

ANÁLISE DA ESTRUTURA DA PAISAGEM NA BACIA DO RIO CORUMBATAÍ, SP

ROBERTA DE OLIVEIRA AVERNA VALENTE

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, para a obtenção do título de Mestre em Recursos Florestais, Área de Concentração: Recursos Florestais, com opção em Conservação de Ecossistemas Florestais.

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Outubro - 2001

**ANÁLISE DA ESTRUTURA DA PAISAGEM NA BACIA DO
RIO CORUMBATAÍ, SP**

ROBERTA DE OLIVEIRA AVERNA VALENTE

Engenheira Florestal

Orientador: Prof. Dr. **CARLOS ALBERTO VETTORAZZI**

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, para a obtenção do título de Mestre em Recursos Florestais, Área de Concentração: Recursos Florestais, com opção em Conservação de Ecossistemas Florestais.

PIRACICABA

Estado de São Paulo - Brasil

Outubro - 2001

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP

Valente, Roberta de Oliveira Aversa
Análise da estrutura da paisagem na bacia do Rio Corumbataí, SP / Roberta de
Oliveira Aversa. - - Piracicaba, 2001.
144 p. : il.

Dissertação (mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz,
2001.
Bibliografia.

1. Bacia hidrográfica 2. Ecologia de paisagem 3. Proteção florestal 4. Rio
Corumbataí 5. Sensoriamento remoto 6. Uso do solo I. Título

CDD 551.483

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

Aos meus pais Roberto e Aparecida,
meus irmãos Luisa e Luciano e minha avó Margarida
pela paciência e amor que me dedicam

Ofereço

Aos queridos Alfredo e Dona Albertina
pelo amor, apoio e ajuda constantes

Dedico

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Carlos Alberto Vettorazzi que me orienta desde a graduação, por sua amizade, pela dedicação no enriquecimento de meus conhecimentos, pela oportunidade de trabalhos desenvolvidos e pela ajuda na minha dissertação.

Ao Prof. Dr. Rubens Angulo Filho pelas constantes colaborações e pelas contribuições para a finalização de meu trabalho;

As colegas Marisa Sakuri Horita e Luciana Yajima Peres pelo auxílio nos trabalhos e paciência na convivência do laboratório.

Ao Prof Dr. Luiz Carlos Estraviz Rodriguez e à Dra. Maria Victória Ramos Ballester por terem participado do exame de qualificação e por terem contribuído com sugestões valiosas para o término de meu trabalho.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Rural da ESALQ/USP, em especial à Vanda e ao Hamilton, que participaram de minha convivência diária.

Ao Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP pela oportunidade de cursar o programa de pós-graduação em Recursos Florestais.

À minha amiga Rosa Maria pelas palavras de carinho e incentivo.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	xi
RESUMO	xiv
SUMMARY	xvi
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 Ecologia da paisagem	3
2.1.1 Estrutura da paisagem	5
2.1.2 Descrição quantificação da estrutura da paisagem	8
2.2 Geoprocessamento na ecologia da paisagem	15
2.2.1 Sensoriamento remoto	16
2.2.2 Sistemas de informações geográficas	21
3 MATERIAL E MÉTODOS	24
3.1 Área de estudo	24
3.1.1 Relevo	27
3.1.2 Geologia	29
3.1.3 Clima	30
3.1.4 Solos	31
3.1.5 Uso e Cobertura do Solo	33
3.2 Material	35
3.2.1 Imagens orbitais	35
3.2.1.1 Imagens SPOT-4	35

3.2.1.2 Imagem LANDSAT-5	36
3.2.2 Cartas planialtimétricas	37
3.2.3 Mapas digitais	37
3.2.4 Mesa digitalizadora	38
3.2.5 Receptor GPS	38
3.2.6 Software	38
3.3 Métodos	38
3.3.1 Mapeamento do uso e cobertura do solo da Bacia do Rio Corumbataí	38
3.3.1.1 Pré-processamento das imagens.....	39
3.3.1.2 Definição das classes de uso e cobertura do solo	40
3.3.1.3 Tomada das amostras de treinamento.	42
3.3.1.4 Aplicação do algoritmo de classificação supervisionada	43
3.3.1.5 Verificação da exatidão da classificação	44
3.3.1.6 Tratamento pós-classificação	46
3.3.1.7 Mapa de uso e cobertura do solo	46
3.3.1.8 Verificação da exatidão do mapa de uso e cobertura do solo	47
3.3.1.9 Mapas de uso e cobertura do solo para as sub-bacias da Bacia do Rio Corumbataí	48
3.3.2 Limites da Bacia do Rio Corumbataí	49
3.3.3 Delimitação das sub-bacias.....	49
3.3.4 Descrição quantitativa da estrutura da paisagem da Bacia do Rio Corumbataí ..	49
3.3.4.1 Índices de classe : floresta nativa e cerrado	50
3.3.4.2 Índices de fragmentos : floresta nativa e cerrado	57
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	60
4.1 Caracterização da paisagem da Bacia do Rio Corumbataí	60
4.1.1 Uso e cobertura do solo nas sub-bacias da Bacia do Rio Corumbataí	64
4.1.1.1 Sub-bacia do rio Passa-Cinco	64
4.1.1.2 Sub-bacia do Alto Corumbataí	67
4.1.1.3 Sub-bacia do Médio Corumbataí	69
4.1.1.4 Sub-bacia do Ribeirão Claro	71

4.1.1.5 Sub-bacia do Baixo Corumbataí	73
4.2 Descrição quantitativa da estrutura florestal da Bacia do Rio Corumbataí	75
4.2.1 Índices de área, densidade, tamanho e variabilidade métrica	75
4.2.2 Índices de forma	85
4.2.3 Índices de área nuclear	89
4.2.4 Índices de proximidade	97
4.2.5 Índice de dispersão e justaposição	103
4.2.6 Caracterização do padrão florestal das sub-bacias e a avaliação sob o ponto de vista da conservação e da recuperação.....	104
5 CONCLUSÕES	115
ANEXOS	117
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	135

LISTA DE FIGURAS

	Página
1 Efeito da forma e da borda em algumas características ecológicas	12
2 Localização da Bacia do Rio Corumbataí	25
3 Bacia do Rio Corumbataí: divisão em sub-bacias	26
4 Classes de declividade (%) das sub-bacias da Bacia do Rio Corumbataí	28
5 Grandes grupos de solos da Bacia do Rio Corumbataí	32
6 Distribuição dos pontos para verificar a exatidão da classificação supervisionada, na Bacia do Rio Corumbataí	45
7 Uso e cobertura do solo da Bacia do Rio Corumbataí (2000)	61
8 Uso e cobertura do solo da sub-bacia do rio Passa-Cinco	66
9 Uso e cobertura do solo da sub-bacia do Alto Corumbataí	68
10 Uso e cobertura do solo da sub-bacia do Médio Corumbataí	70
11 Uso e cobertura do solo da sub-bacia do Ribeirão Claro	72
12 Uso e cobertura do solo da sub-bacia do Baixo Corumbataí	74
13 Área e número de fragmentos, em função das classes de área, da sub-bacia do Passa-Cinco	79
14 Área e número de fragmentos, em função das classes de área, da sub-bacia do Alto Corumbataí	79
15 Área e número de fragmentos, em função das classes de área, da sub-bacia do Médio Corumbataí	79
16 Área e numero de fragmentos, em função das classes de área, da sub-bacia do Ribeirão Claro	80

17 Área e número de fragmentos, em função das classes de área, da sub-bacia do Baixo Corumbataí	80
18 Área e número de fragmentos, em função das classes de área, da sub-bacia do Passa-Cinco	84
19 Área e número de fragmentos, em função das classes de área, da sub-bacia do Alto Corumbataí	84
20 Área e número de fragmentos, em função das classes de área, da sub-bacia do Ribeirão Claro	84
21 Medianas do índice de forma (SHAPE) dos fragmentos de floresta nativa das sub-bacias	87
22 Medianas do índice de forma (SHAPE) dos fragmentos de cerrado das sub-bacias .	89
23 Área de floresta nativa nas sub-bacias do Corumbataí: efeito de borda	91
24 Floresta nativa: número de fragmentos e número de fragmentos com área nuclear .	91
25 Mediana do índice de área nuclear (CORE) , para os fragmentos de floresta nativa das sub-bacias	93
26. Número de fragmentos de floresta nativa, das sub-bacias do Corumbataí, com área nuclear maior que 30 ha	94
27. Área de Cerrado nas sub-bacias do Corumbataí: efeito de borda	94
28. Cerrado: número de fragmentos e número de fragmentos com área nuclear	95
29 Mediana do índice de área nuclear para os fragmentos de cerrado	95
30 Alto Corumbataí: mediana do índice de área nuclear para os fragmentos de cerrado e floresta nativa	96
31 Passa-Cinco: mediana do índice de área nuclear para os fragmentos de cerrado e floresta nativa	96
32 Ribeirão Claro: mediana do índice de área nuclear para os fragmentos de cerrado e floresta nativa	96
33 Grupos de fragmentos de floresta nativa (% área) do Passa-Cinco	99
34 Grupos de fragmentos de floresta nativa (% área) do Alto Corumbataí	99
35 Grupos de fragmentos de floresta nativa (% área) do Médio Corumbataí	100

36 Grupos de fragmentos de floresta nativa (% área) do Ribeirão Claro	100
37 Grupos de fragmentos de floresta nativa (% área) do Baixo Corumbataí	100
38 Distância média (MNN) entre os fragmentos de floresta nativa e entre os fragmentos de cerrado, das sub-bacias do Corumbataí	101
39 Mapa de vegetação da sub-bacia do Passa-Cinco	130
40 Mapa de vegetação da sub-bacia do Alto Corumbataí	131
41 Mapa de vegetação da sub-bacia do Médio Corumbataí	132
42 Mapa de vegetação da sub-bacia do Ribeirão Claro	133
43 Mapa de vegetação da sub-bacia do Baixo Corumbataí	134
44 Fragmentos de floresta nativa (% área), por grupos de distância (NEAR) e área nuclear (CORE), do Passa-Cinco	106
45 Fragmentos de floresta nativa (% área), por grupos de distância (NEAR) e área nuclear (CORE), Alto Corumbataí	106
46 Fragmentos de floresta nativa (% área), por grupos de distância (NEAR) e área nuclear (CORE), Médio Corumbataí	106
47 Fragmentos de floresta nativa (% área), por grupos de distância (NEAR) e área nuclear (CORE), do Ribeirão Claro	107
48 Fragmentos de floresta nativa (% área), por grupos de distância (NEAR) e área nuclear (CORE), do Baixo Corumbataí	107
49 Área para preservação e conservação dos fragmentos de floresta nativa das sub-bacias, com base na área nuclear (CORE)	111

LISTA DE TABELAS

	Página
1 Classes de declividade da Bacia do Rio Corumbataí	27
2 Constituição geológica, características e potencial mineral das formações da Bacia do Rio Corumbataí	29
3 Grandes grupos de solos da Bacia do Rio Corumbataí	31
4 Características do modo de operação XS do sensor HRVIR	36
5 Características do modo de operação do sensor TM	37
6 Número de pontos de controle e erro médio quadrático (RMS).....	40
7 Número de subclasses por categoria de uso e cobertura do solo	42
8 Classes de qualidade do índice k	48
9 Uso e cobertura do solo na Bacia do Rio Corumbataí	60
10 Matriz de confusão para o mapa de uso e cobertura do solo da Bacia do Rio Corumbataí	62
11 Exatidão de classificação para as classes de uso e cobertura do solo	63
12 Índice Kappa (K) para as classes de uso e cobertura do solo	63
13 Uso e cobertura do solo na sub-bacia do rio Passa-Cinco	65
14 Uso e cobertura do solo na sub-bacia do Alto Corumbataí	67
15 Uso e cobertura do solo na sub-bacia do Médio Corumbataí	69
16 Uso e cobertura do solo na sub-bacia do Ribeirão Claro	71
17 Uso e cobertura do solo na sub-bacia do Baixo Corumbataí	73
18 Número de fragmentos florestais (NP) das sub-bacias	75
19 Densidade de fragmentos florestais (PD) das sub-bacias	75

20 Tamanho médio dos fragmentos florestais (MPS) e seus desvios padrão (PSSD) e coeficientes de variação (PSCV)	76
21 Número de fragmentos de floresta nativa, por classe de área	77
22 Número de fragmentos de cerrado, por classe de área	83
23 Índice de forma médio (MSI) e índice de forma médio ponderado pela área (AWMSI) para floresta nativa e cerrado	85
24 Índices de forma (SHAPE e FRACT) para os fragmentos de floresta nativa da sub-bacia do Passa-Cinco	118
25 Índices de forma (SHAPE e FRACT) para os fragmentos de floresta nativa da sub-bacia do Alto Corumbataí	118
26 Índices de forma (SHAPE e FRACT) para os fragmentos de floresta nativa da sub-bacia do Médio Corumbataí	119
27 Índices de forma (SHAPE e FRACT) para os fragmentos de floresta nativa da sub-bacia do Ribeirão Claro	120
28 Índices de forma (SHAPE e FRACT) para os fragmentos de floresta nativa da sub-bacia do Baixo Corumbataí	121
29 Índices de forma (SHAPE e FRACT) para os fragmentos de cerrado da sub-bacia do rio Passa-Cinco	121
30 Índices de forma (SHAPE e FRACT) para os fragmentos de cerrado da sub-bacia do Alto Corumbataí	122
31 Índices de forma (SHAPE E FRACT) para os fragmentos de cerrado da sub-bacia do Ribeirão Claro	123
32 Índice de área nuclear total (TCAI) para floresta nativa e cerrado, nas sub-bacias do Corumbataí	90
33 Número de fragmentos de floresta nativa e de cerrado com área nuclear (NCA) ...	90
34 Área nuclear para os fragmento de floresta nativa da sub-bacia do Passa-Cinco ...	123
35 Área nuclear para os fragmento de floresta nativa da sub-bacia do Alto Corumbataí	123
36 Área nuclear para os fragmento de floresta nativa da sub-bacia do Médio Corumbataí	124

37 Área nuclear para os fragmento de floresta nativa da sub-bacia do Ribeirão Claro	124
38 Área nuclear para os fragmento de floresta nativa da sub-bacia do Baixo Corumbataí	125
39 Área nuclear para os fragmento de cerrado, da sub-bacia do Passa-Cinco	125
40 Área nuclear para os fragmento de cerrado da sub-bacia do Alto Corumbataí	126
41 Área nuclear para os fragmento de cerrado da sub-bacia do Ribeirão Claro	126
42 Distância média (MNN) entre os fragmentos de floresta nativa e entre os fragmentos de cerrado, para as sub-bacias	97
43 Distância entre os fragmentos (NEAR) de floresta nativa da sub-bacia do Passa-Cinco	128
44 Distância entre os fragmentos (NEAR) de floresta nativa da sub-bacia do Alto Corumbataí	128
45 Distância entre os fragmentos (NEAR) de floresta nativa, da sub-bacia do Médio Corumbataí	129
46 Distância (NEAR) para as classes de área dos fragmentos de floresta nativa, da sub-bacia do Ribeirão Claro	129
47 Distância (NEAR) para as classes de área dos fragmentos de floresta nativa, da sub-bacia do Baixo Corumbataí	130
48 Distância entre os fragmentos (NEAR) de cerrado da sub-bacia do Passa-Cinco ..	130
49 Distância entre os fragmentos (NEAR) de cerrado da sub-bacia do Alto Corumbataí	131
50 Distância (NEAR) para as classes de área dos fragmentos de cerrado, da sub-bacia do Ribeirão Claro	131
51 Índice de proximidade média (MPI) para fragmentos de floresta nativa e de cerrado, considerado um raio de 100 metros	102
52 Índice de dispersão e justaposição (IJI), para a vegetação florestal nativa e de cerrado, das sub-bacias	103

ANÁLISE DA ESTRUTURA DA PAISAGEM NA BACIA DO RIO CORUMBATAÍ, SP

Autora: Roberta de Oliveira Avena Valente

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Vettorazzi

RESUMO

A importância regional da Bacia do Rio Corumbataí para o abastecimento de água, em qualidade e quantidade, e o elevado nível de desmatamento que é na atualidade um dos fatores que mais afetam a sua biodiversidade, motivaram a análise da estrutura paisagem dessa área. Para essa análise foi produzido o mapa de uso e cobertura do solo da bacia e aplicados índices de ecologia da paisagem. O mapa de uso e cobertura do solo foi produzido pela classificação digital supervisionada (algoritmo de máxima verossimilhança) de imagens orbitais digitais (SPOT e LANDSAT), com exatidão global de 91,10%. Os índices de ecologia da paisagem (calculados pelo software FRAGSTATS) foram determinados por sub-bacias (Passa-Cinco, Alto Corumbataí, Médio Corumbataí, Ribeirão Claro e Baixo Corumbataí), sendo utilizados os que fazem a caracterização em nível de fragmentos e em nível de classes de uso e cobertura do solo. Os índices referentes às classes forneceram as caracterizações das classes floresta nativa (Floresta Estacional Semidecidual) e cerrado; e os referentes a fragmentos a caracterização, dos seus respectivos remanescentes. As caracterizações quantitativas em nível de fragmentos e de classes de uso e cobertura do solo foram feitas com os grupos de índices de área; densidade, tamanho e variabilidade métrica; área nuclear; forma; proximidade; e dispersão e justaposição. Com base nesses índices, pode-se dizer que a

estrutura florestal das sub-bacias do rio Passa-Cinco e Alto Corumbataí, apresentaram algumas diferenciações em relação às sub-bacias do Médio Corumbataí, do Ribeirão Claro, e do Baixo Corumbataí. Os índices indicaram que nas sub-bacias do Médio Corumbataí, do Ribeirão Claro, e Baixo Corumbataí, existe a predominância de fragmentos de floresta nativa menores que 15 ha e que seus fragmentos, independentemente do tamanho, estão mais distantes uns dos outros e, portanto, mais sujeitos às ações dos outros usos e coberturas do solo que os remanescentes das sub-bacias do Alto Corumbataí e do rio Passa-Cinco. Nas sub-bacias do rio Passa-Cinco, do Alto Corumbataí e do Ribeirão Claro, a estrutura florestal tem como outro componente a vegetação de cerrado. No Alto Corumbataí, essa vegetação representa 78,24% do total de cerrado da Bacia do Rio Corumbataí. Neste contexto, pode-se concluir que os índices de ecologia da paisagem, quando analisados em conjunto, permitiram a caracterização da estrutura florestal das sub-bacias da Bacia do Rio Corumbataí e a avaliação dessas áreas, sob o ponto de vista da preservação e da conservação florestal. Tendo por base a preservação e a conservação florestal, pode-se concluir que as sub-bacias do Passa-Cinco e Alto Corumbataí têm um padrão de estrutura florestal com predominância de fragmentos aptos à preservação. Essa condição é consequência do fato de possuírem fragmentos com área nuclear suficiente para manter sua estrutura interna e a estabilidade da estrutura florestal da paisagem em que estão inseridos. As sub-bacias do Ribeirão Claro, Baixo Corumbataí e, principalmente, do Médio Corumbataí, apresentam estrutura florestal com a maioria de fragmentos devendo ser conservados. Os fragmentos que possuem a área mínima necessária à autossustentabilidade não são suficientes, em número, para manter a estabilidade dessas paisagens.

LANDSCAPE STRUCTURE ANALYSIS OF THE CORUMBATAÍ RIVER BASIN, SP

Author: Roberta de Oliveira Aversa Valente

Adviser: Prof. Dr. Carlos Alberto Vettorazzi

SUMMARY

Corumbataí River Basin is regionally important for public water supply. It presents a high deforestation level, which affects deeply its biodiversity. These facts have motivated the landscape structure analysis of this area, based on its land use/land cover map and landscape ecology indices. Land use/land cover map was produced by supervised digital classification (maximum Likelihood algorithm) of satellite images (SPOT and LANDSAT), with an classification accuracy of 91.10%. Landscape ecology indices (calculated by FRAGSTATS software) were determined for each sub-basin (Passa-Cinco, Alto Corumbataí, Médio Corumbataí, Ribeirão Claro e Baixo Corumbataí), being used those that perform the characterization to the patch level and land use/land cover classes level. The classes quantified were: native forest (Seasonal Semidecidual Forest) and cerrado. The indices groups applied were: area; density, size and variability metrics; core area; shape; proximity; interspersion and juxtaposition index. Based on those indices one can assert that the forest structure of Passa-Cinco and Alto Corumbataí sub-basins showed some differences in relation to the other ones. Most of the native forest patches in the Médio Corumbataí, Ribeirão Claro e Baixo Corumbataí sub-basins are less than the native forest patches of the other two sub-basins. Other native vegetation class in the Passa-Cinco, Alto Corumbataí, and Ribeirão

Claro sub-basins is the cerrado, mainly in the Alto Corumbataí (78.24% of the whole basin). The results of this research have indicated that the landscape ecology indices allowed the forest structure characterization of the Corumbataí River sub-basins and the evaluation of those areas according to the viewpoint of forest preservation and conservation. Most of the native forest patches in Passa-Cinco and Alto Corumbataí sub-basin should be preserved. This is a consequence of the fact of having core area big enough to maintain their internal structure and stability of forest structure in the landscape where they are. For the Ribeirão Claro, Baixo Corumbataí, and mainly Médio Corumbataí, most of the native forest patches should be conserved. Those patches do not have a core area able to sustain themselves.

1 INTRODUÇÃO

Na atualidade, com a intensificação das pressões antrópicas sobre o ambiente, observa-se um intenso processo de substituição das paisagens naturais por outros usos do solo. Essas interferências na paisagem convertem extensas e contínuas áreas com cobertura florestal em fragmentos florestais, causando problemas ao meio ambiente e, em muitos casos, afetando a disponibilidade e a qualidade de recursos naturais importantes à população de uma região.

Nessas condições encontra-se a Bacia do Rio Corumbataí, que é uma das regiões de Mata Atlântica onde a biodiversidade está mais ameaçada, em função do elevado nível de desmatamento, sendo que sua vegetação remanescente está quase que restrita somente a terrenos muito declivosos e trechos isolados de mata ciliar.

A Bacia do Rio Corumbataí representa aproximadamente 1/6 da Bacia do Rio Piracicaba e está localizada em uma porção do território paulista de grande importância econômica, sob o ponto de vista do desenvolvimento agrícola e industrial. Originalmente era coberta principalmente por floresta estacional semidecidual e áreas menores com cerrado (Koffler, 1993). Seu processo de degradação florestal teve início no começo do século XX, com a implantação da cultura do café e culturas de subsistência. Posteriormente, o café foi substituído por pastagens e, mais recentemente, tem-se a presença das culturas da cana-de-açúcar, fruticultura e reflorestamentos comerciais (Garcia, 2000).

O Rio Corumbataí assume importância regional pelo seu potencial hídrico, capaz de abastecer municípios que estão em sua totalidade dentro da Bacia do Rio Corumbataí, e ainda por apresentar condições para o abastecimento de municípios, onde

existem problemas de abastecimento hídrico de qualidade e em quantidade, e que não estão totalmente em seus limites.

A importância dessa bacia leva à necessidade do entendimento da composição e da configuração ou da estrutura de sua paisagem, o que fundamenta a análise dos processos relacionados à conservação e à preservação de sua cobertura florestal.

O entendimento das relações espaciais entre fragmentos florestais, das interações e das mudanças estruturais de uma paisagem, nas mais diferentes escalas, tem sido objeto de estudo da ecologia da paisagem.

O aumento de estudos em ecologia da paisagem é justamente função de sua habilidade em quantificar a estrutura da paisagem, que é um pré-requisito para compreensão das funções e mudanças de uma paisagem.

Para a aplicação prática dos conceitos de ecologia da paisagem, é necessária uma prévia caracterização da paisagem. Neste sentido, as técnicas de geoprocessamento, em especial o sensoriamento remoto e o sistema de informações geográficas, vêm assumindo papel estratégico nesse ramo da ciência.

O sucesso da aplicabilidade do sensoriamento remoto deve-se principalmente às suas características de multiespectralidade, de visão sinóptica, de repetitividade, que permitem uma melhor caracterização dos atributos de uma paisagem. Os sistemas de informações geográficas têm-se destacado pela sua capacidade de interação e análise dos diferentes planos de informação que caracterizam as paisagens.

Neste contexto, o presente trabalho de pesquisa teve por objetivo principal analisar a estrutura (configuração e composição) da Bacia do Rio Corumbataí e de suas sub-bacias, enfatizando sua cobertura florestal, com os seguintes objetivos específicos :

- (1) caracterizar o uso e cobertura do solo da bacia por meio de técnicas de sensoriamento remoto;
- (2) caracterizar a configuração e composição da cobertura florestal da bacia e de suas sub-bacias por meio de índices de ecologia da paisagem; e
- (3) avaliar as sub-bacias sob o ponto de vista da preservação e da conservação florestal.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Ecologia da paisagem

A paisagem foi introduzida como termo científico-geográfico no século XIX por A. von Humboldt, o grande pioneiro da geobotânica e geografia física moderna, que a definiu como “a totalidade das características de uma região do planeta”. O desenvolvimento da Geografia, da Geologia e das ciências que enfocavam, a princípio, somente os aspectos físicos da Terra, levou o significado do termo a se restringir, ao enfoque da caracterização fisiográfica, geológica e geomorfológica das feições da crosta terrestre. Contudo, geógrafos russos, que já integravam fenômenos orgânicos e inorgânicos no conceito da paisagem, denominaram o seu estudo de “geografia da paisagem” (Naveh & Lieberman, 1994).

Naveh & Lieberman (1994) citam ainda que, a semântica e o desenvolvimento da “geografia da paisagem” são detalhadas por Carl Troll, em 1971, que define paisagem como “uma entidade espacial e visual total” do espaço em que o ser humano vive, integrando a geosfera, a biosfera e a antroposfera. Ele considerava a paisagem como uma entidade holística integrada, onde o “todo” é mais que a soma das partes e, portanto, deve ser estudada na sua totalidade. Foi Carl Troll, em 1939, enquanto estudava os problemas do uso das terras e o desenvolvimento do oeste da África, quem criou o termo “ecologia da paisagem”, imaginando o grande potencial que as fotografias aéreas teriam nos estudos da paisagem.

