

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA**

**MAPEAMENTO DA FRAGILIDADE AMBIENTAL NA BACIA  
DO RIBEIRÃO DO MONJOLINHO – SÃO CARLOS – SP -  
UTILIZANDO FERRAMENTAS DE GEOPROCESSAMENTO**

**ABIMAEEL CEREDA JUNIOR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana.

Orientação: Prof. Dr. Sergio Antonio Röhm

São Carlos

2006

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da  
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

C413mf

Cereda Junior, Abimael.

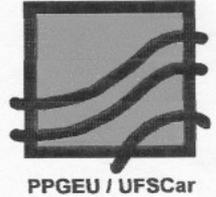
Mapeamento da fragilidade ambiental na Bacia do  
Ribeirão do Monjolinho – São Carlos – SP – utilizando  
ferramentas de geoprocessamento / Abimael Cereda Junior.  
-- São Carlos : UFSCar, 2007.

111 p.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São  
Carlos, 2006.

1. Planejamento físico-ambiental. 2. Geoprocessamento.  
3. Fragilidade ambiental. 4. Monjolinho, Rio, Bacia (SP). 5.  
Mapeamento do meio ambiente. 6. São Carlos (SP). I.  
Título.

CDD: 711.42 (20<sup>a</sup>)



## FOLHA DE APROVAÇÃO

ABIMAEEL CEREDA JUNIOR

Dissertação defendida e aprovada em 31/10/2006  
pela Comissão Julgadora

---

Prof. Dr. Sergio Antonio Röhm  
Orientador (DECiv/UFSCar)

---

Prof. Dr. José Augusto de Lollo  
(DEC/UNESP - Ilha Solteira)

---

Prof. Dr. Adail Ricardo Leister Gonçalves  
(DECiv/UFSCar)

---

Prof. Dr. Bernardo Arantes do Nascimento Teixeira  
Presidente da CPG-EU

À minha mãe, pois ela não só me deu a vida,  
passou noites mal-dormidas, consolou choros,  
enfrentou junto as dificuldades,  
mas acima de tudo, me ensinou a ser aquilo que sou hoje.

## Agradecimentos

A Deus por todas as bênçãos derramadas na minha vida, principalmente nesta fase de tantas incertezas e dificuldades;

Às três mulheres da minha vida, preciosidades sem medida: minha mãe Mirian, minha irmã Suellen e minha futura esposa Vanessa;

Ao meu pai, que mesmo de longe torceu por este momento;

Ao Professor Sergio Röhm, que mais que professor e orientador, é muito mais que um amigo;

Ao Professor José Augusto de Lollo, geógrafo na alma, geólogo por opção;

Ao pessoal da turma da pós-graduação, em especial ao Luciano dos Santos e ao André Canoas;

À Sônia Guimarães, secretária do PPG-EU, que quebra árvores e não galhos;

À AGX Tecnologia, pelo apoio ao meu mestrado; ao Prof. Dr. Lúcio Jorge, ao André, Baby, P3, BTG, Hiro, Soulboy, Murilo, Kawa, Porps;

Ao irmão Fernando Atique, que colaborou na minha formação como pesquisador, e, principalmente, na formação do meu caráter;

Aos amigos, mais que chegados que um irmão, Johnny, Carol e Léo;

Ao pessoal da cmyk antimanager, em especial ao Nilton, pelos trabalhos técnicos de impressão.

E a todos que colaboraram direta ou indiretamente para o meu crescimento como pessoa e como pesquisador. Me desculpe se esqueci de alguém, mas nunca achei que ia ser tão difícil fazer a folha de agradecimentos. Caso tenha te omitido, me perdoe. Você não é menos importante.

## Sumário

1.	INTRODUÇÃO .....	9
1.1.	Objetivos da Pesquisa .....	11
2.	ARCABOUÇO TEÓRICO-METODOLÓGICO .....	12
2.1.	Meio Ambiente e Análise Ambiental .....	13
2.2.	Paisagem .....	16
2.3.	Fragilidade Ambiental e Ecodinâmica .....	25
2.4.	Unidades de Instabilidade Emergente e Potencial .....	34
2.5.	Sistemas de Informações Geográficas .....	40
2.5.1.	SPRING .....	48
2.6.	Interpolação de Dados .....	53
3.	TRATAMENTO METODOLÓGICO .....	56
3.1.1.	Nível Compilatório .....	57
3.1.2.	Nível Correlativo .....	58
3.1.3.	Nível Semântico .....	58
3.1.4.	Nível Normativo .....	59
3.1.5.	Síntese dos Níveis Compilatórios .....	60
4.	OBJETO DE ESTUDO, MATERIAIS E MÉTODOS .....	62
4.1.1.	Objeto de Estudo .....	62
4.1.2.	Materiais .....	67
4.1.3.	Métodos .....	67
5.	PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS .....	68
5.1.1.	Mapas Base .....	70
5.1.2.	Conjuntos Arábicos .....	84
5.1.3.	Tabela Bidimensional .....	90
6.	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....	95
7.	CONCLUSÃO .....	99
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	103
9.	ANEXOS .....	111

## Lista de Figuras

Figura 1 - Paradigma dos Quatro Universos.....	44
Figura 2 - Representação da Realidade em <i>Layers</i> .....	46
Figura 3 - Os Quatro Níveis Compilatórios da Presente Pesquisa.....	61
Figura 4 - Localização do Município de São Carlos no Estado de São Paulo.....	62
Figura 5 - Área da Pesquisa.....	66
Figura 6 - Mapa de Declividades.....	72
Figura 7 - Mapa Pedológico.....	75
Figura 8 - Mapa de Uso e Ocupação.....	78
Figura 9 - Mapa Pluviométrico.....	83
Figura 10 – Carta de Fragilidade Ambiental – Associação de Dígitos Arábicos... ..	87
Figura 11 – Carta de Fragilidade Ambiental – Associação de Dígitos Arábico ....	89
Figura 12 – Carta de Fragilidade Potencial – Tabela Bidimensional.....	92
Figura 13 – Carta de Fragilidade Ambiental – Tabela Bidimensional.....	94

## Lista de Tabelas

Tabela 1 - Características das Unidades Ecodinâmicas.....	33
Tabela 2 - Categorias Hierárquicas de Classes de Declividade.....	35
Tabela 3 - Classes de fragilidade de solo.....	35
Tabela 4 - Graus de Proteção a partir do tipo de cobertura vegetal.....	37
Tabela 5 - Níveis Hierárquicos dos comportamentos pluviométricos.....	37
Tabela 6 - Procedimentos em planejamento ambiental que podem se utilizar de SIG.....	42
Tabela 7 - Média dos Totais Mensais e Anuais de Precipitação das Estações Pluviométricas da Área de Estudo (2000-2002).....	81
Tabela 8 - Tabela com Área das Classes de Fragilidade Ambiental – em km <sup>2</sup> ....	88
Tabela 9 - Tabela de Dupla Entrada para Combinação Declividade-Solo.....	90
Tabela 10 - Tabela de Dupla Entrada para Combinação Fragilidade Potencial- Graus de Proteção.....	93
Tabela 11 - Tabela com Área das Classes de Fragilidade – em km <sup>2</sup> .....	95

## Resumo

No processo de planejamento urbano e regional a dimensão ambiental não é considerada em muitos casos. Tal fato tem ocasionado diversos problemas, uma vez que deve ser buscada a compreensão do processo global, bem como das interconexões entre os elementos e o caráter dinâmico da paisagem. Neste contexto, a paisagem deve ser entendida não através de sua compartimentação, mas sim pela relação dialética existente entre seus elementos, com a investigação destes em conjunto. Este trabalho elaborou, bem como discutiu metodologicamente, as Cartas de Fragilidade Potencial e Ambiental da Bacia do Ribeirão do Monjolinho, em São Carlos – SP, baseado na metodologia sistêmica cartográfica, metodologia esta fundamentada na ecodinâmica, com bases na Teoria Geral dos Sistemas, um dos instrumentos lógicos para estudar os problemas do meio ambiente de forma integrada. Utilizando um Sistema de Informações Geográficas foi possível realizar a modelagem e quantificação dos elementos da paisagem outrora somente descritos ou analisados de forma qualitativa. O mapeamento ecodinâmico possui fundamental valor no entendimento do complexo jogo de forças naturais e antrópicas, auxiliando e subsidiando cartográfica e metodologicamente os planejadores. Os resultados obtidos para o objeto de estudo demonstram a importância desta metodologia para os gestores, uma vez que está pautada não só em considerações inventariais, mas também em procedimentos teórico-metodológicos embasados em escolas filosóficas.

## Abstract

The environment dimension was not considered in the most process of urban and regional planning. The global process understanding and the interconnections between elements and dynamic character of the landscape have to be reached, going beyond this model. The landscape should be understood not across its issues, but by its comprehension of dialectic relation existent between the elements themselves. So, the Maps of Potential Fragility and Environment of Ribeirão Monjolinho Basin, situated in São Carlos – SP – Brasil, were made and methodological discussed, based in cartographic systemic methodology. This methodology is structured on ecodynamic, based on General Theory of Systems, the most logical instruments used to study the environmental problems itself. Using a Geographic Information System associated to a methodology, was possible to realize the landscape elements evaluation and modeling, in other times only described and analyzed in a qualitative way. The theoretical bases of ecodynamic mapping have fundamental value in the understading of the complex game of natural and antropic forces, helping and incrementing the planner's work in the cartographic and methodological way. This study demonstrated the importance of this methodology to the planners, since it is base don inventory detailed-specific data, but also fundamentally based on methodological theory sanctioned philosophical schools.

# 1. INTRODUÇÃO

Na organização da sociedade, diversas medidas têm sido tomadas para o *suposto* controle e exploração da Natureza, a fim de edificar não só sua habitação, mas toda a infra-estrutura para satisfazer as necessidades existentes e aquelas criadas pelo sistema econômico vigente.

A discussão sobre o meio-ambiente, principalmente o urbano, tem como foco central, em muitos casos, obras de engenharia de contenção ou mesmo modificações físico-territoriais muito bem fundamentadas cientificamente que, entretanto, não contemplam a intrínseca relação entre os componentes do meio.

Contudo, o meio ambiente não deve ser entendido como componentes estanques que podem ser integrados pela simples soma das variáveis. A visão de inventário deve ser superada, uma vez que a caracterização e levantamento de dados imutáveis não condizem com a realidade dinâmica e integrada que se materializa no espaço.

A cidade, meio ambiente construído e idealizado para suprir diversas necessidades sociais, possui particularidades que o diferenciam do meio natural original. Todavia, os mesmos processos reconhecidos pelas ciências da natureza ocorrem nos assentamentos urbanos, de forma muito mais acelerada e crítica.

É neste cenário que uma nova visão deve ser adotada, no qual a dimensão ambiental é compreendida pela inter-relação e interdependência entre os elementos e processos do ambiente, de modo que mudanças em um deles resultarão em alterações em outros componentes.

Assim, em estudos que a variável ambiental e a sua espacialidade são de fundamental importância, não há análise em que a variável antrópica não influencie de forma intensa.

Esta pesquisa procurou entender o ambiente natural de forma integrada, buscando métodos de análise científicos que considerassem, além das variáveis ditas naturais, a ação do homem e suas necessidades de modificação do ambiente.

Este é o enfoque em que se baseia a presente pesquisa, tendo por objeto de estudo o Município de São Carlos, possuindo a área 180 km<sup>2</sup>, onde se localiza a malha urbana e de expansão de São Carlos – SP, inserida na Bacia do Ribeirão do Monjolinho, conforme Liporaci (2003).

Um dos métodos para a compreensão deste ambiente é através da Teoria Geral dos Sistemas, a qual procura entender de forma integrada as variáveis antes somente descritas ou analisadas qualitativamente, propondo assim métodos e teorias para o estudo quantitativo, através da modelagem e quantificação dos elementos da paisagem.

Spörl (2001) afirma que, através do mapeamento das fragilidades ambientais, é possível identificar e analisar os ambientes em função de seus diferentes níveis de fragilidade, mapeando seus graus, e permitindo ações tecnicamente mais adequadas a essas condições.

O mapeamento temático urbano-ambiental, pautado na Cartografia de Síntese, será utilizado como ferramental de integração. As diversas cartas sobrepostas através de procedimentos lógicos e computacionais auxiliarão na tomada de decisão dos gestores.

Desta forma, a revisão conceitual-metodológica é apresentada no capítulo 2, trazendo conceitos, resgatando as bases necessárias à pesquisa e o estado da arte na área.

No capítulo 3 é discutido o tratamento metodológico dado ao trabalho, e suas fases.

Os materiais e métodos são apresentados e discutidos no capítulo 4. No capítulo 5 os procedimentos experimentais são descritos.

No capítulo 6 são apresentados os resultados obtidos, bem como a discussão.

O capítulo 7 conclui o trabalho e propõe futuros temas a serem desenvolvidos.

As referências bibliográficas são apresentadas no capítulo 8, e o capítulo 9 apresenta os mapas em formato A3, estes já detalhados no decorrer do texto, mas em tamanho maior para melhor entendimento.

## **1.1. OBJETIVOS DA PESQUISA**

Este trabalho objetiva a elaboração em ambiente computacional, utilizando ferramentas de Geoprocessamento, das Cartas de Fragilidade Potencial e Ambiental da Bacia do Ribeirão do Monjolinho, em São Carlos – SP, baseado na metodologia sistêmica cartográfica, que se fundamenta na ecodinâmica, segundo os preceitos originais de Bertrand e Tricart, posteriormente discutida por Ross.

## **2. ARCABOUÇO TEÓRICO-METODOLÓGICO**

Pela análise histórica e comparativa entre as formas de ocupação humana, pode-se inferir que, através dos tempos, os recursos naturais foram considerados fonte inesgotável e o ambiente físico passível de intervenções de qualquer tipo.

Esta abordagem tem sido pautada em formas de planejamento que não consideram a dimensão ambiental, sob a égide do pensamento que não há esgotamento de tais recursos.

Para o planejamento, exploração econômica ou mesmo entendimento com fins de preservação, diversas áreas do conhecimento se apropriaram do meio ambiente como objeto de estudo, estando tais interesses intrinsecamente ligados, com uma linha tênue de separação.

Entretanto, a apropriação, pelos planejadores e gestores, destes métodos, metodologias e técnicas fomentados pela Academia, nem sempre é feita de forma a considerar as complexas relações entre os componentes da natureza, e quando o é, baseia-se no paradigma do inventário ambiental. Esta visão deve ser superada, uma vez que a caracterização e levantamento de dados imutáveis não condizem com a realidade dinâmica e integrada que se materializa no espaço.

É consenso entre diversos autores e linhas de pesquisa que não se deve fazer dos estudos ambientais, sejam eles acadêmicos ou não, uma simples compilação enciclopédica, mas ter estas condições de capacitar, através de conhecimentos adquiridos e dominados, os responsáveis pela elaboração de planos ou resoluções no ambiente, já que estes estudos promovem a identificação das potencialidades de uso ou não do solo, vulnerabilidades, ocupação e possível desempenho futuro.

Para Ribas (2002), o controle sobre os problemas de degradação decorrentes da urbanização só se dará por meio do conhecimento dos processos e ciclos naturais específicos de cada local, sendo a incorporação dos aspectos ambientais às práticas do planejamento e gestão ambiental do território necessária para consubstanciar uma configuração de usos e funções mais apropriados a uma região.

Hough (1998) afirma que os “processos ecológicos deveriam ser uma base indispensável para planejamento e design”, através da análise ambiental, por exemplo. Desta forma, o entendimento do território deve se dar pelo resultado da compreensão da relação dialética existente entre seus elementos, com a investigação destes em conjunto, não pela justaposição estática de variáveis ambientais.

Neste contexto, é importante conceituar de maneira específica, para o presente trabalho, o meio ambiente e a análise ambiental.

## **2.1. MEIO AMBIENTE E ANÁLISE AMBIENTAL**

Grinover (1989) entende o meio ambiente como um jogo de interações complexas entre o meio suporte (elementos abióticos), os elementos vivos (elementos bióticos) e as práticas sociais produtivas do homem.

Segundo Tuan (1980) o “estilo de vida de um povo é a soma de suas atividades econômicas, sociais e ultraterrenas, tendo tais atividades um reflexo nos padrões espaciais, nas ocupações humanas, no meio ambiente”.

Para Sachs (1986), o meio ambiente vivido e transformado pela sociedade abarca o natural, as tecno-estruturas criadas pelo homem (ambiente artificial) e o ambiente social (ou cultural).

Mesmo sendo a ruptura do equilíbrio do ecossistema inevitável, Garcias (1997) considera que a ocupação do espaço para a edificação concentrada do *habitat* humano resulta na alteração do meio ambiente natural, ponderando que concomitantemente a ela ocorre também a busca pelo equilíbrio natural, seja ele com a ocupação urbana ou através de processos naturais, com a renovação contínua do meio ambiente se concretizando espacialmente no Geossistema.

Por Geossistema entende-se a “organização espacial oriunda dos processos do meio ambiente físico e biótico”, conforme Christofolletti (1990) e de forma mais abrangente, na definição de Monteiro (1978), como

*um sistema singular, complexo, onde interagem elementos humanos, físicos, químicos e biológicos e onde os elementos sócio-econômicos não constituem um sistema antagônico e opoente, mas sim estão incluídos no funcionamento do próprio sistema.*

Portanto, meio ambiente é a soma e as relações entre os domínios ecológico, social, econômico e político, incluindo todas as interações entre os elementos naturais e a sociedade humana.

Assim, a busca por uma abordagem integrada é essencial para o entendimento da dinâmica espacial, sendo destacado pela Agenda 21.

A Agenda 21 (UNCED, 1997) - plano de ação para ser adotado global, nacional e localmente, por organizações do sistema das Nações Unidas,

governos e pela sociedade civil, em todas as áreas em que a ação humana impacta o meio ambiente - com suas bases conceituais pautadas na sinergia da sustentabilidade ambiental, social e econômica, afirma que:

*A crescente pressão sobre os recursos naturais vem criando competição e conflitos e resultando no uso sub-otimizado tanto da terra quanto de seus recursos. Planejamento físico integrado, planejamento de uso integrado e gerenciamento ambiental são os caminhos práticos para se chegar à solução para tais conflitos e para se mover em direção a um uso mais eficiente e efetivo da terra e de seus recursos naturais. Está reconhecido que esta integração deve se dar em dois níveis, considerando-se de um lado todos os fatores sociais e econômicos e de outro todos os componentes e fontes ambientais, tais como: ar, água, biota, geologia, recursos da terra etc.*

Como salientam Silva & Souza (1988), o conceito de análise ambiental equivale a desmembrar o ambiente – termo integrador, uma visão sintética da realidade em que o pesquisador se encontra inserido – em suas partes componentes e entender as componentes internas e externas deste, não se esquecendo, entretanto, que estas estão em intensa relação, em um geossistema.

A análise ambiental torna-se, assim, indispensável à necessidade cada vez maior de se conhecer o ambiente em que se vive e, assim, ser possível propor planejamento e manejo do uso do solo, principalmente em ambiente urbano. Grostein & Jacobi (1998) salientam que “no contexto urbano brasileiro, os

*problemas ambientais têm-se avolumado a passos agigantados e sua lenta resolução tem-se tornado de conhecimento público pela virulência dos impactos”.*

A abordagem integradora de diversas áreas do conhecimento, ou *holística*, permite o entendimento do processo global, as conexões entre os elementos e o caráter dinâmico da paisagem.

A paisagem natural deve ser entendida não através de sua compartimentação, mas sim pelo resultado da compreensão da relação dialética<sup>1</sup> existente entre seus elementos, com a investigação destes em conjunto.

Desta forma, a conceituação e entendimento da paisagem são imprescindíveis para a completa compreensão do ambiente, não só se pautando em resultados técnico-operacionais.

## **2.2. PAISAGEM**

Houaiss & Villar (2000) define paisagem como

*extensão de território que o olhar alcança num lance; como um conjunto de componentes naturais ou não de um espaço externo que pode ser apreendido pelo olhar; como espaço geográfico de um determinado tipo.*

Os dicionários que melhor definem o termo *paisagem* são os que utilizam formulações do século XVII, segundo Bolós y Capdevilla (1992), como no dicionário Webster, em que a paisagem é definida de forma mais ampla, contemplando

---

<sup>1</sup> A dialética é um instrumento de análise, que se desenvolve a partir do estabelecimento de um paradoxo, qualidade esta dos sistemas de interação complexos, como a paisagem.

- a esfera pictórica "a imagem que representa a vista de um setor natural";
- a esfera física, "superfície terrestre, relevo de uma região em seu conjunto produzido ou modificado por forças geológicas";
- e a esfera que se pode chamar de integrada "território ou parte da superfície terrestre que a vista pode observar simultaneamente, incluindo todos os objetos discernidos".

Nestes conceitos, percebe-se a forte influência do sentido visual, para caracterização do termo, ligado ao que poderíamos chamar de *fenótipo* do espaço. A consulta de diversos dicionários mostra que a paisagem é principalmente entendida como "o que se vê num lance de vista".

Entretanto, para a ciência, especialmente a geográfica, a *paisagem* se coloca como um desafio não só conceitual, mas também metodológico. Bertrand (1971) afirma que

*estudar uma paisagem é antes de tudo apresentar um problema de método.*

A questão reside principalmente nas críticas de diversos cientistas à subjetividade envolvida no conceito, subjetividade esta que vai além da formação científica e cultural do pesquisador, envolvendo suas relações sociais e filiação filosófica.

Alexander von Humboldt, cientista alemão que viveu entre 1769 e 1859, já considerado o último acadêmico completo das ciências naturais, apresentou idéias para a formação de um corpo científico sobre a paisagem, presentes em sua obra fundamental "Cosmos".

Bolós y Capdevila (1992) afirmam que

*para Humboldt, a natureza (incluindo o homem) vive graças a uma mudança contínua de formas e movimentos internos. Humboldt adota uma concepção de natureza perfeitamente adaptada à concepção de paisagem integrada.*

O cerne da concepção de Humboldt sobre a paisagem está em definir a importância das relações existentes entre os elementos, considerando este conjunto funcional como um organismo vivo (DIAS, 1998).

Sobre Humboldt, Schier (2003) ainda afirma que ele possuía visão holística da paisagem, de forma que associava elementos diversos da natureza e da ação humana, sistematizando, assim, a ciência geográfica.

Entretanto, cabe destacar que o termo holístico só vai surgir mais tarde, em 1926, com o sul-africano Jan Christiaan Smuts, com o conceito em que o universo, bem como suas partes, origina unidades que formam um todo de complicação crescente (DIAS, 1998).

Bolós y Capdevila (1992) assim descrevem, segundo os preceitos de Jan Christiaan Smuts, o holístico:

*Estas unidades globais – compostas da matéria inerte, matéria viva e ‘matéria pensante’ (homem) –, não se reduzem nunca à soma de seus elementos constituintes, uma vez que cada elemento aparece disposto, interconectado, estruturado de uma determinada maneira.*

Schier (2003) faz um resgate sucinto e completo do conceito de paisagem através das Escolas Geográficas. A Geografia Alemã, representada por Otto Schlüter, Siegfried Passarge e Karl Hettner, utiliza o conceito da paisagem como categoria científica e a compreendeu até os idos de 1940 como um conjunto de fatores naturais e humanos.

