLETON, D.T. - Non-federal rangeland in the U.S.: a decade of change 1967-1977. In: Proceedings of the First International Rangeland Congress. Society for Range management, Denver. 1978.

PENTEADO, M.M. - Fundamentos de geomorfologia. Rio de Janeiro: IBGE, 3ed., 1981.

PERKINS, J.S.; THOMAS, D.S.G. - Spreading deserts or spatially confined environmental impacts ? Land degradation and cattle ranching in the Kalahari Desert of Botswana. *Land Degradation and Rehabilitation*, 4(3):179-194. 1993.

PETERS, A. - Satellite derivation of plant community growth patterns in the Chihuahuan Desert of Southern New Mexico, USA. In: International Symposium and Workshop on Desertification in Developed Countries: Why can't we control it ? Proceedings. Tucson, Arizona, 1994.

RAPP, A. - A review of desertification in Africa: water, vegetation and man. Secretariat for International Ecology, Stockholm. 77p. 1974.

REINING, P. - Handbook of desertification indicators. Washington, D.C., American Association for the Advancement of Science, 1978. 141 p.

RODRIGUES, V. - Desertificação: as relações entre suas causas e as atividades humanas. *Interciência*, 12(2). 1987.

RODRIGUEZ, A.R.; SOTO, M.C.G.; HERNANDEZ, C.C.H.; MENDOZA, C.C.J.; GONZALEZ, M.J.O.; PADRON, P.A.P.; CABRERA, J.M.T.; CHAVEZ, G.E.V. - Assessment of soil degradation in the Canary islands (Spain). *Land Degradation and Rehabilitation*, 4(1):11-20. 1993

ROSS, J.L.S. - Geomorfologia - ambiente e planejamento. São Paulo: Contexto, 4 ed., 1997.

RUBIO, J.L. - Difficulties of interventions to combat desertification. In: International Symposium and Workshop on Desertification in Developed Countries: Why can't we control it ? Proceedings. Tucson, Arizona, 1994.

SANTOS, M. - A Natureza do Espaço, técnica e tempo razão e emoção. São Paulo: Edusp 2002.

SEABRA, F. B. e PERES FILHO. - Caracterização Geomorfológica e Avaliação da fragilidade do meio em área do município de Itirapina – S.P. Resumos IX Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Recife, 2001.

SHEEHY., D.P. - A perspective on desertification of grazingland ecosystems in North China. *Ambio*, 21(4):303-307. 1992.

SKUJINS, J. Microbial ecology of desert soils. - *Advances in Microbial ecology*, 7:49-91. 1984.

SUERTEGARAY, D.M.A.- Desertificação – recuperação e desenvolvimento sustentável. In: *Geomorfologia e Meio Ambiente*. Orgs. A.J.T. GUERRA E S.B. CUNHA. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.

TRICART, J.J.L. - *Ecodinâmica*. Rio de Janeiro: IBGE, 1977.

TROPPMAIR, H. - *Biogeografia e Meio Ambiente* - Rio Claro: EMPRAPA, 1989.

TROPPMAIR, H.- *Geossistemas e geossistemas paulistas*. Rio Claro: Universidade Estadual Paulista, 2000.