Segundo Risser (1987), citado por Turner (1987), a ecologia da paisagem é, na atualidade, uma ciência básica para o desenvolvimento, manejo, conservação e planejamento da paisagem. Ela possibilita que a paisagem seja avaliada sob diversos

pontos de vista, permitindo que seus processos ecológicos possam ser estudados em diferentes escalas temporais e espaciais, o que justifica as variadas definições que, na atualidade, têm-se de paisagem.

Para Naveh (1987), a paisagem totaliza as entidades físicas, ecológicas e geográficas, integrando os processos naturais e humanos.

Lucas (1991) cita que, o termo “paisagem” leva em conta os componentes naturais, os fatores de intervenção humana e as qualidades estéticas. Como componentes naturais importantes tem-se a geomorfologia e a vegetação e como fatores de intervenção, tem-se o manejo da vegetação. Os fatores estéticos estão relacionados à reação mental do que os olhos vêem.

Ao reconhecer e incluir a dimensão humana no estudo de ecologia e manejo de paisagens, os cientistas naturais começaram a incorporar, de maneira crescente, conceitos e métodos originários das ciências sociais. O conceito de paisagem como elemento da memória e, portanto, da cultura de diferentes sociedades, é fundamental ao entendimento da dimensão humana das paisagens (Schama, 1996).

Para Turner & Gardner (1990), a paisagem pode ser simplesmente considerada como uma área espacialmente heterogênea, contudo três de suas características devem ser consideradas : sua estrutura, sua função e suas alterações. Essas características são definidas por Forman & Godron (1986) como:

- (1) estrutura: relação espacial entre diferentes ecossistemas ou elementos presentes na paisagem, ou seja, é a distribuição da energia, dos materiais e espécies em relação ao tamanho, forma, número, tipo e configuração dos ecossistemas;
- (2) função: refere-se à interação entre os elementos espaciais, que são o fluxo de energia, materiais e organismos dos ecossistemas componentes; e
- (3) alterações: mudanças na estrutura e função do mosaico ecológico, ao longo do tempo.

A capacidade de quantificar a estrutura da paisagem é, portanto, o pré-requisito para o estudo da função e das alterações de uma paisagem (McGarigal & Marks, 1995).

2.1.1 Estrutura da paisagem

As paisagens, de acordo com Forman & Godron (1986), possuem uma estrutura comum e fundamental, composta pelos elementos: fragmento, matriz e corredor.

O **fragmento**, também nomeado por outros autores de *patch*, ecótopo, biótopo, componente da paisagem, elemento da paisagem, célula da paisagem, *site*, entre outros termos, refere-se ao elemento básico que forma uma paisagem (Urban et al., 1987).

Para Forman & Godron (1986), os fragmentos são superfícies não lineares, que estão inseridas na matriz e diferem em aparência do seu entorno, variam em tamanho, forma, tipo de heterogeneidade e limites. Kotliar & Wiens (1990) complementam que os fragmentos são dinâmicos, ocorrem em diferentes escalas temporais e espaciais e possuem uma estrutura interna.

Farina (1998) coloca que a estrutura da paisagem é considerada primariamente como uma série de fragmentos, circundados por uma matriz com composição diferente. Os fragmentos podem ser naturais de uma paisagem ou terem surgido como resultado de ações antrópicas.

Quando o processo de fragmentação dos ecossistemas naturais é decorrente de ações antrópicas, torna-se uma ameaça à biodiversidade. Para Schelhas & Greenberg (1996), quando a fragmentação acontece nas áreas ocupadas por florestas nativas, é certo que os processos biológicos e naturais dos mais variados ecossistemas serão afetados.

Saunders et al. (1991) citam que a fragmentação florestal tem dois componentes: (1) redução dos tipos de formações; e (2) redução proporcional na forma, tamanho e grau de isolamento dos fragmentos.

Quanto à **matriz**, representa o tipo de elemento com maior conectividade e que ocupa a maior extensão na paisagem e que, por esse motivo, tem maior influência no funcionamento dos outros ecossistemas (McGarigal & Marks, 1995). Em uma paisagem dominada por pastagem, com fragmentos de diferentes tipos (vegetação florestal, cultura anual etc.), o elemento matriz será a pastagem. No que diz respeito aos elementos que

constituirão uma matriz, Forman & Godron (1986) mencionam que dependerá da escala de investigação e do manejo que vem sendo aplicado.

As matrizes que permitem a maior conectividade entre os fragmentos florestais são consideradas as de maior porosidade, fator que terá influência direta na conservação e preservação dos remanescentes florestais.

Os **corredores**, por sua vez, são estreitas faixas, naturais ou antrópicas, que diferem da matriz em ambos os lados. A grande maioria das paisagens são, ao mesmo tempo, divididas e unidas por corredores (Farina, 1998).

Segundo Harris (1984), os corredores, que são os grandes responsáveis pela conexão de fragmentos florestais naturais, aumentam a riqueza de espécies de animais em geral e contribuem para a dispersão das espécies arbóreas. Esse papel de interconexão dos fragmentos florestais é suficientemente bem estabelecido para que alguns autores concluam que a derivação da maximização da diversidade de populações biológicas, no tempo e no espaço de uma região, contribuirá para a maximização entre os fragmentos.

A manutenção e a implantação de corredores, com vegetação nativa, são consideradas por Metzger et al. (1999) como uma das formas de amenizar as perdas causadas pela fragmentação, com a finalidade de favorecer o fluxo gênico entre os fragmentos florestais e servir como refúgio para a fauna. A respeito dos corredores, Metzger et al. (1999) relatam ainda que, a estrutura externa dos corredores, definida por sua largura e complexidade na distribuição espacial, é que irá determinar o acontecimento dos deslocamentos na paisagem.

Os corredores variam no comprimento e na função. Os corredores em linha são resultantes de atividades humanas, geralmente são estreitos e têm como função a movimentação de espécies de borda. Os corredores em faixas têm por função o movimento de espécies características do interior de um fragmento florestal e, na maioria dos casos, são grandes o bastante para apresentarem um efeito de borda e um microambiente em seu interior (Forman, 1997).

O conhecimento dos elementos de uma paisagem é, portanto, essencial para a caracterização de sua estrutura e para a identificação de seus padrões. Para Dunning et

al.(1992) e Turner (1989), a estrutura de uma paisagem deve ser caracterizada e ter seus padrões definidos com base na sua configuração e composição. Esses dois aspectos podem, independentemente ou combinados, estar influenciando no processo, que se constitui o principal enfoque de determinado estudo.

A **composição** refere-se às feições associadas à presença ou ausência dos elementos na paisagem, sem considerar a sua distribuição espacial. Esse aspecto da paisagem considera portanto a variedade e abundância de seus elementos, sem se importar com sua localização (McGarigal & Marks, 1995).

De acordo com Forman (1997), o estudo da composição de uma paisagem é importante para o entendimento de vários processos ecológicos, entre os quais se encontra o processo de fragmentação florestal. Como variáveis importantes à composição de uma paisagem, Forman & Godron (1986) citam o tamanho, a forma e o tipo dos fragmentos que a compõem.

Para Baker & Cai (1992), a composição é um importante aspecto relacionado à conservação dos recursos florestais, em nível de ecossistemas. A partir do conhecimento e quantificação da composição de uma paisagem é possível, segundo o autor, determinar práticas para a manutenção da conservação florestal e da diversidade de espécies, bem como de outros processos correlacionados. Harris (1984) e Baker (1989) comentam que, recentemente, tem-se dado atenção para as ações conservacionistas em nível de paisagem, na tentativa de garantir a manutenção da estrutura e dos processos das paisagens.

A **configuração** refere-se à distribuição física ou caracterização espacial dos elementos na paisagem (McGarigal & Marks, 1995). Como aspectos importantes à configuração tem-se o grau de isolamento dos fragmentos; a localização desses fragmentos em relação a outros; e a vizinhança dos fragmentos, entre outros.

De acordo com Kareiva (1990), muitos esforços têm sido feitos no sentido de incorporar a configuração da paisagem aos modelos de processos ecológicos e dinâmica de populações, principalmente quando tem-se paisagens heterogêneas.

Baskent (1997) cita que, tanto a composição quanto a configuração das paisagens podem ser quantificadas, para assim ter-se uma melhor representação espacial

da sua estrutura. Em estudos de ecologia da paisagem essa quantificação tem levado ao aumento no número de índices e programas computacionais, com a finalidade de melhor caracterizar a estrutura das paisagens.

Turner & Gardner (1990) citam que os índices utilizados em ecologia da paisagem representam novos métodos para a quantificação dos padrões espaciais e para a comparação entre paisagens, permitindo a identificação de suas principais diferenças e determinando as relações entre os processos funcionais e os padrões das paisagens.

Para Gustafson & Parker (1992), o desenvolvimento de índices para a descrição quantitativa da paisagem, pode ser usado para aumentar o entendimento das interações existentes entre os padrões espaciais e os processos ecológicos.

2.1.2 Descrição quantitativa da estrutura da paisagem

A ecologia da paisagem, visando à investigação dos mais variados tipos de processos naturais, requer a descrição quantitativa dos padrões e da estrutura das paisagens, para que dessa maneira possam ser entendidos e realizadas as predições sobre o fenômeno avaliado (Hargis et al., 1998). Com esta finalidade, tem sido desenvolvido uma variedade de índices da paisagem (Forman & Godron, 1986; O'Neil et al., 1998; Turner, 1990; Turner & Gardner, 1990; Gustafson & Parker, 1992; Li & Reynolds, 1993; Mc Garigal & Marks, 1995)

Na área florestal, o enfoque tem sido dado ao processo de fragmentação. Saunders et al. (1991) enfatizaram que, a redução na fragmentação das paisagens deve ser uma prioridade, visto que esse processo é uma ameaça à estabilidade da estrutura das paisagens, ou seja, à biodiversidade.

Hargis et al. (1998), com o intuito de avaliar o comportamento de alguns dos índices de paisagem que vêm sendo utilizados nos estudos de fragmentação florestal, geraram paisagens artificiais que representavam o processo de fragmentação, sendo controlados o tamanho e a forma dos fragmentos e a forma com que o distúrbio aumentava. Os índices avaliados quantificavam a densidade de borda, o contágio, a

distância do vizinho mais próximo e a proximidade média entre fragmentos, além da relação perímetro-área na dimensão fractal e a massa na dimensão fractal.

Jorge & Garcia (1997), no estudo da fragmentação das formações de floresta mesófila, de mata ciliar e de vegetação de cerrado, na região de Botucatu, SP, avaliaram: (1) os índices de diversidade e dominância em relação ao uso do solo da região; (2) a área e o perímetro médio dos fragmentos florestais; (3) o número e a densidade de fragmentos; (4) a razão perímetro/área, na dimensão fractal; (5) um índice de dispersão ; e (6) espaçamento entre fragmentos. Para essa quantificação da estrutura da paisagem, os autores tiveram por base o mapa de uso e cobertura do solo da região, produto da classificação digital supervisionada de uma imagem do satélite LANDSAT.

A variedade de índices existentes em ecologia da paisagem, levou autores como McGarigal & Marks (1995) a agruparem esses índices nas seguintes categorias: índices de área; índices de densidade, tamanho e variabilidade métrica dos fragmentos; índices de forma; índices de borda; índices de área nuclear; índices métricos de vizinho mais próximo; índices de diversidade; e índices métricos de contágio e espalhamento.

Os **índices de área** quantificam a composição das paisagens. Como índices de área tem-se: área de cada fragmento; índice de similaridade da paisagem; área da classe; porcentagem da paisagem; e índice do maior fragmento (Turner et. al., 1990).

A área de um fragmento é, segundo Forman & Godron (1986), uma das mais importantes informações de uma paisagem, não somente porque é a base para o cálculo de outros índices, como também porque é, por si só, uma informação de grande valor.

De acordo com Harris (1984), qualquer diminuição em área de um fragmento florestal, pode levar a uma diminuição exponencial do número de espécies e afetar a dinâmica de populações de plantas e animais, podendo comprometer a regeneração natural das espécies e, por sua vez, a sustentabilidade do ecossistema.

O tamanho considerado como mínimo necessário para a estabilidade de um fragmento de floresta semidecídua, tendo em vista a sua florística, é de 25 ha, segundo Metzger (1995), citado por Metzger (1997). O tamanho dos fragmentos aos quais a maioria das espécies de insetos, mamíferos e pássaros tornam-se sensíveis são, respectivamente, 1ha, 10 ha e 100 ha (Farina, 1998).

Ranta et al. (1998), em seu estudo sobre o tamanho, a forma e a distribuição dos fragmentos, numa área de 1500 ha de Floresta Atlântica brasileira, observaram que 48% dos fragmentos têm área menor que 10 ha e que somente 7% dos fragmentos dessa formação, têm área maior que 100 ha. Pires et al. (1998) citam que, aproximadamente 50% de 118 fragmentos de Floresta Atlântica avaliados, apresentaram área inferior a 10 ha.

Para Farina (1998), a diminuição em área de um fragmento florestal irá repercutir na perda imediata da biodiversidade regional, em função da diminuição no número de espécies que o compõem e da alteração de sua estrutura interna.

Os **índices de densidade, tamanho e variabilidade métrica** são medidas da configuração da paisagem. Como exemplos desse índices têm-se: o número de fragmentos; o tamanho médio dos fragmentos nas suas respectivas classes; o desvio padrão e o coeficiente de variação do tamanho (McGarigal & Marks, 1995).

Os **índices de borda** usualmente são considerados como representantes da configuração da paisagem, porém nem sempre sua distribuição espacial é explícita. São considerados índices de borda: o perímetro; o índice de contraste de borda; o total de borda de uma classe e a densidade de borda, entre outros (McGarigal & Marks, 1995).

Yahner (1998) explica que, como a matriz tem estrutura ecológica diferente do interior do fragmento florestal, a formação da borda é induzida, visto a recepção direta de impactos das mais diversas naturezas. Como resultado da borda têm-se as alterações do microclima e, por consequência, o distúrbio dos fragmentos. Alterações, como mudanças na dispersão de sementes e nos hábitos dos herbívoros, podem influenciar na sua composição e na sua estrutura vegetacional (Chen & Franklin, 1990). Forman (1997) cita que algumas espécies são mais resistentes ao efeito de borda, minimizando assim os efeitos da matriz.

Tabanez et al. (1997), estudando um fragmento de 9,5 ha de floresta mesófila semidecídua na região de Piracicaba, constataram que a borda tinha largura variando de 80 m a 100 m. No Paraná, Ranney et al. (1981) observaram que a borda dos fragmentos tem largura média entre 10 m e 30 m. Na Região Amazônica, em avaliações de habitats de pássaros, obteve-se uma largura média de 50 metros para a borda (Lovejoy et. al.,

1986). No estado de Minnesota, EUA, Borgesa & Hoganson (2000) comprovaram que a largura de borda varia de 20 m a 40 m, na área de transição florestas antigas/florestas novas, sendo a última categoria manejada para corte.

Ranta et al. (1998) constataram que, quando a largura da borda é maior que 60 metros, a área nuclear é praticamente inexistente, isto tendo por base a análise da estrutura da paisagem de fragmentos de Mata Atlântica, em Pernambuco.

Quanto aos **índices de forma**, são responsáveis pela configuração da paisagem. McGarigal & Marks (1995) citam que, a quantificação dessa variável é extremamente complicada, sendo necessário adotar-se uma paisagem padrão, para efeito de comparação. Para Turner & Ruscher (1988), a dimensão fractal é a maneira mais correta de quantificar essa variável.

De acordo com Forman (1997), a análise da forma dos fragmentos florestais, em relação a sua diversidade e sustentabilidade, é tão importante quanto seu tamanho. O autor complementa que podem ser encontradas na paisagem diferentes formas de fragmentos que, sob seu ponto de vista, podem ser agrupadas nas seguintes categorias: (1) naturais ou criadas pelo homem (curvilíneas ou amebóides; geométricas); (2) compactas ou alongadas (razão comprimento/largura); e (3) arredondada versus convoluta.

A análise da forma de um fragmento florestal não pode ser feita de maneira isolada, devendo ser considerados outros aspectos desse fragmento, entre os quais estão sua vizinhança e seu efeito de borda.

Na Figura 1 estão representadas algumas das características ecológicas que são alteradas em função da forma e do efeito de borda dos fragmentos florestais, conforme proposto por Forman & Godron (1986).

Os **índices de área nuclear** refletem tanto a composição quanto a configuração de uma paisagem e, na maioria dos casos, dependem de outros índices (densidade, número de fragmentos, índices de borda e de forma) para serem melhor interpretados (McGarigal & Marks, 1995). Os autores citam os seguintes índices de área nuclear: área nuclear dos fragmentos; número de áreas nucleares; porcentagem de área nuclear da paisagem, entre outros.

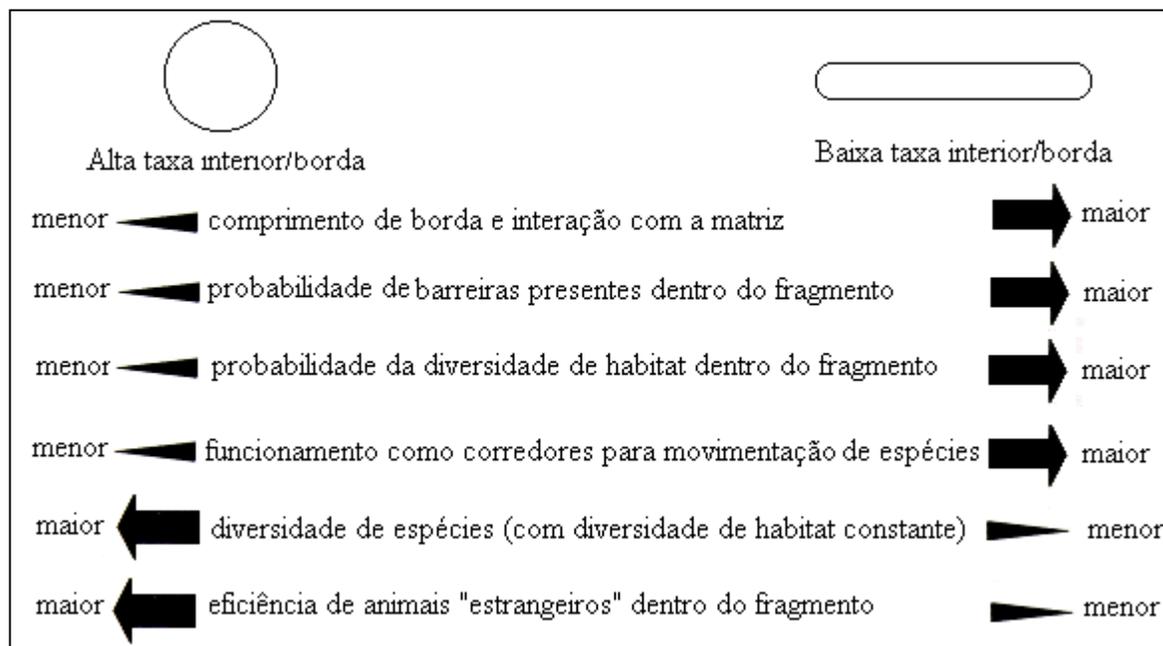


Figura 1 - Efeito da forma e da borda em algumas características ecológicas.

Fonte: Forman & Godron (1986).

A área nuclear é definida como a área do fragmento sem considerar a largura de sua borda e, segundo Temple (1986), citado por McGarigal & Marks (1995), é um indicativo melhor da qualidade dos fragmentos que sua área total, sendo afetado diretamente pela forma e borda dos fragmentos. Dessa maneira, um fragmento pode ser largo o suficiente para suportar algumas espécies, mas não conter área nuclear suficiente para suportar essas espécies e, sobretudo, manter a integridade de sua estrutura natural (Turner & Gardner, 1990).

Os **índices de proximidade** são calculados com base na distância euclidiana entre fragmentos de mesma classe, tendo por base as suas bordas. São medidas da configuração da paisagem e são representados pelo índice de distância do vizinho mais próximo, pelo índice de proximidade entre fragmentos e por seus derivados (Forman & Godron, 1986).

Pela análise desses índices pode-se chegar a conclusões sobre o grau de isolamento de um fragmento e a respeito do nível de fragmentação da paisagem. Para Yong & Merriam (1994), o surgimento de habitats menores, resultado do processo de

fragmentação, contribui significativamente para a redução em tamanho e variabilidade genética das espécies florestais, bem como para seu isolamento. As conseqüências dessas perdas levam ao aumento da endogâmia entre espécies e/ou das pressões genéticas.

Hargis et al. (1998), avaliando o comportamento dos índices comumente empregados em ecologia da paisagem, relatam que o índice de proximidade é sensível ao tamanho dos fragmentos.

Os **índices de diversidade** são importantes para quantificar a composição de uma paisagem, sendo os mais usados e conhecidos os índices de Shannon e de Simpson. O índice de Shannon é baseado no componente riqueza, enquanto o de Simpson no componente regularidade.

Os **índices de contágio e espalhamento** permitem quantificar a paisagem quanto a sua configuração. A partir do índice de contágio é possível ter-se a extensão na qual os fragmentos estão agregados ou dispersos em uma paisagem e, com base no índice de espalhamento, quantificar a distribuição espacial de um tipo de fragmento na paisagem.

Metzger (1997) cita que a conectividade entre fragmentos foi um importante fator físico relacionado às variações na riqueza de espécies arbóreas, nos fragmentos de Floresta Atlântica estudados pelo autor.

De acordo com Ritters et al. (1995), o ideal na quantificação da estrutura das paisagens é que se tenha um pequena variedade de índices, os quais permitam obter em curto espaço de tempo, o mais importante da estrutura e do padrão de uma paisagem. Os autores chegaram a essa conclusão após avaliarem 56 índices e perceberem que 6 índices univariados foram suficientes para conhecer a estrutura e o padrão de uma paisagem fragmentada. Foram eles: a razão média perímetro-área; o índice de contágio; a forma do fragmento padronizada; número de atributos das classes de fragmentos; e a densidade do fragmento de maior tamanho.

Para Baskent (1997), os índices que foram considerados como indicadores da fragmentação de uma paisagem foram: área nuclear; dispersão; borda relativa; e autocorrelação espacial, isto tendo em vista a caracterização e diferenciação de aspectos

espaciais da estrutura de uma paisagem, ao longo do tempo. O autor complementa que, essa quantificação da estrutura, é um elemento chave para a elaboração de estratégias de manejo de paisagens.

Tendo em vista os melhores índices para a modelagem do desmatamento e posterior avaliação dos impactos no habitat de animais silvestres, Trani & Giles (1999) obtiveram que as perdas em áreas com florestas foram significativamente representadas pelos índices tamanho médio dos fragmentos; número de fragmentos; densidade média de fragmentos; e distância entre fragmentos.

Hessburg et al. (2000), amostrando sub-bacias localizadas no interior da Colômbia, conseguiram caracterizar a estrutura e composição das paisagens florestais dessas unidades e compará-las com uma série histórica. Para a caracterização das sub-bacias, os autores fizeram a interpretação visual de uma série temporal de fotografias aéreas (1930 – 1990) e para quantificar a estrutura dessas paisagens utilizaram: os índices de área; a densidade de fragmentos; o tamanho médio dos fragmentos; o índice médio de borda; os índice de diversidade de Shannon e Simpson; e o índice de contágio (software FRAGSTATS versão para Arc/Info).

Koivu (1999), que também caracterizou uma região da Finlândia com base em fotografias aéreas, em um sistema de informações geográficas, utilizou os índices de porcentagem da paisagem; tamanho médio dos fragmentos; densidade de fragmentos, índice médio de forma; e comprimento total de borda, na avaliação das alterações agrícolas dessa área.

Turner et al.(1996) empregaram os índices: número de fragmentos; tamanho médio dos fragmentos; razão borda/área; e índice de fragmento de maior área, para a quantificação da estrutura, definição de padrões e observação de alterações na paisagem de bacias localizadas no Estado de Washington, EUA.

Para entender os manejos que vinham sendo empregados numa área do Estado de Oregon, Ripplle et al. (2000) determinaram os índices de densidade de fragmentos; tamanho médio de fragmentos; tamanho do maior fragmento; coeficiente de variação do tamanho de fragmentos; área nuclear proporcional à paisagem; e densidade de borda (software GISfrag).

Na Flórida, Pearlstine (1997) empregou os índices de ecologia da paisagem para entendimento do processo de substituição das área de *pinus* por agricultura e sua influência na água dos pântanos e na vida silvestre desse habitat.

Neste contexto, pode-se afirmar que a caracterização das paisagens fragmentadas e a quantificação de suas estruturas possibilitam contextualizar a distribuição espacial de seus elementos e determinar as alterações resultantes desse processo que, por sua vez, permitem o melhor direcionamento das ações de conservação e preservação dos recursos florestais.

A conservação florestal pode ser definida como o conjunto de ações que são realizadas em um ecossistema, tendo em vista sua restauração, sua proteção e, sobretudo, a sustentabilidade da qualidade e quantidade de seus componentes e processos (Dunster & Dunster, 1996).

A ecologia da paisagem tem sido importante para a conservação, porque considera justamente o arranjo espacial dos habitats e, conseqüentemente, leva em conta a estrutura e os processos sob o ponto de vista de diferentes espécies (Wilcove, 1985).

A preservação, por sua vez, é definida como um uso que deve ser dado a determinado ecossistema, no qual a interferência humana deve ser mínima ou mesmo não existir (Dunster & Dunster, 1996).

2.2 Geoprocessamento na ecologia da paisagem

O geoprocessamento trata das diversas técnicas empregadas na coleta, armazenamento, processamento, análise e representação de dados com expressão espacial, isto é, possíveis de serem referenciados geograficamente (Vettorazzi, 1996).