Dias (1998) ressalta que a utilização do termo *landschaft*, base da Geografia Germânica, foi o primeiro tratamento científico do conceito de paisagem. A *landschaft* foi posteriormente ampliada em seu corpo teórico pela *landschaftskunde* (segunda metade do século XIX), que buscou a integração ainda que com forte carga determinística nas relações entre o homem e o meio.

Já os catedráticos da Escola Francesa, influenciados por Paul Vidal de la Blache e Jean Rochefort, caracterizaram a *paysage* (ou o *pays*) como o relacionamento do homem com o seu espaço físico.

Mendonça e Venturi (1998) entendem que o termo francês *pays* representa uma derivação direta de *pagus* e, possivelmente, foi nessa língua que a expressão paisagem [*paysage*] primeiramente surgiu entre as línguas ocidentais, por volta do século XV, ainda que este termo pudesse estar também relacionado às expressões artísticas, como parte do sistema simbólico que permeia a relação do homem com a realidade.

De acordo com Bertrand (1971), a centralização da Geografia Francesa na noção de *região natural* não permitiu avanços significativos, uma vez que tal conceito foge à compreensão racional tanto pela definição quanto pelo seu conteúdo.

Em meados da década de 40, nos Estados Unidos, a Revolução Quantitativa substituiu o termo *landscape*, que estava, até então, em uso nesse

país, sob influência da geografia alemã, pelo conceito de *região* (Richard Hartshorne, 1899-1992), sendo esta um conjunto de variáveis abstratas deduzidas da realidade da paisagem e da ação humana.

Paralelamente, surgiu na Alemanha e no Leste Europeu uma idéia mais holística e sinérgica da *landschaft*, denominada *landschaftskomplex*, que definiu as unidades da paisagem pelo conjunto dos seus processos ecológicos.

Esta idéia se encontra, entre outros, também na *landschaftsökologie* proposta por Carl Troll, em 1939, a chamada *ecologia da paisagem* ou mesmo *geoecologia*, proposta esta que tem origem em sua experiência em fotointerpretação.

Neste conceito, "as paisagens são divididas em *ecótopos* (ou *landschaftzellen*) que são unidades inteiramente comparáveis ao ecossistema" (BERTRAND, 1971).

Embora Bertrand (1971) considere o método desenvolvido por Troll um grande avanço sobre os estudos fragmentados dos geógrafos e biogeógrafos, por reagrupar os elementos da paisagem e reservar um lugar para o fenômeno antrópico, afirma que se "trata de um método mais ecológico que geográfico", já que o autor não discute a questão da representação cartográfica de suas análises.

Dias (1998), em seu resgate histórico, afirma que, entre 1950 e a década de 70, os estudos de paisagem passaram por uma estagnação, praticamente esquecida como objeto de estudo da ciência geográfica, retornando à Geografia (especialmente a Física), a partir da concepção de Geossistema.

A Teoria Geral dos Sistemas, proposta pelo biólogo Ludwig von Bertalanffy em 1901, com bases na Segunda Lei da Termodinâmica<sup>2</sup>, visava tanto a investigação científica dos sistemas em várias ciências quanto sua aplicação tecnológica e, ainda, a própria filosofia dos sistemas, no sentido de promover a discussão desse novo paradigma científico (RODRIGUES, 2001).

Rodrigues (2001) afirma que, até meados do século XX, essa teoria permaneceu pouco difundida, mas uma série de apropriações em diversos ramos científicos ocorreu a partir de então.

Segundo Gregory (1992) a Teoria Geral dos Sistemas propõe que os sistemas podem ser definidos como conjuntos de elementos com variáveis e características diversas, que mantêm relações entre si e o meio ambiente. A análise poderá estar voltada para a estrutura desse sistema, para seu comportamento, para as trocas de energia, limites, ambientes ou parâmetros.

A Geografia absorveu tal teoria principalmente na área de Geografia Física, já que a abordagem positivista afastava qualquer possibilidade de utilização na Geografia Humana, segundo críticos dela.

Sotchava, Geógrafo soviético, foi responsável por conceituar os modelos e os sistemas, dentro da ciência da paisagem e, em 1963, diante da noção de *ecossistema* apresentada por Tansley em 1934, adaptou o termo a um conceito geográfico, inserindo nele a categoria espacial e definiu o conceito de *geossistema*. (DIAS, 1998)

Bolós y Capdevila (1992) esclarecem que, para Sothava, o Geossistema é um fenômeno natural que inclui todos os elementos da paisagem como um modelo global, territorial e dinâmico, aplicável a qualquer paisagem concreta, e

---

<sup>2</sup> Enunciado de Clausius: “É impossível realizar um processo cujo único efeito seja a transferência de energia na forma de calor de uma fonte para outra a temperatura maior”

que todo sistema natural é classificado como aberto, uma vez que nele entra e sai determinada quantidade de matéria e energia, fazendo dele um sistema dinâmico.

Sotchava (1977) afirma que o conceito de Geossistema vem conferir

*precisão aos limites entre a Geografia Física e as outras disciplinas geográficas, definindo, ao mesmo tempo, a essência do seu campo de investigações e o seu lugar no conjunto da Geografia.*

Sotchava (1977) propõe a classificação de Geossistemas de forma bilateral (homogeneidade e diferenciação), através de duas unidades: *geômero* (qualidade estrutural homogênea) e *geócoro* (estrutura diversificada).

Tricart (1979) critica esta proposta de Sotchava, afirmando que

*os próprios princípios de classificação não são explicados. Os exemplos fornecidos são reduzidos e pouco demonstrativos (...)  
Confessamos nossa completa incompreensão.*

Se a discussão da paisagem é indispensável para se construir a ciência, metodologias que busquem entender as complexas relações que irão se concretizar no espaço são também de fundamental. Passos, *apud* Dias (1998), afirma que "responde à orientação da Geografia para o concreto, o visível, a observação do terreno, enfim, para a percepção direta da realidade geográfica".

Dias (1998) admite que a paisagem não deve ser vista apenas como determinada porção do espaço composta de elementos externos, visíveis e estáticos, mas como um mosaico constituído de elementos concretos e abstratos,

visíveis e invisíveis, que materializam as relações estabelecidas entre o homem e o meio, e que é a expressão da organização de todos os elementos no espaço geográfico.

Bertrand (1971) talvez seja um dos pensadores da paisagem que melhor consegue integrar a esfera natural e a esfera humana de maneira tão completa e, ao mesmo tempo, mostrando ser para ele uma tarefa simples, sem ser simplista:

*“a paisagem não é a simples adição de elementos geográficos disparatados. É uma determinada porção do espaço, resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução.”*

A partir da Teoria Geral dos Sistemas e, conseqüentemente, do Geossistema, surgiram para a Geografia Física diversas propostas de modelos conceituais, morfológicos e de classificação dos sistemas, incluindo-se os naturais (sistemas abertos), como as propostas de classificação apresentadas por Sotchava (1978) e por Bertrand (1971) e a abordagem ecodinâmica de Tricart (1977).

Apesar de diversas objeções feitas pela Escola Geográfica Marxista, Tricart (1980) defende níveis de compatibilização dessa teoria com a lógica dialética, num artigo em que se preocupa com a elucidação das funções do trabalho de campo na dialética da Geografia, afirmando Rodrigues (2001) que

*muito trabalho está por ser realizado no plano metodológico e que essa teoria necessitaria ser rediscutida para, de fato, ser aplicada ou aproveitada em estudos geográficos.*

Ross (1994), através da análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados, adota como unidade geográfica de análise a *bacia hidrográfica*, onde as intervenções humanas devem ser planejadas com o objetivo de um correto ordenamento territorial.

Em seu trabalho *Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados*, Ross (1994) busca nos conceitos de Tricart (1977) fonte para criação de novos critérios de avaliação do meio físico e biótico, com aplicação no planejamento territorial.

Ross (1990) afirma que devido à

*dificuldade da representação cartográfica a cores, a sobrecarga de informações típicas das cartas morfo ou ecodinâmicas, além dos problemas de escalas de representação geralmente médias ou pequenas, exigiram adaptações com modificações significativas na metodologia e na representação cartográfica final.*

Pautado na base de Tricart (1977), mas amparado pela discussão promovida por Ross (1990 e 1994), deve-se discutir mais profundamente a Fragilidade (Ambiental e Ecodinâmica) e as Unidades que a compõe.

### **2.3. FRAGILIDADE AMBIENTAL E ECODINÂMICA**

Bertrand (1971) propõe uma metodologia baseada na Teoria Geral dos Sistemas, a qual, através da modelagem e da quantificação dos elementos da paisagem, procura entender de forma integrada as variáveis antes somente descritas ou analisadas qualitativamente, sugerindo assim métodos e teorias para o estudo quantitativo.

Sotchava (1977) e Tricart (1977) discutem conceitualmente tal proposta, sendo a contribuição destes autores de grande valia para o desenvolvimento desta metodologia, ao sugerir a inserção de novas variáveis e também da forma de comunicação destes estudos, na linguagem da Geografia: a Cartografia Temática.

O mapa síntese, produto cartográfico da metodologia de Bertrand (1971), Sothava (1977) e Tricart (1977), apresenta a compartimentação da paisagem natural segundo suas características físico-bióticas, a partir de Unidades Ecodinâmicas, caracterizadas por uma série de atributos que alimentam o banco de dados.

Com base nesse conceito e visando aplicações ao Planejamento Ambiental, Ross (1990 e 1994) acrescenta novos critérios estabelecendo a Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais, com a elaboração da Carta de Vulnerabilidade Potencial, que relaciona os fatores naturais do território e a Carta de Vulnerabilidade Emergente, que relaciona os resultados da Carta de Vulnerabilidade Potencial com as intervenções antrópicas.

Thomaz (2000) esclarece que as propostas de Tricart (1977) e Ross (1990 e 1994) se encontram integradas, pois a segunda é um aprofundamento da

anterior; no entanto, ambas propõem uma taxonomia (classificação) dos ambientes fundada no grau de estabilidade/instabilidade da morfodinâmica atual.

Para a integração destes dados e geração dos produtos cartográficos, os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são de fundamental importância, uma vez que, como define Burrough (1986), são poderosos conjuntos de ferramentas para coletar, armazenar, recuperar, processar e representar dados espaciais do mundo real.

Fischer e Nijakamp (1993) salientam ainda que os Sistemas de Informações Geográficas são essenciais em estudos que contemplam padrões e fluxos espaciais, nos quais as diferenças espaciais em diversas dimensões podem ser mostradas por representações estatísticas e estas representadas cartograficamente.

Foi definido como objeto de estudo a dimensão *Bacia Hidrográfica* por ser ela, segundo Cárcamo<sup>3</sup>, *apud* Arcuri 1997, uma unidade geográfica natural que constitui um sistema, geralmente complexo, que, por sua própria natureza e característica, requer ser tratado em conjunto, do ponto de vista de sua operação e gestão.

Ponto importante também é a questão do gerenciamento de bacias que, conforme Lanna (1995), é o

*instrumento que orienta o poder público e a sociedade, no longo prazo, na utilização e monitoramento dos recursos ambientais – naturais, econômicos e sócio-culturais -, na área de abrangência de uma bacia hidrográfica, de forma a promover o desenvolvimento sustentável.*

---

<sup>3</sup> ARCURI, M.E.P. **Planejamento Ambiental através de análise de informações em bases cartográficas**: o caso de estudo da microbacia Santa Eliza, Rio Claro – SP. Dissertação (Mestrado), UNESP – Universidade Estadual Paulista, IGCE, Rio Claro, 1997.

E ainda afirma que

*teorias e metodologias de gestão ambiental devem se basear em um conceito superior, integrador do sistema como um todo, para que a análise detalhada de cada parte faça sentido: ou seja, o tratamento detalhado de cada parte pode ser realizado coerentemente, apenas se isto não resultar na perda da visão integradora do conjunto.*

A Constituição Federal de 1988 afirma, em seu inciso XIX do artigo 21, que compete à União “instituir sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos e definir critérios de outorga de direitos de seu uso”, regulamentando, este artigo, a Lei 9.433 de 08/01/97. A chamada Política Nacional de Recursos Hídricos estabelece que a Bacia Hidrográfica é a unidade territorial para a implementação da PNRH e a atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SNGRH).

Segundo os termos do artigo 30, VIII da Constituição Federal, compete ao município “*promover, no que couber, adequado ordenamento territorial, mediante planejamento e controle do uso, do parcelamento e da ocupação do solo urbano*”, seguido pelo artigo 182 e 183, regulados, posteriormente, pelo *Estatuto da Cidade* (Lei 10.257/01).

Sendo assim, a geração da Carta de Vulnerabilidade Potencial e a Carta de Vulnerabilidade Emergente não só tem importância para o poder público local, mas também é relevante como estudo em sua abrangência regional no contexto territorial das Bacias Hidrográficas.

Tricart (1977) afirma em seu capítulo sobre Classificação Ecodinâmica dos Meios Ambientes que “a ótica dinâmica impõe-se em matéria de organização do espaço”.

A partir desta e de todo embasamento teórico aqui apresentado, fica claro que a proposta Ecodinâmica é bastante apropriada para estudos que tenham por premissa a intervenção e o entendimento da organização do espaço, permitindo, conforme Tricart (1977)

*determinar como uma ação se insere na dinâmica natural, para corrigir certos aspectos desfavoráveis e para facilitar a exploração dos recursos ecológicos que o meio oferece.*

A fim de definir o que se entende por Ecodinâmica, o autor de tal metodologia assim afirma:

*O Conceito de Unidades Ecodinâmicas é integrado no conceito de ecossistema. Baseia-se no instrumento lógico de sistemas, e enfoca as relações mútuas entre os diversos componentes da dinâmica e fluxos de energia e matéria no meio ambiente. Portanto, é completamente distinto do ponto de vista estático do inventário. [...] Esse tipo de avaliação exige bom conhecimento do funcionamento do sistema, ou seja, dos fluxos de energia/matéria que o caracterizam. Um inventário não pode fornecê-los, exatamente como um único censo de população não permite definir a dinâmica dessa população.*

A Ecodinâmica, como verificado, vai muito além dos inventários e levantamentos de campo, resultando em mapas que nada *transformam* a realidade, mas somente *ilustram* uma situação estática.

A proposta, embasada na Teoria Geral dos Sistemas (considerada por Tricart, 1977, “o melhor instrumento lógico que dispomos para estudar os problemas do meio ambiente”), procura não somente ser uma orientação teórica, mas apresentar uma “orientação metodológica”, baseada nos graus de estabilidade-instabilidade morfodinâmicas, afirmando o autor que diminuir a instabilidade morfodinâmica é um dos objetivos da administração e ordenamento do meio ambiente.

Portanto, a análise morfodinâmica das unidades de paisagem, atrelada aos princípios da Ecodinâmica de Tricart (1977), é realizada através da definição de meios morfodinâmicos, classificados a partir de processos de pedogênese ou morfogênese.

Como salientam Crepani *et al.* (2000), quando existe o predomínio da pedogênese, prevalecem os processos formadores de solos; já, ocorrendo a morfogênese, os processos erosivos, modificadores das formas de relevo, são ativos.

A definição das unidades morfodinâmicas, estas essencialmente sistêmicas, tem a base teórico-metodológica sustentada em diversas áreas do conhecimento.

A Geomorfologia possui influência determinante nos processos ecodinâmicos, sendo as informações de amplitude de relevo, a declividade e o grau de dissecação da unidade de paisagem, utilizadas para a determinação das unidades morfodinâmicas, como definem Crepani *et al.* (2000).

A quantificação empírica da energia potencial disponível para o escoamento superficial (*runoff*), responsável pelo transporte de materiais que esculpem as formas de relevo, é possível através da integração dessas informações (CREPANI *et al.*, 2000)

A Pedologia, como Ross (1994) destaca, utiliza as características de textura, estrutura, plasticidade, grau de coesão das partículas/espessura dos horizontes superficiais e subsuperficiais. Crepani *et al.* (2000) ressaltam a importância da variável solo, já que estes são indicadores básicos da posição ocupada pela unidade dentro da escala gradativa da Ecodinâmica. Tais autores ainda afirmam

*que a maturidade dos solos, produto direto do balanço morfogênese/pedogênese, indica claramente se prevalecem os processos erosivos da morfogênese que geram solos jovens, pouco desenvolvidos, ou se, no outro extremo, as condições de estabilidade permitem o predomínio dos processos de pedogênese gerando solos maduros, lixiviados e bem desenvolvidos.*

A Fitogeografia tem sua importância relacionada à caracterização morfodinâmica das unidades de paisagem natural, já que os processos morfogenéticos se relacionam com as coberturas vegetais de densidade (cobertura do terreno) mais baixa, enquanto os processos pedogenéticos ocorrem em situações onde a cobertura vegetal mais densa permite o desenvolvimento e maturação do solo (CREPANI *et al.*, 2000).

Ross (1994) afirma que, a partir de resultados obtidos em campo, em situações controladas ou com a utilização de sensores remotos, é possível a hierarquização de graus de proteção aos solos pela cobertura vegetal. Trabalhos como os de Stein *et al.* (1987) e outros são bases para a definição dos valores de proteção para cada tipo de vegetação.

A Climatologia associa às unidades de paisagem natural a quantificação empírica do grau de risco a que esta se submete. Como Crepani *et al.* (2000) definem, situações de intensidade pluviométrica elevada, isto é, com alta pluviosidade anual e curta duração do período chuvoso, promovem melhores condições para o desenvolvimento dos processos morfogenéticos, enquanto situações com baixa pluviosidade anual, distribuída em um maior período de tempo, levam a estados de menor risco para a integridade da unidade de paisagem.

A fim de integrar tais ramos de conhecimento e a gama de informações, classificando os meios morfodinâmicos, Tricart (1977) classifica-os em três tipos: os meios estáveis, os integrades e os fortemente instáveis.

Os meios estáveis são aqueles que estão em *equilíbrio* ou *estabilidade morfogenética*. Isto significa que o sistema não está estagnado, mas possui uma lenta evolução, constante no tempo e com os fatores em harmonia. Desta forma, os processos pedogenéticos são favorecidos, em detrimento dos processos morfogenéticos.

Em meios morfodinâmicos estáveis, as manifestações catastróficas não estão presentes. São condições para sua existência: cobertura vegetal fechada, dissecação de relevo moderada e ausência de atividade vulcânica. Apesar de

descritivamente isto parecer uma condição até certo ponto comum, por se tratar de um sistema, as relações estabelecidas entre os componentes são complexas.

Para Ross (1994), as Unidades Ecodinâmicas Estáveis são aquelas que “estão em equilíbrio dinâmico e foram poupadas da ação humana, encontrando-se, portanto, em seu estado natural, como por exemplo um bosque de vegetação natural”.

Estas Unidades estão relacionadas às áreas nas quais o equilíbrio dinâmico natural foi preservado das atividades humanas, atuando a morfodinâmica em estado natural, predominando os processos de intemperismo físico-químico sob vegetação densa, sendo que o impacto das chuvas é atenuado pela cobertura vegetal.

Os meios intergrades são aqueles em transição, assegurando, como cita Tricart (1977), a passagem gradual entre os meios estáveis e os meios instáveis, ou seja, com balanço entre as interferências morfogenéticas e pedogenéticas.

Já os meios fortemente instáveis são aqueles em que a morfogênese é o elemento predominante da dinâmica natural e fator determinante do sistema natural (TRICART, 1977).

As Unidades Ecodinâmicas Instáveis, para Ross (1994), são “aquelas cujas intervenções antrópicas modificaram intensamente os ambientes naturais através dos desmatamentos e práticas de atividades econômicas diversas”. Ou seja, as atividades humanas desestabilizaram o equilíbrio dinâmico, onde as condições naturais de cobertura vegetal foram substituídas por pastagens, plantações etc.

A retirada da vegetação possibilitou ainda a atuação dos agentes climáticos, principalmente as chuvas, diretamente sobre os solos, gerando

processos erosivos e perda de qualidade das águas de superfície em função da carga de sedimentos acumulados (SPÖRL, 2001).

Na tabela a seguir, baseado em Ross (1990), buscou-se a síntese dos fatores que favorecem cada um destes quadros.

**Tabela 1 - Características das Unidades Ecodinâmicas.**

<b>Unidades ecodinâmicas estáveis</b>	<b>Unidades ecodinâmicas instáveis</b>
Cobertura vegetal densa, capaz de pôr freio eficaz ao desencadeamento dos processos mecânicos da morfogênese.	Condições bioclimáticas agressivas, com ocorrência de variações fortes e irregulares de chuvas, ventos, geleiras.
Dissecação moderada do relevo, sem incisão violenta dos cursos d'água, sem solapamentos vigorosos dos rios, e vertentes de lenta evolução.	Relevo com vigorosa dissecação, apresentando declives fortes e extensos.
Ausência de manifestações vulcânicas e abalos sísmicos que possam desencadear paroxismos morfodinâmicos de aspectos mais ou menos catastróficos.	Presença de solos rasos ou constituídos por partículas com baixo grau de coesão.
	Inexistência de cobertura vegetal florestal densa.
	Planícies e fundos de vales sujeitos a inundações.
	Geodinâmica interna intensa (sísmicos e vulcanismo).

Fonte: Ross (1990)

Organização do autor

De forma bastante sucinta, Ross (1990) também sistematiza a análise morfodinâmica de Tricart, sendo esta baseada: i) no estudo do sistema morfogenético (função das condições climáticas); ii) no estudo dos processos atuais, caracterizando os tipos, a densidade e a distribuição; iii) nas influências antrópicas e nos graus de degradação decorrentes; e iv) nos graus de estabilidade morfodinâmica, derivados da análise integrada dos sistemas morfogenéticos, dos processos atuais e da degradação antrópica.

A proposta de Tricart tem como produto cartográfico síntese a *Carta Ecodinâmica* que está pautada na simiologia francesa de cartas geomorfológicas, cujos documentos são de grande complexidade em função da elevada densidade de informações que os tornam de difícil leitura (ROSS, 1990).

Buscando a utilização mais ampla nos processos de Planejamento Ambiental, permitindo não só a discussão teórica dos conceitos, mas também a

metodológica e a cartográfica, Ross (1990 e 1994) insere novos critérios para a definição das Unidades Ecodinâmicas Estáveis e Instáveis, que serão discutidos no próximo tópico.

## **2.4. UNIDADES DE INSTABILIDADE EMERGENTE E POTENCIAL**

Ross (1990 e 1994), ao inserir novos critérios para a definição das Unidades Ecodinâmicas, propõe a modificação do nome de tais unidades. Assim, as Unidades Ecodinâmicas Instáveis passam a ser chamadas de Unidades Ecodinâmicas de Instabilidade Emergente, classificando-as em diversos graus, desde Instabilidade Muito Fraca a Muito forte.

Já as Unidades Ecodinâmicas Estáveis têm seu conceito modificado para Unidades Ecodinâmicas de Instabilidade Potencial, uma vez que o dinamismo do sistema e principalmente a ação humana atuam de forma incisiva nesta *estabilidade*. Elas também são classificadas em diversos graus, de Instabilidade Potencial Muito Fraca a Muito Forte.

Para a definição destas Unidades de Paisagem, gerando as Cartas de Fragilidade Potencial (Unidades de Instabilidade Potencial) e de Fragilidade Emergente (Unidades de Instabilidade Emergente), chamada também de Carta de Fragilidade Ambiental, são necessárias algumas etapas e produtos intermediários apresentados a seguir.

A metodologia de Ross (1994) define que, em escalas de maior detalhe, como 1:25.000, 1:10.000, 1:5.000 e 1:2.000, como a em que esta pesquisa se insere, as informações geomorfológicas necessárias devem ser obtidas a partir das Classes de Declividade, sendo tais intervalos baseados em consagrados

estudos de Capacidade de Uso e Aptidão Agrícola (valores críticos na Geotecnia), que indicam o vigor dos processos erosivos, dos riscos de escorregamentos e deslizamentos e inundações.

Tais classes originalmente são “< 3%”, “3 a 6%”, “6 a 12%”, “12 a 20%”, “20 a 30%”, “30 a 50%” e “> 50%”, sendo ordenadas hierarquicamente para a Metodologia Ecodinâmica da seguinte maneira (Tabela 2):

**Tabela 2 - Categorias Hierárquicas de Classes de Declividade.**

Classe de fragilidade	Intervalo de declividade	Índice de fragilidade
Muito Fraca	até 6%	1
Fraca	de 6 a 12%	2
Média	de 12 a 20%	3
Forte	de 20 a 30%	4
Muito Forte	acima de 30%	5

Fonte: Ross (1994)

Organização do autor

Para a variável solos, Ross (1994) baseia-se em estudos como de Bertoni & Lombardi Neto (1990), em sua experiência em expedições de campo, sua participação no Projeto RadamBrasil e como pesquisador/professor da FFLCH-USP, definindo assim as classes de fragilidade ou de erodibilidade dos solos, considerando o escoamento superficial difuso e concentrado das águas pluviais (Tabela 3):

**Tabela 3 - Classes de fragilidade de solo.**

Fragilidade	Tipos de solos	Índice de fragilidade
Muito Baixa	Latossolo Roxo, Latossolo Vermelho escuro e Vermelho Amarelo Textura Argilosa	1
Baixa	Latossolo Amarelo e Vermelho amarelo textura média/argilosa	2
Média	Latossolo Vermelho Amarelo, Terra Roxa, Terra Bruna, Podzólico Vermelho-amarelo textura média/argilosa	3
Forte	Podzólico Vermelho-amarelo textura média/arenosa, Cambissolos	4
Muito Forte	Podzolizados com cascalho, Litólicos e Areias Quartzosas	5

Fonte: Ross (1994)

Organização do autor

Já no tocante à proteção dos solos pela cobertura vegetal, a primeira fase necessária é a construção da Carta de Uso da Terra e da Cobertura Vegetal, distinguindo diversos temas, como matas naturais, culturas de ciclo curto e ciclo longo, padrões de impermeabilização, pastos naturais, pastos cultivados, entre outros.

As áreas recobertas por mata oferecem proteção muita alta ao impacto das chuvas, enquanto as áreas recobertas por Reflorestamento conferem um grau pouco menor (grau alto) de proteção aos solos.

Estes dois tipos de cobertura vegetal protegem os solos da ação erosiva das chuvas, mantendo-os em situação estável. Sendo assim, estas áreas são classificadas como de Fragilidade Potencial, ou seja, apresentam potenciais à ocorrência de processos morfodinâmicos agressivos, já que sempre existe a possibilidade das intervenções humanas.

As áreas destinadas às pastagens oferecem proteção média aos solos e às culturas de ciclo curto, cana-de-açúcar e café, proteção baixa aos solos. Desta forma, as áreas com estes tipos de uso são classificadas como de Fragilidade Emergente, ou seja, estas características de uso da terra geram situações de desestabilização alterando o equilíbrio dinâmico (SPÖRL, 2001).

A partir de diversos trabalhos, Ross (1994) propõe a classificação apresentada a seguir para os Graus de Proteção, segundo os tipos de Cobertura Vegetal (Tabela 4):

**Tabela 4 - Graus de Proteção a partir do tipo de cobertura vegetal.**

<b>Graus de proteção</b>	<b>Tipos de cobertura vegetal</b>	<b>Índice de fragilidade</b>
Muito Alta	Florestas, matas naturais, florestas cultivadas com biodiversidade.	1
Alta	Formações arbustivas naturais com estrato herbáceo denso. Formações arbustivas densas (mata secundária, cerrado denso, capoeira densa). Mata homogênea de Pinus densa. Pastagens cultivadas sem pisoteio de gado. Cultivos de ciclo longo como o cacau.	2
Média	Cultivo de ciclo longo em curvas de nível, terraceamento com café, laranja com forrageiras entre as ruas. Pastagem com baixo pisoteio. Silvicultura de eucaliptos com sub-bosque de nativas.	3
Baixa	Culturas de ciclo longo de baixa densidade (café, pimenta-do-reino, laranja), com solo exposto entre ruas, culturas de ciclo curto (arroz, trigo, feijão, soja, milho, algodão) com cultivo em curvas de nível/ terraceamento.	4
Muito Baixa a nula	Áreas desmatadas e queimadas recentemente, solo exposto por arado/gradeação, solo exposto por caminhos, estradas, terraplanagens, culturas de ciclo curto sem práticas conservacionistas.	5

Fonte: Ross (1994)

Organização do autor

Considerando a importância do clima na proposição das Unidades, Ross em um trabalho ainda não publicado e citado por Spörl (2001), define os Níveis Hierárquicos dos Comportamentos Pluviométricos (Tabela 5).

**Tabela 5 - Níveis Hierárquicos dos comportamentos pluviométricos.**

<b>Níveis hierárquicos</b>	<b>Características pluviométricas</b>	<b>Índice de fragilidade</b>
Muito Baixa	Situação pluviométrica com distribuição regular ao longo do ano, com volumes anuais não muito superiores a 1000 mm/ano.	1
Baixa	Situação pluviométrica com distribuição regular ao longo do ano, com volumes anuais não muito superiores a 2000 mm/ano.	2
Média	Situação pluviométrica com distribuição anual desigual, com períodos secos entre 2 e 3 meses no inverno, e no verão com maiores intensidades de dezembro a março.	3
Forte	Situação pluviométrica com distribuição anual desigual, com período seco entre 3 e 6 meses, e alta concentração das chuvas no verão entre novembro e abril quando ocorrem de 70 a 80% do total das chuvas.	4
Muito Forte	Situação pluviométrica com distribuição regular, ou não, ao longo do ano, com grandes volumes anuais ultrapassando 2500mm/ano; ou ainda, comportamentos pluviométricos irregulares ao longo do ano, com episódios de chuvas de alta intensidade e volumes anuais baixos, geralmente abaixo de 900mm/ano (semi-árido).	5

Fonte: Spörl (2001)

Organização do autor

Tendo tais temas básicos criados, parte-se para os procedimentos operacionais, gerando o produto cartográfico síntese, a serem discutidos no Capítulo 5.

Seguindo a metodologia de Ross (1994), o produto síntese-diagnóstico apresenta as Unidades Ecodinâmicas de Instabilidade Potencial, classificadas em fraca, média, forte e muito forte, quando a interferência antrópica é restrita e prevalece a cobertura vegetal florestal.

As *manchas* de Instabilidade Emergente também são classificadas em fraca, média, forte e muito forte, quando as atividades antrópicas alteram o ambiente natural com qualquer uma dessas práticas: agrícola, pecuária, industrial, urbana, sistema viário.

Tal proposição é acompanhada de uma alternativa metodológica que mais adequada à utilização nos Sistemas de Informações Geográficas, a partir da associação de dígitos arábicos, representando cada número um determinado peso.

O trabalho original de Ross (1994) não contemplou a variável pluviosidade, propondo assim o primeiro dígito referente às classes de declividade, o segundo associado aos solos e o terceiro relativo ao uso da terra/cobertura vegetal.

Spörl (2001), a partir de seus estudos, além de propor a introdução dos níveis hierárquicos pluviométricos, modifica os procedimentos técnico-operacionais para a geração da Carta de Fragilidade Ambiental, sendo esta a correlação das variáveis classes de declividade, solos, tipo de cobertura vegetal e pluviosidade.

Desta forma, o primeiro dígito da correlação entre as variáveis é a declividade, que sempre define o grau de fragilidade para a área.

A variável cobertura vegetal identifica, através de seus coeficientes, as áreas onde o equilíbrio dinâmico foi rompido, provocando situações de riscos, e as áreas nas quais a estabilidade permanece inalterada, classificando tais áreas

como de Instabilidade Potencial ou de Instabilidade Emergente, apontando os níveis crescentes de instabilidade.

As demais variáveis definem uma hierarquização através de seus índices de fragilidade.

Pode-se dizer que quanto maior a associação numérica (declividade/ solos/ vegetação/ pluviosidade) maior o grau de fragilidade potencial na relação relevo-solo face aos processos erosivos, de um lado, e a perda de qualidade das águas de superfície, de outro (SPÖRL, 2001).

São geradas, assim, as Cartas de Fragilidade Potencial (por meio da combinação das características da declividade, solos e pluviometria) e de Fragilidade Emergente (Ambiental) que combinaram o resultado cartográfico anterior com os graus proteção aos solos, a partir da cobertura vegetal e uso da terra.

Entretanto, *Morato et al* (2003), propõem uma nova organização e regras para integração destes dados, a partir de uma tabela bidimensional, ou de dupla entrada. Nesta tabela, as linhas são atribuídas às classes de solo e as colunas, às classes de declividade. Cada célula da tabela é então preenchida com a classe resultante da combinação das classes de solo e de declividade, gerando a Carta de Fragilidade Potencial.

Para a Carta de Fragilidade Ambiental é, então, gerada uma nova tabela bidimensional, sendo as combinações realizadas a partir das Cartas de Fragilidade Potencial e dos Graus Proteção aos Solos pela cobertura vegetal e uso da terra.

Cabe salientar que a proposta técnico-operacional proposta por *Morato et al.* (2003) não inclui a variável pluviometria.

Neste trabalho, as Cartas Síntese serão geradas a partir dos dois procedimentos, a fim de avaliar os resultados. Tais sínteses cartográficas são passíveis de geração com grande grau de precisão e com possibilidade de modificações operacionais, ao decorrer do processo, com o auxílio dos Sistemas de Informações Geográficas, que permitem a integração de dados geográficos.

## **2.5. SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS**

Na Geografia, as discussões teórico-filosóficas sempre foram de fundamental importância para a constituição de seu corpo como ciência, assim como a capacidade de seus cientistas de analisar o espaço de maneira abrangente e, até a década de 1950, descritiva.

Nesta mesma época, começa a se difundir e se desenvolver uma nova escola na ciência geográfica, a chamada Geografia Quantitativa.

A Escola Quantitativa surge como um braço da chamada Geografia Pragmática, que busca atualizar, tornar contemporâneas as metodologias utilizadas, buscando para isto novas técnicas e uma nova linguagem.

Sendo assim, a finalidade explícita é criar uma tecnologia geográfica, uma geografia aplicada, pois seus idealizadores diziam que esta era saudosista, fazendo grandes retrospectivas, mas não fazendo um planejamento à frente do seu tempo.

A metodologia utilizada pela chamada Nova Geografia deu importância a um maior rigor no enunciado e na verificação de hipóteses e também na formulação das explicações para os fenômenos geográficos. Como salienta Christofolletti (1982):

*no discurso explicativo há preferência pelas normas relacionadas com o procedimento dedutivo-nomológico. E, por essa razão, considerando-se certas hipóteses e determinadas condições, o resultado do trabalho geográfico deve ser capaz de prever o estado futuro dos sistemas de organização espacial e contribuir de modo efetivo para alcançar o estado mais condizente e apto para as necessidades humanas.*

Neste contexto (acentuado nos anos 70 e início dos anos 80 pelas grandes transformações no pensamento da sociedade, agora com maiores preocupações pela conservação e preservação dos recursos naturais e o seu papel no meio em que vive), os projetos de planejamento começam a ter como premissa básica a questão ambiental.

Tais projetos buscam estudos ambientais regionais integrados, com a necessidade de sistemas computacionais para atender a demanda pela integração de diversas variáveis num mesmo estudo.

Hendrix (1988) ressalta que o uso dos sistemas computacionais capazes de governar bancos de dados georreferenciados passa a ser imprescindível para o planejamento. Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) vêm se desenvolvendo cada vez mais, permitindo a formulação de diagnósticos, prognósticos, avaliação de opções de ações e manejos ambientais, reduzindo substancialmente o tempo e o custo de elaboração de um plano que envolve mapeamentos, conforme pode ser verificado na Tabela 6.

**Tabela 6 - Procedimentos em planejamento ambiental que podem se utilizar de SIG.**

<b>Procedimentos em planejamentos</b>	<b>Exemplos de funções atribuídas ao SIG</b>
<i>Avaliar os elementos que compõem o meio</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• apresentar dados temáticos de forma espacial</li> <li>• representar e gerar classificações de florestas</li> <li>• expressar, especialmente, processos físicos, biológicos e populacionais</li> <li>• definir estabilidade de encostas</li> </ul>
<i>Analisar fatos dentro de uma abrangência temporal</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• representar a história da dinâmica do uso da terra</li> <li>• avaliar a dinâmica histórica regional</li> <li>• avaliar causas e conseqüências históricas de desmatamentos</li> <li>• representar a evolução ou expansão agrícola</li> <li>• Mapear as perdas territoriais de tipos de produção</li> <li>• Mapear vocações territoriais e impactos ambientais temporais</li> </ul>
<i>Relacionar os fatos</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• cruzar informações poli-temáticas, com produção de mapas-síntese</li> <li>• avaliar a dinâmica do uso da terra em relação a declividade e altitude</li> <li>• interpretar áreas de plantio em relação ao clima, solo e declividade</li> </ul>
<i>Elaborar prognósticos</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• determinar possíveis causas de impacto e prever futuras conseqüências ambientais</li> <li>• medir e inferir sobre a qualidade dos recursos naturais</li> <li>• definir cenários futuros</li> </ul>
<i>Definir zonas ou territórios</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• zonear territórios de acordo com regras pré-estabelecidas</li> <li>• identificar áreas de proteção, de refúgios ou habitat exclusivos</li> <li>• definir-se áreas de visão aprazível para lazer</li> <li>• planejar rotas ou percursos adequados dentro de uma região</li> <li>• selecionar áreas de pastagem</li> </ul>
<i>Elaborar alternativas de ação</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• apresentar alternativas mitigadoras ou de resolução de conflitos</li> <li>• elaborar planos de reflorestamento</li> <li>• obter alternativas para manejo de recursos, como o manejo de vegetação considerando-se atributos estruturais das florestas relacionados a outros mapas</li> <li>• monitorar o ambiente, como controle do fogo ou propagação de desertificação</li> </ul>

Fonte: Santos *et al.* (1997)

O Sistema de Informações Geográficas é uma tecnologia baseada em hardware e software utilizada para descrição e análise do espaço geográfico, através da aquisição, armazenamento, estruturação, manipulação, análise e exibição gráfica de dados, integrando, portanto, operações de banco de dados,

análise estatística e mapeamento digital espacialmente referenciado (coordenadas geográficas).

Alves (1990) define os Sistemas de Informações Geográficas como

*sistemas destinados ao tratamento de dados referenciados espacialmente. Estes sistemas manipulam dados de diversas fontes como mapas, imagens de satélites, cadastros e outras, permitindo recuperar informações e efetuar os mais diversos tipos de análise sobre os dados.*

Souza (1994) define genericamente os Sistemas de Informações Geográficas como “uma tecnologia computacional graficamente orientada, integrando sistemas substanciais”, com utilização em diversas áreas do conhecimento, como agricultura, botânica, ecologia, engenharia, matemática, geografia e geologia, bastando para isto, como salienta Martins (1994), ter interesse por entes de expressão espacial, sua localização, ou distribuição espacial de seus atributos

Os SIGs são talvez os mais importantes instrumentos entre as diversas tecnologias de Geoprocessamento, sendo inclusive muitas vezes confundidos com estas (MORATO *et al.*, 2003). Câmara & Davis (2001) conceituam o Geoprocessamento como a “disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica”.

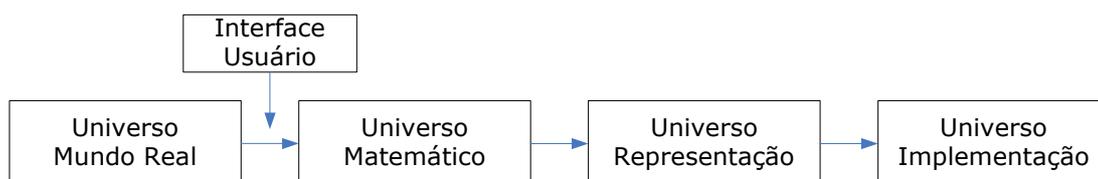
Como salientam Medeiros & Câmara (2001), o principal desafio é capturar, no Sistema de Informações Geográficas, com o menor grau de reducionismo possível, a natureza dos padrões e processos do espaço.

Estes mesmos autores afirmam que, por tal dificuldade de transposição, grande parte das aplicações em Geoprocessamento representa o espaço somente como um inventário, delimitando uma área de estudo e apresentando-a, sem o entendimento global.

Pautado na visão sistêmica, o Sistema de Informações Geográficas podem superar tal modelo inventarial, através de métodos baseados na definição de áreas homogêneas, como Medeiros & Câmara (2001) dissertam sobre a visão de Hartstorne, propositor do conceito de área-unidade (*unit-area*) como

*uma partição ideal do espaço geográfico, definida pelo pesquisador em função do objeto de estudo e da escala de trabalho, apresentando características individuais próprias. Estas áreas-unidades seriam a base de um sistema de classificação e organização do espaço e a partir da sua decomposição, o pesquisador relacionaria, para cada uma das partições, as correspondentes características físico-bióticas que a individualizaria em relação às demais componentes do espaço.*

Para possibilitar o entendimento e transposição do universo real para o universo computacional, Gomes & Velho (1995) propõe o *paradigma dos quatro universos*, que é assim definido, conforme Figura 1:



**Figura 1 - Paradigma dos Quatro Universos.**

**Fonte: Gomes & Velho (1995)**

A partir das definições de Gomes & Velho (1995) e de Câmara & Monteiro (2001), o Universo do Mundo Real inclui as entidades da realidade a serem modeladas no sistema (solo, clima, vegetação, lotes etc); já o Universo Matemático (ou Conceitual) inclui as definições matemáticas formais das entidades a serem representadas, com classes formais de dados geográficos (dados contínuos e objetos individualizáveis) e especialização destas nos tipos de dados geográficos utilizados comumente (dados temáticos e cadastrais, modelos numéricos de terreno, dados de Sensoriamento Remoto).

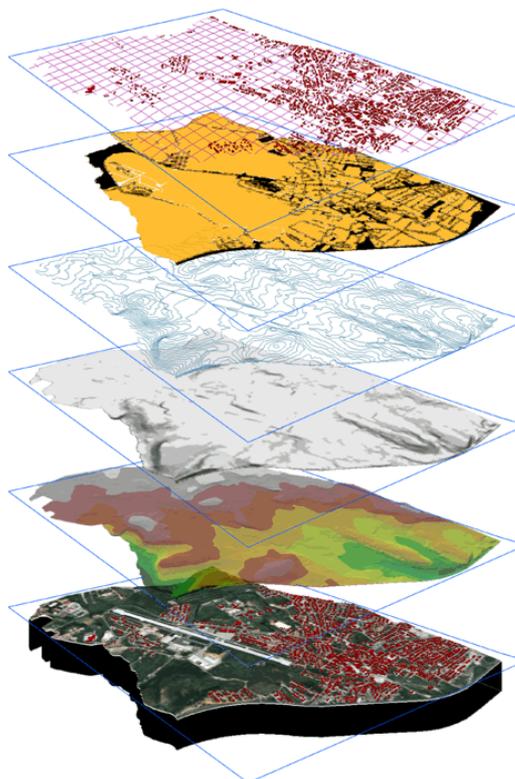
No Universo de Representação, as diversas entidades formais são mapeadas para representações geométricas e alfanuméricas no computador, que podem variar conforme a escala e a projeção cartográfica escolhida e a época de aquisição do dado, distinguindo-se aqui as representações matricial e vetorial, que serão explanadas posteriormente.

Por fim, o Universo de Implementação é onde as estruturas de dados e algoritmos são escolhidos, acontecendo neste nível a codificação em linguagem de computador.

No âmbito do planejamento, e mais especificamente o ambiental, os SIGs se destacam pela capacidade de apresentar os dados em diferentes níveis de detalhe, holisticamente ou um resultado analítico, com a utilização de diversos dados ambientais, que são processados entre as etapas de diagnóstico e seleção de opções, ou seja, aquelas que utilizam métodos que envolvem análise espacial, sistemas de listagens, matrizes e modelos. (SANTOS *et al.*, 1997).

Para desenvolver análises, os dados (ou modelo de informação) devem ser organizados em níveis (ou *layers*) de apresentação e de maneira que não necessariamente se passe de um nível a outro numa seqüência obrigatória,

possibilitando a obtenção de uma infinidade de combinações de dados e comparações entre diferentes ações (SANTOS, 1997), conforme representação na Figura 2.



**Figura 2 - Representação da Realidade em *Layers*.**

**Fonte: Centro de Cartografia da Universidade Técnica de Lisboa**

Algumas metodologias e conceitos se utilizam do Modelo de Elevação Digital do Terreno (DEM) para a representação e cálculos matemáticos necessários. Tal Modelo é definido por Burrough (1986) como uma “representação digital da variação contínua do relevo no espaço”.

Entretanto, deve-se salientar a diferenciação que alguns autores empregam entre o termo Modelo Digital do Terreno e DEM, sendo o MDT uma parte de tal, já que o DEM inclui em seus componentes não só o atributo altitude,

mas outras feições tais como as produzidas pelo homem (casas, prédios etc.) ou não (vegetação, árvores etc.).

Assim, pode-se dizer que um Modelo Digital do Terreno nada mais é que uma representação matemática da realidade geográfica, onde se tem como conhecido um conjunto finito de pontos de coordenadas  $x$ ,  $y$  e  $z$ , a partir das quais se interpolam todas as informações relativas à superfície das quais tais pontos fazem parte.

O Modelo Digital do Terreno faz parte de uma problemática maior, que é a busca de modelos matemáticos ou computacionais para representar a realidade da superfície terrestre, tendo como resultado prático, segundo Burrough (1986), o armazenamento de dados de altimetria para gerar mapas topográficos, as análises de corte-aterro para projeto de estradas e barragens, a elaboração de mapas de declividade e exposição para apoio à análise de geomorfologia e erodibilidade, a análise de variáveis geofísicas e geoquímicas e a apresentação tridimensional (em combinação com outras variáveis).

Assim, pode-se afirmar que o MDT é o método que melhor satisfaz as necessidades à visualização de determinada área, permitindo diversas opções como: salientar o relevo, selecionar áreas com determinada cota, observar a imagem a três dimensões, criar perfis etc.