O sensoriamento remoto e os sistemas de informações geográficas são as técnicas do geoprocessamento que mais vem sendo empregadas em estudos de ecologia da paisagem (Young et al., 1993). Para Turner & Carpenter (1998), essas técnicas tornaram-se essenciais em ecologia da paisagem, porque tem a capacidade de

caracterizar no espaço e no tempo, os padrões de uso e cobertura do solo, que são a base para posterior quantificação da estrutura e definição dos padrões da paisagem.

2.2.1 Sensoriamento remoto

Sensoriamento remoto pode ser definido como a utilização de sensores para a aquisição de informações sobre objetos ou fenômenos sem que haja contato direto entre eles. Os sensores são equipamentos capazes de coletar energia proveniente do objeto, convertê-la em sinal passível de ser registrado e apresentá-lo em forma adequada à extração de informações (Novo, 1992).

A aplicação do sensoriamento remoto, de acordo com Campbell (1987), Jensen (1996), Crósta (1993) e Brown et al. (2000), em diferentes ramos da ciência, em especial na área ambiental, é função de sua capacidade de coletar dados multiespectrais em diferentes escalas, diferentes épocas, oferecendo a oportunidade de analisar os vários fenômenos sinopticamente através do tempo. Esses atributos, associados às diferentes amplitudes espectrais que os modernos sensores possuem, fazem com que as imagens dos sensores remotos sejam fundamentais nas diferentes aplicações da ecologia da paisagem (Quattrochi & Pelletier, 1990).

As imagens digitais de sensoriamento remoto, que podem ser obtidas por satélites ou aeronaves, representam a forma de captura indireta de informação espacial. As informações são armazenadas como matrizes, sendo que cada elemento da imagem, denominado pixel, tem um valor proporcional à energia eletromagnética refletida ou emitida pela área da superfície terrestre correspondente (Câmara & Medeiros, 1998).

Para Forman & Godron (1986), uma imagem de sensoriamento remoto é multidimensional: horizontal, vertical e multiespectral, o que permite, sob o ponto de vista da ecologia da paisagem, estudar diferentes aspectos dos ecossistemas. Os autores citam que em estudos de fragmentação florestal, o eixo horizontal permite conhecer a distribuição (agregação e dispersão) das áreas florestais, entre outros aspectos.

McGarigal & Marks (1995) e Câmara & Medeiros (1998) complementam, citando que a escolha da resolução espacial (menor área da superfície terrestre observada

instantaneamente por cada detector) e da resolução espectral da imagem (número e largura de faixas do espectro eletromagnético imageadas), assim como a resolução radiométrica do sensor (nível de quantização registrado pelo sistema sensor), irão depender do aspecto da paisagem que deve ser abordado.

Brown et al. (2000) citam que a escolha da imagem e do sensor é uma etapa essencial, pois observaram que dois índices de ecologia da paisagem (tamanho médio do fragmento e número de fragmentos) foram mais sensíveis às características da imagem e refletiram maior erro de medição que outros índices (porcentagem de cobertura florestal e densidade de borda). Nesse estudo os autores utilizaram imagem do sensor MSS do satélite LANDSAT.

Após a tomada de decisão sobre sensor e a imagem a serem empregados, é necessário considerar a técnica de processamento que será utilizada para a análise dos dados e extração das informações dessa imagem. Na atualidade, o formato digital das imagens permite que seja realizado diretamente o seu processamento digital (Quattrochi & Pelletier, 1990).

A função primordial do processamento digital de imagens é a de fornecer meios para facilitar a identificação e a extração da informação contida nas imagens, para posterior interpretação. Nesse sentido, sistemas dedicados de computação são utilizados para atividades interativas de análise e manipulação das imagens brutas. O resultado desse processo é a produção de outras imagens, estas já contendo informações específicas, extraídas e realçadas a partir das imagens originais (Crósta, 1993).

Quattrochi & Pelletier (1990) citam que todo processamento digital de imagens apresenta as seguintes categorias: (1) correção atmosférica e geométrica de imagens; (2) realce da imagem; (3) classificação da imagem e modelagem ; ou (4) fusão de dados. Os autores complementam que, freqüentemente, os estágios do processamento seguem a seqüência das categorias 1 a 4, mas que não é necessário que se tenha todas as categorias, sendo que esta variação está relacionada ao objetivo da aplicação.

Segundo Vettorazzi (1992), a correção atmosférica tem a finalidade de reduzir os efeitos do espalhamento da atmosfera terrestre sobre os valores de radiância registrados pelo sensor para uma determinada cena e a correção geométrica tem a função

de reorganizar os pixels da imagem em relação a um determinado sistema de projeção cartográfica.

As técnicas de realce têm como objetivo melhorar a visualização da cena, aumentando a distinção visual entre feições para assim ter-se o aumento de informações que podem ser interpretadas. As técnicas de realce, de acordo com Lillesand & Kiefer (1994), são geralmente divididas em três categorias:

- (1) filtragem digital: promove transformações pixel a pixel, considerando os valores digitais da vizinhança de cada pixel, sendo, portanto, uma transformação local e espacial (Vettorazzi, 1992).
- (2) manipulação de contraste: pressupõe transformações na imagem pixel a pixel, promovendo alterações nos valores de nível de cinza que possibilitem a melhor visualização da imagem (Novo, 1992). Para Crósta (1993), o contraste é uma medida do espalhamento dos níveis de intensidade que ocorrem na imagem.
- (3) realce espectral: está relacionado a imagens multiespectrais de uma mesma cena. Como exemplos podem ser citadas as composições coloridas, as razões entre bandas e a análise de componentes principais (Quintanilha, 1996).

No que se refere à classificação digital de imagens, Venturieri & Santos (1998) colocam que, consiste no estabelecimento de um processo de decisão no qual um grupo de pixels é definido como pertencente a uma determinada classe. Crósta (1993) complementa, citando que o produto final de uma classificação digital é uma imagem classificada, representada por um mapa temático.

De acordo com Novo (1992), a classificação digital procura eliminar a subjetividade do processo de mapeamento e aumentar seu potencial de repetição em situações subseqüentes. A autora ressalta ainda o fato de ter-se um produto diretamente na forma digital (mapa temático digital), o que é altamente interessante quando este se destina à “alimentação” de um sistema de informações geográficas (SIG). O mapa temático, fazendo parte de um SIG, permitirá sua utilização como fonte de informação

para as mais diferentes áreas de interesse, entre as quais encontra-se a ecologia da paisagem.

Os métodos de classificação digital podem ser agrupados em função da presença ou não de uma fase de treinamento. O método é dito não-supervisionado quando o classificador não utiliza “*a priori*” nenhum conhecimento sobre as classes existentes na imagem e define, sem a interferência do analista, a estratificação da cena, atribuindo a cada pixel uma determinada classe. O algoritmo define estas classes com base em regras estatísticas pré-selecionadas (Richard, 1993).

O método de classificação é dito supervisionado quando existe um conhecimento prévio da área de trabalho, o que permite a seleção de amostras de treinamento confiáveis, sendo que o algoritmo opera com base na distribuição de probabilidade de cada classe previamente selecionada (Adeniyi, 1985).

De acordo com Lillesand & Kiefer (1994), o método de classificação supervisionada envolve basicamente três etapas: (1) seleção das amostras de treinamento; (2) classificação propriamente dita; e (3) produção de mapas temáticos e/ou tabelas resumizando os resultados da classificação. Campbell (1987) acrescenta a estas etapas o processo de refinamento das amostras de treinamento e avaliação da exatidão da classificação.

As amostras de treinamento, para Venturieri & Santos (1998), constituem a etapa da classificação supervisionada onde o sistema computacional é treinado para reconhecer os padrões nos dados, por meio de critérios estatísticos. Os autores citam que a definição desses critérios é realizada exatamente no momento da tomada das amostras de treinamento, com a digitalização na imagem, sobre as feições que representam as classes de interesse.

O número de amostras de treinamento está relacionado à diversidade da área (Lillesand e Kiefer, 1994) e ao número de categorias a serem mapeadas (Campbell, 1987). Quanto ao tamanho da amostra, Richards (1993) coloca que, o total amostrado deve equivaler, no mínimo, a 1% do número total de pixels da imagem.

Novo (1992) comenta que, uma vez que as amostras de treinamento representam o comportamento médio das classes a serem classificadas automaticamente,

é necessário que sejam bastante homogêneas e representativas das classes de interesse. A autora afirma ainda que, uma forma de avaliar a homogeneidade das amostras de treinamento é examinar seu histograma. Uma amostra homogênea terá um histograma unimodal.

Na etapa de classificação propriamente dita é importante a definição do algoritmo que será utilizado para atribuição dos pixels de identidades desconhecidas às classes previamente determinadas.

Conforme Lillesand & Kiefer (1994), dentre os algoritmos de classificação, os mais comuns são o do paralelepípedo e o da máxima verossimilhança. Quattrochi & Pelletier (1990) e Crósta (1993), citam que o algoritmo das mínimas distâncias às médias também tem sido comumente empregado.

Os métodos de classificação por paralelepípedo e mínimas distâncias às médias apresentam algoritmos com base estatística mais simples, contudo de maior rapidez computacional (Venturieri & Santos, 1998). De acordo com Vilela (1998), esses algoritmos são menos eficientes para a geração de mapas de uso e ocupação do solo em paisagens heterogêneas, quando comparados ao algoritmo de máxima verossimilhança.

A respeito do algoritmo de máxima verossimilhança, Campbell (1987) relata que sua ampla utilização deve-se aos resultados satisfatórios que apresenta. Isto porque diferencia-se dos outros métodos de classificação, que não consideram a variação que pode estar presente dentro de categorias espectrais e, portanto, não solucionam problemas causados pela sobreposição dos valores espectrais da distribuição de frequência.

Vilela (1998) complementa citando que esse algoritmo avalia quantitativamente a variância e a covariância dos padrões de resposta da categoria espectral, quando classifica um pixel desconhecido, assumindo para tal uma distribuição normal dos dados de treinamento para cada categoria.

De acordo com Lillesand & Kiefer (1994), funções de densidade e probabilidade são usadas para classificar um pixel desconhecido, computando a probabilidade deste pertencer a determinada classe. O pixel é então atribuído à classe cuja probabilidade apresenta-se maior ou é classificado como desconhecido, caso os

valores de probabilidade estejam abaixo de um determinado limite estabelecido pelo analista. Os mesmos autores relatam ainda que o algoritmo de máxima verossimilhança delinea contornos de equiprobabilidade elipsoidais no espaço de atributos.

Novo (1992) comenta que o mapa temático, produto da classificação digital, deve ter sua exatidão avaliada. Na avaliação da exatidão da classificação, torna-se necessário comparar o mapa temático obtido por meio da classificação digital dos dados do sensor com os de referência ou verdade de campo (Jensen, 1996). A relação entre estes dois conjuntos informacionais geralmente é resumida em uma matriz de erros (Jensen, 1996), também denominada matriz de confusão ou tabela de contingência (Lillesand & Kiefer, 1994).

Para Griffith et al. (2000), conhecer a exatidão do mapa temático que será empregado na obtenção dos índices de ecologia da paisagem, é essencial para o conhecimento da representatividade do processo avaliado na paisagem.

Young et al. (1993) colocam que o mais apropriado é que esse mapa temático esteja integrado a um sistema de informações geográficas (SIG). Para Quattrochi & Pelletier (1990), o sensoriamento remoto, quando associado à tecnologia dos sistemas de informações geográficas (SIG) torna-se importante para a análise e manipulação dos dados em estudos da paisagem e quantificações ecológicas, porque o SIG tem a capacidade de combinar, integrar, analisar e produzir diferentes tipos de informação com estrutura espacial.

Para Turner (1990), outras vantagens da integração dos produtos de sensoriamento remoto a um SIG, são a facilidade de modelagem dos dados gerados e a análise dos padrões da paisagem, obtidas por meio dos índices de ecologia da paisagem.

2.2.2 Sistemas de informações geográficas

Os sistemas de informações geográficas – SIG's- podem ser definidos como sistemas destinados ao tratamento automatizado de dados referenciados espacialmente. Esses sistemas permitem a manipulação dos dados de diversas fontes como mapas,

imagens e cadastros, permitindo recuperar e combinar informações para efetuar os mais diversos tipos de análises sobre os dados (Alves, 1990).

Os componentes de um sistema de informações geográficas são o software, o hardware, os procedimentos de entrada, o georreferenciamento, a manipulação, a análise e a saída de dados, além das normas de codificação (Rodrigues, 1990).

Os dados utilizados em SIG's são classificados por Burrough (1988) como espaciais e não-espaciais. O autor considera como fonte de dados espaciais: mapas, produtos de sensores remotos, relatórios de dados georreferenciados, relatórios de censos e outros levantamentos onde a natureza dos dados é mais implícita do que explícita. Os dados não-espaciais referem-se a atributos concretos de natureza espacial, como identificadores que possam estar associados a eles.

A informação espacial representada pela localização no espaço geográfico de atributos pode ser facilmente manipulada e processada, isto em função da combinação da estatística espacial, dos procedimentos matemáticos e dos programas de computadores (Quattrochi & Pelletier, 1990). A combinação desses três componentes é o fundamento do sistema de informações geográficas (Burrough, 1988), no qual a cartografia computadorizada, o sensoriamento remoto, o banco de dados e o projeto auxiliado por computador (CAD) são, portanto, os componentes estruturais (Maguire et al., 1991).

Para a ecologia da paisagem, os SIG's são uma ferramenta fundamental, especialmente quando permitem a manipulação de modelos e dados reais e a transferência de informações implícitas para análises explícitas (Farina, 1998), como é o caso da caracterização quantitativa da estrutura de uma paisagem a partir de seu mapa de uso e cobertura do solo.

Para a caracterização quantitativa da estrutura de uma paisagem, diversos programas computacionais de estatística espacial vêm sendo desenvolvidos, sendo que muitos executam suas análises no ambiente do próprio SIG. Esses programas caracterizam a fragmentação de uma paisagem, fornecendo valores quantitativos de extensão de área e de distribuição espacial dos diferentes tipos de fragmentos que compõem uma paisagem (Hessbrung et al., 2000). Para isso, necessitam do mapa digital

de uso e cobertura do solo ou do mapa com uma de suas classes, isto dependendo do processo que está sendo avaliado e de uma série de argumentos fornecidos pelo usuário (McGarical & Marks, 1995).

Hessbrugg & Smith (1997) citam que o FRAGSTATS está entre os programas de ecologia da paisagem mais utilizados. Esse programa foi desenvolvido por Kevin McGarical e Barbara J. Marks, na Universidade do Estado de Oregon, conta com mais de 50 índices e, na atualidade, é de domínio público (McGarical & Marks, 1995).

Para o melhor entendimento da composição e configuração de uma paisagem é necessário, contudo, em muitos casos, a caracterização e interação de seus atributos físicos (relevo, solos, geologia etc), o que é facilitado quando se dispõe de um SIG (Farina 1998).

Nesse contexto, Farina (1998) menciona que os SIG's são indispensáveis para a maioria das investigações da paisagem, como:

- (1) as mudanças de uso do solo;
- (2) padronagem da vegetação;
- (3) distribuição de animais na paisagem;
- (4) relacionamento entre a topografia e o sensoriamento remoto; e
- (5) modelagem de processos ao longo da paisagem.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

A Bacia do Rio Corumbataí (Figura 2), localizada na porção centro-oeste do Estado de São Paulo, entre os paralelos 22° 04'46''S e 22° 41'28''S e os meridianos 47° 26'23''W e 47° 56'15''W, tem aproximadamente 170.000 ha, sendo que a maior parte de suas terras encontra-se na Depressão Periférica Paulista. O perímetro dessa bacia é de aproximadamente 301,52 km, tendo 63,72 km de extensão no direção norte-sul e 26,80 km de extensão (maior largura) na direção leste-oeste. É uma sub-bacia do Rio Piracicaba, estando situada à sua margem direita.

Os municípios que a compõem são: Corumbataí; Ipeúna; Rio Claro; e Santa Gertrudes; e parte dos municípios de Analândia; Charqueada; Itirapina; e Piracicaba.

O Rio Corumbataí nasce no município de Analândia a aproximadamente 1058 m de altitude e, após percorrer aproximadamente 110 km, desemboca no Rio Piracicaba, no município de Piracicaba, a 470 m de altitude. Seus principais afluentes são os rios Passa-Cinco, Cabeça e Ribeirão Claro, drenando o setor do território paulista situado entre as “cuestas” arenito-basálticas do planalto ocidental paulista, na seção centro-ocidental.

Tradicionalmente a Bacia do Rio Corumbataí é dividida nas seguintes sub-bacias: Alto Corumbataí (31801,68 ha); Passa-Cinco (52757,60 ha); Médio Corumbataí (29316,60 ha); Ribeirão Claro (28174,90 ha) e Baixo Corumbataí (28724,84 ha), conforme observado na Figura 3.

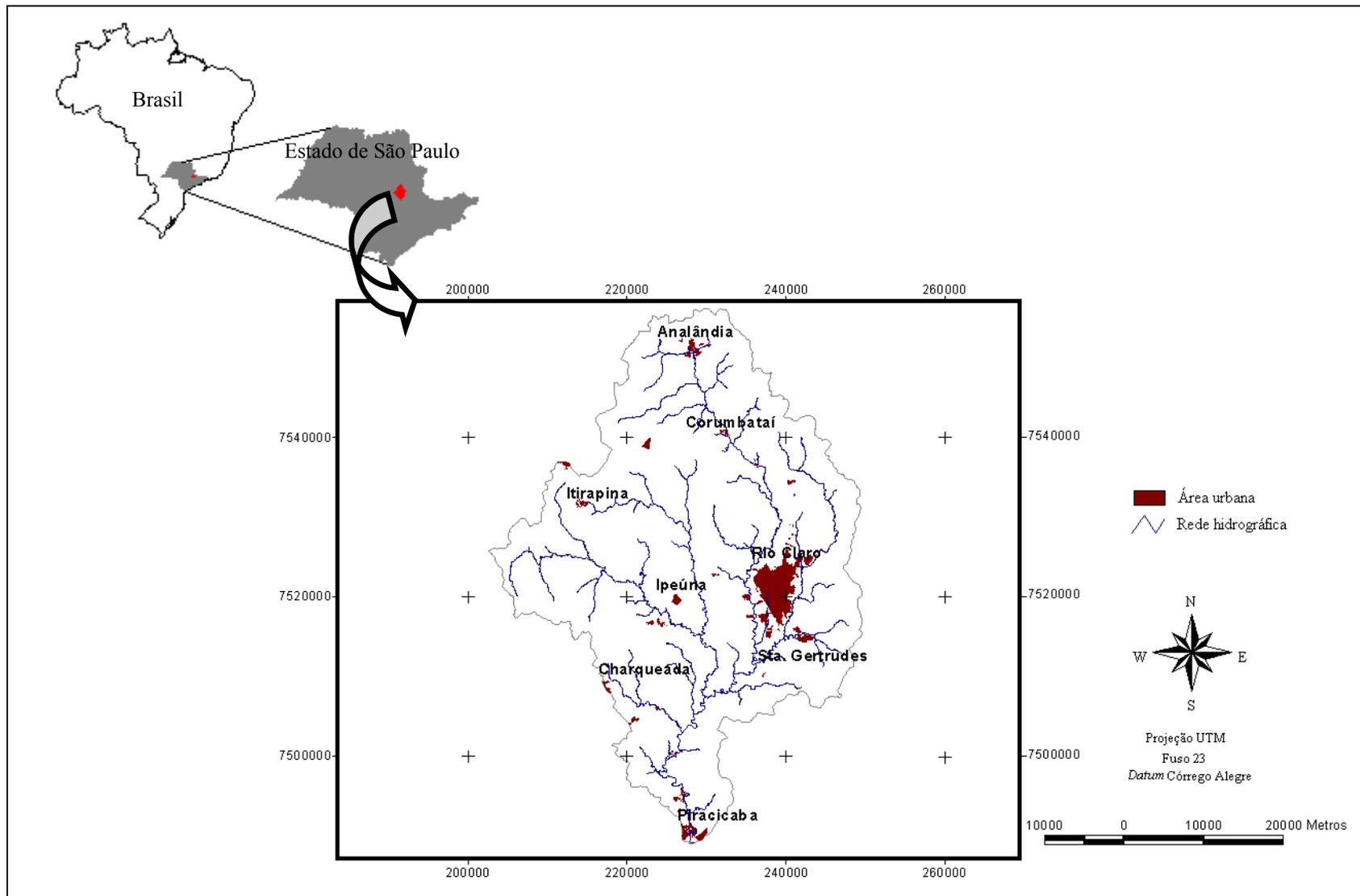


Figura 2 – Localização da Bacia do Rio Corumbataí

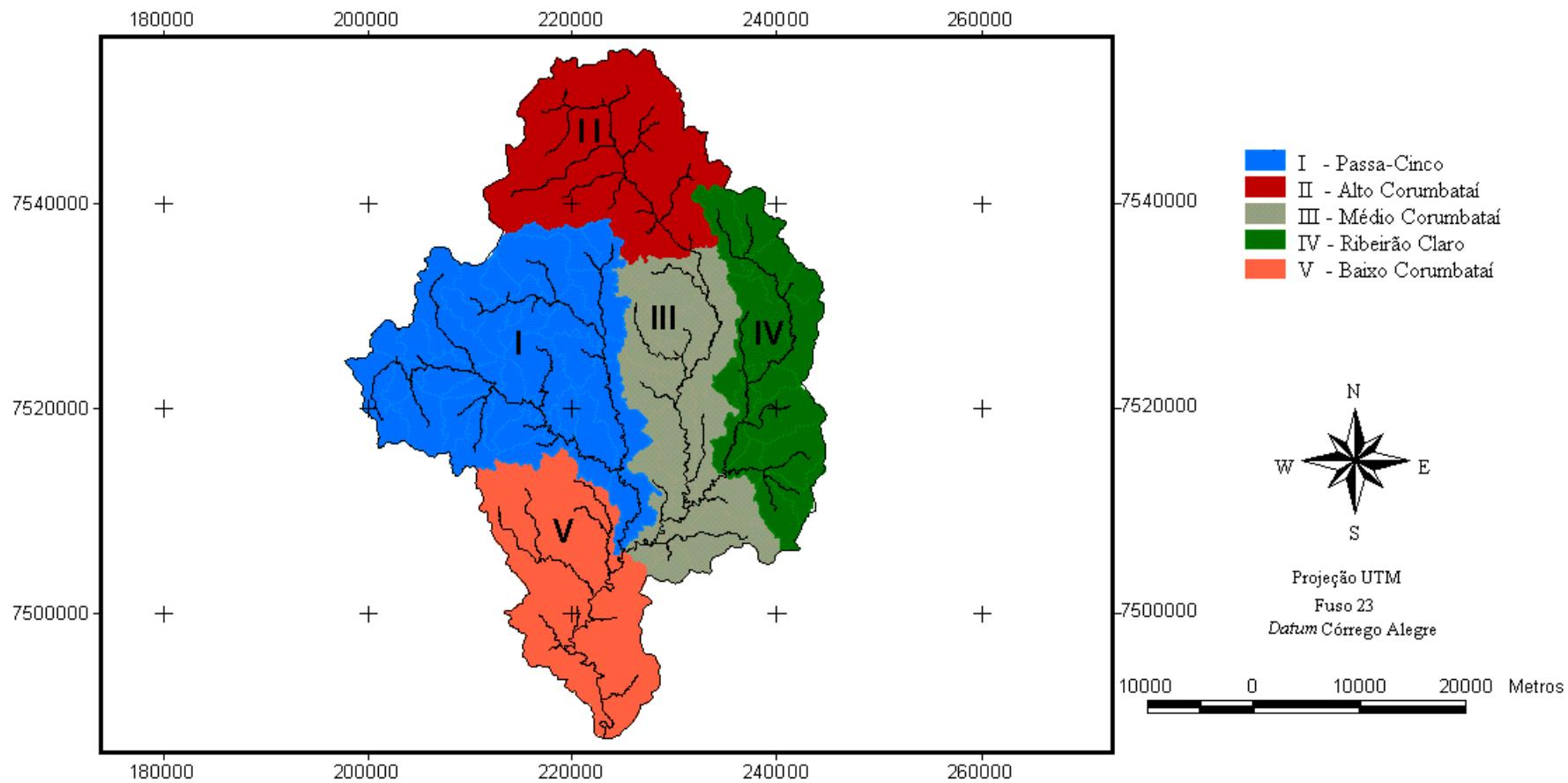


Figura 3 – Bacia do Rio Corumbataí: divisão em sub-bacias.

3.1.1 Relevo

De acordo com o mapa geomorfológico do IPT (1981), citado por Koffler (1993), o relevo da Bacia é representado principalmente por dois tipos de modalidade:

- (1) Morrotes alongados e espigões: predominam interflúvios sem orientação preferencial, topos angulosos e achatados e vertentes ravinadas com perfis retilíneos, possuindo a drenagem de média a alta densidade, padrão dendrítico, vales fechados; e
- (2) Colinas médias e amplas: predominando interflúvios com áreas de 1 km² a mais de 4 km², topos aplainados, vertentes com perfis convexos a retilíneos que se conectam à drenagem de média a baixa densidade e apresentam padrão sub-angular, vales abertos e fechados, planícies interiores restritas a presença de lagoas perenes ou intermitentes.

As declividades na Bacia variam de planas à muito íngremes (Tabela 1). Nas sub-bacias do rio Passa-Cinco e Alto Corumbataí, é que se encontra a maior porcentagem de áreas fortemente inclinadas e muito íngremes (Figura 4) (Projeto Corumbataí, 2001).

Tabela 1. Classes de declividade da Bacia do Rio Corumbataí.

Classe de declividade	Área	
	ha	%
< 2	68438,80	40,08
2 – 5	14649,08	8,58
5 – 10	30521,40	17,87
10 – 15	25409,24	14,88
15 – 45	29474,44	17,26
45 – 70	1657,64	0,97
> 70	625,00	0,37
Total	170775,60	100,00

Fonte: Projeto Corumbataí (2001).