Também há a necessidade de se diferenciar uma representação vetorial de uma representação matricial.

Segundo Câmara (1994), a representação vetorial é a mais conveniente quando se necessita armazenar coordenadas com precisão, definidas através de coordenadas cartesianas  $x$  e  $y$ . A representação matricial, por sua vez, consiste numa malha que define uma relação regular, mas arbitrária, entre polígonos para

preservar os dados geográficos, sendo neste caso o mundo real simbolizado por uma matriz de células endereçadas pelas intersecções de linhas e colunas, associadas a um valor referente ao seu atributo.

Morato *et al.* (2003) afirmam que a aplicação dos Sistemas de Informações Geográficas são de fundamental importância para o desenvolvimento de estudos de fragilidade ambiental, uma vez que é realizada a análise de grande quantidade de dados, com relações complexas entre eles. Concluem, assim, em seu trabalho, que as ferramentas de geoprocessamento se mostraram eficiente em tais tipos de estudo.

Entretanto, a orientação de Zuquete *et al.* (1997) é extremamente válida e muitas vezes esquecida pelos utilizadores de geotecnologia, que os Sistemas de Informações Geográficas possuem limitações e é preciso reconhecê-las para evitar futuros erros.

### 2.5.1. SPRING

O SPRING (acrônimo de "Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas) é um Sistema de Informações Geográficas de segunda geração desenvolvido pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), com tecnologia brasileira, com funções de processamento de imagens, análise espacial, modelagem numérica de terreno e consulta a bancos de dados espaciais.

Segundo o INPE (2006), um Sistema de Informações Geográficas de segunda geração é concebido para ambientes cliente-servidor, acoplado a gerenciadores de bancos de dados relacionais e com pacotes adicionais para processamento de imagens. Chegou ao mercado no início da década de 1990.

Com interfaces baseadas em janelas, esta geração também pode ser vista como sistemas para suporte à instituições (*enterprise-oriented GIS*).

Entre as diversas funções do SPRING, estão a modelagem digital do terreno, a administração de dados vetoriais e *raster* e a integração de dados de Sensoriamento Remoto (imagens de satélite, fotos aéreas), essenciais para o estudo que se propõe.

Anterior à discussão de qual modelo de dados o SPRING adota, deve-se explicar o que são os Universos Conceitual e o de Representação.

Segundo Lucena (1998), o Universo Conceitual contém uma definição matemática formal das entidades do mundo real, consideradas relevantes para o estudo; o Universo de Representação é onde as diversas entidades formais são mapeadas para representações geométricas.

Desta forma, quanto ao modelo de dados do SPRING, Câmara (1995) define o Universo Conceitual tomando como base as classes Geo-campos<sup>4</sup> e Geo-objetos<sup>5</sup> e as especializam em tipos de dados que suportam os dados geográficos em conformidade com suas características, as quais são:

- Temático: geo-campo que caracteriza um mapa temático, no qual cada posição do campo possui uma identificação do tema a que pertence, por exemplo, um mapa de vegetação que é caracterizado pelo conjunto de temas (como: floresta densa, floresta aberta e cerrado);
- Numérico: geo-campo que caracteriza um modelo numérico de terreno, assumindo cada posição do campo um valor real que descreve a

---

<sup>4</sup> Corresponde a grandezas distribuídas espacialmente, como tipo de solo, topografia e teor de minerais.

<sup>5</sup> São individualizáveis e possuem identificação com elementos do mundo real, como lotes num cadastro urbano e postes numa rede elétrica.

ocorrência de um fenômeno (por exemplo: mapa de campo magnético ou mapa de altimetria);

- Imagem: especialização da classe numérico, sendo os atributos inteiros naturais (N), o que caracteriza um valor de intensidade e cor para dados de sensoriamento remoto (por exemplo: imagens de satélite, imagens de radar, fotografia aérea);
- Cadastral: conjunto de representações de geo-objetos para uma mesma área geográfica, projeção cartográfica e escala (por exemplo: Mapa de Lotes de uma cidade);
- Redes: especialização da classe cadastral que armazena estruturas e localidades linearmente (por exemplo: rede elétrica).

As representações, sejam elas vetoriais ou matriciais, conforme discutido anteriormente, possuem relacionamento entre o Universo Conceitual e o Universo de Representação, ou seja, entre as classes de dados e sua representação (LUCENA, 1998):

- Temático: a princípio capturado pelo Sistema de Informações Geográficas como dado vetorial, mas para fins de cruzamento de informações, em procedimentos de análise, pode possuir uma representação Matricial produzida através de conversão Vetorial-Matricial.
- Numérico: pode ser capturado pelo Sistema de Informações Geográficas como dado Vetorial. Por exemplo, curvas de nível, valores para pontos de amostras regulares ou irregulares. Mas para fins de operações de análise

deve possuir uma representação Matricial produzida através de procedimentos de interpolação dos valores amostrados.

- Imagem: tipicamente um dado matricial
- Cadastral: representado por uma estrutura topológica arco-nó-polígono, podendo suportar pontos, linhas e regiões; e
- Rede: representado por uma estrutura topológica de arco-nó, podendo suportar pontos e linhas.

Para a operacionalização de cruzamento de mapas e outras operações, no Sistema de Informações Geográficas SPRING, deve-se discutir a LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico) que, no contexto de interfaces usuário-computador, é classificada como “interface por linguagem de programação” (LUCENA, 1998), ou seja, uma linguagem de comandos interpretados para uso em análise geográfica para ambiente SPRING.

Proposta por Câmara (1995), esta linguagem tem por objetivo prover um ambiente geral para análise geográfica, incluindo operações de manipulação, operações de consulta espacial e operações de apresentação.

Segundo o INPE (2006), a LEGAL é uma ferramenta que possibilita a realização de análises espaciais através de álgebra de mapas. A análise espacial utiliza os atributos espaciais e não-espaciais das entidades gráficas armazenadas na base de dados espaciais para fazer simulações sobre os fenômenos do mundo real.

A inovação na proposta da LEGAL é o tratamento destas operações de forma integrada, provendo um ambiente único para manipulação, consulta espacial e apresentação de resultados de consulta e manipulação.

Segundo Barbosa (1997), a linguagem LEGAL pode ser funcionalmente dividida em quatro módulos, a saber:

- Interpretador de comandos: lê cada linha de comando de um programa em LEGAL, interpreta-a e executa uma ação apropriada;
- Módulo de consulta espacial: biblioteca com um repertório de operadores e funções de consulta espacial (seleção e busca, distância, dentro, toca, cruza). Através dos operadores e funções deste módulo, recuperam-se geo-campo e mapas de geo-objetos, que podem ser manipulados posteriormente;
- Módulo de manipulação: biblioteca com operadores e funções para manipulação de dados geográficos modelados, conceitualmente, como geo-campo e operadores de conversão entre geo-campos e geo-objetos geográficos; e
- Módulo de apresentação: biblioteca com operadores e funções para apresentação de dados espaciais. Este módulo permite o controle de apresentação de forma independente do resultado da operação realizada.

Desta forma, o entendimento da linguagem LEGAL é necessário para a criação das operações de cruzamento e manipulação de dados geográficos em ambiente SIG SPRING.

## 2.6. INTERPOLAÇÃO DE DADOS

Na etapa operacional desta pesquisa, alguns procedimentos de interpolação de dados serão realizados, portanto, é imprescindível a apresentação de algumas bases conceituais quanto a estes.

Faz-se necessário inicialmente definir o que se entende por interpolação. Desta forma, apropriando-se do conceito de Landim (2000), afirma-se ser este um “procedimento matemático de ajuste de uma função a pontos não amostrados, baseando-se em valores obtidos em pontos amostrados”.

Definido o termo, a discussão está focada nos diversos métodos presentes nos softwares utilizados na pesquisa, não com um enfoque matemático, mas sim com uma análise da funcionalidade e importância do mesmo, para o contexto de geração de Modelos Numéricos de Terreno, e posterior análise de potencial à erosão.

Um modelo numérico de terreno - MNT é uma representação matemática da distribuição espacial de um determinado atributo que tem vinculação a uma superfície real. A superfície é, em geral, contínua e o fenômeno que representa pode ser variado. Burrough (1996) salienta os seguintes usos do MNT:

- a) armazenamento de dados de altimetria para gerar mapas topográficos;
- b) análises de corte-aterro para projeto de estradas e barragens;
- c) elaboração de mapas de declividade e exposição para apoio à análise de geomorfologia e erodibilidade;
- d) análise de variáveis geofísicas e geoquímicas; e
- e) apresentação tridimensional (em combinação com outras variáveis).

Para a representação de uma superfície real em meios digitais (ou até mesmo analógicos), são indispensáveis a elaboração e a criação de um modelo digital, que pode ser representado por equações analíticas ou uma rede (grade) de pontos.

Podem-se agrupar os métodos em dois grandes grupos: os triangulares, os quais conectam os pontos amostrados em triângulos e interpolam os valores entre eles; e os regulares (retangulares), nos quais, através de uma grade regular estabelecida sobre uma área, calculam-se os valores nos nós do reticulado com base nos valores dos pontos já amostrados (LANDIM, 2000).

A principal recomendação, encontrada tanto em artigos científicos como nos manuais técnicos dos softwares, é a geração de uma grade regular, pois esta permite realizar operações matemáticas entre diferentes planos de informações (*layers*) de grades.

Na modelagem da superfície por meio de grade irregular triangular, cada polígono que forma uma face do poliedro é um triângulo. Os vértices do triângulo são geralmente os pontos amostrados da superfície. Esta modelagem, considerando as arestas dos triângulos, permite que as informações morfológicas importantes, como as discontinuidades representadas por feições lineares de relevo (cristas) e drenagem (vales), sejam consideradas durante a geração da grade triangular, possibilitando assim, modelar a superfície do terreno, preservando as feições morfológicas da superfície (INPE, 2006).

O algoritmo matemático utilizado em praticamente todos os softwares é a triangulação de *Delaunay*, tendo aplicabilidade e confiabilidade quando as amostras do objeto de estudo estão bem distribuídas na área.

Landim (2000) afirma que o método acima deve ser utilizado para dados topográficos, mas faz uma ressalva quanto ao produto visual dele, pois gera um terreno com contornos não-suaves.

A conversão da grade triangular para a grade retangular deve ser executada quando a forma matricial para o modelo numérico de terreno for necessária, podendo as informações do terreno que foram modeladas por um interpolador de grade triangular serem passíveis de análise por cálculos que necessitem de formato matricial, como álgebra de mapas.

Na interpolação linear, um plano é ajustado para cada retalho triangular da grade, para determinar os valores de  $z$  em cada posição  $xy$  dentro do triângulo. (INPE, 2006).

A grade retangular – grid - (ou regular, ou chamada por alguns autores de regular retangular) é um modelo digital que aproxima superfícies através de um poliedro de faces retangulares. Ele estabelece uma grade regular sobre uma determinada área estudada e calcula os valores nos nós do reticulado com base nos valores dos pontos já amostrados, conforme Landim, 2000.

A geração da grade retangular tem como produto uma modelagem do terreno mais suave, além de ser recomendada quando se tem poucas amostras (sejam elas de qualquer tipo, até mesmo topográficas, com as curvas de nível).

Desta forma, quando se trabalha com mapeamentos de precisão, numa escala grande de, por exemplo, 1:10.000, não são necessárias grandes estimativas matemáticas para interpolação de dados, sendo portanto a reticulação um passo necessário para outras análises, mas não como primeira interpolação a ser feita na área de estudos.

A escolha do método do vizinho mais próximo é indicada pela documentação do software quando se procura maior aproximação da realidade, consistindo na criação de um reticulado, no qual, para cada ponto (x,y) da grade, o sistema atribui a cota da amostra mais próxima ao ponto.

A krigagem (neologismo para uma ação feita com *kriging*, também chamado de krigeagem) é um método de geração de grades geoestatística, que leva em consideração as características espaciais de autocorrelação de variáveis regionalizadas (LANDIM, 2000), ajustadas nesta pesquisa principalmente no que tange à interpolação de dados pluviométricos.

É um método muito utilizado, pois na maioria dos softwares, gera a grade sem a necessidade de entendimento do processo de interpolação. Contudo, deve-se tomar extremo cuidado com isto, pois se a geração é fácil, tende-se a cometer mais erros e não se ter um critério para crítica ao resultado final. Também é utilizado por criar superfícies de relevo muito suave e com um apelo visual forte.

### **3. TRATAMENTO METODOLÓGICO**

Nas pesquisas em Geografia Física, bem como nas mais diversas áreas das Geociências, ao se tratar da metodologia de trabalho ocorrem diversas distorções. Tendo estes capítulos a descrição técnica e operacional do trabalho, fica clara a distorção entre método, metodologia e técnica.

Ross (1990) define muito bem que “o tratamento metodológico em uma pesquisa é subproduto direto da teoria” e que “a metodologia norteia a pesquisa, enquanto a instrumentalização e as técnicas operacionais funcionam como apoio”.

Uma pesquisa, segundo Ross (1990), possui um tripé fundamental: a) domínio do conhecimento específico-teórico e conceitual; b) domínio da metodologia a ser aplicada e c) domínio das técnicas de apoio para operacionalização do trabalho.

Posto isto, o presente trabalho se apoiará na metodologia de Libault (1971), ainda hoje muito importante para Geografia Física, visto que procedimentos metodológicos não se perdem no tempo, atendendo plenamente às necessidades, diferentemente de procedimentos técnico-operacionais.

Tal proposta está fundamentada no tratamento quantitativo da informação e tem ampla aplicação em dados numéricos, passíveis de representação tabular, gráfica e cartográfica, através da distinção de Quatro Níveis de Pesquisa (base de sua metodologia), a saber: 1. Nível Compilatório, 2. Nível Correlativo, 3. Nível Semântico e 4. Nível Normativo.

Em cada um destes níveis, descritos a seguir, também serão relacionados os componentes da presente pesquisa.

### 3.1.1. NÍVEL COMPILATÓRIO

Libault (1971) descreve o Nível Compilatório como o levantamento dos dados, seja qual for sua natureza, bem como a compilação destes.

Em um trabalho cuja essência é o espaço, a principal fonte de dados para o pesquisador são as cartas e mapas, o que, principalmente no Brasil, já é um desafio aos que se enveredam na área, seja pela não-existência dos temas necessários, desatualização das bases cartográficas ou não-acesso a elas.

Com o levantamento bibliográfico, fundamentou-se a pesquisa teórico-metodologicamente, bem como sua inserção no cenário científico. Com o levantamento da documentação cartográfica necessária, foi definido o objeto de estudo, bem como sua escala geográfica, e seleção dos dados e informações que serão utilizados.

Quanto aos mapas e cartas que foram utilizados, o pesquisador possuía diversos materiais (analógicos e digitais) da área de estudo, já que este foi trabalhado na Iniciação Científica.

### 3.1.2. NÍVEL CORRELATIVO

O Nível Correlativo é explicado por Ross (1990) como sendo o momento de aprimoramento da interpretação, quando serão melhor selecionadas as informações, bem como geradas, se necessárias, novas variáveis que serão utilizadas.

Buscam-se, nesta fase da pesquisa, a homogeneização dos dados, bem como seu ordenamento.

No Nível Correlativo desta pesquisa foram selecionadas as variáveis necessárias para a geração das Unidades de Fragilidade da Paisagem propostas por Ross (1990 e 1994): a altimetria (e seu desdobramento com o Mapa de Declividade), a pedologia, a cobertura vegetal e a pluviometria.

### 3.1.3. NÍVEL SEMÂNTICO

O Nível Semântico leva o pesquisador à interpretação dos resultados obtidos no nível anterior. Segundo Ross (1990), chega-se a resultados

conclusivos a partir dos dados selecionados e correlacionados nas etapas anteriores.

Libault (1971) cita que este nível está muito ligado ao conhecimento geográfico do pesquisador, bem como na experiência, no que ele chama, de cálculo eletrônico.

Neste nível, definiram-se as regras para geração das Cartas Sínteses (Fragilidade Potencial e Fragilidade Ambiental). Se as condicionantes teórico-metodológicas e conceituais estão pautadas em Tricart (1970) e Ross (1990 e 1994), as operacionalizações são fundamentadas em Spörl (2001) e *Morato et al* (2003).

O cálculo eletrônico ao qual o autor se refere são os cruzamentos lógicos a serem realizados em ambiente computacional. Neste trabalho, foi elaborado um programa em linguagem LEGAL no software SPRING, promovendo a geração de fato das Cartas Síntese.

#### 3.1.4. NÍVEL NORMATIVO

O Nível Normativo é a fase final do trabalho, quando o produto da pesquisa se transforma em modelo, através de cartogramas sínteses ou outras formas de representação acessíveis a quem tais resultados foram pensados (ROSS, 1990).

Desta forma, os cartogramas finais, e não mais intermediários, são gerados, podendo ser analisados e disponibilizados para os diversos fins para que se destinam. Nesta pesquisa, tais cartogramas finais serão as Cartas de Fragilidade Potencial e Ambiental.

### 3.1.5. SÍNTESE DOS NÍVEIS COMPILATÓRIOS

Na Figura 3, apresenta-se em formato esquemático a síntese dos níveis compilatórios para este trabalho, baseado na Metodologia aqui exposta, segundo Libault (1971).

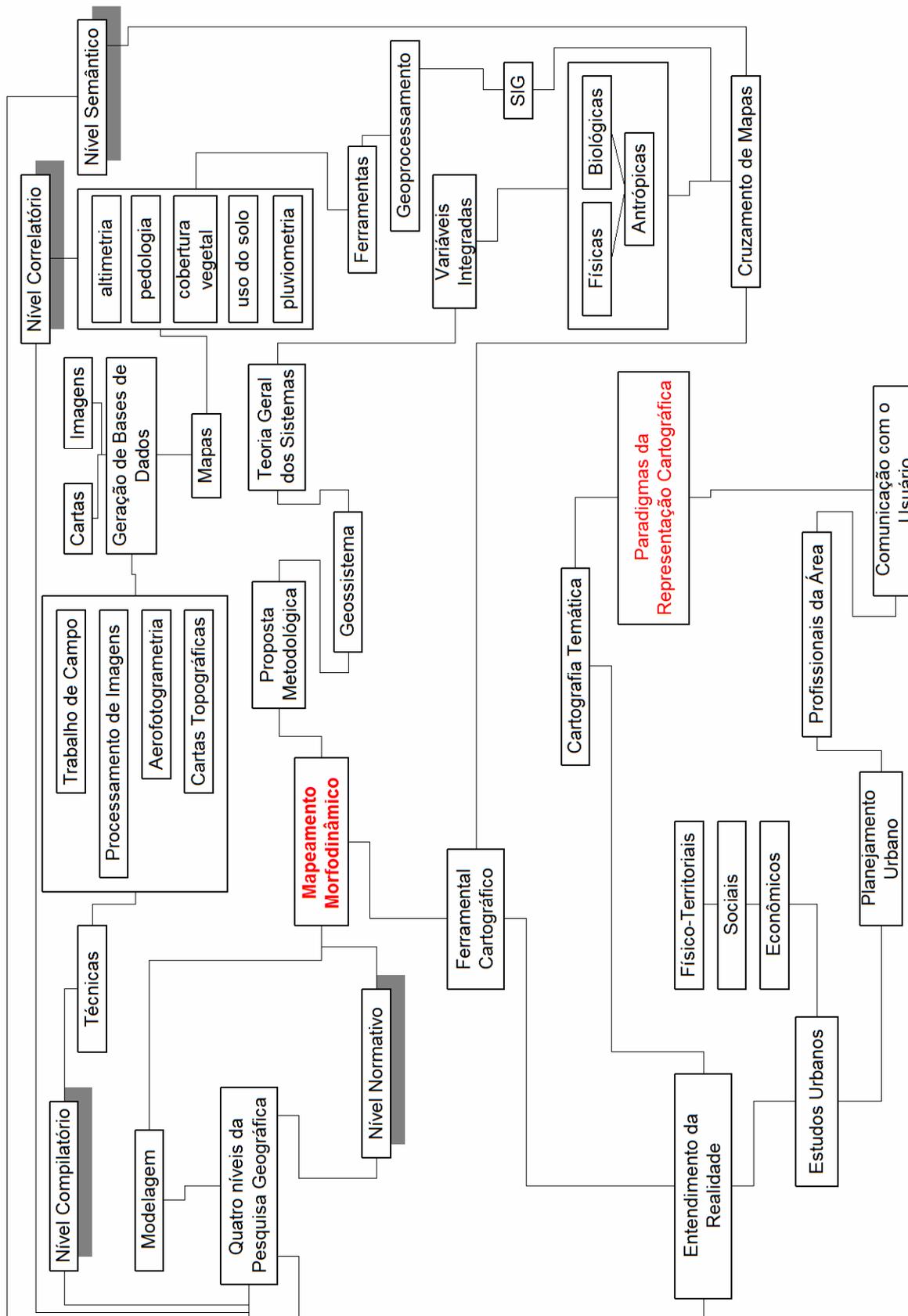
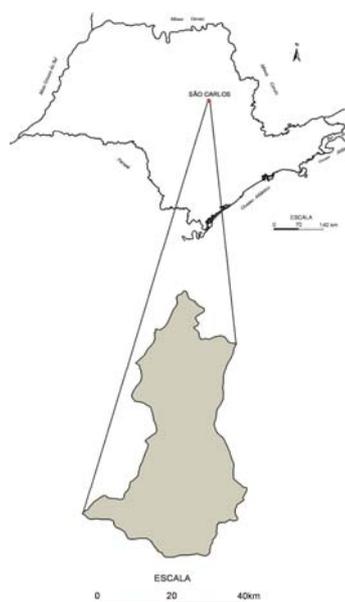


Figura 3 - Os Quatro Níveis Compilatórios da Presente Pesquisa

## 4. OBJETO DE ESTUDO, MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1.1. OBJETO DE ESTUDO

O Município de São Carlos está localizado na região central do Estado de São Paulo, Brasil, a 230 km da capital, entre as coordenadas 47° 30' e 48° 30' Longitude Oeste e 21° 30' e 22° 30' Latitude Sul, mais precisamente no final da Serra do Itaqueri (prolongamento da Serra de Brotas), conforme Figura 4.



**Figura 4 - Localização do Município de São Carlos no Estado de São Paulo.  
Elaborado pelo autor**

Possui altitude variável, encontrando seu ponto mais elevado (900 metros) na Vila Nery, no sítio urbano de São Carlos, e o mais baixo, 544 metros, nas imediações da estação Santo Inácio.

É circundado pelos municípios de Brotas, Ribeirão Bonito, Ibaté, Santa Lúcia, Itirapina, Luis Antônio, Analândia, Descalvado, Araraquara, Américo

Brasiliense e Rincão. A área ocupada pelo município é, de acordo com o IBGE (2000), de 1141 km<sup>2</sup> e a área urbanizada, de aproximadamente 69,7 Km<sup>2</sup>.

Troppmair (1983) insere São Carlos na sétima região ecológica do Estado de São Paulo, ou seja, no reverso da borda do Planalto Ocidental, acompanhando as cuevas basálticas, com altitudes entre 800-900 metros, inserindo a região de São Carlos na província geomorfológica das cuevas basálticas e de arenito, localizada entre as províncias do Planalto Ocidental e a Depressão Periférica Paulista.