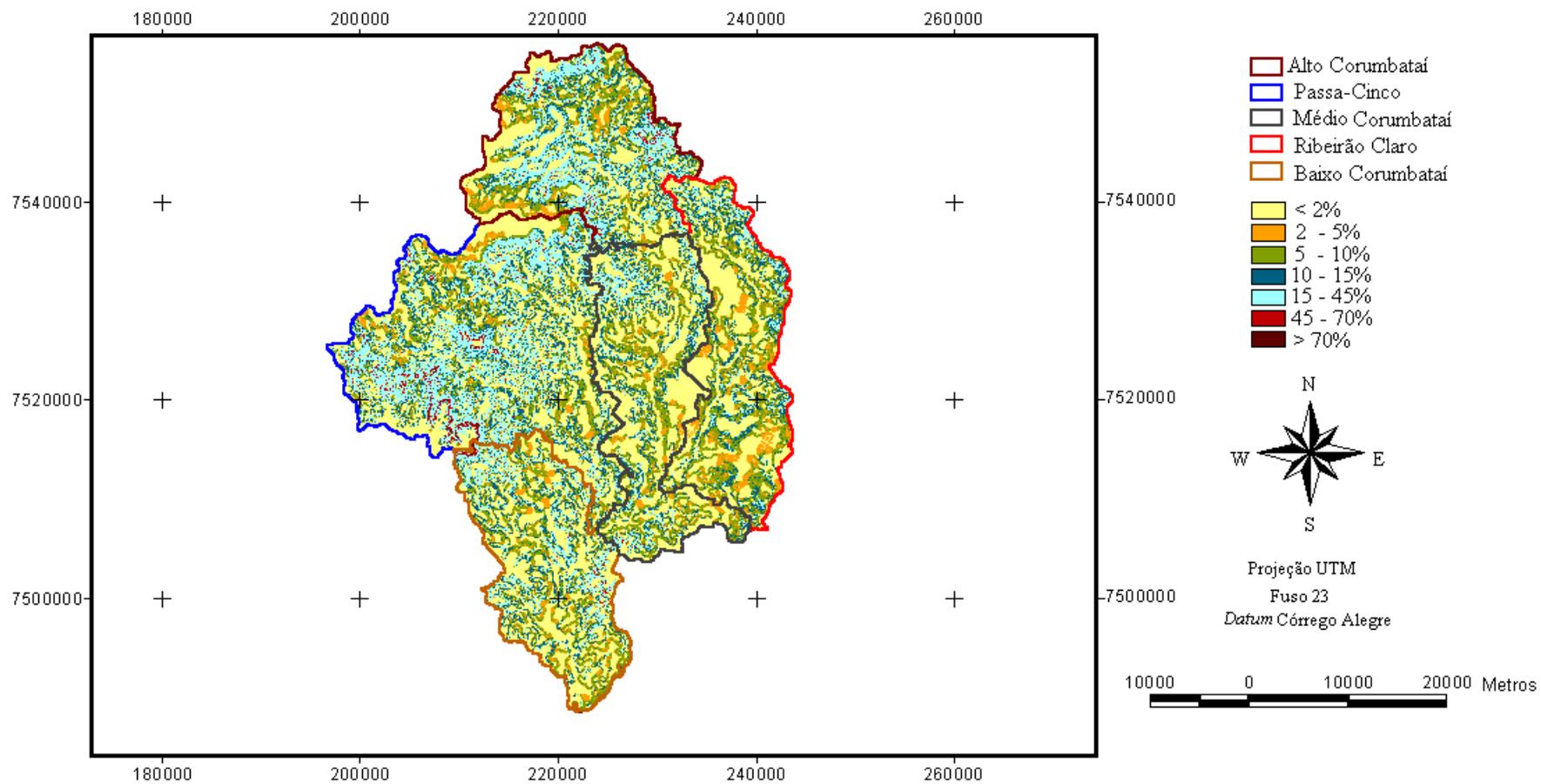


Figura 4 – Classes de declividade (%) das sub-bacias da Bacia do Rio Corumbataí.

Viadanna (1985) classificou como monótona a paisagem da bacia, havendo a predominância de extensas áreas suavemente onduladas, interrompidas por escarpas arenítico-basálticas e cortadas pela rede hidrográfica com padronagem dendrítica.

3.1.2 Geologia

A Bacia do Rio Corumbataí é composta pelas formações Rio Claro, Pirambóia, Corumbataí e Irati (Koffler, 1994). As características e o potencial mineral de cada formação podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2. Constituição geológica, características e potencial mineral das formações da Bacia do Rio Corumbataí.

Formação	Características	Potencial Mineral
Rio Claro	arenitos, arenitos conglomeráticos e arenitos argilosos, restrito à região de Ipeúna	areia (principal); argila
Pirambóia	arenitos finos a médios sílticos argilosos de cor avermelhada, intercalados por níveis de argilito, folhelhos e arenitos argilosos de cores variadas, típicos de ambiente fluvial e de planície de inundação	argila
Corumbataí	argilitos, folhelhos sílticos cinza, arroxeados ou avermelhados associados a depósitos de planície de maré	argila
Irati	siltitos, argilitos, folhelhos sílticos cinza, folhelhos pirobetuminosos intercalados com calcários creme, de ambiente marinho raso	calcário e dolomito

Fonte: Koffler (1994).

Koffler (1993) cita que, sob o ponto de vista geológico, essa bacia localiza-se na Bacia Sedimentar do Paraná, sendo ali encontradas litologias relativas ao Cenozóico, ao Mesozóico e ao Paleozóico.

Como litologias representativas do Cenozóico tem-se os arenitos conglomeráticos identificados como Coberturas da Serra de Santana e Similares, os arenitos finos e médios, argilosos com níveis subordinados de argilitos e arenitos conglomeráticos relativos às Coberturas Cenozóicas Indiferenciadas Correlatas à Formação Rio Claro, além da própria Formação Rio Claro.

As litologias que datam do Mesozóico são: intrusivas básicas tabulares, englobando soleiras diabásicas, diques básicos, em geral incluindo diabásios, dioritos pórfiros, microdioritos pórfiros, lamprófiros, andesitos, manzonitos pórfiros e traquiandesitos, além das Formações Serra Geral e Pirambóia pertencentes ao Grupo São Bento.

Do Paleozóico tem-se as Formações Corumbataí e Iratí do Grupo Passa Dois e as Formações Tatuí e Itararé do Grupo Tubarão.

3.1.3 Clima

O clima da região, na classificação de Köppen, é do tipo Cwa, ou seja subtropical, seco no inverno e chuvoso no verão, com temperatura média do mês mais quente superior a 22°C. As temperaturas mais altas ocorrem no período de dezembro a março e as mais baixas no bimestre junho e julho, com 17°C de temperatura (Salati, 1996).

O regime de chuvas é tropical, com duas estações definidas: um período seco de março a setembro, com menos de 20% da precipitação anual, e um período chuvoso de outubro a fevereiro, com mais de 80% da precipitação anual, sendo o total precipitado no ano em torno de 1390mm (Troppmair & Machado, 1974).

Koffler (1993) constatou que a precipitação pluviométrica, no período de 1962 a 1991, variou de 1393 mm anuais, em Rio Claro, a 1531 mm em Ipeúna, com período

chuvoso de outubro a março e período seco entre abril e setembro, quando a precipitação média mensal não atingiu os 100mm (exceto para Ipeúna).

A insolação é de 2420 horas anuais, o que significa que 56% do período de claridade apresenta-se ensolarado. Os ventos são moderados, apresentando uma velocidade média de 190 km/dia, predominando a direção E-SE (Koffler, 1993).

3.1.4 Solos

Na Bacia do Rio Corumbataí foram identificados por Oliveira & Prado (1984), 54 unidades de solo pertencentes aos grandes grupos: Latossolos (LR, LE e LV); Podzólicos (PV e PE); Terra Roxa Estruturada (TE); Areias Quartzosas (AQ); Brunizem Avermelhado (BV); Solos Litólicos (Li); e Solos Hidromórficos (Hi).

A Bacia tem 43,46% de sua área ocupada com Podzólico Vermelho-Amarelo e 21,58% com Latossolo Vermelho-Amarelo, que constituem os grupos de solos predominantes, conforme pode ser observado na Tabela 3 e na Figura 5.

Tabela 3. Grandes grupos de solos da Bacia do Rio Corumbataí.

Tipo de solo	Área	
	(ha)	(%)
LR	11476,52	6,72
LE	3016,56	1,77
LV	36838,04	21,58
PV	74198,24	43,46
PE	4769,60	2,79
TE	691,80	0,41
AQ	15067,24	8,83
Li	23224,28	13,60
Hi	689,36	0,40
BV	312,12	0,18

Fonte: Projeto Corumbataí (2001).

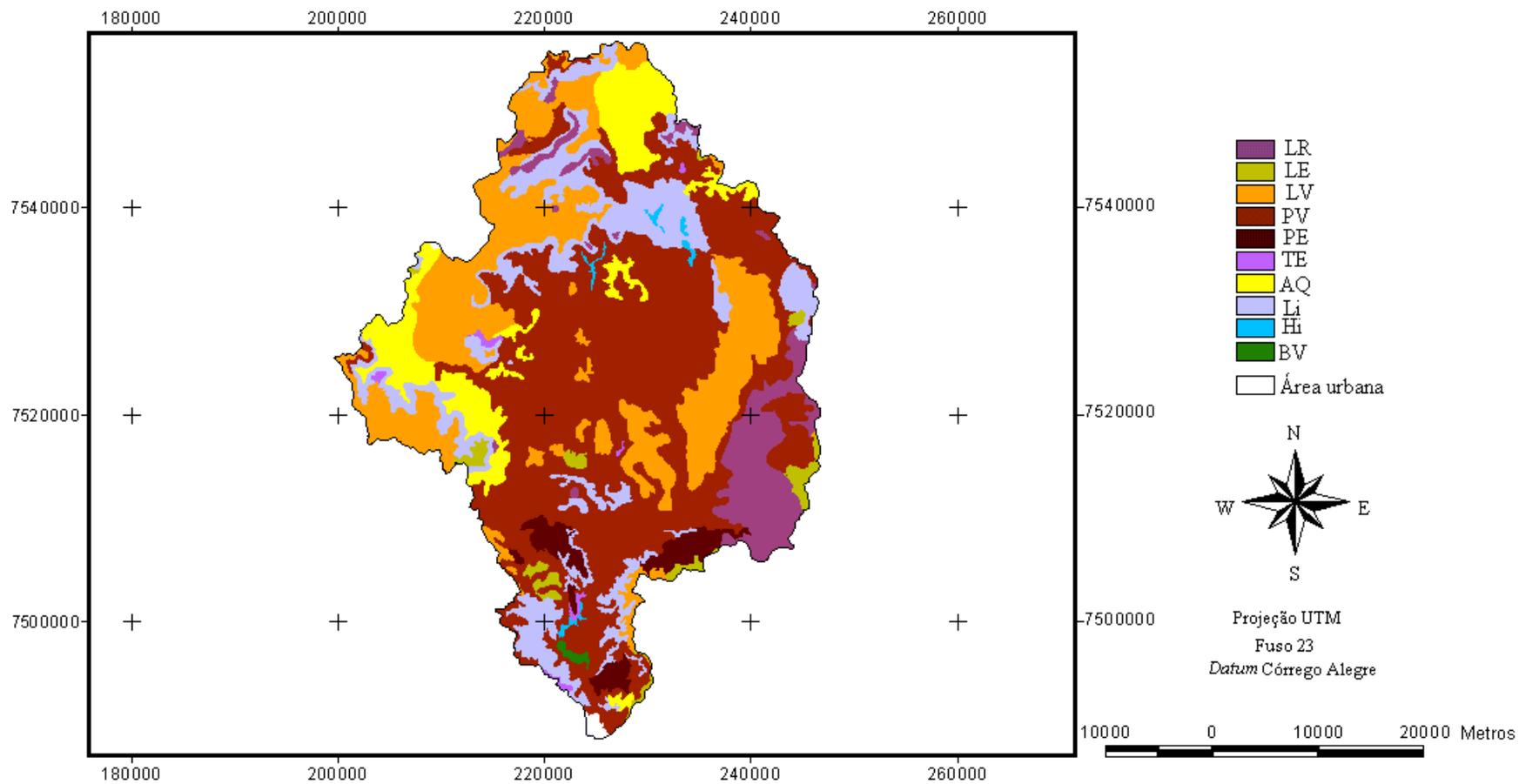


Figura 5 – Grandes grupos de solos da Bacia do Rio Corumbataí.

3.1.5 Uso e cobertura do solo

As características dos solos e do clima condicionaram, no passado, a vegetação natural que originalmente recobria toda a área da bacia, constituída por florestas, cerrados e campos cerrados (Koffler, 1993).

Oliveira & Prado (1984) comentam a relação entre a vegetação original e os solos da região, associando os campos cerrados, cerrados e cerradões aos solos muito profundos, muito permeáveis e de baixo potencial nutricional (Areias Quartzosas e Latossolos de textura média). Os cerradões estariam associados a solos com maior teor de argila. A floresta tropical subcaducifólia predominava nos solos profundos de textura argilosa, menos pobres em nutrientes, como os Latossolos, todos os Podzólicos e as Terras Roxas.

A cafeicultura, as ferrovias com máquina a vapor e as numerosas olarias e serrarias do século XIX teriam sido responsáveis pelo desaparecimento da mata, da qual existem hoje apenas vestígios (Garcia, 2000).

De acordo com Koffler (1993), da vegetação original restavam, em 1991, apenas 8360 ha de floresta nativa e 2090 ha de cerrado, correspondendo respectivamente a 4,9% e 1,2% da área da bacia. As pastagens predominavam, ocupando cerca de 47% da área da bacia, seguidas pela cana-de-açúcar com 31,8% e silvicultura com 6,9%. A fruticultura, composta predominantemente por citrus, apresentava-se em 2,1% da área e as culturas anuais em apenas 0,4%.

Vettorazzi et al. (2000) constataram a predominância, em 1998, de pastagens na bacia, sendo responsáveis pela ocupação de 40,75% de sua área, seguidas pela cana-de-açúcar com 26,74% de sua área. Os autores relatam ainda que, a floresta nativa ocupava 9,57% da área da bacia e que a floresta plantada ocupava 16,50%, enquanto a fruticultura, a cultura anual e a mineração ocupavam respectivamente 0,82%; 2,34%; e 0,13%.

Os remanescentes florestais da bacia pertencem às seguintes formações, descritas por Rodrigues (1999):

- (1) floresta estacional semidecidual: o conceito ecológico desta formação florestal relaciona-se com as condições climáticas da região onde ocorre, caracterizada por apresentar duas estações distintas, uma chuvosa e outra seca, ou com acentuada variação térmica (Radambrasil, 1982). O termo semidecidual refere-se à deciduidade, capacidade de perda foliar parcial na estação seca, observada em algumas espécies típicas dessa formação. Essa formação ocupa as mais variadas condições edáficas, ocorrendo tanto em solos argilosos quanto em solos mais arenosos. Teve sua distribuição concentrada principalmente nos domínios da Depressão Periférica Paulista, dando lugar em algumas partes mais elevadas da depressão, com características próprias, a pequenas manchas de cerrado. Foi nessa condição que essa formação sofreu intervenções antrópicas, estando hoje restrita a pequenos remanescentes encravados em área de difícil acesso, consideradas inaptas à agricultura ou protegidas legalmente;
- (2) Florestas ripárias: compreendem um mosaico complexo de formações florestais que ocupam as áreas ao longo dos cursos d'água, abrangendo florestas estacionais semidecíduais, matas de brejo, matas de transição, entre outras;
- (3) Florestas paludosas: apresentam distribuição naturalmente fragmentada, pois ocorrem apenas sobre solos com forte influência hídrica, como os solos orgânicos, os gleissolos, as areias quartzosas hidromórficas, os plintossolos e, mais raramente, os solos aluviais e os cambissolos, em condições de solos pouco drenados;
- (4) floresta estacional decidual: é uma denominação usada apenas para unidades fitogeográficas do nordeste e sudoeste brasileiro para designar alguns remanescentes florestais, sempre sobre solos litólicos. A ocorrência dessa formação sobre esse tipo de solo parece estar condicionada pela condição de solo raso, com elevada acidez, baixa capacidade de retenção hídrica na estação seca, que atuam como fatores edáficos seletivos para a ocorrência de espécies; e
- (5) cerrado: essas formações designadas como províncias oreádicas por Martius (1906), ocupavam originalmente área fora da influência dos cursos d'água, localizadas especialmente nas partes elevadas das colinas da depressão periférica e em maior expressão nas regiões englobadas pelo planalto ocidental. Para Coutinho (1976), o

cerrado “*latus sensu*” inclui os campos limpos, os campos sujos, os campos cerrados, os cerrados “*stricto sensu*” e também os cerradões. Coutinho (1978) define cerrado “*latus sensu*” como “complexo de formações oreádicas, que vão desde o campo limpo até o cerradão, representando suas formas savânicas (campo sujo, campo cerrado e cerrado “*stricto sensu*”) verdadeiros ecótonos de vegetação, entre aquelas duas formas extremas (campo limpo e cerradão)”. Considerando-se ecótono como zonas de transição entre comunidades ecológicas ou biomas adjacentes (ACIESP,1997).

3.2 Material

3.2.1 Imagens orbitais

Na geração dos planos de informação uso e cobertura do solo e malha viária da bacia, bem como para o detalhamento de sua rede hidrográfica, foram empregadas imagens orbitais digitais obtidas pelo sensor HRVIR a bordo do satélite SPOT-4 e pelo sensor TM a bordo do satélite LANDSAT-5.

3.2.1.1 Imagens SPOT-4

A imagem do satélite SPOT-4, referente à passagem do dia 22 de setembro de 1999, recobriu 97,53% da área total da bacia, não contemplando as regiões próximas a sua nascente e a sua foz. As bandas espectrais utilizadas foram: XS1, XS2, e XS3, referentes às faixas do verde, vermelho e infra-vermelho próximo do espectro, respectivamente, e uma composição colorida (3R/1G/2B). Essa imagem é parte do banco de dados cartográficos do Projeto Corumbataí (SEMAE/IPEF).

Para o recobrimento da região próxima à foz da bacia foi empregada a imagem do satélite SPOT-4, da passagem do dia 18 de julho de 1998. A imagem foi disponibilizada pelo Departamento de Engenharia Rural da ESALQ/USP e recobria

0,70% da área total da bacia. As bandas espectrais empregadas foram: XS1, XS2, e XS3 e uma composição colorida (3R/1G/2B).

Na Tabela 4 podem ser observadas as características do modo de operação XS do sensor HRVIR a bordo do satélite SPOT-4.

Tabela 4. Características do modo de operação XS do sensor HRVIR.

Características	XS
Resolução espectral (μm)	Banda 1: 0,50 – 0,59
	Banda 2: 0,61 – 0,68
	Banda 3: 0,79 – 0,89
	Banda 4: 1,58 – 1,75
Resolução espacial	20 m
Resolução radiométrica	256 níveis de cinza
Largura da faixa	60 km
Resolução temporal	26 dias

Fonte: INPE (2000).

3.2.1.2 Imagem LANDSAT-5

Para o recobrimento da região próxima às cabeceiras da bacia foi empregada a imagem do satélite LANDSAT-5, passagem de 02 de setembro de 1999. A imagem foi disponibilizada pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e recobriu 1,77% da área total da bacia. As bandas espectrais empregadas foram: TM3, TM4 e TM5, referentes às faixa do vermelho, do infra-vermelho próximo e infra-vermelho médio do espectro, respectivamente, e uma composição colorida (5R/ 4G/ 3B).

Na Tabela 5 podem ser observadas as características do modo de operação do sensor TM a bordo do satélite LANDSAT-5

Tabela 5. Características do modo de operação do sensor TM.

Características	TM
Resolução espectral (μm)	Banda 1: 0,45 – 0,52
	Banda 2: 0,52 – 0,60
	Banda 3: 0,63 – 0,69
	Banda 4: 0,76 – 0,90
	Banda 5: 1,55 – 1,75
	Banda 6: 10,40 – 12,75
	Banda 7: 2,08 – 2,35
Resolução espacial	30 m (bandas 1 a 5 e 7)
	120 m (banda 6)
Resolução radiométrica	256 níveis de cinza
Dimensões de cada imagem	185 km x 185 km
Resolução temporal	16 dias

Fonte: Vettorazzi (1992).

3.2.2 Cartas planialtimétricas

As cartas planialtimétricas de Corumbataí, Itirapina, São Carlos, Leme, Araras, Limeira, Rio Claro, São Pedro e Piracicaba cobrem a área total da bacia e foram empregadas na correção geométrica das imagens orbitais e na determinação dos limites da bacia. Essas cartas foram produzidas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), na escala 1:50.000, no ano de 1969.

3.2.3 Mapas digitais

Foram utilizados os mapas digitais da rede hidrográfica e o modelo digital do terreno (MDT), do banco de dados cartográfico do Projeto PiraCena, gerados a partir das cartas 1:50.000 do IBGE.

3.2.4 Mesa digitalizadora

No processo de correção geométrica das imagens orbitais digitais e na digitalização dos limites da bacia, foi empregada a mesa digitalizadora Summagraphics Microgrid III, do Departamento de Engenharia Rural da ESALQ/USP.

3.2.5 Receptor GPS

Para as verificações de campo referentes ao processamento digital das imagens de satélite, foi empregado um receptor GPS (Global Positioning System) de navegação Garmin eTrex, de 12 canais e com antena interna, com exatidão média aproximada de 10 m.

3.2.6 Software

Os softwares empregados nas atividades relacionadas a geoprocessamento foram:

- a) ENVI 3.4: processamento digital das imagens;
- b) IDRISI 2.0: operações de análise espacial;
- c) ARC/VIEW 3.1 – modelo SWAT: delimitação das sub-bacias; e
- d) TOSCA 2.12: digitalização das cartas e edição vetorial.

Para analisar a estrutura da bacia, dando ênfase a sua cobertura florestal, foi utilizado o software FRAGSTATS 2.0 para DOS.

3.3 Métodos

3.3.1 Mapeamento do uso e cobertura do solo da Bacia do Rio Corumbataí

A elaboração do mapa de uso e cobertura do solo da bacia foi feita por meio do processamento digital das imagens orbitais. As imagens foram processadas

separadamente, sendo elaborado um mosaico com o produto do processamento (mapa temático de uso e cobertura do solo) dessas imagens. As etapas necessárias a este processo são descritas à seguir:

3.3.1.1 Pré-processamento das imagens

A correção atmosférica das imagens teve por base o *Princípio da Reflectância Zero*, o qual pressupõe que os valores de nível de cinza mais baixos de uma cena estão associados às regiões com sombras de relevo ou de nuvens, ou ainda corpos d'água limpa, e que esses valores de nível de cinza são não-nulos quando deveriam sê-los (Vettorazzi, 1992). Dessa maneira, foram avaliados os histogramas das imagens; identificados os pixels que deveriam apresentar valores de reflectância nula; e esses pixels reclassificados para apresentarem valores digitais iguais a zero.

Na correção geométrica foi utilizado o modelo de transformação polinomial de primeiro grau e o método de interpolação do vizinho mais próximo. Este procedimento é eficiente computacionalmente, sendo o preferido por pesquisadores da área ambiental, uma vez que não altera o valor de brilho do pixel (Duggins & Robinove, 1990, citados por Jensen, 1996).

A primeira etapa da correção geométrica foi a identificação e registro das coordenadas de pontos, denominados de controle, e que eram comuns entre as imagens digitais e as cartas planialtimétricas que, por sua vez, representavam as coordenadas reais. A posição da maioria desses pontos coincidiu com intersecções da malha viária e confluência de rios, procurando-se distribuir esses pontos de forma homogênea nas cenas.

As coordenadas de imagem foram registradas com a digitalização em tela dos pontos, no software empregado para processamento digital das imagens, e as coordenadas reais com digitalização dos pontos nos mapas via mesa digitalizadora. As coordenadas reais foram padronizadas para o sistema de coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator) e *datum* Córrego Alegre.

Na Tabela 6 podem ser observados o número de pontos de controle empregado e o erro médio quadrático (RMS), utilizados na correção geométrica das imagens.

Tabela 6. Número de pontos de controle e erro médio quadrático (RMS)

Imagem	Pontos selecionados	Pontos eliminados	Total de pontos	RMS
SPOT-4 *	92	13	79	2,41
SPOT-4 **	14	00	14	1,29
LANDSAT-5	09	02	07	1,26

* referente à imagem que recobre 97,53% da área da bacia.

** referente à imagem que recobre 0,70% da área da bacia.

O erro médio quadrático (RMS) é uma forma simples de se ter o controle de qualidade da correção geométrica e, segundo Jones (1993), expressa o grau de variação entre as coordenadas de imagem e as coordenadas reais. O autor complementa que o RMS baseia-se na suposição de que os erros ocorrem ao acaso e, assim, serão normalmente distribuídos ao redor das coordenadas reais.

De acordo Novo (1992), primeiramente os erros devem ser comparados individualmente, sendo eliminados os considerados altos, para em seguida avaliar-se o RMS geral. O desejável, segundo a autora, é que a margem de erro esteja por volta de aproximadamente 1 pixel. Para as imagens SPOT foram considerados como aceitáveis valores inferiores a 20 metros e para a imagem LANDSAT, valores inferiores a 30 metros.

A imagem LANDSAT corrigida teve ainda, sua resolução espacial reamostrada para 20 metros, para facilitar a posterior elaboração do mapa final de uso do solo (compatível com as imagens SPOT).

3.3.1.2 Definição das classes de uso e cobertura do solo

Com as imagens prontas para a classificação digital e auxílio de missões preliminares de campo, foi possível definir as classes do mapa de uso e cobertura do

solo e avaliar a correspondência entre as informações das imagens e do campo. Foram visitados 48 pontos, sendo o local ao redor de cada ponto fotografado e suas coordenadas geográficas registradas com receptor GPS. As classes estabelecidas foram:

- (1) **cana-de-açúcar:** áreas onde o solo estava coberto com a cultura da cana-de-açúcar, ou apresentava indícios de ter sido utilizado por essa cultura (ex: palhada no terreno após corte), no momento da tomada das imagens;
- (2) **pastagem:** áreas utilizadas pela pecuária intensiva e extensiva e também áreas cobertas por gramíneas, contudo sem uso definido, estando sujeitas à regeneração de sua vegetação original ou posterior uso com outro tipo de cultura;
- (3) **floresta plantada:** áreas ocupadas com plantios de *Eucalyptus* ou *Pinus*. Procurou-se considerar somente aqueles plantados para fins industriais;
- (4) **floresta nativa:** abrange as áreas ocupadas pelas diferentes formações florestais nativas existentes na bacia; as áreas onde foram realizados plantios de florestas nativas; e pequenas áreas ocupadas com *Eucalyptus* antigos, sem características próprias de um plantio comercial, sempre associados a vegetação arbórea natural em diferentes estágios de regeneração;
- (5) **cerrado:** áreas cobertas com vegetação de cerrado “*latus sensu*”
- (6) **fruticultura:** áreas ocupadas com plantios comerciais de citros;
- (7) **cultura anual:** áreas ocupadas com culturas de milho, sorgo, mandioca etc;
- (8) **mineração:** áreas exploradas pela mineração de calcário ou argila;
- (9) **área urbana:** áreas ocupadas com as sedes dos municípios da Bacia, os bairros rurais, os condomínios mais afastados dos principais centros urbanos e outros tipos de ocupação do solo onde existe a predominância de construções, com área igual ou maior que a resolução espacial das imagens empregadas;
- (10) **solo exposto:** diz respeito à condição do solo no momento da passagem do satélite. Contudo, para uma melhor caracterização, essa classe foi posteriormente reclassificada de acordo com a cultura correspondente (cana-de-açúcar, pastagem etc).

3.3.1.3 Tomada das amostras de treinamento

As amostras de treinamento foram tomadas com digitalização de polígonos em tela, sobre as áreas que representavam as classes de uso e cobertura previamente determinadas, para assim ter-se suas estatísticas a serem empregadas pelo algoritmo de classificação. Fato a ressaltar é que, a presença na bacia de culturas em diferentes estádios de desenvolvimento, em alguns casos de variedades distintas e variações nos tipos de solo, tiveram como conseqüência variações no comportamento espectral na maioria das classes de uso e cobertura do solo, levando a necessidade de subdividi-las. A Tabela 7 apresenta o número de subclasses por categoria de uso do solo.

Tabela 7. Número de subclasses por categoria de uso e cobertura do solo.

Uso e cobertura do solo	Número de subclasses
Cana-de-açúcar	14
Pastagem	8
Floresta plantada	4
Floresta nativa	7
Fruticultura	2
Cultura anual	3
Mineração	1
Solo exposto	1
Área urbana	0
Total	40

O número de pixels amostrados por subclasse foi determinado pela form. (1):

$$\frac{T_p \times (1,5a3,0\%)}{T_c} \quad (1)$$

onde:

T_p : total de pixels da cena; e

T_c : total de classes de uso e cobertura do solo.

Procurando uma boa representatividade de cada subclasse e visando evitar a superamostragem utilizou-se:

$$\frac{20668 \times 0,015}{40} = 5000 \text{ pixels/subclasse}$$

O número total de pixels da imagem e as amostras de treinamento tiveram por base a imagem SPOT-4 que recobria 97,53% da área de estudo.

Os critérios para incluir as feições nas amostras de treinamento e assim atingir o número de pixels desejado foram: (1) a identificação visual por similaridade de níveis de cinza com a subclasse que se desejava amostrar; e (2) a avaliação do histograma da feição amostrada. O histograma da área de interesse digitalizada era avaliado nas 3 bandas e comparado com o padrão do histograma (intervalo espectral, moda e comportamento unimodal) da subclasse a que a feição parecia pertencer. O produto dessa amostragem foi um conjunto de assinaturas espectrais.

3.3.1.4 Aplicação do algoritmo de classificação supervisionada

Na classificação propriamente dita foi empregado o algoritmo de máxima verossimilhança (MAXVER), cuja conceituação matemática foi estabelecida por Swain & Davis (1978) e Schalkoff (Jensen, 1996), e um limiar de 0,025.

O limiar é um parâmetro cujos valores variam de 0 a 1 e é empregado para o controle do nível de probabilidade no qual cada pixel é considerado, para ser classificado. Desse modo, aqueles pixels com menor probabilidade que o limiar estabelecido, não são classificados.

Para Venturieri & Santos (1998), o limiar é utilizado com o intuito de evitar que pixels com pequena probabilidade de pertencer a determinada classe sejam classificados como pertencentes a ela.

A imagem resultante da classificação supervisionada teve as subclasses agrupadas nas 10 classes de uso e cobertura do solo previamente propostas.

3.3.1.5 Verificação da exatidão da classificação

A verificação da exatidão da classificação supervisionada foi feita por amostragem, tendo como referência as informações de campo e as próprias imagens de satélite. Foi empregada uma amostragem estratificada ao acaso, sendo o número de amostras determinado, de acordo com Eastman (1995) (form. 2 e 3):

$$N = \frac{Z^2 \times p \times q}{e^2}; e \quad (2)$$

$$A = \frac{N}{a} \quad (3)$$

onde:

N = número de amostras;

p = percentual de exatidão esperado;

q = 100 – p;

e = erro permissível;

A = número de amostras para a área de estudo; e

a = área de estudo (proporção).

Foram considerados os valores de 85% para o percentual de exatidão esperado e 5% para o erro admissível (Anderson, 1979), sendo obtidos 446 pontos (N) para a imagem completa e, para a área que compreende os limites da bacia, 140 pontos (A). A distribuição desses pontos foi realizada no próprio sistema de informações geográficas (IDRISI) e pode ser observada na Figura 6.

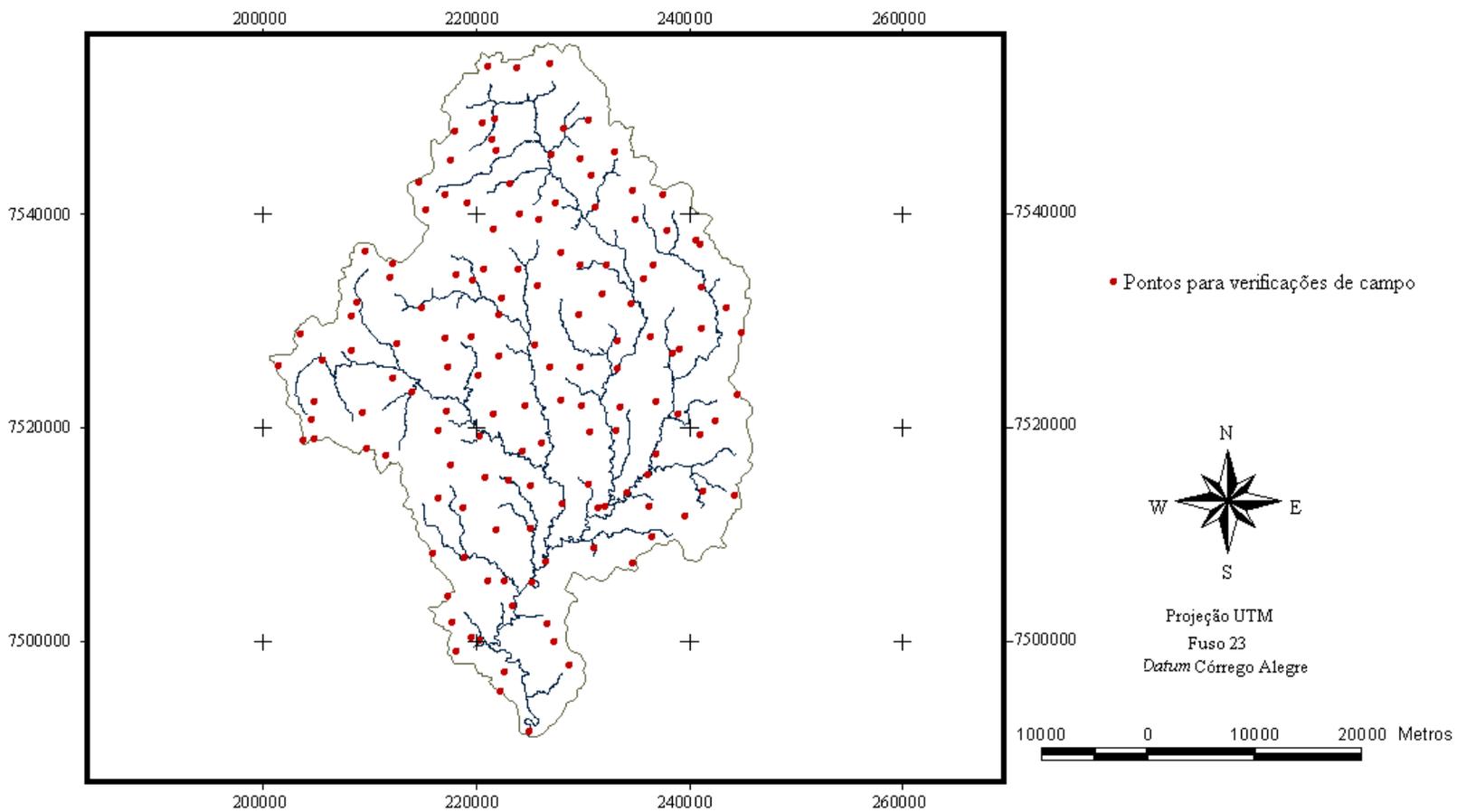


Figura 6 – Distribuição dos pontos para verificar a exatidão da classificação supervisionada, na Bacia do Rio Corumbataí.

O número de pontos que, para a verificação da exatidão da classificação, tiveram como referência a imagem, foi de 87. No campo foram visitados 53 pontos, dos quais foram registradas as coordenadas geográficas, por meio de um receptor GPS, e alguns deles fotografados.

3.3.1.6 Tratamento pós-classificação

Procurando atenuar o efeito da presença de pixels isolados, comuns em produtos de classificações com o algoritmo de máxima verossimilhança (MAXVER), foi aplicado um filtro de mediana de 3 x 3.

O filtro de mediana é classificado como um filtro passa-baixa, onde o pixel central da máscara é substituído pela mediana dos seus vizinhos. É um filtro de implementação complexa, devido à necessidade de um ordenamento dos valores, mas é um dos filtros de suavização que melhor preservam as bordas em uma imagem (Crósta, 1993).

3.3.1.7 Mapa de uso e cobertura do solo

Com o auxílio dos softwares empregados no processamento digital de imagens (ENVI) e nas operações de análise espacial (IDRISI), foram executados os seguintes processos, para a obtenção do mapa final de uso e cobertura do solo da bacia:

- (1) a elaboração de um mosaico com os produtos finais da classificação digital das três imagens;
- (2) recorte desse mosaico com os limites da área de estudo, para ter-se o mapa de uso e cobertura do solo somente para a Bacia do Rio Corumbataí;
- (3) as áreas desse mapa, previamente classificadas como solo exposto, foram reclassificadas de acordo com a cultura que as ocupava a maior parte do ano. A determinação dessa cultura foi feita com base em informações das imagens digitais e dos trabalhos de campo;

- (4) a digitalização em tela de feições não classificadas corretamente por meio do processo digital, em função de heterogeneidade de seus componentes: área urbana e hortos florestais; e
- (5) a digitalização em tela de toda malha viária e parte da rede hidrográfica necessária à complementação do que já existia.

Para a facilitar a atividade de digitalização em tela das feições área urbana, rede hidrográfica e malha viária, foi elaborado um mosaico em cores da Bacia, com as imagens de satélite.

3.3.1.8 Verificação da exatidão do mapa de uso e cobertura do solo

O tipo de amostragem, o número de pontos e a distribuição desses pontos, foram os mesmos empregados na verificação da exatidão do produto bruto da classificação digital das imagens. Contudo, tendo em vista a maior confiabilidade da qualidade do produto final da classificação, foi calculado o índice kappa, que consiste em uma análise multivariada discreta tendo por base uma matriz de erros, também chamada de matriz de confusão ou de contingência (Ponzoni & Almeida, 1996).

De acordo com Congalton et al. (1983), o índice Kappa é calculado pela form.(4):

$$K = \frac{\hat{e}_1 - \hat{e}_2}{1 - \hat{e}_2} \quad (4)$$

onde:

$$\hat{e}_1 = \frac{\sum_{i=1}^r x_{ij}}{N}$$

$$\hat{e}_2 = \frac{\sum_{i=1}^r (x_{i+} \times x_{+j})}{N^2}$$

x_{ij} = número de observações na linha i e coluna j que se refere a diagonal principal;

x_{i+} e x_{+j} = os totais marginais da linha i e da coluna j , respectivamente; e

N = número total de observações da matriz de erros.

Para o cálculo desse índice e elaboração da matriz de confusão, no sistema de informação geográfica, foi gerada uma imagem onde os 140 pontos constituíam-se os usos e coberturas do solo de referência (verdade terrestre) e uma imagem onde esses pontos representavam o uso e cobertura do solo do mapa temático.

A interpretação desse índice foi baseada em Landis & Koch (1977) que, objetivando a análise de imagens orbitais, definiram intervalos do índice kappa e relacionaram com a qualidade obtida. Esses intervalos são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8. Classes de qualidade do índice k.

Kappa	Qualidade
< 0,0	Péssima
0,0 – 0,2	Ruim
0,2 – 0,4	Razoável
0,4 – 0,6	Boa
0,6 – 0,8	muito boa
0,8 – 1,0	Excelente

Fonte: Landis & Koch (1977).

3.3.1.9 Mapas de uso e cobertura do solo para as sub-bacias da Bacia Rio Corumbataí

Com o mapa de uso e cobertura do solo da Bacia, verificado no que diz respeito à sua exatidão, e com os limites das sub-bacias, foi possível gerar o mapa de uso e

cobertura para cada uma de suas sub-bacias. Esses mapas foram posteriormente empregados na análise da estrutura florestal das sub-bacias.

3.3.2 Limites da Bacia do Rio Corumbataí

Os limites da Bacia foram determinados com base no comportamento gráfico das curvas de nível das cartas planialtimétricas e digitalizados, via mesa digitalizadora e software TOSCA.

3.3.3 Delimitação das sub-bacias

A delimitação das sub-bacias foi feita com o modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool), no ambiente ArcView. O SWAT vem sendo empregado na área hidrológica, para a modelagem de bacias hidrográficas. Para a divisão em sub-bacias, o SWAT necessitou do modelo digital do terreno (MDT), da área de contribuição que cada sub-bacia deve possuir e do ponto de junção de cada sub-bacia no rio Corumbataí. Outra variável que foi inserida foi a própria rede hidrográfica.

3.3.4 Descrição quantitativa da estrutura da paisagem da Bacia do Rio Corumbataí

Com a caracterização da paisagem da Bacia do Rio Corumbataí, foi possível com os índices de ecologia da paisagem, quantificar a sua estrutura, definir o padrão e a função de sua cobertura florestal natural. Essa quantificação foi realizada por sub-bacia e com o software FRAGSTATS.

O software FRAGSTATS computa três grupos de índices: (1) para os fragmentos¹ que compõem a matriz; (2) para as classes de uso e cobertura do solo separadamente; e (3) para a paisagem como um todo (McGarigal & Marks, 1995). Foram utilizados neste trabalho os índices que quantificam a estrutura da paisagem em níveis de fragmentos e de classes de uso e cobertura do solo.

¹ considerando fragmento como unidade básica que compõe a paisagem.

Com esse propósito, o mapa de uso e cobertura do solo das sub-bacias foi reclassificado, de maneira a se obter somente três categorias: a floresta nativa; o cerrado; e outras. A categoria “outras” contempla as classes de uso e cobertura do solo que não são floresta natural. Desse modo, os índices referentes a classe forneceram as quantificações das classes de vegetação: floresta nativa e cerrado e, os referentes a fragmentos, dos seus respectivos remanescentes de floresta.

Para essas quantificações foram considerados fragmentos com tamanho mínimo de 0,04 ha, que é o menor tamanho que a resolução espacial das imagens orbitais (20 m) permitiu obter.

3.3.4.1 Índices de classe : floresta nativa e cerrado

(1) Índices de densidade, tamanho e variabilidade métrica

- a) Número de fragmentos (NP): quantifica o número de fragmentos existentes em cada classe (form.5):

$$NP = n_i \quad (5)$$

Onde:

n_i = número de fragmentos da classe.

Unidade: número de fragmentos de uma determinada classe.

Limite: $NP \geq 1$, sem limite.

- b) Densidade de fragmentos (PD): expressa o número de fragmentos por unidade de área, o que permite comparações entre paisagens de diferentes tamanhos. Nesse caso a unidade de área é de 100 ha, sendo portanto a densidade de fragmentos calculada por (form. 6):

$$PD = \frac{n_i}{A} \times 10000 \times 100 \quad (6)$$

Onde:

n_i = número de fragmentos da classe;

A = área total da paisagem.

Unidade: Número de fragmentos por 100 ha.

Limite: $PD > 0$, sem limite.

- c) Tamanho médio dos fragmentos (MPS): é calculado com base área total da classe e de seu respectivo número de fragmentos, o que permite estimar o tamanho médio para seus fragmentos pela form. (7):

$$MPS = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{n_i} \times \left(\frac{1}{10000}\right) \quad (7)$$

Onde:

a_{ij} = área do fragmento i na classe j ;

$j = 1$ a $n \rightarrow$ número de fragmentos;

n_i = número de fragmentos da classe.

Unidade: hectare (ha).

Limite: $MPS > 0$, sem limite.

- d) Desvio padrão do tamanho médio de fragmentos (PSSD); é uma medida de variação absoluta. Para o tamanho médio expressa, em média, o quanto os valores observados variam em relação à sua média. É obtido pela form. (8):

$$PSSD = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n \left[a_{ij} - \left(\frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{n_i} \right) \right]^2}{n_i}} \times \left(\frac{1}{10000}\right) \quad (8)$$

Onde:

a_{ij} = área do fragmento i na classe j ;

$j = 1$ a $n \rightarrow$ número de fragmentos; e

n_i = número de fragmentos da classe.

Unidade: hectare (ha)

Limite: $PSSD > 0$, sem limite.

- e) Coeficiente de variação do tamanho médio de fragmentos (PSCV): é uma medida de variação relativa. Dessa maneira quantifica a variação dos dados em função da média (form.9):

$$PSCV = \frac{PSSD}{MPS} \times 100 \quad (9)$$

Onde:

PSSD= desvio padrão do tamanho dos fragmentos;

MPS = tamanho médio dos fragmentos.

Unidade: porcentagem (%).

Limite: $PSCV > 0$, sem limite.

(2) Índices de forma

- a) Índice de forma média (MSI): expressa a forma média dos fragmentos da classe avaliada, em função da razão média perímetro/área de seus fragmentos, comparada a uma forma padrão. Quando se utiliza o formato raster para os mapas, essa forma padrão se constitui em um quadrado. Dessa maneira, quanto mais distante desse padrão, mais irregular é considerada a forma. Para seu cálculo utiliza a form. (10)

$$MSI = \frac{\sum_{j=1}^n \left(\frac{0,25p_{ij}}{\sqrt{a_{ij}}} \right)}{ni} \quad (10)$$

Onde:

p_{ij} = perímetro do fragmento ij ;

a_{ij} = área do fragmento i na classe j ;

$j = 1$ a $n \rightarrow$ número de fragmentos; e

ni = número de fragmentos da classe.

Unidade: adimensional.

Limite: $MSI \geq 1$, sem limite.

b) Índice de forma média ponderado pela área (AWMSI): é calculado de maneira semelhante ao índice de forma média, no entanto a média é ponderada de acordo com a área dos fragmentos. Dessa maneira fragmentos de maior tamanho recebem um peso maior. Para seu cálculo utiliza-se a form. (11):

$$AWMSI = \sum_{j=1}^n \left[\left(\frac{0,25p_{ij}}{\sqrt{a_{ij}}} \right) \times \left(\frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^n a_{ij}} \right) \right] \quad (11)$$

Onde:

p_{ij} = perímetro do fragmento ij ;

a_{ij} = área do fragmento i na classe j ; e

$j = 1$ a $n \rightarrow$ número de fragmentos.

Unidade: adimensional.

Limite: $AWMSI \geq 1$, sem limite.

(3) Índices de área nuclear

a) Índice de área nuclear total (TCAI): quantifica a porcentagem da classe ocupada com área nuclear, após a retirada da faixa referente ao efeito de borda. Para os índices de área nuclear, foi considerada uma faixa com largura de 20 metros (efeito de borda). O TCAI é expresso por form 12:

$$TCAI = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}^c}{\sum_{j=1}^n a_{ij}} \times (100) \quad (12)$$

Onde:

a_{ij}^c = área interior do fragmento ij ;

$j = 1$ a $n \rightarrow$ número de fragmentos.

Unidade: porcentagem (%).

Limite: $0 \leq \text{TCAI} < 100$.

- b) Número de fragmentos com área nuclear (NCA): expressa o número de fragmentos que possuem área nuclear, após a retirada do efeito de borda, para cada classe. É determinado pela form. (13):

$$\text{NCA} = \sum_{j=1}^n n_{ij}^c \quad (13)$$

Onde:

n_{ij}^c = número de áreas interiores dos fragmentos; e

$j = 1$ a $n \rightarrow$ número de fragmentos.

Unidade: adimensional.

Limite: $\text{NCA} \geq 0$, sem limite.

(4) Índices de proximidade

- a) Distância média entre fragmentos (MNN): quantifica a distância média entre fragmentos de mesma classe. Pode ser calculado pela form. (14):

$$\text{MNN} = \frac{\sum_{j=1}^{n'} h_{ij}}{n'_i} \quad (14)$$

Onde:

h_{ij} = distância (m) do fragmento ij ao vizinho mais próximo de mesma classe; e

$n' = n'_i$ = número de fragmentos da classe i na paisagem, que tenham vizinho próximo.

Unidade: metros (m).

Limite: $\text{MNN} > 0$, sem limite.

- b) Desvio padrão para a distância média entre fragmentos (NNSD): indica o quanto os valores observados estão variando em relação ao valor obtido para a média de distância entre fragmentos de mesmo tipo. É assim calculado (form. 15):

$$\text{NNSD} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n'} \left[h_{ij} - \frac{\sum_{j=1}^{n'} h_{ij}}{n'i} \right]^2}{n'i}} \quad (15)$$

Onde:

h_{ij} = distância (m) do fragmento ij ao vizinho mais próximo de mesma classe;

$j = 1$ a $n \rightarrow$ número de fragmentos; e

$n' = n'i$ = número de fragmento da classe i na paisagem que tenha vizinho próximo.

Unidade: metros (m).

Limite: $\text{NNSD} \geq 0$, sem limite.

- c) Coeficiente de variação para a distância média entre fragmentos (NNCV):
permite quantificar a variação dos dados em função da média, pela form. (16).

$$\text{NNCV} = \frac{\text{NNSD}}{\text{MNN}} \times 100 \quad (16)$$

Onde:

NNSD = desvio padrão do vizinho mais próximo; e

MNN = distância média do vizinho mais próximo.

Unidade: porcentagem (%).

Limite: $\text{NNCV} \geq 0$, sem limite.

d) Índice de proximidade média (MPI): quantifica a distância média entre fragmentos, de diferentes classes, tendo por base um raio previamente determinado, que nesse caso foi de 100 m.. Pode ser calculado pela form.(17):

$$MPI = \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{s=1}^n \frac{a_{ijs}}{h_{ijs}^2}}{ni} \quad (17)$$

Onde:

s = número de fragmentos dentro de uma vizinhança específica;

a_{ijs} = área (m²) do fragmento ijs dentro de uma vizinhança específica de fragmento ij;

h_{ijs} = distância entre fragmentos ijs e fragmentos ij;

j = 1 a n → número de fragmentos; e

ni = número de fragmentos da classe.

Unidade: adimensional.

Limite: $MPI \geq 0$.

É considerado um bom indicativo do grau de isolamento de uma classe. Foi por esse motivo calculado para as classes floresta nativa e cerrado, considerando todas as classes de uso e cobertura do solo existentes na paisagem. Dessa forma foi possível conhecer a disposição dos fragmentos de floresta em relação às outras classes de uso e cobertura.

(5) **Índice de dispersão e justaposição (JJI)**: possibilita ter o grau de agregação dos fragmentos componentes das classes, na paisagem. Ele considera a adjacência de feições e pode ser calculado a partir da form. (18).

$$JJI = \frac{-\sum_{k=1}^{m'} \left[\left(\frac{e_{ik}}{\sum_{k=1}^{m'} e_{ik}} \right) \ln \left(\frac{e_{ik}}{\sum_{k=1}^{m'} e_{ik}} \right) \right]}{\ln(m'-1)} \times (100) \quad (18)$$

Onde:

m' = número de classe presentes em uma paisagem, incluindo a borda;
 e_{ik} = comprimento total da borda em uma paisagem entre as classes i e k ;
 i, k = classes avaliadas.

Unidade: porcentagem (%).

Limite: $0 < IJI < 100$.

3.3.4.2 Índices de fragmentos : floresta nativa e cerrado

(1) Índice de área

- a) Área do fragmento (AREA): fornece a área de cada fragmento e possibilitou o agrupamento desses remanescentes em classes de área: menor que 1 ha; e para os maiores que 1 ha de 5 ha em 5 ha. Essa divisão teve por base a frequência dos fragmentos nas classes de área e objetivou a determinação do tamanho de fragmento predominante nas sub-bacias. A área dos fragmentos foi determinada pela form. (19):

$$AREA = a_{ij} \left(\frac{1}{10000} \right) \quad (19)$$

Onde:

a_{ij} = área do fragmento i na classe j .

Unidade: hectares (ha).

Limite: $AREA > 0$, sem limite.

(2) Índices de forma

- a) Índice de forma (SHAPE): é uma medida da complexidade da forma dos fragmentos, comparada a uma forma padrão. Para seu cálculo utiliza-se a form. (20).

$$SHAPE = \frac{0,25p_{ij}}{\sqrt{a_{ij}}} \quad (20)$$

Onde:

p_{ij} = perímetro do fragmento ij ; e

a_{ij} = área do fragmento i na classe j .