Segundo Oliveira (1996), o Córrego do Monjolinho nasce na borda da cuesta localizada no setor sudeste da cidade de São Carlos, em altitude superior a 900 metros, segue inicialmente a norte, percorrendo o reverso da cuesta e posteriormente a oeste e sul e, finalmente, atinge a Cachoeira do Monjolinho, queda d'água de 30 metros localizada no *front* de cuesta, no setor sudoeste da área de estudo. Assim, o vale do Monjolinho delimita topograficamente uma área onde se localiza a maior parte do núcleo urbano, no reverso da cuesta, sendo que alguns bairros mais recentes romperam estes limites topográficos.

As formações geológicas do Planalto de São Carlos, segundo Gonçalves (1987), são a Botucatu (Grupo São Bento), contendo a parte abaixo das cuevas; a Serra Geral (Grupo São Bento), na estreita região das cuevas, onde ocorre a quebra do relevo (encostas); e a Formação Itaqueri (Grupo Bauru), no reverso das cuevas, em que se localiza a maior parcela do núcleo urbano.

Gonçalves (1987) ainda classifica os solos da região em dois grandes grupos, o Latossolo Vermelho-Amarelo e Areias Quartzosas Profundas, abaixo das cuevas.

Quando à hidrografia, Oliveira (1996) assim descreve:

*São Carlos está localizada sobre o divisor de águas que limita as bacias hidrográficas do Rio Mogi-Guaçu e Tietê, fato associado à sua localização elevada no Estado. Em razão disso, a maioria dos cursos d'água que drenam São Carlos e a totalidade dos que drenam a área urbanizada, têm suas nascentes localizadas no município.*

Quanto ao clima, Tolentino (1967) *apud* Gonçalves (1987), classifica o Planalto de São Carlos como transição entre Cwa.i e Aw.i, isto é, clima tropical com verão úmido e inverno seco, clima quente de inverno seco (sistemática de Köpen). O valor médio anual de precipitação é de 1512 mm. e a umidade relativa de 66%. (OLIVEIRA, 1996).

Os ventos predominantes, segundo Oliveira (1996), são de nordeste, seguidos por ventos de sudeste, podendo a direção dos ventos e a localização das indústrias comprometerem a qualidade do ar na área urbana de São Carlos.

Já no tocante à vegetação, Gonçalves (1987) descreve como vegetação natural predominante no cerrado, sendo caracterizada por uma formação não-florestal herbáceo-lenhosa, herbáceo-arbustiva, com árvores perenifólias.

Oliveira (1996) afirma que atualmente as pastagens ocupam a maior parte das terras que circundam o núcleo urbano, exceto no lado oeste (direção de Ibaté), onde é encontrada a cultura de cana-de-açúcar. A leste do perímetro urbano existem áreas de reflorestamento (Pinus).

O autor também afirma que os fragmentos florestais remanescentes podem ser encontrados principalmente nas imediações do bairro Cidade Aracy, onde a textura arenosa do solo compromete o uso agrícola. Outro fragmento florestal de

maior valor está localizado ao norte, no interior da Fazenda Canchim (EMBRAPA), sendo a vegetação mais robusta, compondo remanescente de mata.

São Carlos teve um considerável crescimento demográfico nos últimos 30 anos, com o agravamento dos problemas ambientais (CAVALHEIRO, 1991). A população praticamente dobrou neste tempo, já que em 1970 a população total era de 85.425 habitantes e, de acordo com o último censo (IBGE, 2000), a população total é de 192.998 habitantes, dos quais 183.433 no meio urbano e 9.565 no meio rural.

A escala de trabalho adotada foi 1:10.000, pois esta proporciona o entendimento de uma realidade não pontual, ao mesmo tempo que não se perde nos detalhes de escalas menores.

A área de pesquisa é de 180 km<sup>2</sup>, definida pelas coordenadas planas (UTM/Córrego Alegre) 197000, 7553000 e 209000,7568000, zona 23 UTM, onde se insere a malha urbana e de expansão de São Carlos – SP, em parte da Bacia do Ribeirão do Monjolinho, conforme Liporaci (2003), o que se vê na Figura 5.

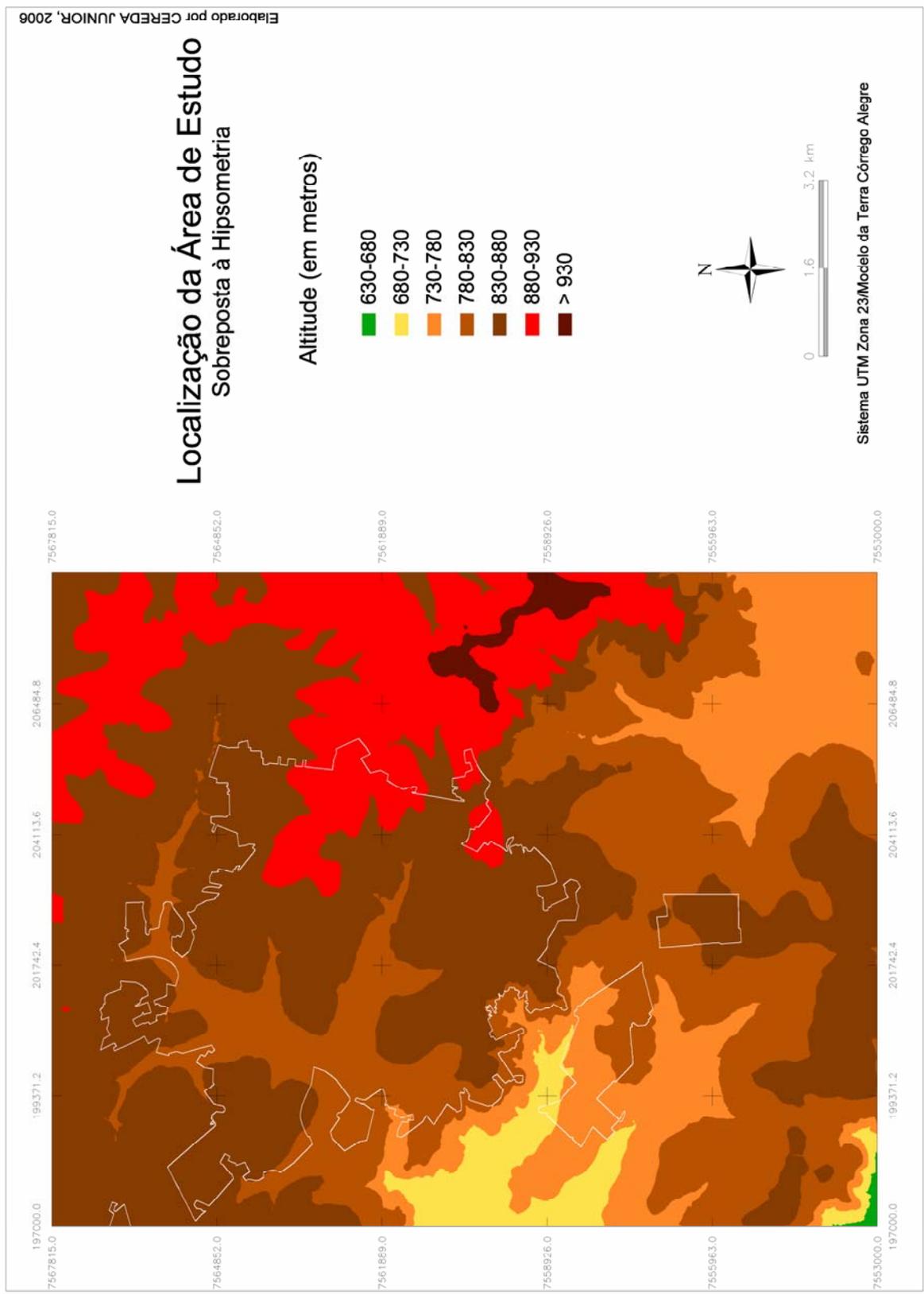


Figura 5 - Área da Pesquisa

#### 4.1.2. MATERIAIS

Além dos produtos cartográficos finais, as Cartas de Fragilidade Potencial e de Fragilidade, diversos temas base foram produzidos através de técnicas cartográficas, de levantamento de dados, utilização de imagens orbitais e aerofotogramétricas, e trabalhos de campo, a saber: Mapa Altimétrico, Mapa Pedológico, Mapa de Uso e Ocupação do Solo, Mapa Pluviométrico.

Em software, foram utilizados SPRING 4.2, Surfer 8.0, Autodesk Autocad Map 2000 e Autodesk Cad Overlay 2000, além de software para edição de textos Microsoft Word 2003 e para edição de planilhas Microsoft Excel 2003.

O hardware utilizado foi um PC Notebook HP, modelo ZD7168CL, Pentium IV Hyper Threading 3.02 Ghz, 1 Gb de Memória RAM DDR Dual Channel, HD de 80 Gb.

#### 4.1.3. MÉTODOS

Para o entendimento e elaboração da Carta de Fragilidade Potencial (Natural) e da Carta de Fragilidade Emergente (Ambiental), que permitem a análise da paisagem pelo seu comportamento dinâmico, de importante contribuição para os estudos ambientais e de ordenamento territorial, será utilizada a proposta Ecodinâmica de Tricart (1977), ampliada por Ross (1990 e 1994).

Como já salientado na revisão bibliográfica, esta metodologia tem como diretriz principal o enfoque sistêmico, que permite uma concepção globalizante do meio e possibilita expressar a organização funcional do espaço, através do estudo das inter-relações de causa e efeito, condicionadas pelas influências naturais e antrópicas (ALMEIDA, 2000).

Tricart (1977) propõe a classificação da paisagem por meio das unidades ecodinâmicas, em três categorias: os *meios estáveis*, unidades morfodinâmicas em equilíbrio ou estabilidade morfogenética, havendo predominância da pedogênese; os *meios intergrades*, unidades morfodinâmicas com transição gradual entre os meios estáveis e os instáveis, na qual há um balanço entre a pedogênese e a morfogênese; e os *meios fortemente instáveis*, unidades morfodinâmicas em desequilíbrio, predominando os processos morfogenéticos em detrimento dos pedogenéticos.

Pela complexidade da representação cartográfica apresentada nesta metodologia, Ross (1990 e 1994) propõe mudanças através da definição de classes de estabilidade/instabilidade morfodinâmicas, representadas por manchas de comportamento morfodinâmico potencial ou emergente, com a Carta de Fragilidade Potencial (Natural) e a Carta de Fragilidade Emergente (Ambiental), conforme detalhadas na Fundamentação Teórica.

Para a execução do mapeamento, foi utilizado o software SPRING, um Sistema de Informações Geográficas (SIG), bem como outras ferramentas que serão descritas nos Procedimentos Operacionais.

## **5. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS**

Definidos os métodos e fundamentada conceitualmente a pesquisa, parte-se então para a operacionalização e geração dos mapas sínteses. É importante salientar que, ao trabalhar com geoprocessamento, muitos entusiastas tecnológicos e até mesmo pesquisadores ignoram tal revisão. Sem tal cuidado, pode-se incorrer no erro da técnica pela técnica, desprezando a produção científica.

Conforme já explanado, a proposição de Ross (1994) apresenta uma alternativa metodológica mais adequada à utilização nos Sistemas de Informações Geográficas, a partir da associação de dígitos arábicos, na qual cada um dos números representa um determinado peso, conforme operacionalização adotada descrita por Spörl (2001) e detalhada no item 5.1.3.

Corroborando o que foi citado anteriormente e ponderando que a revisão bibliográfica é importantíssima para a operacionalização, encontrou-se, em *Morato et al* (2003), uma nova forma de integração dos dados para a geração das cartas de Fragilidade Potencial e Ambiental, a partir de uma tabela bidimensional, embasadas nos mesmos fundamentos teóricos. Isto mostra que diferentes visões operacionais podem levar a criação de operacionalizações em Sistemas de Informações Geográficas por diferentes caminhos.

Segundo a metodologia de Ross (1994), o produto síntese-diagnóstico identifica manchas ou áreas classificadas em Unidades Ecodinâmicas de Instabilidade Potencial, classificadas em fraca, média, forte e muito forte, quando a interferência antrópica é restrita e prevalece a cobertura vegetal florestal.

As manchas de Instabilidade Emergente também são classificadas em como fraca, média, forte e muito forte, quando as atividades antrópicas alteram o ambiente natural com qualquer uma dessas práticas: agrícola, pecuária, industrial, urbana, sistema viário.

Além do Sistema de Informações Geográficas SPRING, foi utilizado também, no caso específico da interpolação de dados pluviométricos, o software Surfer 8.0, por recomendação do Laboratório de Climatologia do Departamento de Geografia da Universidade Estadual Paulista (UNESP), *Campus* de Rio Claro, que possui vasta experiência com dados desta natureza.

Para a geração das Cartas de Fragilidade Potencial (por meio da combinação das características da declividade e solos) e de Fragilidade Emergente, chamada também de Ambiental (combinação do resultado cartográfico anterior com os graus proteção aos solos, a partir da cobertura vegetal e uso da terra), a primeira etapa operacional é a elaboração dos mapas base, a saber: altimetria (e seu desdobramento com o Mapa de Declividades), pedologia, cobertura vegetal e pluviometria.

### 5.1.1. MAPAS BASE

#### **Declividade**

O primeiro mapa base é o de declividade, elaborado a partir das curvas de nível de cinco em cinco metros, na escala 1:10.000, em 8 cartas topográficas que compõem a área de estudo, digitalizadas por Silvana Ribeiro Liporaci, Abimael Cereda Junior e Fábio Giardini Pedro, para Liporaci (2003).

A digitalização foi realizada no software Autodesk AutoCAD Map® 2000, tendo como fontes para digitalização as folhas topográficas do IGC: São Carlos V (SF-23-V-C-IV-3-SO-F), Rio do Monjolinho (SF-23-V-C-IV-3-SE-E), São Carlos I (SF-23-Y-A-I-1-NO-B), São Carlos II (SF-23-Y-A-I-1-NE-A), São Carlos IV (SF-23-Y-A-I-1-NO-D), Fazenda Capão das Antas (SF-23-Y-A-I-1-NE-C), Córrego Santa Maria (SF-23-Y-A-I-1-NO-F), Estação Conde do Pinhal (SF-23-Y-A-I-1-NE-E), adquiridas junto ao Instituto Geográfico e Cartográfico da Secretaria de Economia e Planejamento do Estado, na escala 1:10.000, com isolinhas altimétricas de 5 em 5 metros.

Com fins de integração com o software SIG adotado, tais isolinhas altimétricas foram exportadas para o formato DXF e importadas no SPRING.

O formato DXF, segundo a Wikipedia (2006), é a abreviatura para *Drawing Interchange Format*, ou *Drawing Exchange Format*. É um formato de arquivo de CAD (*Computer-aided design*), desenvolvido pela Autodesk como sua solução para permitir a interoperabilidade de dados do AutoCAD e outros programas.

Apesar de ser um formato antigo (surgiu em 1982) e que não possui suporte para novas entidades e funções do AutoCAD, é ainda um dos padrões mais utilizados em SIG para disponibilização de dados vetoriais sem banco de dados associados, ou seja, somente para entidades linhas, polígonos e pontos.

Após a importação das isolinhas no software SPRING 4.2, foram realizados os procedimentos para a geração do mapa de declividade, que consistem basicamente em gerar uma grade triangular, refinamento desta transformando-a em regular, em criar a superfície de declividade e em gerar as classes temáticas dos intervalos de declividade.

O resultado final está apresentado na Figura 6.

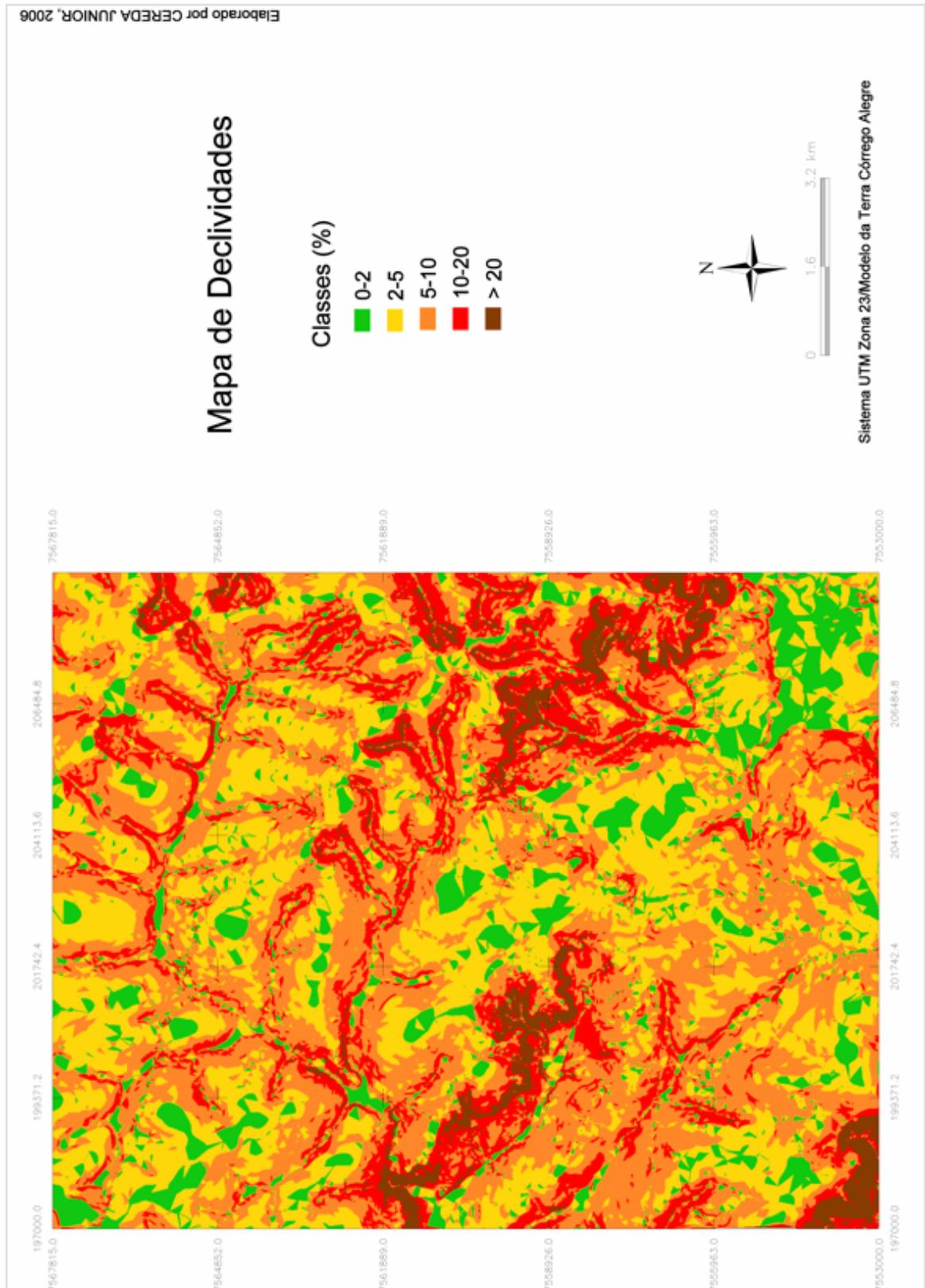


Figura 6 - Mapa de Declividades

## **Pedologia**

O Mapa Pedológico utilizado na presente pesquisa foi elaborado por Liporaci (2003).

Através de trabalhos de campo, para checar os contatos litológicos interpretados em fotografias aéreas, foram locados e descritos os perfis de intemperismo, ou os horizontes de solos associados a cada litologia, assim como a sua evolução pedogenética, por meio de uma ficha de campo, a qual continha um resumo de todos os itens que precisavam ser levantados nos pontos visitados, incluindo as características dos perfis de intemperismo, como texturas, estruturas, espessuras e evolução pedogenética.

Para a efetiva elaboração do mapa pedológico, primeiramente foi realizada uma fotointerpretação utilizando-se das fotografias aéreas na escala 1:8.000, a partir das quais foram traçadas todas as planícies de inundação contidas dentro dos limites da área mapeada, regiões onde ocorrem os solos aluvionares e/ou hidromórficos e orgânicos (GH + GPH + Or).

O mapa pedológico da área foi obtido através da foto-interpretção, onde foram traçados os contatos das planícies de inundação, que contém os solos de origem aluvionares, hidromórficos ou orgânicos, ou seja, transportados e depositados pela água, os quais possuem, como resultados de ensaios SPT, o valor de 0 a 2 ou 3. Estes dados e informações foram extraídos de 152 fotografias aéreas na escala 1: 8.000, datadas de junho de 1998 e fornecidas pelo SAAE - Sistema Autônomo de Água e Esgoto de São Carlos.

Posteriormente estes contatos foram transcritos das fotografias aéreas para a base topográfica, já contendo os contatos litológicos (traçados na

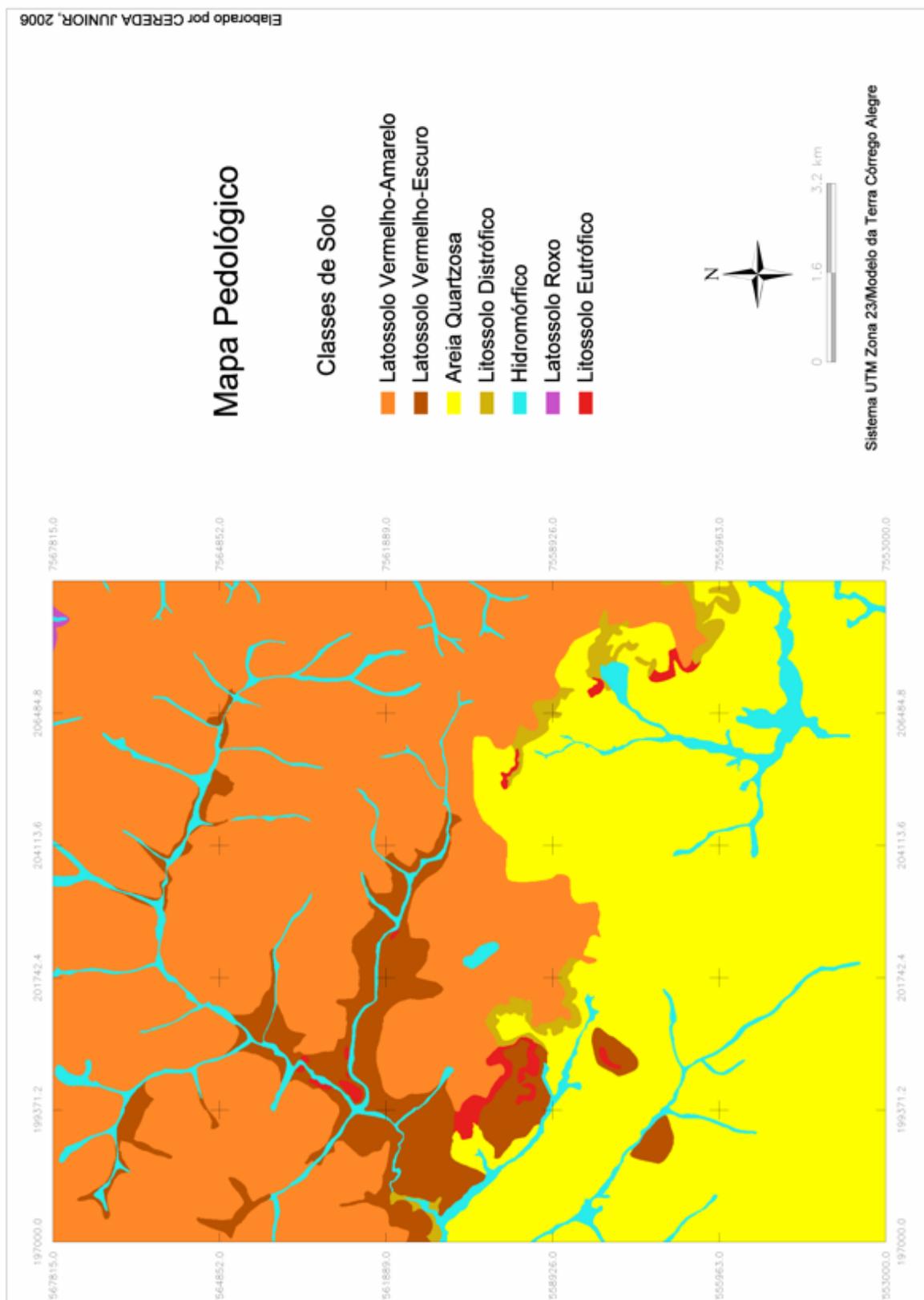
elaboração do mapa do substrato rochoso), composta por 8 folhas na escala de 1:10.000 utilizando-se do Aerosketchmaster.