Unidade: adimensional.

Limite: $SHAPE \geq 1$, sem limite.

- b) Índice de forma na dimensão fractal (FRACT): na dimensão fractal a forma dos fragmentos é calculada considerando-se o grau de complexidade das formas planas. Para o cálculo de FRACT é utilizada a form. (21):

$$FRACT = \frac{2\ln(0,25p_{ij})}{\ln a_{ij}} \quad (21)$$

Onde:

p_{ij} = perímetro do fragmento ij ;

a_{ij} = área do fragmento i na classe j .

Unidade: adimensional.

Limite: $1 \leq FRACT \leq 2$.

(3) Índice de área nuclear

- a) Área nuclear (CORE): quantifica a área interna de um fragmento, após ter sido retirada a faixa referente ao efeito de borda (20 m). É calculado pela form. (22):

$$CORE = a_{ij}^c \left(\frac{1}{10000} \right) \quad (22)$$

Onde:

a_{ij}^c = área interior do fragmento ij .

Unidade: hectares (ha).

Limite: $CORE \geq 0$, sem limite.

(4) Índice de proximidade

- a) Distância média entre fragmentos (NEAR): quantifica a distância entre fragmentos de mesma classe vegetacional. A distância mínima entre fragmento é contudo limitada pela resolução espacial da imagem, sendo nesse caso de 20 m. Pode ser calculado pela form. (23):

$$\text{NEAR} = h_{ij} \quad (23)$$

Onde:

h_{ij} = distância (m) do fragmento ij ao vizinho mais próximo de mesma classe.

Unidade: metros (m).

Limite: $\text{NEAR} > 0$, sem limite.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização da paisagem da Bacia do Rio Corumbataí

A Bacia do Rio Corumbataí apresenta 43,68% do total de sua área ocupada por pastagens e 25,57% por cana-de-açúcar, conforme a Tabela 9. Com essa ocupação pode-se dizer que a bacia possui uma matriz de uso e cobertura predominantemente agrícola, fato que pode ser observado no mapa de uso e cobertura do solo (Figura 7), produto da classificação digital supervisionada das imagens de satélites (2000). Outras classes de uso e cobertura do solo agrícolas na bacia são a fruticultura (2,82%) e as culturas anuais (1,02%).

Tabela 9. Uso e cobertura do solo na Bacia do Rio Corumbataí.

Uso e cobertura do solo	Área	
	(ha)	(%)
Cana-de-açúcar	43663,16	25,57
Pastagem	74591,52	43,68
Floresta Plantada	12517,24	7,33
Floresta Nativa	18969,40	11,11
Cerrados	2131,20	1,25
Fruticultura	4816,76	2,82
Cultura Anual	1740,68	1,02
Mineração	155,60	0,09
Área Urbana	4732,12	2,77
Outros	7457,92	4,37
Total	170775,6	100,00

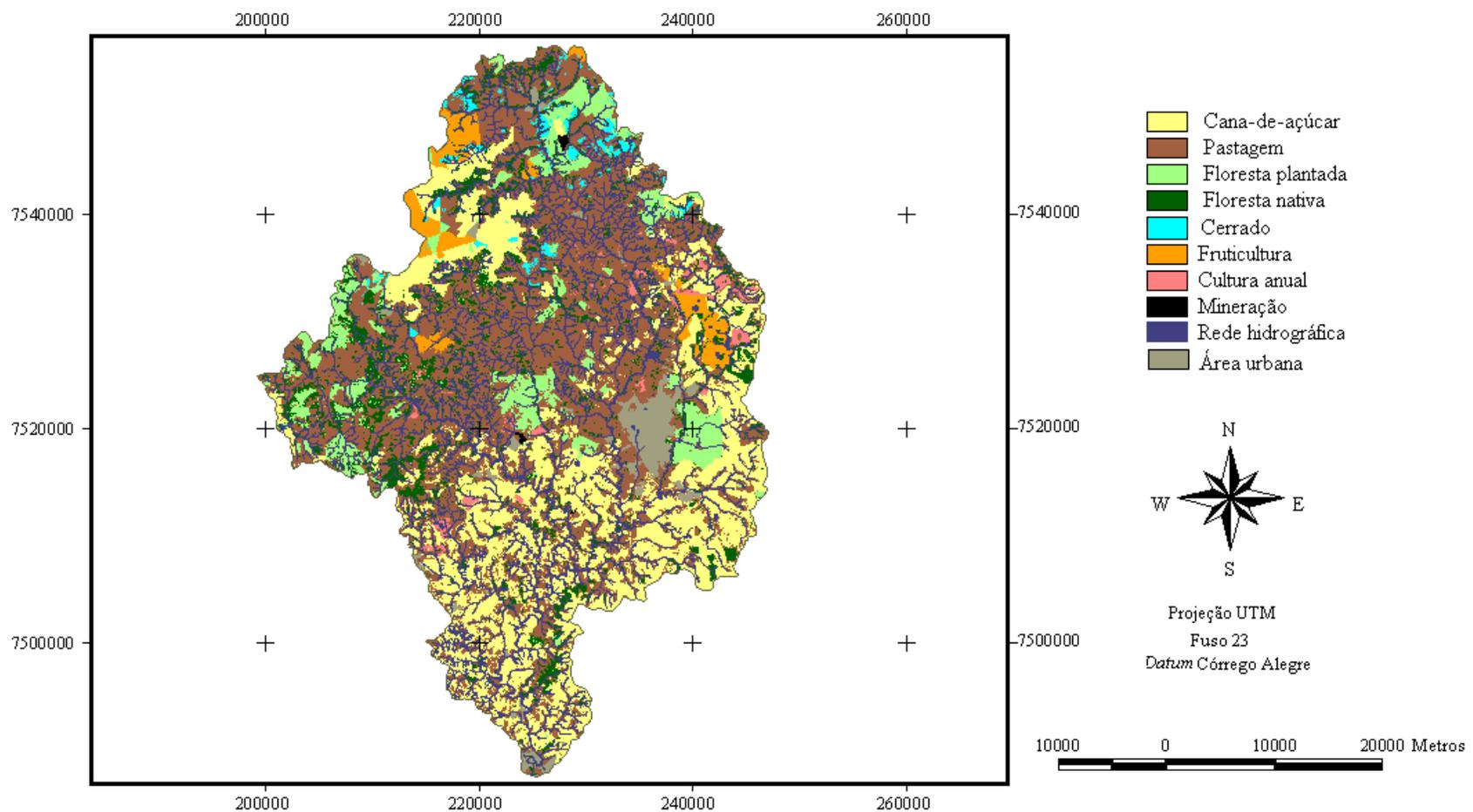


Figura 7 – Uso e cobertura do solo da Bacia do Rio Corumbataí (2000).

A predominância das culturas agrícolas em uma paisagem, leva à diminuição da área ocupada por florestas naturais e contribui para o processo de fragmentação florestal. Na Bacia do Rio Corumbataí somente 11,11% de sua área é ocupada por floresta nativa e 1,25% por cerrado.

Koffler (1993), em seu mapeamento do uso e cobertura do solo dessa bacia, apresentou valores semelhantes para cerrado e também citou a predominância de pastagem e cana-de-açúcar. Vettorazzi et al. (2000) constataram a mesma tendência de uso e cobertura do solo, contudo observaram a diminuição na área ocupada por pastagem e cana-de-açúcar e a maior presença de outras culturas agrícolas, como as culturas anuais e a fruticultura. Os valores de floresta nativa encontrados, tanto por Koffler (1993) quanto por Vettorazzi et al. (2000), foram inferiores aos observados na atualidade.

A verificação da exatidão do mapa de uso e cobertura do solo pode ser observada na Tabela 10, que se constitui na matriz de confusão.

Tabela 10. Matriz de confusão para o mapa de uso e cobertura do solo da Bacia do Rio Corumbataí.

MAPA	VERDADE TERRESTRE							TOTAL
	cana-de-açúcar	pastagem	floresta plantada	floresta nativa	fruticultura	cultura anual	área urbana	
cana-de-açúcar	38	3	0	0	0	0	0	41
pastagem	4	61	0	3	0	0	0	69
floresta plantada	0	0	10	1	0	0	0	11
floresta nativa	0	0	1	12	0	0	0	13
fruticultura	1	0	0	0	3	0	0	3
cultura anual	0	0	0	0	0	1	0	1
área urbana	0	0	1	0	0	0	0	2

 Pontos coincidentes

Na matriz de confusão, a diagonal indica o número de pontos onde houve coincidência entre o mapa temático e a verdade terrestre. A partir dessa matriz obteve-se, para o mapa de uso e cobertura do solo, uma porcentagem de acerto global de 91,1%

e o valor de 0,9516 para o índice Kappa (K) global. As porcentagens de acerto para as classes de uso e cobertura do solo da Bacia podem ser observadas na Tabela 11 e os valores do índice Kappa na Tabela 12.

Tabela 11. Exatidão de classificação para as classes de uso e cobertura do solo.

Uso e cobertura do solo	Exatidão (%)
Cana-de-açúcar	92,68
Pastagem	88,41
Floresta plantada	90,91
Floresta nativa	92,31
Fruticultura	100,00
Cultura anual	100,00
Área urbana	0,00

Tabela 12. Índice Kappa (K) para as classes de uso e cobertura do solo.

Uso e cobertura do solo	Índice K
Cana-de-açúcar	0,883
Pastagem	0,953
Floresta plantada	0,909
Floresta nativa	0,750
Fruticultura	0,750
Cultura anual	1,000
Área urbana	1,000

A exatidão obtida para o mapa de uso e cobertura do solo foi superior ao valor tido como mínimo aceitável (85%), por autores como Anderson et al. (1979) e Eastman (1995). Quanto à qualidade do mapa, tendo por base os intervalos do índice Kappa (K)

propostos por Landis & Koch (1977), pode ser classificada como excelente. Para as classes separadamente, a qualidade variou entre muito boa e excelente.

Para as classes fruticultura e cultura anual, o reduzido número de pontos utilizados para a verificação de suas respectivas exatidões, foi responsável por 100% de acerto. Para a área urbana, a exatidão de 0,00% é melhor entendida quanto se considera que, em função da inexistência de padrão no comportamento espectral próprio dessa classe, seus limites foram obtidos pela digitalização de suas feições nas imagens digitais. Considerando apenas a cana-de-açúcar; a pastagem; a floresta plantada; e a floresta nativa, o mapa de uso e cobertura do solo apresentou uma porcentagem de acerto de 90,20% e o valor de 0,9145 para o índice Kappa (K) global.

Dessa maneira, o mapa de uso e cobertura do solo pôde ser empregado com segurança para a caracterização da paisagem da Bacia do Rio Corumbataí, assim como para a descrição quantitativa de sua estrutura.

4.1.1 Uso e cobertura do solo nas sub-bacias da Bacia do Rio Corumbataí

4.1.1.1 Sub-bacia do rio Passa-Cinco

A sub-bacia do rio Passa-Cinco, maior sub-bacia em área (52757,6 ha), tem 51,72% de sua superfície ocupada por pastagem e 14,13% por cana-de-açúcar, o que a caracteriza como tendo uma matriz agrícola (Tabela 13 e Figura 8). A floresta nativa e o cerrado ocupam 15,67% e 0,74% de sua área e representam, respectivamente, 43,57% da floresta nativa e 18,32% do cerrado da Bacia do Rio Corumbataí.

Na Tabela 13 observa-se ainda que, 10,75% da área dessa sub-bacia é ocupada por floresta plantada, o que equivale a 45,30% dos plantios de eucaliptos existentes na área de estudo.

Tabela 13. Uso e cobertura do solo na sub-bacia do rio Passa-Cinco.

Uso e cobertura do solo	Área	
	(ha)	(%)
Cana-de-açúcar	7455,80	14,13
Pastagem	27286,88	51,72
Floresta plantada	5670,48	10,75
Floresta nativa	8265,76	15,67
Cerrado	390,44	0,74
Fruticultura	874,72	1,66
Cultura anual	245,52	0,47
Mineração	64,32	0,12
Área urbana	275,24	0,52
Outros	2228,44	4,22
Total	52757,60	100,00

Lima & Ranzini (1986), em seu estudo para a implantação de matas ciliares na sub-bacia do rio Passa-Cinco, também notaram a predominância de pastagens, assim como a ocupação crescente com plantios comerciais de eucaliptos próximo a Itirapina e a presença da cana-de-açúcar na sua porção sul. Koffler (1993) aponta que parte das terras dessa sub-bacia são apropriadas para pastagem e silvicultura, e também ressalta que as áreas mais apropriadas para reserva natural estão nessa sub-bacia e no Alto Corumbataí.

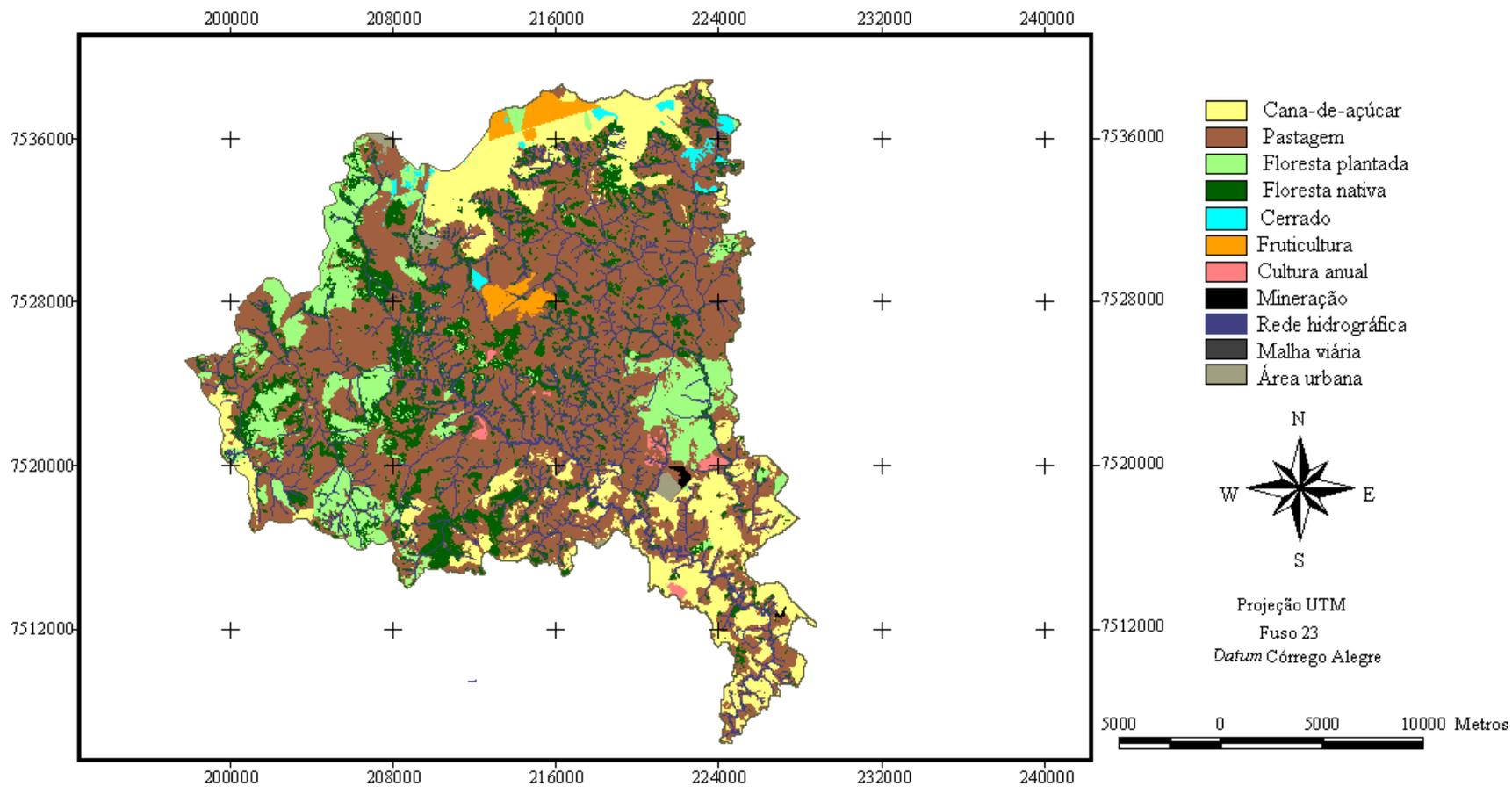


Figura 8 – Uso e cobertura do solo da sub-bacia do rio Passa-Cinco.

4.1.1.2 Sub-bacia do Alto Corumbataí

A sub-bacia do Alto Corumbataí (Tabela 14 e Figura 9) tem como principal característica, no que se refere ao uso e cobertura do solo, a concentração de 78,24% do cerrado existente na Bacia do Rio Corumbataí. A presença de 20,85% das florestas nativas da bacia, contribui para que seja a segunda sub-bacia, em área, ocupada com vegetação florestal natural, além de ser também a segunda em área total (31801,68 ha).

Tabela 14. Uso e cobertura do solo na sub-bacia do Alto Corumbataí.

Uso e cobertura do solo	Área	
	(ha)	(%)
Cana-de-açúcar	3714,12	11,68
Pastagem	15333,12	48,21
Floresta plantada	3049,88	9,59
Floresta nativa	3954,88	12,44
Cerrado	1667,4	5,24
Fruticultura	2257,88	7,10
Cultura anual	58,36	0,18
Mineração	91,28	0,29
Área urbana	393,92	1,24
Outros	1280,84	4,03
Total	31801,68	100,00

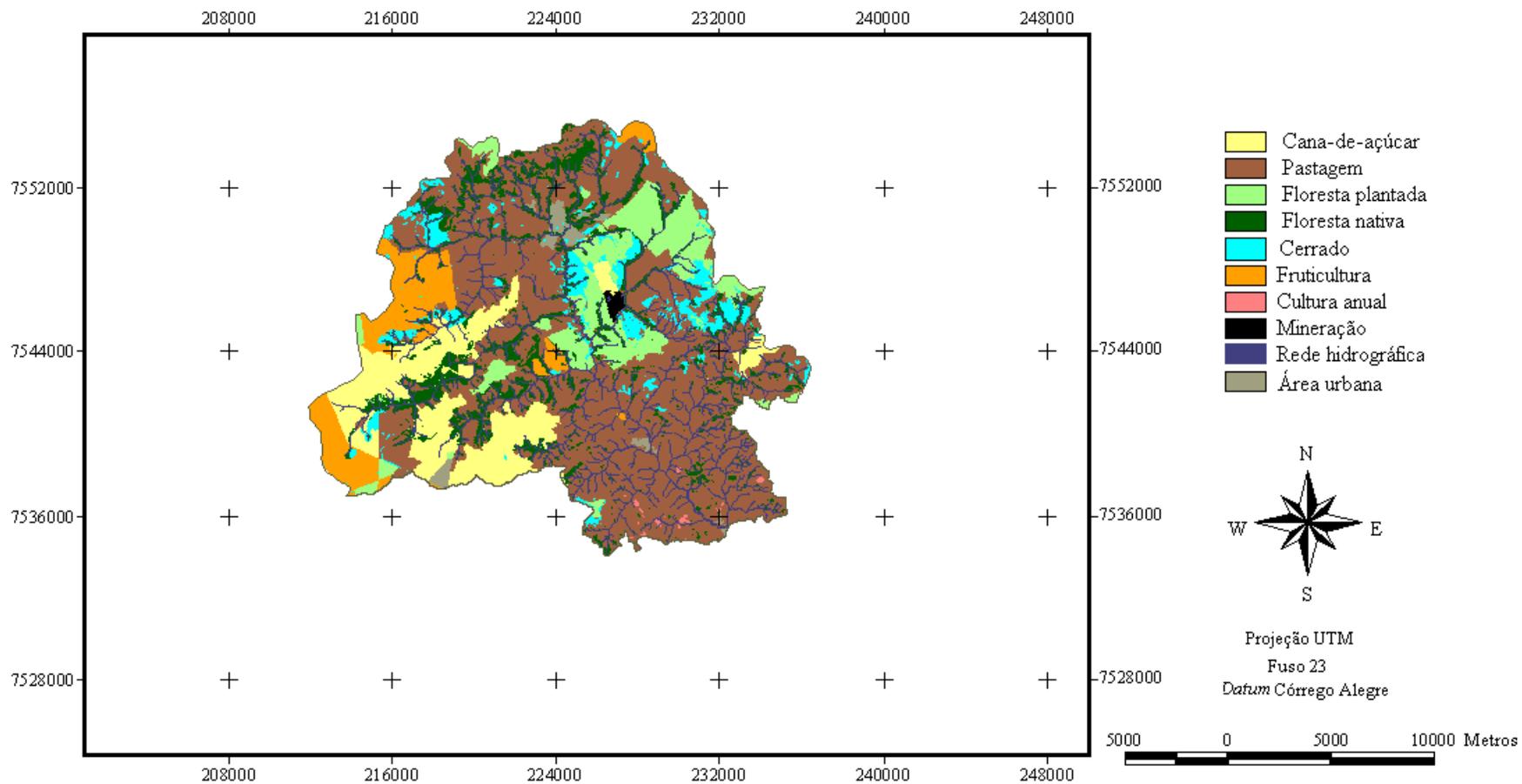


Figura 9 – Uso e cobertura do solo da sub-bacia do Alto Corumbataí.

A presença de outros usos e coberturas do solo, além da cana-de-açúcar (14,13%) e da pastagem (51,72%), é outra característica do Alto Corumbataí, visto a ocupação de 7,10% de sua área por fruticultura e 9,59% por floresta plantada que, por sua vez, contribuem para que sua matriz não tenha o predomínio da classe floresta natural.

4.1.1.3 Sub-bacia do Médio Corumbataí

A predominância da pastagem (52,47%) também é característica marcante na paisagem da sub-bacia do Médio Corumbataí (Tabela 15 e Figura 10); contudo, a porcentagem de superfície ocupada com cana-de-açúcar (24,77%) passa a ser maior que as encontradas nas sub-bacias do Passa-Cinco e Alto Corumbataí. A floresta nativa representa 6,60% de sua superfície e constitui a menor área (1934,04 ha) ocupada com esse tipo de vegetação, dentre as sub-bacias. Nos limites dessa sub-bacia está a maior porcentagem da área urbana do município de Rio Claro, que representa 7,21% (2112,64 ha) de sua área. Para as outras sub-bacias a área urbana representa de 275,24 ha (Passa-Cinco) a 1275,24 ha (Ribeirão Claro).

Tabela 15. Uso e cobertura do solo na sub-bacia do Médio Corumbataí

Uso e cobertura do solo	Área	
	(ha)	(%)
Cana-de-açúcar	7261,32	24,77
Pastagem	15382,64	52,47
Floresta plantada	907,56	3,10
Floresta nativa	1934,04	6,60
Cerrado	0,24	0,00
Fruticultura	37,76	0,13
Cultura anual	280,00	0,96
Mineração	0,00	0,00
Área urbana	2112,64	7,21
Outros	1400,40	4,78
Total	29316,60	100,00

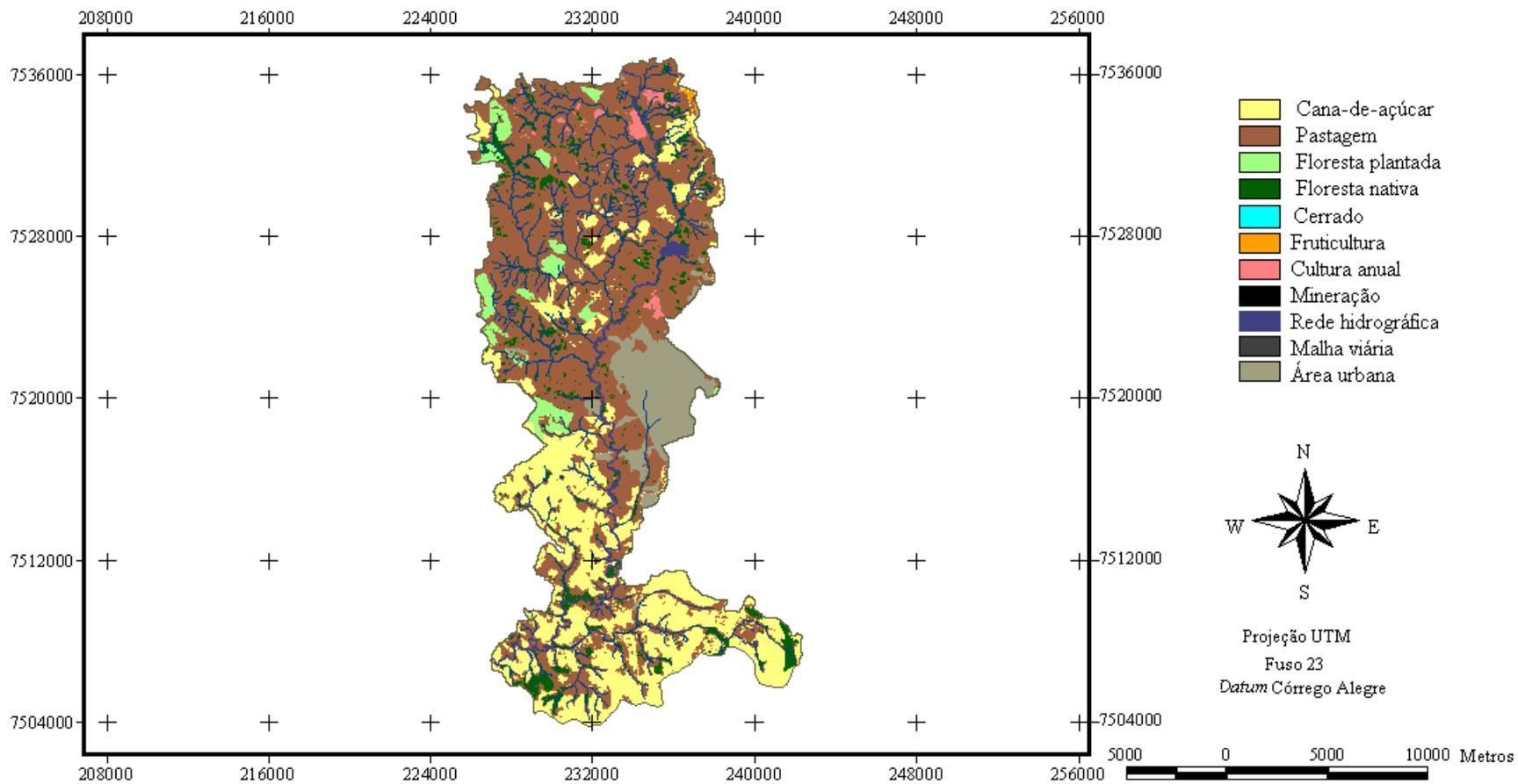


Figura 10 – Uso e cobertura do solo da sub-bacia do Médio Corumbataí.

4.1.1.4 Sub-bacia do Ribeirão Claro

Na sub-bacia do Ribeirão Claro (Figura 11), o uso e cobertura do solo predominante passa a ser a cana-de-açúcar (39,29%), seguido da pastagem (25,13%), conforme indicado na Tabela 16. Nessa sub-bacia tem-se ainda a presença da fruticultura (5,84%), cultura anual (2,88%) e floresta plantada (10,00%), culturas que não são expressivas ou não aparecem na sub-bacia do Baixo Corumbataí.

A expansão das culturas agrícolas nessa sub-bacia é, segundo Koffler (1993), em função de suas terras apresentarem condições favoráveis de solo e relevo.

Tabela 16. Uso e cobertura do solo na sub-bacia do Ribeirão Claro.

Uso e cobertura do solo	Área	
	(ha)	(%)
Cana-de-açúcar	11070,32	39,29
Pastagem	7081,00	25,13
Floresta plantada	2816,96	10,00
Floresta nativa	2333,88	8,28
Cerrado	73,12	0,26
Fruticultura	1646,40	5,84
Cultura anual	812,60	2,88
Mineração	0,00	0,00
Área urbana	1275,24	4,53
Outros	1065,36	3,78
Total	28174,88	100,00

A área ocupada com floresta nativa nessa sub-bacia (2333,88ha) é bem inferior à observada para as sub-bacias do Alto Corumbataí (3954,88ha) e, principalmente, do Passa-Cinco (8264,76ha). A vegetação de cerrado é extremamente reduzida (73,12ha), correspondendo a apenas 0,26% de sua área total.

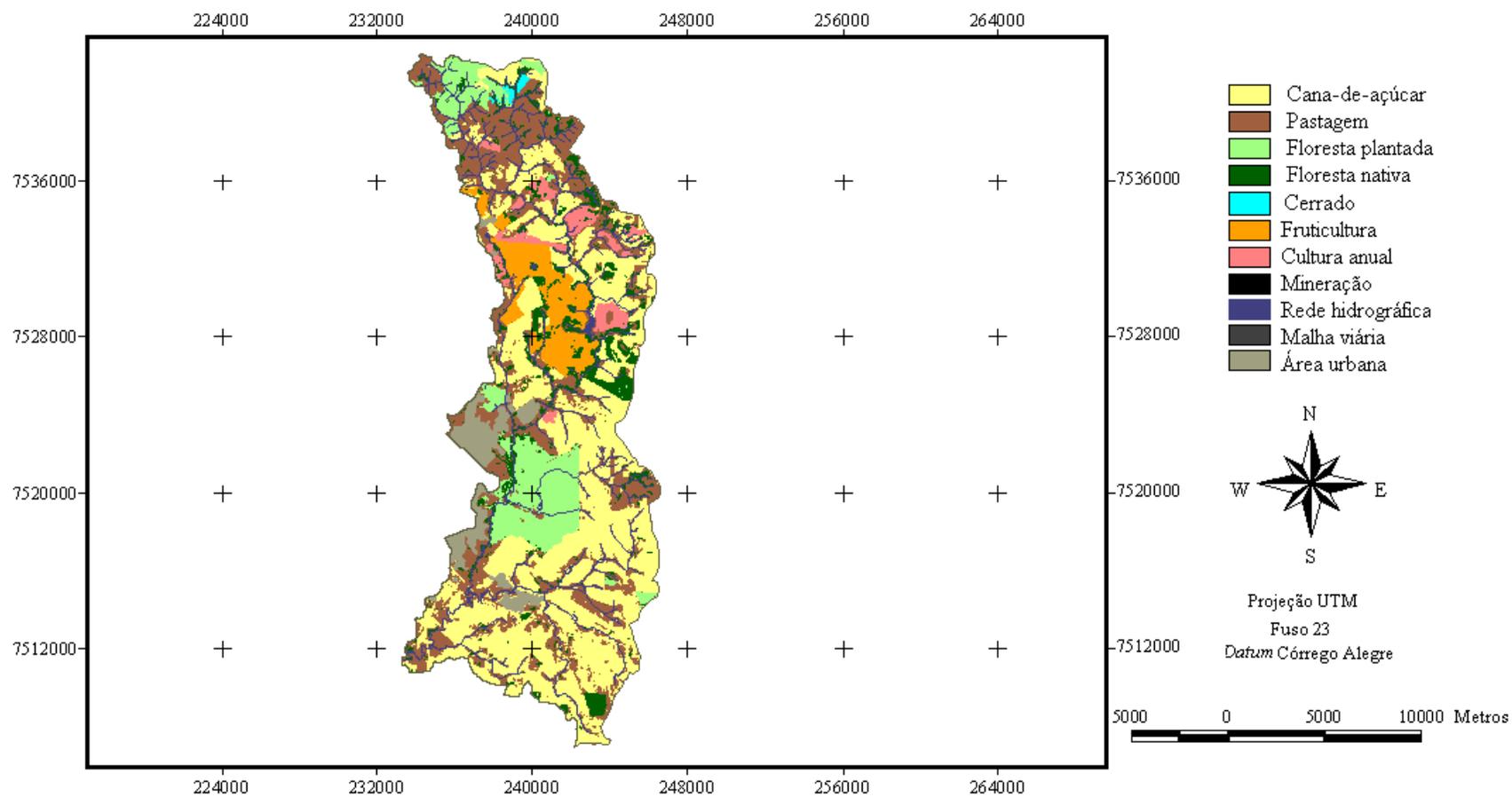


Figura 11 – Uso e cobertura do solo da sub-bacia do Ribeirão Claro.

4.1.1.5 Sub-bacia do Baixo Corumbataí

No Baixo Corumbataí a cana-de-açúcar é predominante (49,30%) e juntamente com a pastagem (33,10%), segundo uso em área, contemplam aproximadamente 80% de sua paisagem (Tabela 17).

Tabela 17. Uso e cobertura do solo na sub-bacia do Baixo Corumbataí.

Uso e cobertura do solo	Área	
	(ha)	(%)
Cana-de-açúcar	14161,6	49,30
Pastagem	9507,88	33,10
Floresta plantada	72,36	0,25
Floresta nativa	2480,84	8,64
Cerrado	0,00	0,00
Fruticultura	0,00	0,00
Cultura anual	344,20	1,20
Mineração	0,00	0,00
Área urbana	675,08	2,35
Outros	1482,88	5,16
Total	28724,84	100,00

A área ocupada com floresta nativa nessa sub-bacia (2480,84 ha) é semelhante à observada para a sub-bacia do Ribeirão Claro (2333,88 ha), e corresponde a 8,64% do total de sua área.

De acordo com a Tabela 17 e o mapa de uso e cobertura do solo dessa sub-bacia (Figura 12) não foi observada a presença de cerrado nos seus limites.

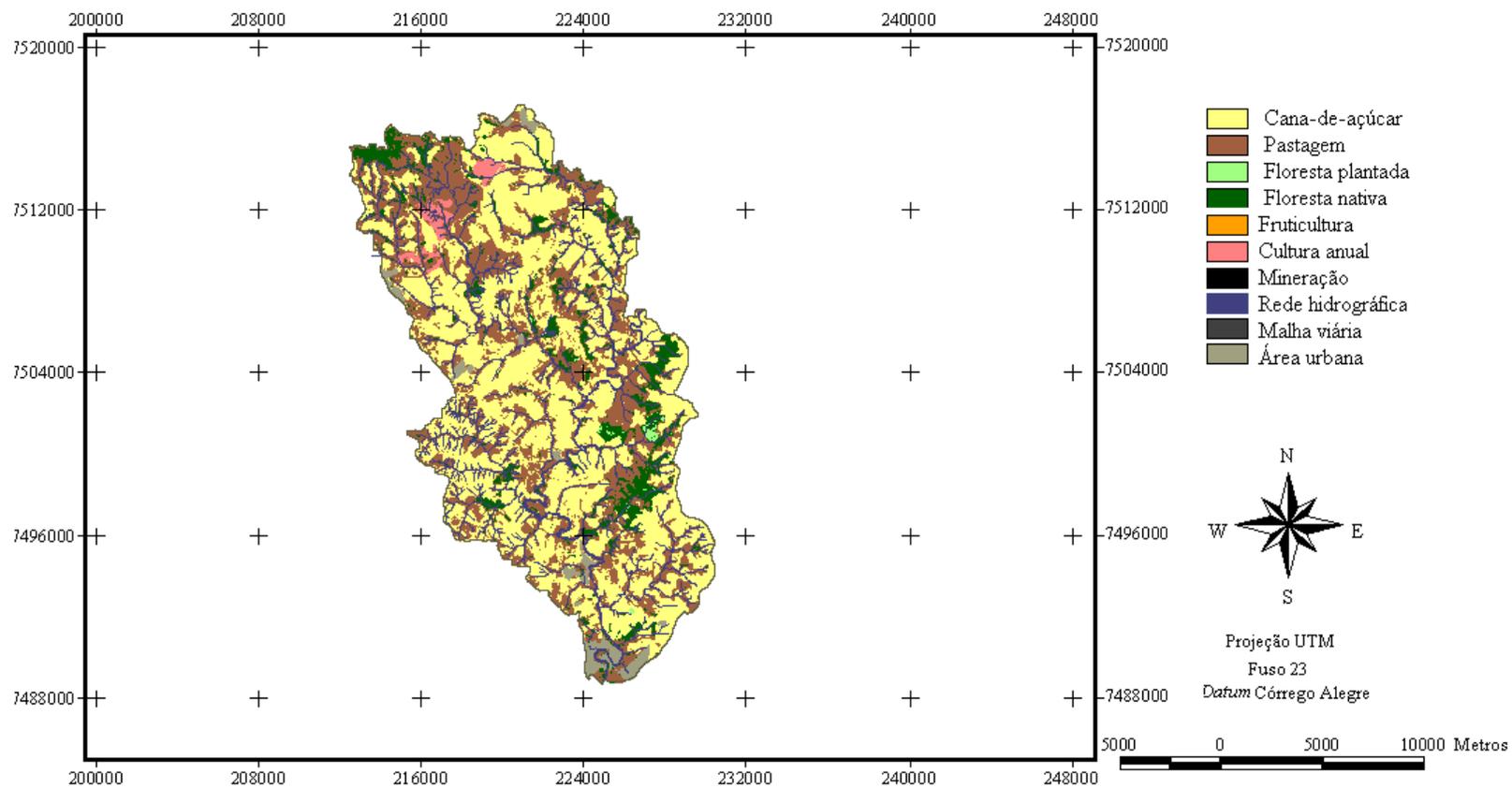


Figura 12 – Uso e cobertura do solo da sub-bacia do Baixo Corumbataí.

4.2 Descrição quantitativa da estrutura florestal da Bacia do Rio Corumbataí

4.2.1 Índices de área, densidade, tamanho e variabilidade métrica

O número (NP) e a densidade (PD) de fragmentos de vegetação florestal nativa e de cerrado existentes nas sub-bacias da Bacia do Rio Corumbataí podem ser observados nas Tabelas 18 e 19.

Tabela 18. Número de fragmentos florestais (NP) das sub-bacias.

Sub-bacia	Número de fragmentos (NP)	
	Floresta nativa	Cerrado
Passa-Cinco	2187	61
Alto Corumbataí	733	325
Médio Corumbataí	982	1
Ribeirão Claro	700	14
Baixo Corumbataí	826	0

A sub-bacia do rio Passa-Cinco é a que apresenta maior número de fragmentos de floresta nativa (2187), seguida pelas sub-bacias do Médio Corumbataí (982), Baixo Corumbataí (826), Alto Corumbataí (733) e Ribeirão Claro (700).

Tabela 19. Densidade de fragmentos florestais (PD) das sub-bacias.

Sub-bacia	Densidade de fragmentos (NP/100ha)	
	Floresta nativa	Cerrado
Passa-Cinco	4,15	0,12
Alto Corumbataí	2,07	0,47
Médio Corumbataí	3,35	0,00
Ribeirão Claro	2,48	0,05
Baixo Corumbataí	2,88	0,00

Para a densidade de fragmentos, tem-se a sub-bacia do Passa-Cinco com maior número de fragmentos por 100 ha, seguida das sub-bacias do Médio Corumbataí, do Baixo Corumbataí, do Ribeirão Claro e do Alto Corumbataí.

O tamanho médio dos fragmentos das sub-bacias varia, conforme indica a Tabela 20, sendo o maior valor encontrado para a sub-bacia do Alto Corumbataí (5,8 ha), ficando a sub-bacia do Passa-Cinco com o segundo maior valor (4,0 ha). Para a sub-bacia do Ribeirão Claro obteve-se tamanho médio de 3,5 ha; para o Baixo Corumbataí valor de 3,2 ha; e para o Médio Corumbataí, 2,1 ha.

Tabela 20. Tamanho médio dos fragmentos florestais (MPS) e seus desvios padrão (PSSD) e coeficientes de variação (PSCV).

Sub-bacia	Floresta nativa			Cerrado		
	MPS (ha)	PSSD (ha)	PSCV (%)	MPS (ha)	PSSD (ha)	PSCV (%)
Passa-Cinco	4,0	25,22	629,04	6,4	13,63	213,00
Alto Corumbataí	5,8	38,15	647,63	5,4	18,05	335,95
Médio Corumbataí	2,1	8,17	383,78	0,2	0,00	0,00
Ribeirão Claro	3,5	14,55	408,83	4,9	10,04	205,42
Baixo Corumbataí	3,2	17,87	559,19	--	--	--

As paisagens que apresentam menores valores para tamanho médio de fragmento devem ser consideradas como as mais fragmentadas (McGarigal & Maki, 1995). O tamanho médio dos fragmentos é considerado um bom indicativo do grau de fragmentação por ser função do número de fragmentos e da área total ocupada por floresta nativa. Quando é avaliado juntamente com a densidade de fragmentos permite o entendimento de diferentes aspectos da estrutura de uma paisagem, dentre eles a fragmentação florestal.

Dessa maneira pode-se começar a ter um perfil do grau de fragmentação florestal da paisagem avaliada. As sub-bacias que têm os menores tamanhos médios para fragmentos são as que apresentaram a maior densidade de fragmentos. São elas as

sub-bacias do Médio Corumbataí (MPS = 2,1 ha; NP = 3,35 frag./100ha); do Baixo Corumbataí (MPS = 3,2 ha; NP = 2,88 frag./100ha); e do Ribeirão Claro (MPS = 3,5 ha; NP = 2,48 frag./100ha).

A sub-bacia do Rio Passa-Cinco é uma exceção, porque apesar de apresentar a maior densidade de fragmentos (4,15 frag./100ha), dentre as sub-bacias, apresenta segundo tamanho médio de fragmentos (4,0 ha). No Alto Corumbataí tem-se o maior tamanho médio (5,8 ha) e a menor densidade (2,07 frag./100ha) de fragmentos.

O valor de densidade de fragmentos do Médio Corumbataí foi semelhante ao encontrado por Oliveira (2000), na avaliação de uma paisagem com Floresta Atlântica Semidecidual, altamente fragmentada. O autor obteve uma densidade de fragmentos de 3,3 fragmentos/100 ha, para fragmentos com tamanho médio de 1,7 ha.

Na Tabela 20 observa-se o alto valor de coeficiente de variação e, assim, a alta variabilidade para tamanho médio de fragmento. Dessa maneira, para melhor avaliar a estrutura florestal das paisagens, é apresentada na Tabela 21 a distribuição dos fragmentos de floresta nativa nas classes de área, das sub-bacias.

Tabela 21. Número de fragmentos de floresta nativa, por classe de área.

Classe (ha)	Passa-Cinco	Alto	Médio	Ribeirão	Baixo
		Corumbataí	Corumbataí	Claro	Corumbataí
<1	1523	471	668	451	567
1 – 5	449	162	231	160	186
5 – 10	91	44	45	36	37
10 – 15	40	22	17	20	10
15 - 20	14	6	4	10	5
20 – 25	11	6	5	8	2
25 – 30	9	4	2	2	1
30 – 35	7	3	3	1	1
35 – 40	7	--	1	--	1
40 – 45	3	--	1	--	3
45 – 50	6	1	2	2	3

Tabela 21. Número de fragmentos de floresta nativa, por classe de área.

50 – 55	2	2	--	3	3
55 – 60	3	1	--	1	2
60 – 65	1	1	--	1	1
65 – 70	--	1	--	--	--
70 – 75	2	--	--	1	--
75 – 80	1	--	--	--	--
80 – 85	3	1	--	--	--
> 85	15	8	3	4	4
Total	2187	733	982	700	826

A maioria dos fragmentos de floresta nativa possui área menor que 5 ha. A somatória da área desses fragmentos corresponde de 12% a 34% da área total de floresta nativa das sub-bacias (Figuras 13 a 17).

A ocorrência de grande quantidade de pequenos fragmentos florestais é comum em paisagens de Floresta Atlântica (Rodrigues, 1993; Lima, 1997). O principal problema deste padrão é que, quanto mais área florestada estiver contida em pequenos fragmentos, mais intensamente estariam sujeitas ao efeito de borda (Rodrigues, 1993).

Em situações nas quais a fragmentação e a perda de habitat criam um grande número de fragmentos a partir de um sistema contínuo, as espécies do interior deverão sofrer um declínio em sua população, pois estarão atuando em conjunto os efeitos do tamanho do fragmento e da perda de habitat. Este padrão continuará com o declínio do tamanho do fragmento, até que todo o fragmento seja constituído por habitats com características de borda (Bender et al., 1998).

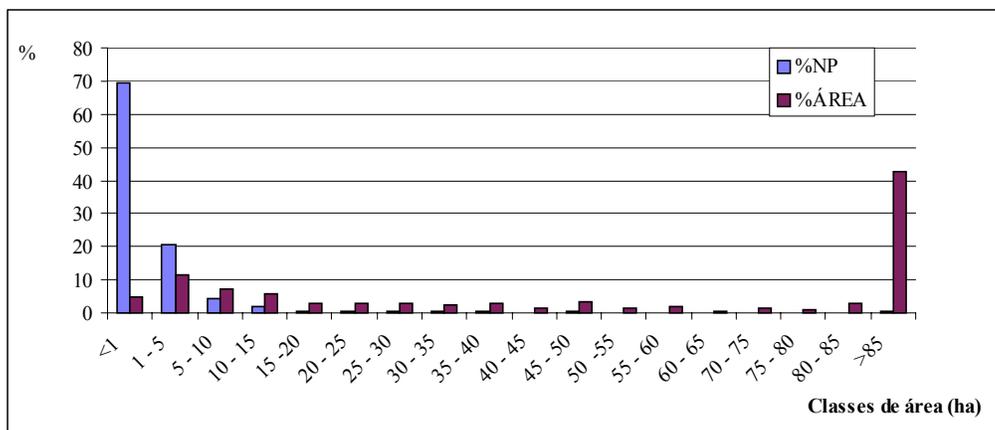


Figura 13 – Área e número de fragmentos, em função das classes de área, da sub-bacia do Passa-Cinco.

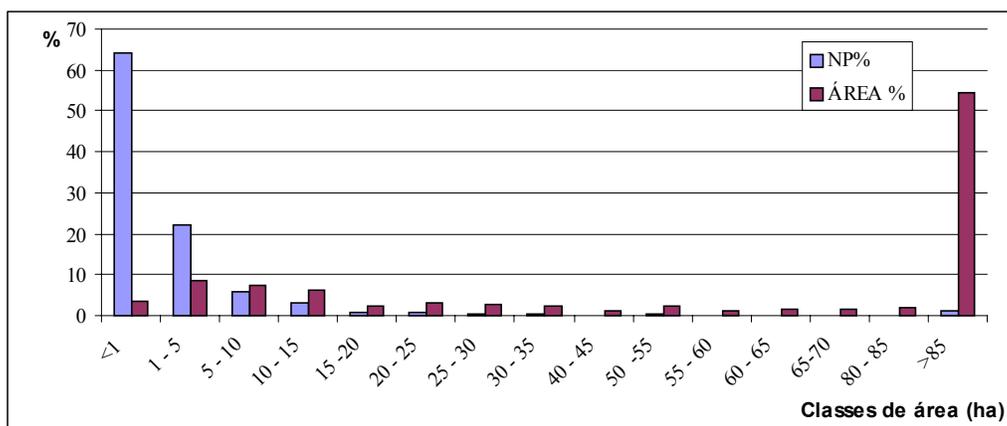


Figura 14 – Área e número de fragmentos, em função das classes de área, da sub-bacia do Alto Corumbataí.

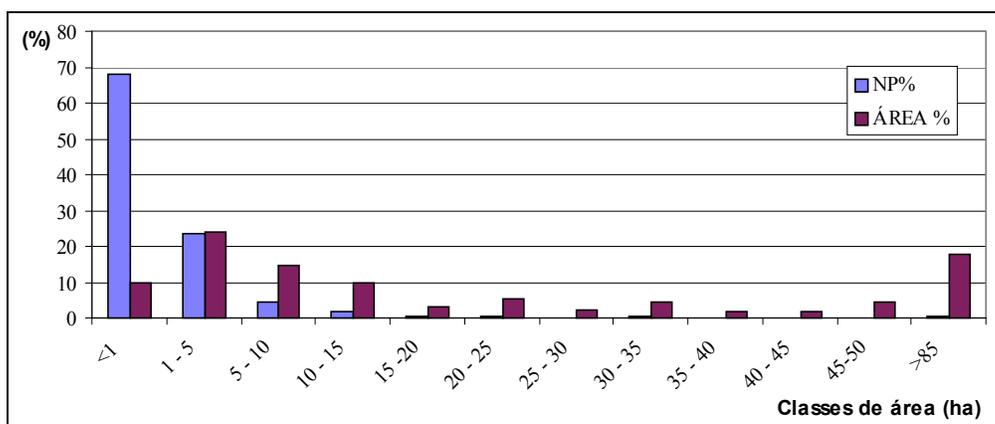


Figura 15 – Área e número de fragmentos, em função das classes de área, da sub-bacia do Médio Corumbataí.

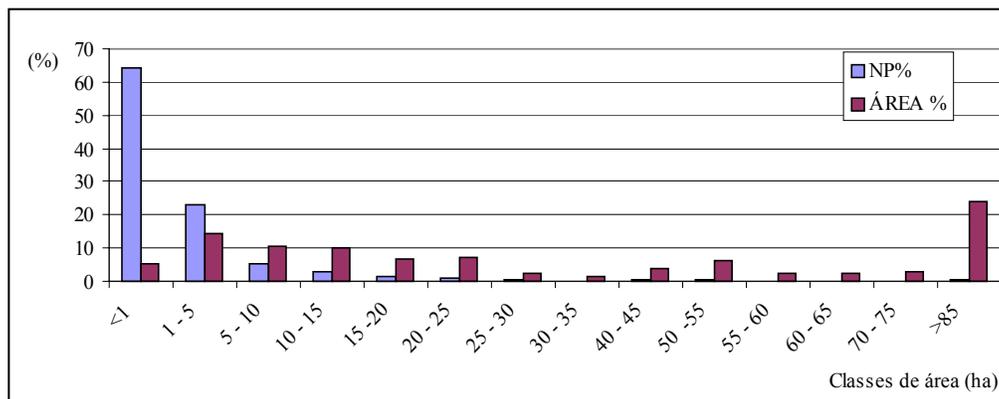


Figura 16 – Área e número de fragmentos, em função das classes de área, da sub-bacia do Ribeirão Claro.

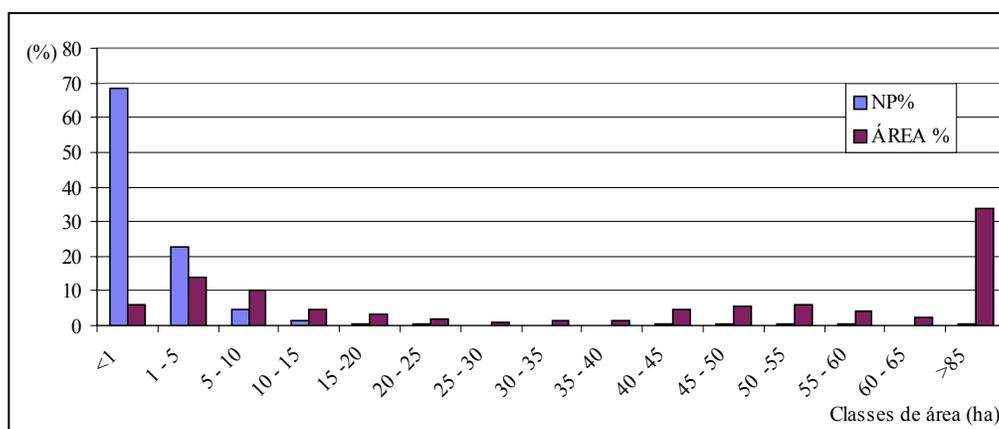


Figura 17 – Área e número de fragmentos, em função das classes de área, da sub-bacia do Baixo Corumbataí.

Para a sub-bacia do Passa-Cinco, o número de fragmentos com área inferior a 5 ha, contribuiu para a obtenção do maior valor de densidade de fragmentos. Apesar da quantidade de pequenas manchas de floresta, é nessa sub-bacia que estão concentrados o maior número (15) de fragmentos com área superior a 85 ha. Esses fragmentos representam aproximadamente 40% de sua área ocupada com floresta nativa.