Em seguida, nas 8 folhas topográficas contendo os contatos litológicos e os dados e informações geológicas, assim como a locação dos inúmeros perfis de sondagens (SPT e rotativas) extraídos das dissertações analisadas, foram lançados os inúmeros dados e informações coletadas por Liporaci (2003).

Uma vez terminada a interpretação e o traçado de cada folha analógica, elas foram convertidas para o formato digital através de leitura em scanner e, utilizando-se do software AutoCad 2000, foram georreferenciadas.

Com estas cartas inseridas e georreferenciadas no AutoCAD 2000, executou-se a digitalização dos contatos das sete unidades do mapa pedológico, sendo exportadas em formato DXF quando prontas, a fim de integrar o banco de dados no SPRING 4.2.

O resultado final está apresentado na Figura 7.



**Figura 7 - Mapa Pedológico**

## Uso e Ocupação

O Mapa de Uso e Ocupação teve como origem o trabalho de Pons (2006), refinado e complementado pelo autor, e convertido em Graus de Proteção ao Solo, distinguindo diversos temas, como *cobertura natural*, *reflorestamento*, *culturas semi-permanentes*, *pastagem*, *culturas anuais*, *cana-de-açúcar*, *área urbanizada/mineração*.

Para isto, Pons (2006) utilizou uma imagem Ikonos de junho de 2004, referente à área de estudo de seu trabalho, sendo processada no software Envi 4.1.

Utilizando a técnica de classificação supervisionada, foram definidas oito formas de uso e/ou ocupação na área de estudo, segundo Pons (2006): *culturas perenes* (plantação de café e citrus); *culturas anuais* (plantação de milho, soja, horticulturas); *cana-de-açúcar*, *silvicultura ou reflorestamento* (plantação de eucalipto e pinus); *vegetação nativa* (áreas com presença de mata, cerrado ou capoeira); *pasto ou área não-cultivada* (campos de pastagem ou áreas de desmatamento); *área residencial ou industrial* (áreas urbanas, com construções de loteamentos e indústrias); e *área de mineração* (com atividades de mineração).

Entretanto, a autora descreve não ter conseguido boa classificação com a técnica supervisionada e optou pela delimitação de polígonos de uso e ocupação através da interpretação visual, a partir do reconhecimento físico dos objetos.

Com esta delimitação em formato digital, o autor da presente pesquisa complementou as áreas não-contempladas, pois a pesquisa de Pons (2006) delimitou a área urbana e de expansão como objeto de estudo.

Através das imagens Ikonos de Pons (2006), foi complementada a área necessária com delimitação de polígonos de uso e ocupação através de interpretação visual, no Autodesk AutoCAD Map® 2000.

Procedeu-se um novo georreferenciamento da imagem através das funções existentes no Autodesk Overlay 2000, a fim de um ajuste mais fino. Para isto, utilizou-se, como pontos de controle, a hidrografia, gerada por Abimael Cereda Junior para Liporaci (2003), e a malha urbana da Prefeitura Municipal de São Carlos – SP.

Com a complementação e refinamento do Mapa de Uso e Ocupação, exportaram-se os dados, em formato DXF, para integração com o banco de dados do SPRING 4.2.

O resultado final está apresentado na Figura 8.

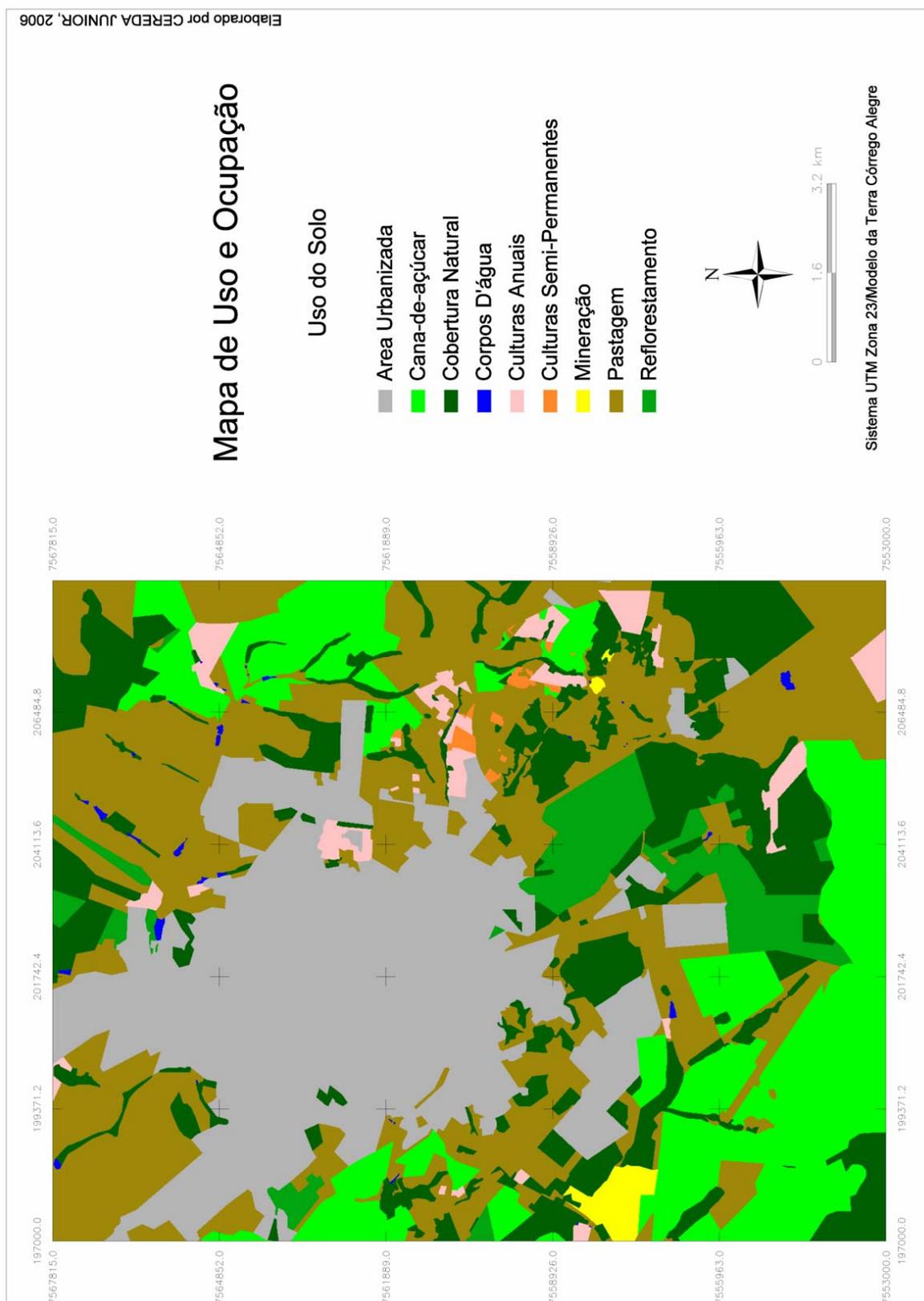


Figura 8 - Mapa de Uso e Ocupação

## Pluviometria

O Mapa de Isoietas também partiu de dados gerados por Abimael Cereda Junior para Liporaci (2003), através de dados do Serviço Autônomo de Água e Esgoto de São Carlos (SAAE), do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET e da Fazenda Experimental Canchim, pertencente à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA).

Foi disponibilizado, pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto de São Carlos (SAAE), um software que tem por função coletar os dados enviados pelos sensores dos equipamentos do Serviço, entre eles, pluviômetros digitais instalados no município.

Foi possível utilizar dados de cinco postos pluviométricos, aqueles que realmente operaram e assim continuam com regularidade, sem problemas de leitura. No entanto, ao se consultar a base de dados do SAAE, notou-se que outros postos existiriam, mas deixaram de operar ou ainda entrarão em atividade.

Por este motivo, optou-se por trabalhar com apenas três anos de coletas de dados: 2000, 2001 e 2002. Apesar da recomendação de sempre se trabalhar com grandes séries de dados para pluviometria, isto ficou inviabilizado para a área de estudos, visto a escassez até mesmo para uma pequena série.

Mesmo assim, considera-se muito mais representativo fazer uma análise temporal pequena de postos localizados dentro da região de estudo a adotar, para uma área de 180 km<sup>2</sup>, um valor médio, como em diversas pesquisas encontradas na revisão.

Após o processamento dos dados das cinco estações do SAAE, sua organização de forma sistemática e sua conferência, verificou-se a necessidade

de mais postos para uma melhor interpolação dos dados, a fim de se gerar o Mapa de Isoietas com maior confiabilidade.

Foram, então, procuradas fontes bibliográficas e informacionais sobre a temática da região de estudo, buscando encontrar outros postos pluviométricos que serviriam de maior apoio para interpolação dos dados.

Uma primeira fonte de consulta foi o Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE – da Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Obras e sua rede de monitoramento pluviométrico.

Grande parte dos postos desta rede está desativado, abandonado ou com falta de dados confiáveis. Entretanto, um posto pôde ser utilizado, o do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, localizado no Campus da UFSCar (Coordenadas UTM 7566660 m N e 202200 m E), onde foram fornecidos os dados de forma analógica, convertidos em digital.

Também foram utilizados três postos que se encontram fora da área de trabalho. Como se sabe, a natureza não tem limites impostos pelo homem, e que este recorte se faz necessário para qualquer estudo. Sendo assim, estes postos vieram contribuir para a interpolação dos dados.

O primeiro é pertencente à Fazenda Experimental Canchim, da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA); o segundo, particular, está localizado na Fazenda Santa Cândida e, o terceiro, pertence ao Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada (CRHEA – USP).

Desta forma, para a região de estudos, foram levantados nove postos de coleta de dados de pluviometria, que foram convertidos para formato Microsoft Excel.

Através das ferramentas de média do Microsoft Excel, foi organizada a Tabela 7, que apresenta a média dos totais mensais e anuais de precipitação nos anos de 2000 a 2002.

**Tabela 7 - Média dos Totais Mensais e Anuais de Precipitação das Estações Pluviométricas da Área de Estudo (2000-2002)**

Estação	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
Espraiado	339,88	119,13	107,13	16,00	53,75	5,67	22,58	47,08	73,25	58,50	165,58	213,67	1010,25
Novo Horizonte	313,63	166,38	66,63	13,13	28,63	5,00	15,50	25,17	56,83	44,33	168,92	373,75	1081,75
São Carlos III	23,22	106,96	134,65	132,38	125,25	1,67	20,67	34,25	76,42	71,33	92,75	403,83	1018,30
Vila Alpes	244,50	163,00	264,63	1,13	39,13	20,83	36,08	45,58	73,83	60,92	182,67	168,67	1063,50
ETA	253,13	143,25	90,75	3,25	61,38	5,08	23,50	46,67	71,35	48,85	183,51	186,96	933,75
Faz. Sta. Cândida	301,07	243,13	177,27	22,87	56,23	2,73	43,13	58,53	92,43	131,37	244,60	204,50	1577,87
EMBRAPA	248,33	238,47	137,47	10,80	43,53	3,93	21,53	32,70	88,17	76,87	191,93	244,93	1338,67
CRHEA	310,57	230,17	153,07	20,92	42,00	5,53	25,93	67,10	77,80	127,07	230,30	691,77	1982,22
INMET	295,07	164,67	170,57	18,73	44,03	7,27	18,53	47,73	103,80	95,17	214,50	293,83	1473,90

Fontes: SAAE, Faz. Sta. Cândida, EMBRAPA, Posto INMET e CRHEA

Organizado pelo autor

Após o tratamento da informação pluviométrica para a área de estudos, passou-se à interpolação desta, com o objetivo de gerar o mapa de isoietas. Como método de interpolação, foi escolhido a krigagem, conforme bases conceituais apresentadas no item 2.6.

Posto isto, passou-se à integração dos dados entre Microsoft Excel 2000 e Surfer 8, procedimento este sem problemas pela possibilidade do Surfer de importação e exportação em diversos formatos populares de mercado.

Depois da importação, criou-se uma grade (*grid*) através de interpolação retangular, com o método *Kriging*, com um espaçamento de malha de 10 x 10 metros, o que permite 1200 linhas por 1500 colunas de resolução.

Feita a interpolação, para conferência e geração do Mapa de Isoietas, passou-se a representação cartográfica propriamente dita destes, através da

função *Contour Map*, que cria, através de um *grid* (ou de um Modelo Digital de Terreno), mapas de isolinhas (linhas de igual valor).

Para o mapa de Isoietas, o menor valor definido automaticamente pelo software Surfer 8 foi 900 mm e, o maior, 1750 mm, sendo que o autor estabeleceu um valor de intervalo entre as curvas de 50 mm.

Como já definido anteriormente, o Sistema de Informações Geográficas adotado foi o SPRING 4.2 e, desta forma, procedeu-se à exportação das Isoietas, através da função *Export Contours*, em que as isolinhas obtidas são exportadas em DXF.

O resultado final está apresentado na Figura 9.

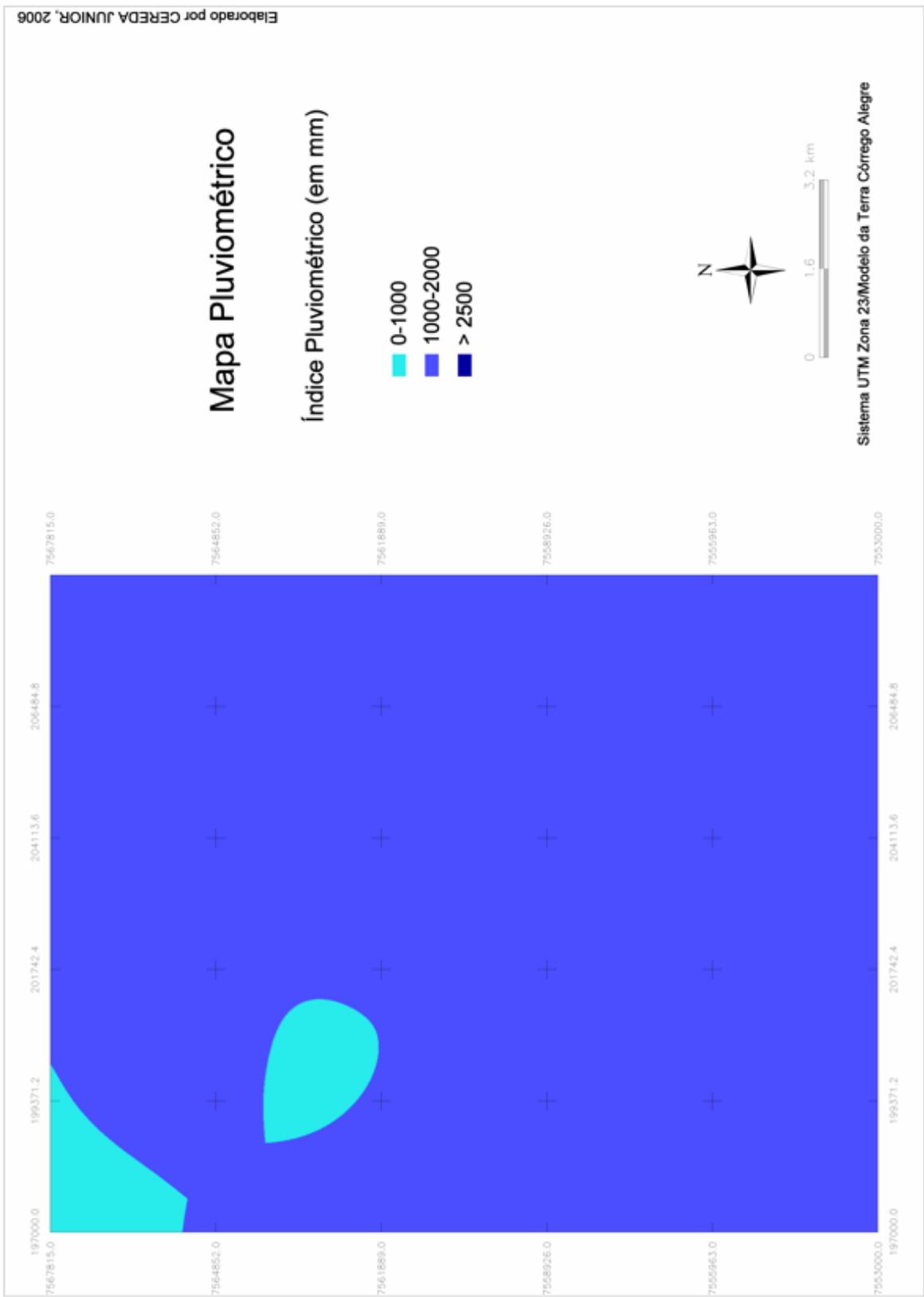


Figura 9 - Mapa Pluviométrico

### 5.1.2. CONJUNTOS ARÁBICOS

Estando os mapas base construídos e verificados, parte-se para a geração dos produtos cartográficos finais, aos quais a metodologia ecodinâmica e suas modificações se propõem. Assim, algumas adequações aos mapas são necessárias, a fim de contemplar em todos os parâmetros a metodologia adotada.

Conforme apresentado na Tabela 2, Ross (1994) define os Intervalos de declividade e seus respectivos Índices de Fragilidade. Foi então realizada a classificação, no SPRING, das Classes de Declividade e o Mapa de Fragilidade de Declividade. Para esta reclassificação foi escrito um programa em LEGAL, com esta função específica.

Já o Mapa Pedológico, apresentado na Figura 7, foi reclassificado em Classes de Fragilidade de Solo e gerou o Mapa de Fragilidade de Solo, conforme índices do Tabela 3, propostos por Ross (1994).

Através dos índices de fragilidade apresentados nas Tabelas 2, 3, 4 e 5, procede-se à geração da Carta de Fragilidade Ambiental pela operacionalização descrita por Spörl (2001), baseada na proposta inicial de Ross (1994).

São, assim, designados algarismos (ou dígitos) de fragilidade, compondo uma chave de definição. O primeiro dígito é relacionado ao relevo; o segundo, ao solo; o terceiro, à cobertura vegetal e, o quarto, à pluviosidade.

Em outras palavras, é estabelecida uma classificação da fragilidade por correlação entre estes quatro planos de informação composta pelas categorias e dígitos de índice de fragilidade, se concretizando a hierarquização dos Graus de Fragilidade pela combinação dos conjuntos arábicos entre si (1111, 3421, 2341, até 5555).

Uma associação 1111 representa uma área com declividade de fragilidade muito fraca, solos de muito fraca erodibilidade, grau de proteção muito alto e com nível hierárquico de comportamento pluviométrico muito baixo.

Já o conjunto numérico 5555 apresenta uma área com declividade de fragilidade muito forte, com solos muito frágeis aos processos erosivos, desprovida de cobertura vegetal, com grau de proteção muito baixo, e nível hierárquico de comportamento pluviométrico muito forte.

Na área de estudo são encontrados os seguintes Índices de Fragilidade:

- Classes de Fragilidade de Declividade: Muito Fraca (1), Fraca (2), Média (3), Forte (4) e Muito Forte (5);
- Classes de Fragilidade de Solo: Muito Baixa (1), Média (3) e Muito Forte (5);
- Graus de Proteção por Tipo de Cobertura Vegetal: Muito Alta (1), Alta (2), Média (3), Baixa (4) e Muito Baixa a Nula (5);
- Níveis hierárquicos de comportamentos pluviométricos: Muito Baixa (1) e Baixa (2).

Ross (1990 e 1994), baseado na proposta de Tricart (1977), desenvolveu o conceito de Classes de Instabilidade, ou seja, os dígitos que indicam o grau de fragilidade da área foram classificados em Unidades Ecodinâmicas de Instabilidade Potencial (Unidades Ecodinâmicas Estáveis) e Unidades Ecodinâmicas de Instabilidade Emergente (Unidades Ecodinâmicas Instáveis), conforme discutido no item 2.4.

Na proposta operacional de Spörl (2001), baseada em Ross (1994), ao ser gerada a Carta de Fragilidade Ambiental, estas duas Unidades são desconsideradas e geradas classes gerais.

Também é importante salientar, conforme Spörl (2001), que, no modelo de análise sugerido por Ross (1994), a variável que representa o primeiro dígito da associação numérica determina o grau de fragilidade, as demais variáveis apenas hierarquizam nuances desta fragilidade, nuances estas que não são representadas na Carta Síntese. Deste modo, a variável declividade (primeiro dígito) é determinante na classificação do grau de fragilidade.

Definidas as classes a serem trabalhadas e as regras de combinação booleana, foi escrito o programa em LEGAL para operacionalização, o que resultou na criação da Carta de Fragilidade Ambiental, pelo método da associação de números arábicos, tendo como resultado a Carta de Fragilidade Ambiental, Figura 10.

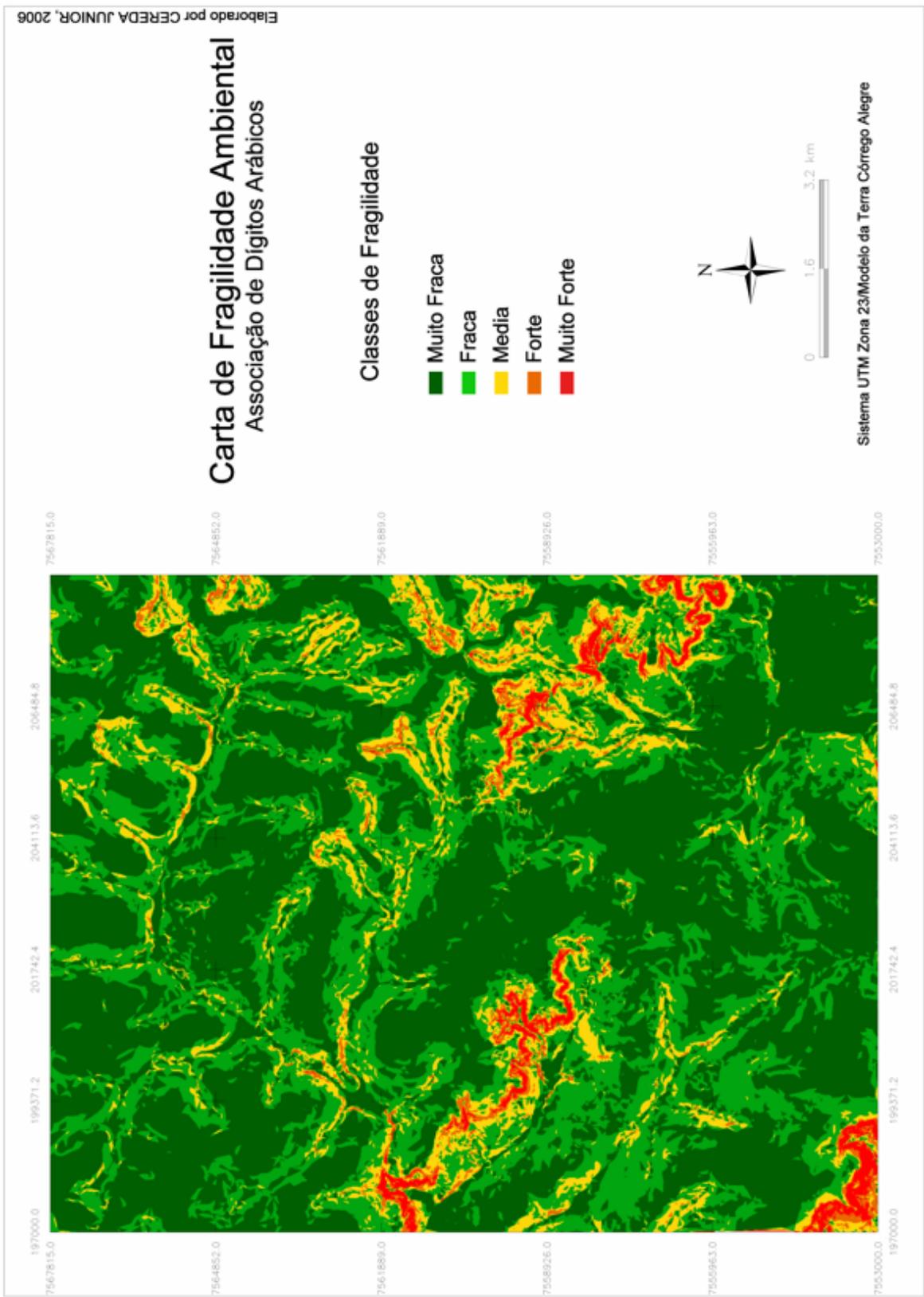


Figura 10 – Carta de Fragilidade Ambiental – Associação de Dígitos Arábicos

No presente trabalho, propõe-se a criação de Classes com Grau de Fragilidade, por exemplo, Muito Forte Estável e Muito Forte Instável, contemplando a proposta metodológica de Ross (1994), sendo que o primeiro dígito determina o Grau de Fragilidade (Muito Forte a Muito Fraca) e, o terceiro dígito, se o ambiente de fragilidade é Estável ou Instável.

Tal proposição está baseada na premissa que a Metodologia Ecodinâmica é essencialmente cartográfica. Assim, a hierarquização dos graus em formato tabular não contempla em sua totalidade as premissas teórico-metodológicas.

É então apresentada na Figura 11 a Carta de Fragilidade Ambiental, que considera o primeiro e o terceiro dígito, sendo então quantificada a área total de cada um dos índices de fragilidade, conforme apresentado na Tabela 8.

**Tabela 8 - Tabela com Área das Classes de Fragilidade Ambiental – em km<sup>2</sup>**

<b>Classe</b> <b>Ambiente</b>	Muito Fraca	Fraca	Média	Forte	Muito Forte
Estável	19,04	11,61	4,45	1,81	2,01
Instável	75,94	48,98	12,91	2,29	0,78

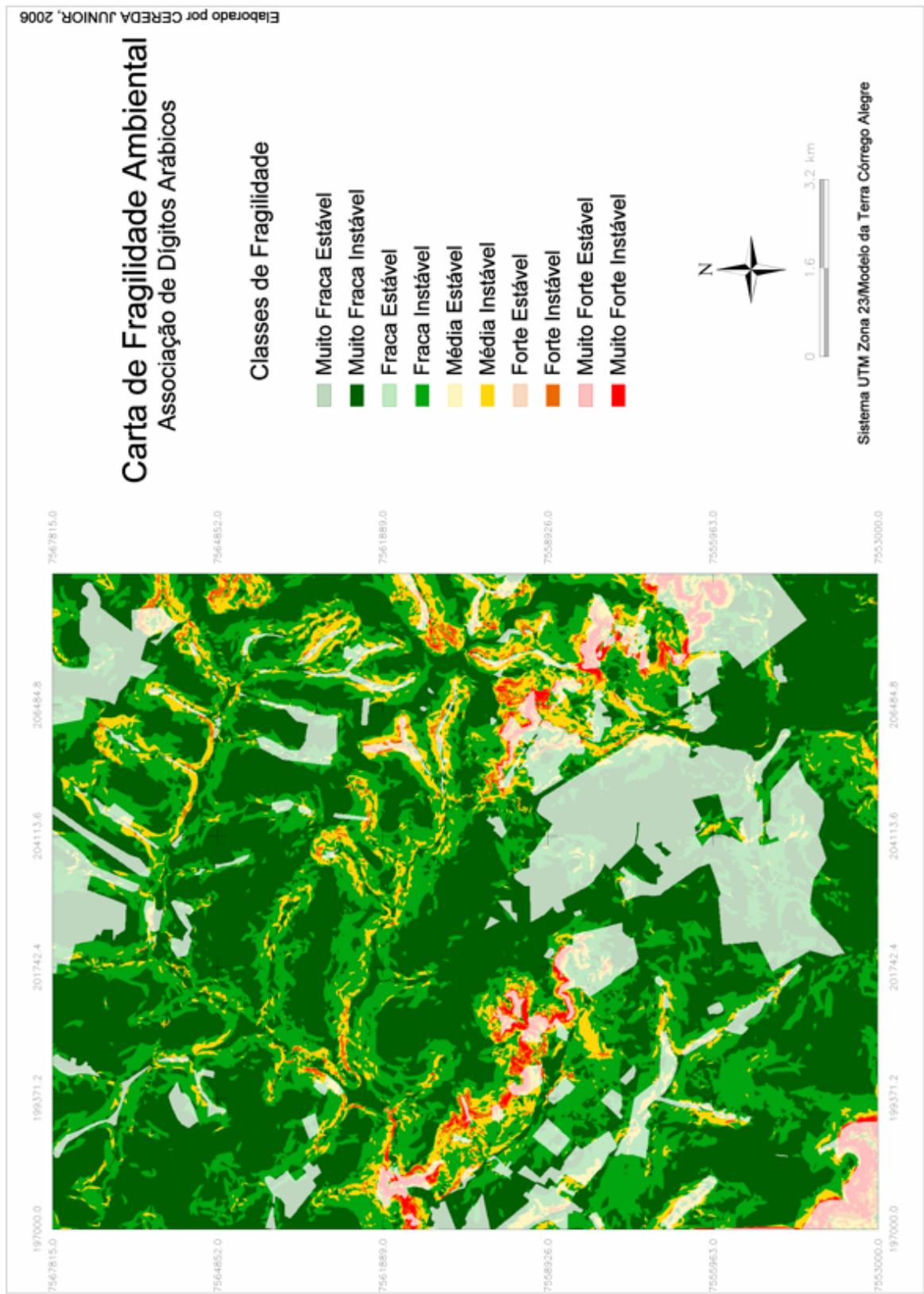


Figura 11 – Carta de Fragilidade Ambiental – Associação de Dígitos Arábico

### 5.1.3. TABELA BIDIMENSIONAL

Morato *et al* (2003), descreve uma nova operacionalização para a geração das Cartas de Fragilidade Potencial e Ambiental: quando duas classes são equivalentes, a classe resultante se mantém; quando a combinação é de classes diferentes, a classe resultante será a classe mais forte.

Desta forma, após a hierarquização das classes de declividade e de solos, e a geração dos respectivos mapas, foi elaborada uma tabela de dupla entrada (bidimensional), sendo as linhas atribuídas às classes de solo e as colunas, às classes de declividade.

Cada célula da tabela foi preenchida com a classe resultante da combinação das classes de solo e de declividade, conforme a Tabela 9.

**Tabela 9 - Tabela de Dupla Entrada para Combinação Declividade-Solo.**

<b>Declividade</b>	< 6% (1)	6 – 12% (2)	12 – 20% (3)	20 – 30% (4)	> 30% (5)
<b>Solos</b>					
Latossolo Roxo, Latossolo Vermelho Escuro (1)	Muito Fraca (11)	Fraca (12)	Média (13)	Forte (14)	Muito Forte (15)
Latossolo Vermelho Amarelo (3)	Média (31)	Média (32)	Média (33)	Forte (34)	Muito Forte (35)
Areias Quartzosas, Hidromórficos, Litossolo Eutrófico, Litossolo Distrófico (5)	Muito Forte (51)	Muito Forte (52)	Muito Forte (53)	Muito Forte (54)	Muito Forte (55)

Organizada pelo Autor

Com a definição destas regras, foi possível proceder os cálculos de cruzamento de mapas, através de álgebra booleana, presentes no software SPRING 4.2, através da implementação de um software em LEGAL.

Cereda Junior & Röhm (2005) afirma que o entendimento das relações entre estas unidades leva ao zoneamento e à definição de unidades do espaço pelos pesquisadores e gestores, a partir da recuperação dos dados e sobreposição deles, havendo uma regra para tal.

Em termos práticos, e sem a utilização da computação, equivaleria à sobreposição de mapas base sobre uma mesa de luz, gerando um novo mapa síntese, obtido a partir das regras de cruzamentos estabelecidas pelo pesquisador envolvido ou de acordo com a metodologia adotada.

Moreira (2001) define o Modelo Booleano como a combinação lógica de conjuntos de mapas binários através de operadores condicionais, sendo cada mapa representado por um *layer* (plano de informação), segundo seqüências lógicas para dar suporte a uma hipótese ou proposição definida.

Sendo assim, a tabela de dupla entrada é a seqüência lógica mencionada e a operacionalização, no software SPRING, se deu através da elaboração de um programa em LEGAL, tendo como resultado a Carta de Fragilidade Potencial, Figura 12.

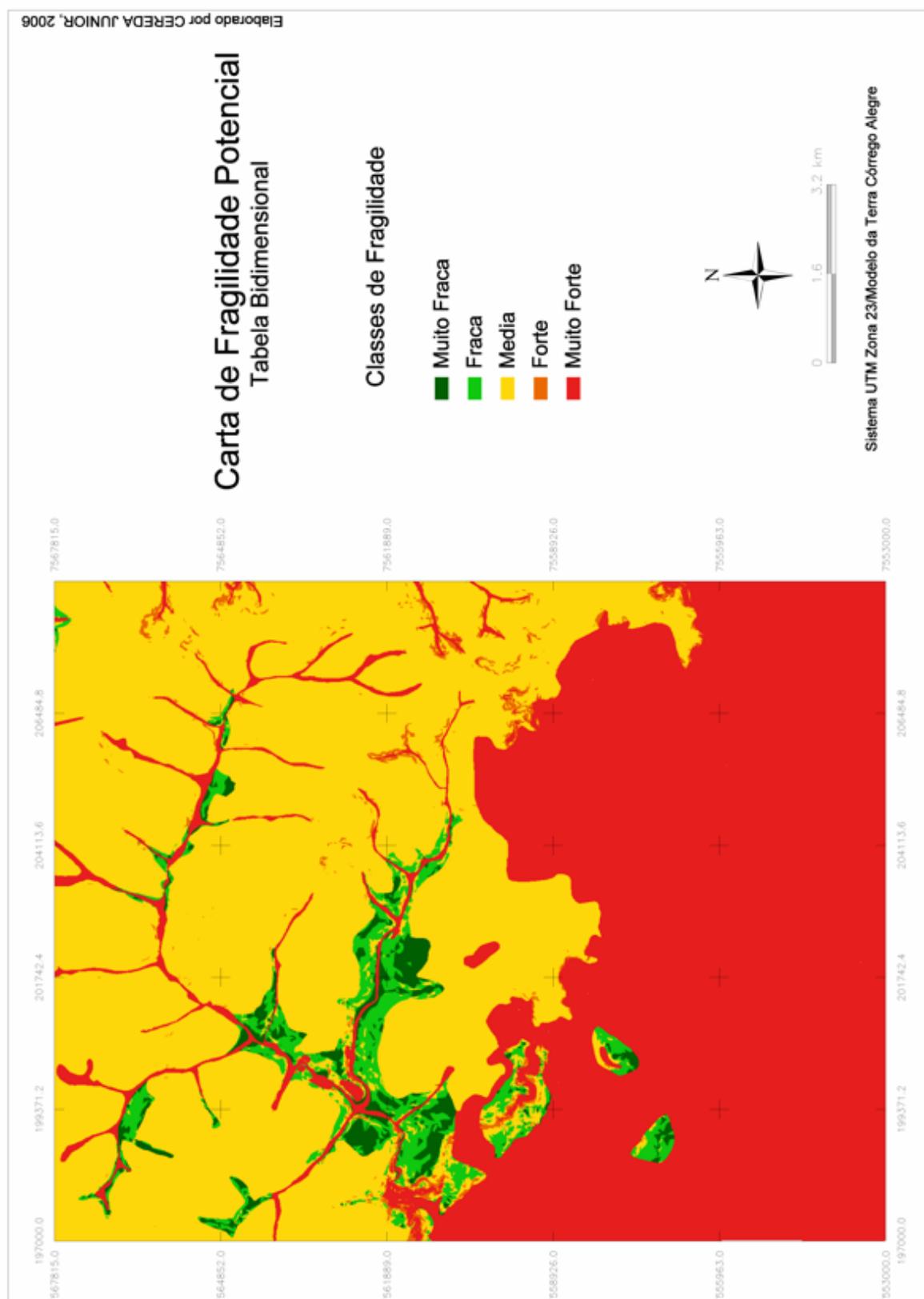


Figura 12 – Carta de Fragilidade Potencial – Tabela Bidimensional

Com a Carta de Fragilidade Potencial elaborada, é possível então a geração da Carta de Fragilidade Ambiental.

A partir dos índices propostos por Ross (1994) para os Graus de Proteção, o Mapa de Uso e Ocupação do Solo de Pons (2006) foi reclassificado e complementado pelo autor, gerando o Mapa de Fragilidade da Cobertura Vegetal.

Assim como na combinação declividade-solo, foi gerada a Tabela 10 de dupla entrada, na qual às linhas foram atribuídas as classes de Fragilidade Potencial e, às colunas, as classes de Graus de Proteção por tipo de Cobertura Vegetal.

**Tabela 10 - Tabela de Dupla Entrada para Combinação Fragilidade Potencial-Graus de Proteção.**

<b>Graus de Proteção</b> <b>Fragilidade Potencial</b>	Cobertura Natural Corpos D'água (1)	Reflorestamento (2)	Culturas semi-permanentes (3)	Culturas Anuais** (4)	Área Urbanizada/ Mineração (5)
Muito Fraca (1)	Muito Fraca (11)	Fraca (12)	Média (13)	Forte (14)	Muito Forte (15)
Fraca (2)	Fraca (21)	Fraca (22)	Média (23)	Forte (24)	Muito Forte (25)
Média (3)	Média (31)	Média (32)	Média (33)	Forte (34)	Muito Forte (35)
Forte (4)	Forte (41)	Forte (42)	Forte (43)	Forte (44)	Muito Forte (45)
Muito Forte (5)	Muito Forte (51)	Muito Forte (52)	Muito Forte (53)	Muito Forte (54)	Muito Forte (55)

Organização do autor

Cada célula da tabela foi preenchida com a classe resultante da combinação, procedendo-se à operação booleana baseada nesta, tendo como resultado a Carta de Fragilidade Ambiental, Figura 13.

\* Pastagem, Café/Citrus (semi-permanentes)

\*\* Cana-de-açúcar, Milho, Soja, Horticultura (anuais)

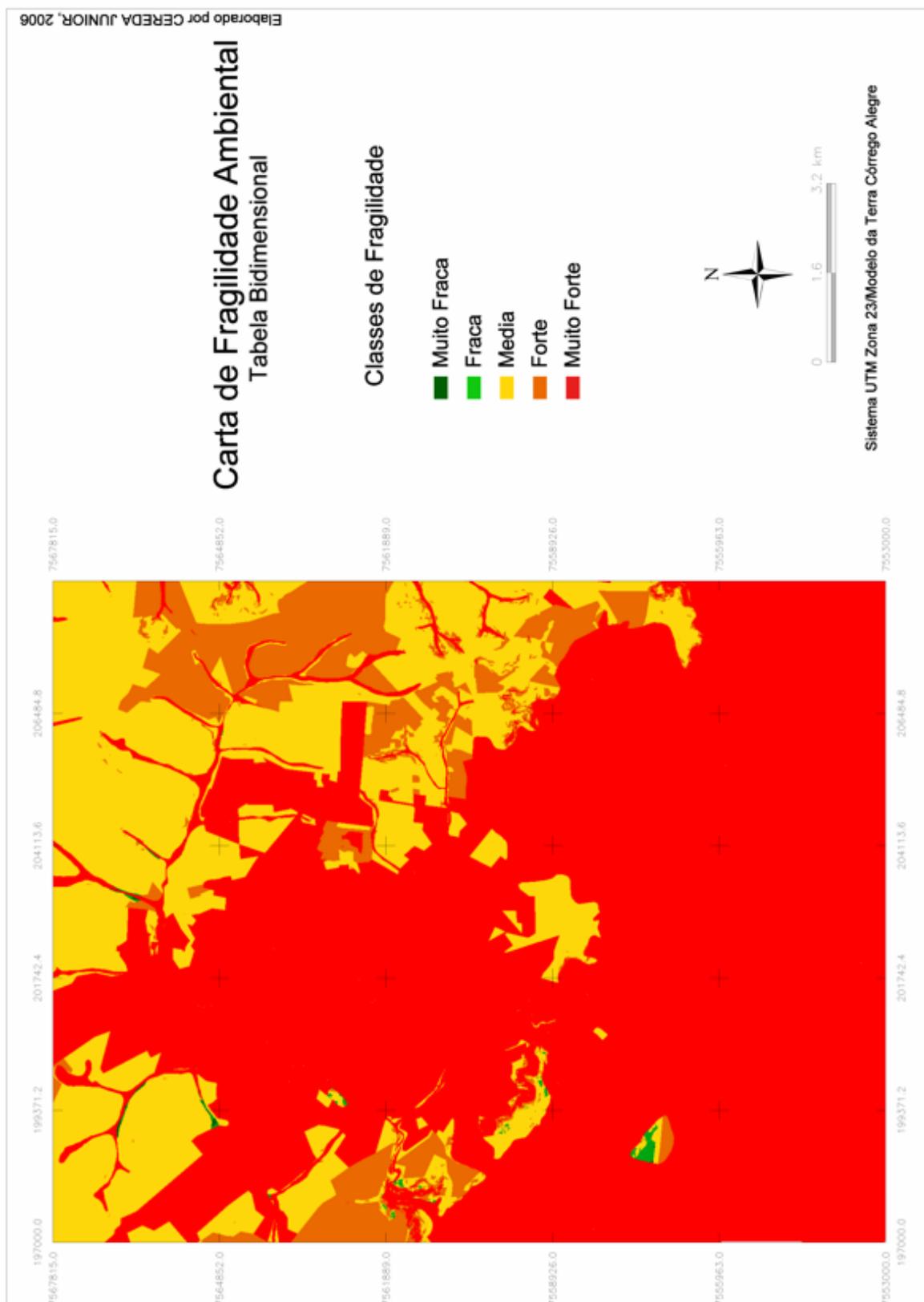


Figura 13 – Carta de Fragilidade Ambiental – Tabela Bidimensional

Com o uso das ferramentas computacionais existentes foi possível a quantificação da área total de cada um dos índices de fragilidade, conforme apresentado na Tabela 11.

**Tabela 11 - Tabela com Área das Classes de Fragilidade – em km<sup>2</sup>**

<b>Classes</b> <b>Fragilidade</b>	Classe Muito Fraca	Classe Fraca	Classe Média	Classe Forte	Classe Muito Forte
Fragilidade Potencial	3,1	6,0	88,5	1,9	80,5
Fragilidade Ambiental	0,1	0,3	44,4	15,2	120,0

## **6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

Após a geração das Cartas de Fragilidade Potencial (Natural) e da Carta de Fragilidade Emergente (Ambiental), objetivos principais desta pesquisa, deve ser feita a discussão de tais resultados, visando a contribuição não só para a realidade do presente trabalho, mas também para futuros autores embasados na ecodinâmica.

O primeiro aspecto relevante é que, apesar de ser uma metodologia com algum tempo tanto de discussão teórica, quanto de propostas metodológicas, ainda é um tema restrito às Geociências, limitando-se a guetos científicos, principalmente a ciência Geográfica.

Isto se deve não apenas à falta de divulgação em outros meios que não limitados a estes grupos, mas realmente por uma complexidade de operacionalização, ainda hoje, com diversos trabalhos afirmando utilizar tal metodologia, mas apresentada até mesmo de forma obscura.

Em relação às cartas geradas, as diferentes operacionalizações - Tabela de Dupla Entrada e Associação de Dígitos Arábicos - geraram resultados

extremamente diferentes, apesar de estarem pautadas nas mesmas bases teóricas.

Comparando a Carta de Fragilidade Ambiental pela Tabela de Dupla Entrada e a Carta de Fragilidade Ambiental pelo Método de Associação de Dígitos Arábicos, têm-se, na primeira, 66%, aproximadamente, na classe denominada Fragilidade Muito Forte e 1,5%, aproximadamente, na mesma classe, no segundo caso.

Somente por esta classe pode-se inferir a dificuldade que o gestor urbano, para o qual se propõe a criação destas cartas, tendo por objetivo a orientação e disponibilização de subsídios cartográficos e metodológicos aos planejadores, principalmente no processo de Gestão Ambiental e Ordenamento Territorial, terá ao se deparar com tais resultados.

Neste momento, o gestor optaria por outra linha teórico-metodológica, que apresente somente um resultado e não haja dúvidas sobre qual carta utilizar como subsídio ao, por exemplo, zoneamento urbano-ambiental.

Ao se buscar operacionalizações em que a experiência e a formação do pesquisador influam o mínimo possível nos resultados, é possível minimizar o impacto das pré-concepções.

Com o uso da Tabela de Dupla Entrada, o pesquisador ou técnico obtém o que se costuma chamar de “ouvir o ambiente”, ou seja, não se define qual variável determina a Classe de Fragilidade (Muito Alta a Muito Fraca) na geração das cartas, mas, sim, o valor mais alto presente no objeto de estudo.

A Tabela de Dupla Entrada, portanto, busca a não-influência da formação e de modelos pré-concebidos pelo pesquisador ou equipe envolvidos, mas os

índices a serem construídos por eles mesmos (maior valor predomina sobre menor valor).

Diferentemente, a proposta da Associação de Números Arábicos tem como premissa básica a determinação do primeiro dígito (Declividade) como variável que define a Classe de Fragilidade, conforme Spörl (2001) também afirma:

*a variável declividade sobrepõe-se às variáveis solos, cobertura vegetal e pluviosidade, fixando graus de fragilidade distintos para a área. E a variável cobertura vegetal/uso da terra irá classificar estas áreas como estáveis ou instáveis, apontando os níveis crescentes de instabilidade. E as demais variáveis (solos e pluviosidade) apresentarão nuances desta instabilidade.*

Entretanto, como já explanado em tópico anterior, ao mesmo tempo em que se afirma ser uma metodologia que tem como principal resultado a expressão cartográfica, ao se gerar a Carta baseada no Método da Associação de Números Arábicos, não há a espacialização das nuances da fragilidade.

Além disso, os resultados de fragilidade podem mascarar as reais características ambientais da área. Por exemplo, não se pode afirmar que em toda e qualquer situação a maior declividade determina por si só maior fragilidade, assim como menor declividade nem sempre é a de menor fragilidade, pois diversas variáveis atuam e interagem de forma integrada.

Em outras palavras, Ross (1990 e 1994), por sua formação, experiência e linha de pesquisa, valoriza mais a variável declividade.

Desta maneira, o presente trabalho propôs a espacialização conjunta da variável “Índices de Fragilidade da Declividade” e da variável “Índice de

Fragilidade da Cobertura Vegetal”, provendo os índices associados de estabilidade ou instabilidade das classes geradas.

Conforme Spörl (2001), a variável cobertura vegetal identifica, através de seus coeficientes, as áreas onde o equilíbrio dinâmico foi rompido, provocando situações de riscos, e as áreas nas quais a estabilidade permanece inalterada.

Uma discussão deve ser apresentada, no que tange à não-espacialização das outras variáveis envolvidas (Solo e Pluviometria). Tal fato, na Associação de Dígitos Arábicos, deve-se principalmente às bases da Cartografia de Síntese.

Ao analisar a Carta Síntese apresentada por Tricart (1970), a principal crítica cartográfica se pautava justamente no grande número de classes e dificuldade para leitura e aplicação prática de tal mapa.

Se em um mesmo mapa todas as nuances de fragilidade tentassem ser apresentadas, haveria um retorno para um paradigma já criticado e superado anteriormente por diversos autores, entre eles Ross (1990 e 1994).

Analisando desta forma a Carta de Fragilidade Ambiental gerada pelo Método da Tabela de Dupla entrada, fica claro que a variável que define o grau de fragilidade para o objeto de estudo é o solo, e não a geomorfologia.

Tal resultado reflete de forma eficaz as condições do objeto de estudo, pois as áreas resultantes com fragilidade muito alta são exatamente as parcelas da área nas quais o solo apresenta condições muito propícias ao desenvolvimento de processos de degradação física e onde ocorrem processos erosivos significativos.

## **7. CONCLUSÃO**

As bases teóricas fundamentais do mapeamento ecodinâmico, com suas expressões metodológicas e resultados cartográficos, demonstram importância fundamental ao entendimento do complexo jogo de forças naturais e antrópicas, a fim de auxiliar os gestores.

Analisando a Carta de Fragilidade Potencial do objeto de estudo, pode-se afirmar que os gestores urbanos devem ter atenção redobrada em toda região centro-sul da área de estudo, apresentando a área 44% com Fragilidade Muito Forte e 48% com Fragilidade Média, demonstrando que o ambiente natural, sem intervenção humana, já possui grau de Fragilidade delicado.

Ao analisar a Carta de Fragilidade Ambiental, a situação se torna mais crítica, pois 66% da área está em Fragilidade Muito Alta e 24% em Fragilidade Média, requerendo atenção e práticas de reversão deste quadro, pois são acentuadas pela intervenção humana.

Pela revisão do histórico da área e de trabalhos que utilizam outras metodologias, a classificação obtida por esta metodologia é coerente com a realidade e se apresenta como importante ferramenta de diagnóstico para gestores, uma vez que está pautada não só em considerações inventariais, mas também está fundamentada em procedimentos teórico-metodológicos embasados em escolas filosóficas.

Também é importante salientar, como já informado na Discussão dos Resultados, que a partir da análise da Carta de Fragilidade Ambiental gerada pelo Método da Tabela de Dupla Entrada, a variável que mais influencia e define o grau de fragilidade para a área estudada é o solo.

Mesmo com aplicações e demonstrações em periódicos, comunicações científicas e até mesmo em órgãos governamentais, com fins de planejamento urbano e ambiental, o mapeamento ecodinâmico ainda possui poucas aplicações em larga escala, sendo preterido a outras metodologias que se pautam nos paradigmas de inventário.

A aplicação da metodologia ecodinâmica, e sua expressão cartográfica temática, referente ao Mapeamento da Fragilidade Ambiental, não deve ser considerada uma simples aplicação de Geoprocessamento, mas sim uma proposição teórico-metodológica que utiliza ferramentas de Geoprocessamento e não as tem como fim.

A utilização de tais ferramentas, como os Sistemas de Informações Geográficas, já foi amplamente divulgada e caracterizada cientificamente na década de 1990, superado hoje o paradigma de pesquisas que possuem como conclusão que o uso de Geoprocessamento é importante, imprescindível, entre outros adjetivos.

Desta maneira, os pesquisadores de diversas áreas, entre elas da Engenharia Urbana e Geociências, buscam propostas teórico-metodológicas com grande aplicabilidade e expressividade, principalmente como subsídio para os gestores urbanos, mas que, por dificuldade operacional em determinado momento científico, ficou somente nas prateleiras das universidades.

O Mapeamento da Fragilidade Ambiental ainda é um campo pouco explorado. Contudo, a ênfase que deve ser dada não é nas operacionalizações em Sistemas de Informações Geográficas, mas na proposta das Cartas de Fragilidade.

Vale salientar que a Metodologia Ecodinâmica é uma das diversas formas de se entender o ambiente dentro do universo complexo da Análise Ambiental, e que, sendo um modelo, uma abstração da realidade, construído a partir de uma visão teórico-metodológica, possui conceitos e paradigmas associados.

Neste modelo adotado, é um procedimento de síntese, ou seja, utiliza procedimentos de classificação do espaço geográfico por divisão, que parte da análise dos temas isoladamente, culminando em unidades homogêneas complexas, as Unidades Ecodinâmicas.

Entretanto, a partir da Revisão Bibliográfica realizada, deve-se pontuar que apesar de Ross (1990 e 1994) considerar e tratar das bases teóricas de Tricart (1977), e todos os conceitos de Análise Ambiental integrados, o valor associado à morfometria para a definição da Fragilidade é muito alto, bem como divergências na operacionalização para a álgebra dos mapas base.

O uso do Método da Tabela de Dupla Entrada apresentou melhor expressão espacial da realidade do objetivo de estudo. Afirmar que um Método é melhor que o outro é algo complexo e que requer diversas análises estatísticas, o que não foi o objetivo deste trabalho.

Contudo, pode-se afirmar que, pelos resultados obtidos e pela contraposição das duas operacionalizações, infere-se a melhor adequação da Tabela de Dupla Entrada, por buscar a não-interferência de fatores determinísticos.

Para a operacionalização de tal metodologia, o Modelo Booleano é hoje o mais utilizado, seja pela implementação de tais ferramentas nos softwares, seja pela facilidade de uso e acesso a informações. Entretanto, a utilização de tal Modelo ocasiona a atribuição dos pesos de cada variável sob a ótica e

experiência do pesquisador, tendo por resultado cartográfico regiões delimitadas com limites estáticos ou rígidos.

Em contraponto e como sugestão para trabalhos futuros, com a utilização do Modelo Fuzzy a atribuição de pesos é decorrente de resultados de técnicas de Suporte à Decisão. Além disso, as limitações inerentes aos limites rígidos próprios do Modelo Booleano são contornadas pelo Modelo Fuzzy através de superfícies de decisões numéricas que melhor se adaptam às transições gradativas entre as ocorrências representadas nos mapas temáticos.

Posto este contexto, ferramentas de Suporte à Tomada de Decisão são importantes para a organização e estabelecimento de modelos racionais de combinação de dados.

A racionalidade é o conceito fundamental destas ferramentas, seguindo os indivíduos e organizações um comportamento de escolha entre alternativas, baseado em critérios objetivos de julgamento, cujo fundamento será satisfazer um nível preestabelecido de aspirações. (CÂMARA *et al.*, 2001).

A Lógica Fuzzy para geração de mapas ainda é pouco explorada, devendo os pesquisadores se aproximarem e produzirem suas análises sob esta ótica, para o avanço qualitativo e quantitativo no que tange à interpretação e geração de produtos cartográficos para o entendimento e tomada de decisão sobre o meio físico.

Propõem-se assim futuros trabalhos pautados na Metodologia Ecodinâmica, não mais inseridos no Paradigma Booleano, mas buscando sistemas especialistas, Lógica Fuzzy, Mapas auto-organizáveis, enfim, inteligência artificial para Análise Ambiental, nos quais a escolha das variáveis e seus pesos atribuídos são comparados entre si, conforme um critério de

importância relativa atribuída às diversas classes temáticas e informações numéricas (RUHOFF, 2004).

Deve, entretanto, ficar claro que o cerne não pode ser a discussão ou mesmo a defesa de qual Modelo é melhor ou pior mas, sim, pautar-se nos paradigmas em que cada um está inserido, cabendo a decisão ser fundamentada em questões muito mais conceituais do que propriamente técnicas.

## **8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ALMEIDA, J. A. P. Aplicação da Metodologia Sistêmica ao Estudo do Sítio Urbano de Feira de Santana – BA. **Sitientibus**. Feira de Santana, n. 22, p. 9-26, jan./jun. 2000.

ALVES, D. S. Sistemas de Informação Geográfica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO. São Paulo: Edusp. p. 66-78 **Anais...** 1990.

BARBOSA, C. C. F. **Álgebra de mapas e suas aplicações em sensoriamento remoto e geoprocessamento**. Dissertação (Mestrado), INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Mestrado em Sensoriamento Remoto, São José dos Campos – SP, 1997.

BERTIN, J. **Sémiologie graphique: les diagrammes, les réseaux, les cartes**. Paris: Mouton & Gauthier-Villars, 1967.

BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, E. **Conservação do solo**. São Paulo: Editora Ícone. 1990.

BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global: esboço metodológico. **Caderno de Ciências da Terra**, 13. São Paulo: IGEO/USP, 1971.

BOLÓS y CAPDEVILA, M. de. In: BOLÓS y CAPDEVILA, M. (org.). **Manual de ciencia del paisaje: teoria, métodos y aplicaciones**. Barcelona: Masson, 1992.

BRASIL. Constituição. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado, 1988.

BRASIL. Lei n. 9.433. **Política Nacional de Recursos Hídricos**. SRH/MMA. Brasília, DF: Senado. 08 jan.1997

BRASIL. Lei n. 10.257. **Estatuto da Cidade**. Brasília: Câmara dos Deputados, Coordenação de Publicações. 10 jul. 2001

BURROUGH, P. A. **Principles of Geographical Information Systems for land resources assessment**. Oxford: University Press, New York, NY, 1986.

CÂMARA, G. **Anatomia de um SIG**. Curitiba: Fator Gis, n.4, p.11-15, jan./mar. 1994.

CÂMARA, G. **Modelos, linguagens e arquiteturas para banco de dados geográficos**. Tese (Doutorado). INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos – SP, 1995.

CÂMARA, G.; DAVIS, C. Apresentação. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (Org.) **Introdução à Ciência da Geoinformação**. CD-ROM, São José dos Campos: INPE. 2001.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. Conceitos Básicos da Ciência da Geoinformação. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (Org.) **Introdução à Ciência da Geoinformação**. CD-ROM, São José dos Campos: INPE. 2001.

CÂMARA, G; SOUZA, R. C. M.; FREITAS, U.M., GARRIDO, J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modeling. **Computers & Graphics**, 20: (3) 395-403, May-Jun 1996.

CAVALHEIRO, F. Urbanização e alterações ambientais. In: IANK, S.M. (Org.) **Análise ambiental: uma visão multidisciplinar**. Rio Claro: UNESP, p. 88-99, 1991.

CEREDA JUNIOR, A. e RÖHM, S.A. Carta de Fragilidade Ambiental utilizando Sistemas de Suporte à Decisão. In: XI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, São Paulo, **Anais...** 2005

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgar Blücher, 1982.

\_\_\_\_\_. A Aplicação da Abordagem em Sistemas na Geografia Física. **Revista Brasileira de Geografia**. v. 2, p. 52, p. 21-36, 1990.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S.; AZEVEDO, L.G.; DUARTE, V.; HERNANDEZ, P.; FLORENZANO, T; BARBOSA, C. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial**. São José dos Campos: INPE, 2000.

DIAS, J. **As potencialidades paisagísticas de uma região cárstica**: o exemplo de Bonito, MS. Dissertação (Mestrado), UNESP – Universidade Estadual de São Paulo, FCT, Departamento de Geografia, Presidente Prudente, 1998.

FISCHER, M. M. & NIJAKAMP, P. Design and Use of Geographic Information Systems and Spatial Models. In: FISCHER, M. M. & NIJAKAMP, P. (Org.) **Geographic Information Systems, Spatial Modelling and Policy Evaluation**. Springer Verlag: Eds. Berlim, pp. 1-13, 1993.

GARCIAS, C. M. As Questões Ambientais Urbanas. **Revista Acadêmica**. Curitiba, v. 2, n. 8, p. 3-8, 1997.

GOMES, J.M.; VELHO, L. **Computação Visual: Imagens**. Rio de Janeiro: SBM, 1995.

GONCALVES, A.R.L. **Geologia Ambiental da Área de São Carlos**. Tese (Doutoramento), EESC-USP, São Carlos, 1987.

GREGORY, K. J. **A natureza da Geografia Física**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 1992.

GRINOVER, L. O Planejamento Físico-Territorial e a Dimensão Ambiental. **Cadernos FUNDAP**. São Paulo. v. 16, n. 9, p. 25-32, 1989.

GROSTEIN M. D. & JACOBI P. Cidades Sustentáveis. **Revista Debates Sócio-ambientais**. São Paulo: CEDEC. Ano III, n. 9, p. 26, mar./abr./mai./jun. 1998.

HENDRIX, W.G.; FABOS, J.G. & PRICE, J.E. An ecological approach to landscape planning using geographic information system technology. **Landscape and Urban Planning**, 15. 1988

HOUAISS, A. & VILLAR, M. S. **Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa**. Rio de Janeiro: Objetiva, 2001.

HOUGH, M. **Naturaleza y ciudad**: planificación urbana y procesos ecológicos. Barcelona: G. Gili, 1998.

IBGE. **Censo Demográfico 2000**. Disponível em <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em 13 de junho de 2006.

INPE, Manual do Usuário SPRING. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em <http://www.dpi.inpe.br/SPRING>. 2006.

LANNA, A. E. L **Gerenciamento de bacia hidrográfica**: aspectos conceituais e metodológicos. Brasília: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis, 1995.

LANDIM, P. M. B. **Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas**. Departamento de Geologia Aplicada – UNESP – Rio Claro. Disponível em <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>. 2000.

LIBAULT, A. **Os quatro níveis da pesquisa geográfica**. Métodos em Questão. (1). São Paulo: IGEO/USP, 1971.

LIPORACI, S. R. **Mapeamento geológico-geotécnico visando estudos sobre a erosão/assoreamento e potencial de escoamento superficial da bacia do Monjolinho em São Carlos-SP**. Tese (Pós-Doutorado). Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2003.

LUCENA, I. S. de. **Projeto de interfaces para álgebra de mapas em geoprocessamento no ambiente SPRING**. Dissertação (Mestrado), INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Mestrado em Computação Aplicada, São José dos Campos – SP, 1998.

MARTINS, S.V. Monitoramento da arborização de ruas de Belo Horizonte. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARBORIZAÇÃO URBANA, 2, 1994, São Luís. **Anais...** São Luís/MA: SBAU, p.421-430, 1994.

MEDEIROS, J. S. de; CÂMARA, G. GIS para Estudos Ambientais. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (Org.) **Introdução à Ciência da Geoinformação**. CD-ROM, São José dos Campos: INPE, 2001.

MENDONÇA, F. de A.; VENTURI, L. A. B. Geografia e metodologia científica. In: SIMPÓSIO DE GEOMORFOLOGIA. **Revista Geosul**, n. especial, Florianópolis, 1998.

MONTEIRO, C.A. Derivações antropogênicas dos geossistemas terrestres no Brasil e alterações climáticas: perspectivas urbanas e agrárias do problema da elaboração de modelos de avaliação. In: SIMPÓSIO SOBRE A COMUNIDADE VEGETAL COMO UNIDADE BIOLÓGICA, TURÍSTICA E ECONÔMICA, 4. **Anais...** São Paulo, 1978.

MORATO, R. G., KAWAKUBO, F. S. & LUCHIARI, A. O Geoprocessamento como Subsídio ao Estudo da Fragilidade Ambiental. In: X SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA. **Anais...** 2003.

MOREIRA, F. R. DA SILVA. **Uso e Avaliação de Técnicas de Integração e Análise Espacial de Dados em Pesquisa Mineral Aplicadas ao Planalto de Poços de Caldas**. Dissertação (Mestrado), INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, São José dos Campos, São Paulo, 2001.

OLIVEIRA, C. H. de, **Planejamento ambiental na cidade de São Carlos (SP) com ênfase nas áreas públicas e áreas verdes**: diagnóstico e propostas. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Programa de Pós-graduação em Ecologia e Recursos Naturais, São Carlos, 1996.

PONS, N. A. D. **Levantamento e diagnóstico geológico-geotécnico de áreas degradadas na cidade de São Carlos - SP, com auxílio de geoprocessamento**. Tese (Doutorado), EESC, USP, São Carlos - SP, 2006

RIBAS, O. **A sustentabilidade das cidades: os instrumentos da gestão urbana e a construção da qualidade urbana**. Tese (Doutoramento), CDS/UNB, Brasília, 2002.

RIBEIRO, A. G. **Paisagem e organização espacial na região de Palmas e Guarapuava - PR**. Tese (Doutoramento em Geografia), USP – Universidade de São Paulo, FFLCH, Departamento de Geografia, São Paulo, 1989.

RODRIGUES, C. A Teoria Geossistêmica e sua contribuição aos estudos Geográficos e Ambientais. **Revista do Departamento de Geografia**. São Paulo: FFLCH-USP, nº. 14, pp. 69-77, 2001

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia: ambiente e planejamento**. São Paulo: Contexto, 1990.

\_\_\_\_\_. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**. São Paulo: FFLCH-USP, nº. 8, pp. 3-74, 1994.

RUHOFF, A. L. **Gerenciamento de Recursos Hídricos em Bacias Hidrográficas: Modelagem Ambiental com a Simulação de Cenários Preservacionistas**. Dissertação (Mestrado), UFSM – Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-Graduação em Geomática, Rio Grande do Sul, 2004

SACHS, I. **Espaços, Tempos e Estratégias do Desenvolvimento**. São Paulo: Ed. Vértice, 1986.

SANTOS, R. F. dos; CARVALHAIS, H. B. & PIRES, F. (1997) Planejamento Ambiental e Sistemas de Informações Geográficas. **Caderno de Informações Georreferenciadas**. Campinas: UNICAMP. Volume 1, Número 2 , Artigo 2. 1997.

SCHIER, R. A. Trajetórias do Conceito de Paisagem na Geografia. **RA'E GA**. Curitiba: Editora UFPR, nº. 7, pp. 79-85, 2003.

SILVA, J. X.; SOUZA, M. J. L. **Análise Ambiental**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1988.

SOTCHAVA, V. B. O estudo de geossistemas. **Métodos em Questão** (16). São Paulo: IGEO/USP, 1977.

\_\_\_\_\_. Por uma teoria de classificação de geossistemas de vida terrestre. **Biogeografia**. (14), São Paulo: IGEO/USP, 1978.

SOUZA, N. M. **Contribuição à cartografia geotécnica com uso de geoprocessamento**: sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas. Tese (Doutorado) USP - Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos. 2v. 1994.

SPÖRL, C. **Análise da Fragilidade Ambiental Relevo–Solo com Aplicação de três Modelos Alternativos nas Altas Bacias do Rio Jaguari-mirim, Ribeirão do Quartel e Ribeirão da Prata**. Dissertação (Mestrado), USP – Universidade de São Paulo, FFLCH, Departamento de Geografia, São Paulo, 2001.

STEIN, D. P.; DONZELLI, P. L.; GIMENEZ, F. A.; PONÇANO, E. L.; LOMBARDI NETO, F. Potencial de Erosão Laminar, Natural e Antrópica na Bacia do Peixe-Paranapanema. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 4., 1987, Marília. **Anais...** Marília: ABGE/DAEE, 1987.

THOMAZ, E. L. **Análise empírica da fragilidade potencial do Rio Iratim – Guarapuava-PR**. Dissertação (Mestrado), USP – Universidade de São Paulo, FFLCH, Departamento de Geografia, São Paulo, 2000.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE/SUPREN, 1977.

\_\_\_\_\_. **Paisagem e Ecologia**: Inter-Fácies. São José do Rio Preto: UNESP, 1979.

\_\_\_\_\_. O campo na dialética da Geografia. In: GUSMÃO PINTO, J. M. (ed.) **Reflexões sobre a Geografia**. São Paulo: AGB. pp. 97-119. 1980.

TROPPIAIR, H. Ecossistemas e Geossistemas do Estado de São Paulo. **Boletim de Geografia Teórica**. Rio Claro: AGETEO, v. 13, nº. 25, pp. 27-36, 1983.

TUAN, Yi-Fu. **Topofilia**: Um Estudo da Percepção, Atitudes e Valores de Meio Ambiente. Tradução: Livia de Oliveira. São Paulo: Difel/Difusão Editorial S/A, 1980.

UNCED. Conferência das Nações Unidas Sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento. **Agenda 21**. Brasília: Senado Federal, 1997.

WIKIPEDIA. **AutoCAD DXF**. Disponível em <[http://en.wikipedia.org/wiki/AutoCAD\\_DXF](http://en.wikipedia.org/wiki/AutoCAD_DXF)>. Acesso em 20 de julho de 2006.

ZUQUETE, L. V.; PEJON, O. J.; GANDOLFI, N.; RODRIGUES, J. E. **Mapeamento Geotécnico**: Parte 1 - Atributos e Procedimentos Básicos para a Elaboração de Mapas e Cartas. São Paulo: Geociências, 16:491-524. 1997.

## **9. ANEXOS**