No Alto Corumbataí, os fragmentos maiores que 85 ha correspondem a aproximadamente 55% de sua área florestal nativa (Figura 14); no médio Corumbataí a

18% (Figura 15); no Ribeirão Claro a 24% (Figura 16); e no Baixo Corumbataí a 34% (Figura 17).

Neste contexto, os fragmentos menores que 5 ha têm maior influência por representarem maior área de floresta nativa no Médio Corumbataí (35%), no Ribeirão Claro (20%), e Baixo Corumbataí (20%) do que nas sub-bacias do Passa-Cinco (17%) e do Alto Corumbataí (12%)

A predominância na ocupação da paisagem da Bacia do Rio Corumbataí com pequenos fragmentos de floresta nativa também foi observada por Brito (2001). A autora constatou que a maioria dos fragmentos florestais dessa bacia têm área inferior a 10 ha.

A estrutura florestal das sub-bacias do Passa-Cinco, Alto Corumbataí e Ribeirão Claro tem como componente, além da floresta nativa, fragmentos de cerrado.

O cerrado tem sido altamente devastado. No Estado de São Paulo resta apenas 1% desse tipo de vegetação, que está distribuído preferencialmente na região centro-norte (Secretaria do Meio Ambiente, 1998). É uma formação com características que a difere das outras formações florestais, tendo alto valor para a conservação da biodiversidade.

Na Tabela 18 pode-se observar que no Alto Corumbataí há 325 fragmentos de cerrado; no Passa-Cinco, 61 fragmentos; e no Ribeirão Claro 14 fragmentos. Desse modo tem-se a sub-bacia do Alto Corumbataí com maior número de fragmentos por 100 ha, seguida das sub-bacias do Passa-Cinco e Ribeirão Claro. O menor número de remanescentes de cerrado resultou na menor densidade de fragmentos desse tipo de vegetação, do que o observado para a floresta nativa.

Na sub-bacia do Médio Corumbataí nota-se a presença de um único fragmento de cerrado. Esse fragmento consistiu numa pequena porção de um fragmento maior da sub-bacia do rio Passa-Cinco. A presença de fragmentos florestais nos divisores de água das sub-bacias é uma situação comum na Bacia do Rio Corumbataí, assim como na maioria das paisagens.

Na sub-bacia do Baixo Corumbataí não se observou a presença de remanescentes de cerrado.

A distribuição dos fragmentos de cerrado e de floresta nativa preferencialmente nas sub-bacias do Alto Corumbataí e do rio Passa-Cinco, está condicionada a características relacionadas ao clima, ao tipo de solo e principalmente ao relevo, sendo que originalmente constituíam os tipos de vegetação predominantes na Bacia do Rio Corumbataí (Oliveira & Prado, 1984).

No que diz respeito ao tamanho médio dos fragmentos de cerrado (Tabela 21), a sub-bacia do Passa-Cinco tem maiores fragmentos (6,4 ha) do que a sub-bacia do Alto Corumbataí (5,4 ha) e do Ribeirão Claro (4,9 ha). Esses valores médios de tamanho de fragmentos foram superiores aos encontrados para os fragmentos de floresta nativa.

Para a mancha de cerrado observada na sub-bacia do Médio Corumbataí, quando considerada isolada, obteve-se tamanho médio de 0,2 ha.

Os fragmentos de cerrado apresentam, de acordo com a Tabela 21, altos valores de coeficiente de variação para o seus tamanhos médios de fragmento. Para melhor caracterizá-los é apresentada na Tabela 22 a sua distribuição por classes de área das sub-bacias.

A distribuição dos fragmentos de cerrado nas classes de área é semelhante à observada para a floresta nativa. A maioria de seus fragmentos possui área menor que 5 ha. Esses fragmentos representam, em termos de área total desse tipo de vegetação: 9% no Passa-Cinco; 13% no Alto Corumbataí; e 10% no Ribeirão Claro, conforme indicado nas Figuras 18 a 20.

No Alto Corumbataí os fragmentos de cerrado menores que 5 ha influenciam na obtenção da maior densidade de fragmentos (0,47 frag./100 ha), que o observado para as outras sub-bacias. De acordo com a Figura 19, a maior porcentagem de área de cerrado, dessa sub-bacia, é representada por fragmentos maiores que 85 ha (36%).

Tabela 22. Número de fragmentos de cerrado, por classe de área.

Classe (ha)	Passa-Cinco	Alto Corumbataí	Ribeirão Claro
<1	36	198	9
1 - 5	11	70	2
5 - 10	4	26	1
10 - 15	2	10	--
15 - 20	1	5	--
20 - 25	1	2	--
25 - 30	1	3	1
30 - 35	1	1	1
35 - 40	--	2	--
40 - 45	2	--	--
45 - 50	--	--	--
50 - 55	--	1	--
55 - 60	2	--	--
60 - 65	--	--	--
65 - 70	--	--	--
70 - 75	--	1	--
75 - 80	--		--
80 - 85	--	1	--
> 85	--	5	--
Total	61	325	14

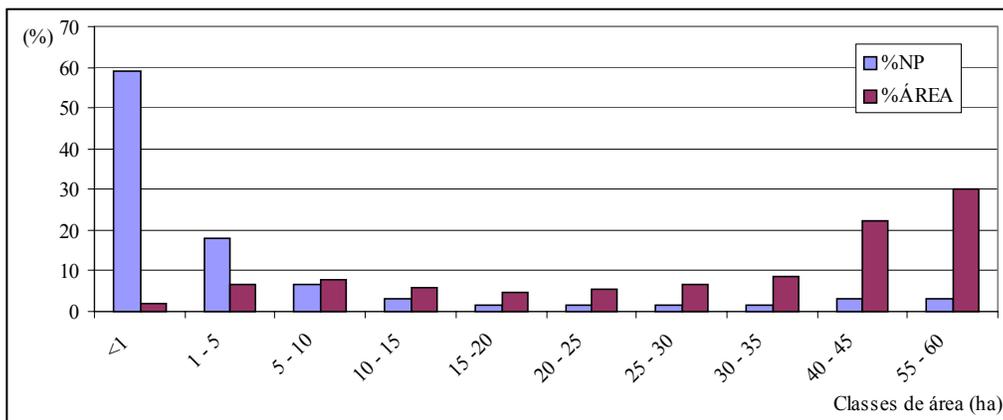


Figura 18 – Área e número de fragmentos, em função das classes de área, da sub-bacia do Passa-Cinco.

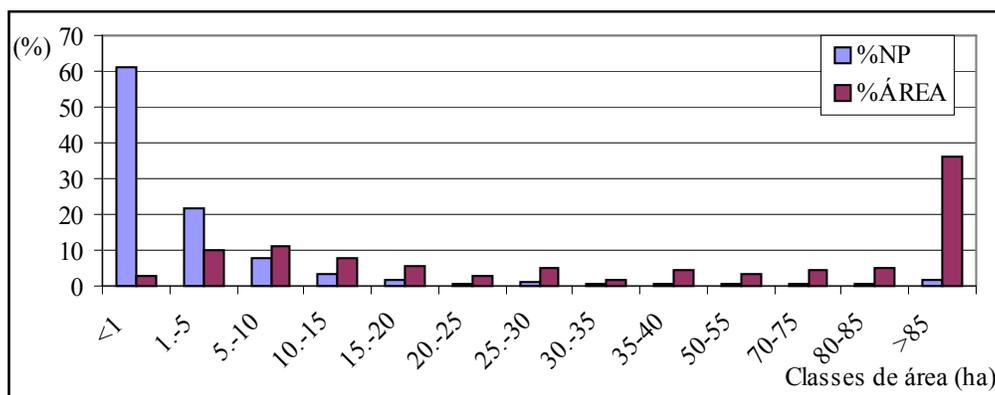


Figura 19 – Área e número de fragmentos, em função das classes de área, da sub-bacia do Alto Corumbataí.

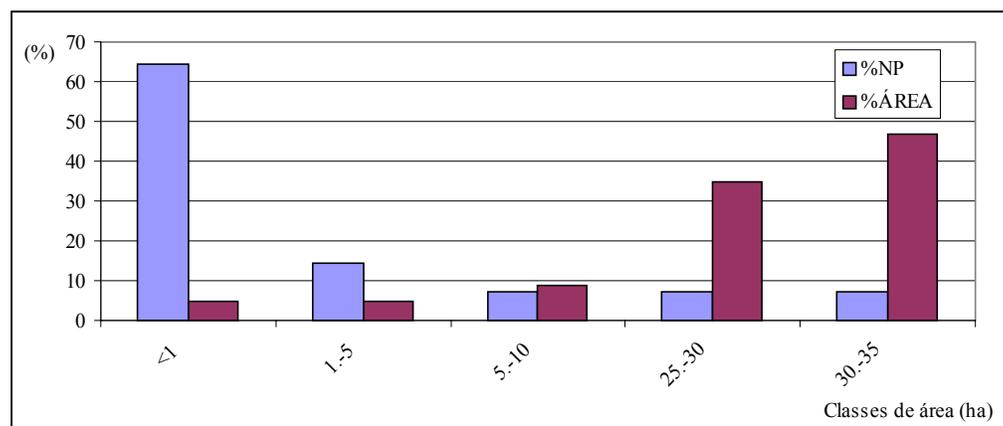


Figura 20 – Área e número de fragmentos, em função das classes de área, da sub-bacia do Ribeirão Claro.

Na sub-bacia do Passa-Cinco (Figura 18), a maior porcentagem de área de cerrado está concentrada nas classes de área 40 ha a 45 ha e 55 ha a 60 ha, que correspondem respectivamente a 22% e 30% da sua área total de cerrado.

Os fragmentos de cerrado da sub-bacia do Ribeirão Claro estão, conforme indicado no seu mapa de uso e cobertura (Figura 11), concentrados próximos ao limite com o Alto Corumbataí. Em termos de área tem-se a maior concentração desses fragmentos na classe de 30 ha a 35 ha (Figura 20). Essa classe de área representa 47% da área ocupada por cerrado nessa sub-bacia e é formada por um remanescente.

A avaliação dos índices de área, densidade, tamanho e variabilidade métrica é o primeiro passo para o entendimento do processo de fragmentação florestal (Forman, 1997). Para o conhecimento do grau de fragmentação, é necessário ainda a quantificação de outros aspectos da vegetação florestal, assim como ter-se a caracterização da interação dessa vegetação com os outros componentes da paisagem.

4.2.2 Índices de forma

O índice de forma médio (MSI) e o índice de forma médio ponderado pela área (AWMSI) para as classes floresta nativa e cerrado, das sub-bacias, podem ser observados na Tabela 23.

Tabela 23. Índice de forma médio (MSI) e índice de forma médio ponderado pela área (AWMSI) para floresta nativa e cerrado.

	Floresta Nativa		Cerrado	
	MSI	AWMSI	MSI	AWMSI
Passa-Cinco	1,5	4,5	1,4	1,9
Alto Corumbataí	1,5	5,4	1,5	2,8
Médio Corumbataí	1,4	2,4	1,6	1,6
Ribeirão Claro	1,4	2,6	1,4	1,9
Baixo Corumbataí	1,4	3,2	--	--

As sub-bacias do Passa-Cinco e Alto Corumbataí apresentaram valor de 1,5 para o índice de forma médio (MSI), enquanto que as sub-bacias do Médio Corumbataí, Ribeirão Claro e Baixo Corumbataí apresentaram valor de 1,4 para esse índice. Nessas condições, pode-se dizer que os fragmentos de floresta nativa dessas sub-bacias têm forma irregular (não-circular).

Jorge & Garcia (1997), no estudo da fragmentação das formações de floresta mesófila e de vegetação de cerrado, encontram valores de 1,61 e 1,53, respectivamente, para o índice de forma dessas classes de vegetação.

Para o índice de forma médio ponderado pela área (AWMSI), a sub-bacia do Alto Corumbataí (5,4) apresentou maior valor que as sub-bacias do Passa-Cinco (4,5); Baixo Corumbataí (3,2); Ribeirão Claro (2,6); e Médio Corumbataí (2,4). Esses valores são superiores ao observado para o índice de forma médio (MSI), indicando que os fragmentos de maior área têm forma mais irregular que a média (McGarigal & Marks, 1995). Essa relação existe porque, para o cálculo do índice de forma médio ponderado pela área (AWMSI), os fragmentos recebem pesos em função de seu tamanho.

A influência do tamanho dos fragmentos nesse índice é notada quando se observa que a sub-bacia do Alto Corumbataí foi a que apresentou o maior tamanho médio para fragmentos de floresta nativa (5,8 ha) e a sub-bacia do Médio Corumbataí, o menor tamanho médio (2,1 ha).

O índice de forma médio (MSI) e o índice de forma médio ponderado pela área (AWMSI) são índices calculados em nível de classe. Dessa maneira, para melhor conhecer a forma dos fragmentos de floresta nativa pertencentes às classes de área das sub-bacias, são apresentados no Anexo A (Tabelas 24 a 28) o índice de forma (SHAPE) e o índice de forma na dimensão fractal (FRACT), com seus respectivos valores de moda e mediana. Esses índices (SHAPE e FRACT) são calculados em nível de fragmentos.

O índice de forma (SHAPE) indica que os fragmentos de floresta nativa das sub-bacias, com exceção dos menores que 1 ha, apresentam forma irregular (não-circular), sendo que se tornam mais irregulares à medida que se tem um aumento de tamanho, conforme ilustrado na Figura 21.

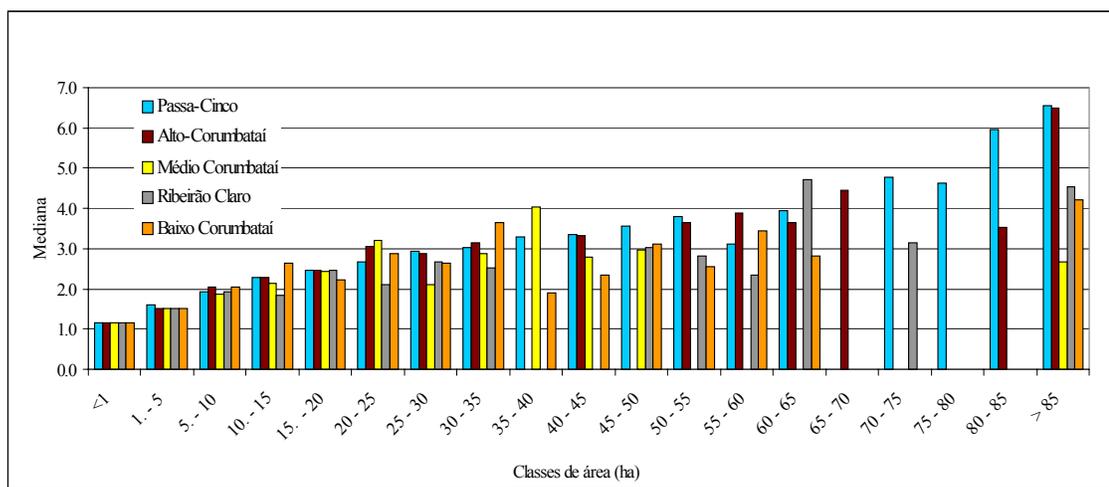


Figura 21 – Medianas do índice de forma (SHAPE) dos fragmentos de floresta nativa das sub-bacias.

Os fragmentos de floresta com forma irregular estão mais susceptíveis a apresentar maior efeito de borda, principalmente aqueles de menor área, em função da sua maior interação com a matriz. Com o aumento do efeito de borda tem-se, proporcionalmente, a diminuição da área nuclear desses fragmentos, o que em curto, médio ou longo espaço de tempo irá influenciar na qualidade da estrutura desses ecossistemas.

Com o índice de forma (SHAPE) apresentado no Anexo A (Tabelas 24 a 28) e Figura 21, é possível constatar ainda que, a forma dos fragmentos de floresta nativa das sub-bacias do Passa-Cinco e Alto Corumbataí são semelhantes. Os fragmentos maiores que 70 ha são uma exceção, porque na sub-bacia do Passa-Cinco apresentam forma mais irregular que os fragmentos do Alto Corumbataí. O índice de forma (SHAPE) desses fragmentos varia de 4,0 a 9,3 no Passa-Cinco e de 3,5 a 8,3 no Alto Corumbataí.

As sub-bacias do Passa-Cinco e Alto Corumbataí têm fragmentos menores que 10 ha com forma similar à observada para os fragmentos das sub-bacias do Médio Corumbataí, Ribeirão Claro, e Baixo Corumbataí. Para os fragmentos maiores que 10 ha observa-se diferenças de forma entre os fragmentos dessas sub-bacias, principalmente para aqueles do Baixo Corumbataí.

Quanto ao índice de forma na dimensão fractal (FRACT), ele demonstrou ser menos sensível às variações de forma que o índice de forma (SHAPE). De acordo com McGarigal & Marks (1995), o índice de forma na dimensão fractal (FRACT) não é o mais apropriado para a determinação da forma de remanescentes de florestas em paisagens altamente fragmentadas. Sua principal limitação é sua amplitude (1 – 2), que o torna menos sensível a variações que o índice de forma (SHAPE).

Para os fragmentos de cerrado, o índice de forma médio (MSI) da Tabela 23, indica que os fragmentos do Alto Corumbataí (2,8) têm forma mais irregular (não-circular) que os fragmentos das sub-bacias do Passa-Cinco (1,4) e do Ribeirão Claro (1,4).

O índice de forma médio ponderado pela área (AWMSI), assim como aconteceu para os fragmentos de floresta nativa, apresentou valores superiores ao observado para o índice de forma médio (MSI). Para esse índice (AWMSI), a sub-bacia do Alto Corumbataí (2,8) apresentou maior valor do que as sub-bacias do Passa-Cinco (1,9), do Ribeirão Claro (1,9) e do Médio Corumbataí (1,6). Esse fato é consequência do Alto Corumbataí ter fragmentos de cerrado maiores que 60 ha, o que não se observa nas outras sub-bacias.

Com o índice de forma (SHAPE) e seus valores de mediana e moda, das classes de área das sub-bacias (Anexo A - Tabelas 29 a 31), pode-se dizer que os fragmentos de cerrado têm a mesma tendência, no que diz respeito à forma, que os fragmentos de floresta nativa. Eles têm forma irregular (não-circular), sendo que quanto maior o fragmento mais irregular é sua forma (SHAPE), conforme observado na Figura 22.

Observando os valores de medianas do índice de forma (SHAPE) para os fragmentos de floresta nativa e cerrado nas Figuras 21 e 22, tem-se que para as mesmas classes de área, os fragmentos de cerrado apresentaram menores valores de índice de forma (SHAPE). Dessa maneira tem-se menor efeito de borda para os fragmentos de cerrado.

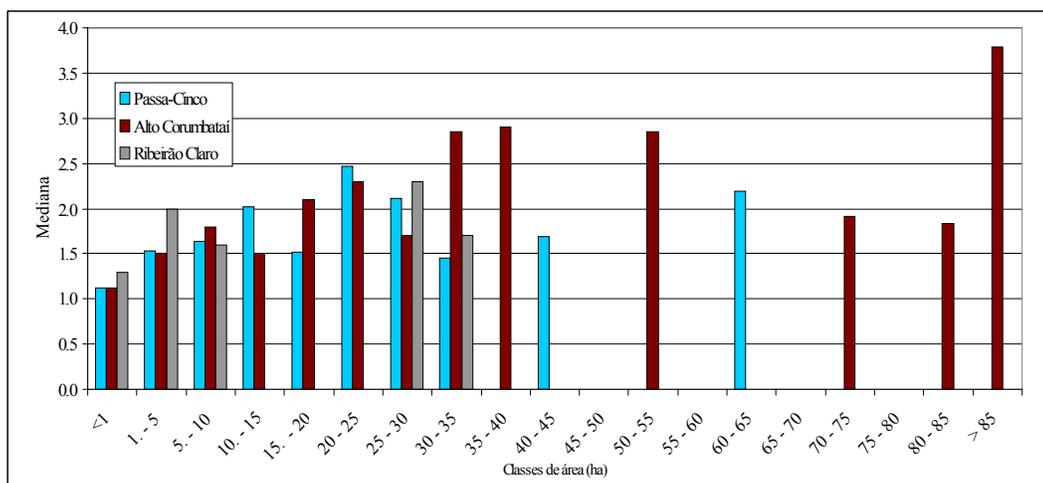


Figura 22 – Medianas do índice de forma (SHAPE) dos fragmentos de cerrado das sub-bacias.

No que diz respeito ao índice de forma na dimensão fractal (FRACT), este demonstrou ser menos sensível às variações de forma que o índice de forma (SHAPE), como aconteceu para os fragmentos de floresta nativa.

A forma associada às características de área nuclear dos fragmentos de floresta irá condicionar a função desses fragmentos na paisagem. Os fragmentos mais alongados são aqueles mais apropriados à utilização para corredores ecológicos (Forman & Godron, 1986).

4.2.3 Índices de área nuclear

Na Tabela 32 é apresentado o índice de área nuclear total (TCAI) para as classes floresta nativa e cerrado das sub-bacias e, na Tabela 33 o número total de fragmentos (NCA) dessas sub-bacias que possuem área nuclear.

O índice de área nuclear total (TCAI) (Tabela 32 e Figura 23) demonstrou que a sub-bacia do Médio Corumbataí apresentou menor porcentagem de sua vegetação florestal nativa (60,45%) sem efeito de borda (20 metros), que as sub-bacias do Passa-

Cinco (66,50%), do Baixo Corumbataí (67,94%), do Ribeirão Claro (68,00%), e do Alto Corumbataí (69,81%).

Tabela 32. Índice de área nuclear total (TCAI) para floresta nativa e cerrado, nas sub-bacias do Corumbataí

Sub-bacias	TCAI (%)	
	Floresta Nativa	Cerrado
Passa-Cinco	66,50	77,40
Alto Corumbataí	69,81	72,85
Médio Corumbataí	60,45	0,00
Ribeirão Claro	68,00	73,09
Baixo Corumbataí	67,94	--

Ranta et. al. (1998) observaram que o efeito de borda equivale, em área, a 30% do total de vegetação nativa, isto tendo por base uma área com predomínio de Mata Atlântica.

Tabela 33. Número de fragmentos de floresta nativa e de cerrado com área nuclear (NCA).

Sub-bacias	Floresta Nativa		Cerrado	
	NCA	%	NCA	%
Passa-Cinco	1837	84,00	41	67,20
Alto Corumbataí	669	91,30	256	78,77
Médio Corumbataí	733	74,60	0	0,00
Ribeirão Claro	557	79,60	10	71,43
Baixo Corumbataí	633	76,60	--	--

As sub-bacias que apresentaram menor porcentagem de vegetação sem efeito de borda, para a classe floresta nativa, foram conseqüentemente aquelas que obtiveram menor percentual de seus fragmentos com área nuclear, conforme indicado na Tabela 33

e na Figura 24. A sub-bacia do Passa-Cinco é uma exceção, porque mesmo com alto efeito de borda, tem 84% de seus fragmentos com área nuclear e, nessas condições, apresenta maior área (5538,06 ha) de floresta nativa, que as sub-bacias do Alto Corumbataí (2768,42 ha), do Baixo Corumbataí (1686,97 ha), do Ribeirão Claro (1587,04 ha), e do Médio Corumbataí (1160,42 ha). Pode assim dizer que, mantém-se a ordem das sub-bacias no que diz respeito à área ocupada por floresta nativa, mesmo desconsiderando a vegetação de borda.

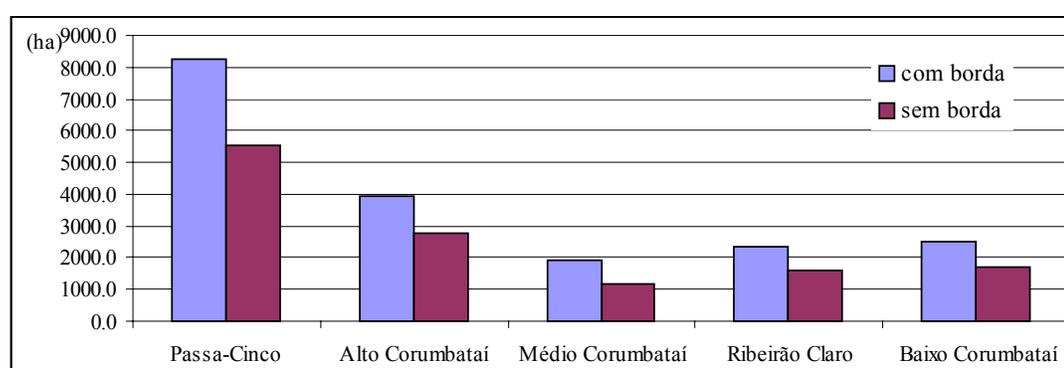


Figura 23 – Área de floresta nativa nas sub-bacias do Corumbataí: efeito de borda.

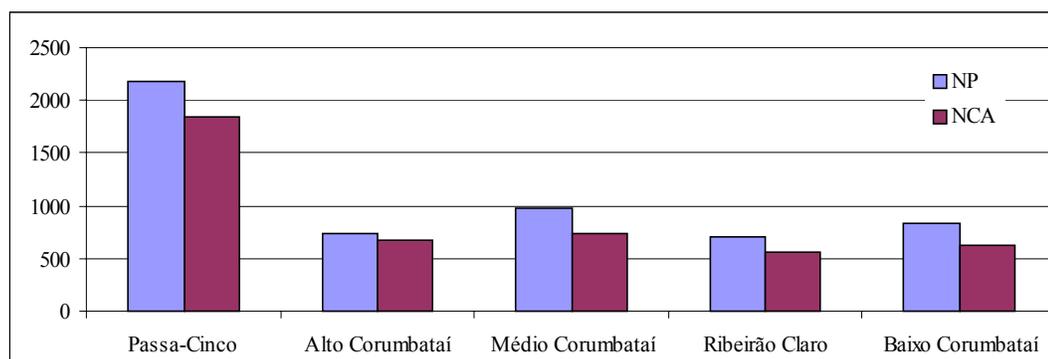


Figura 24 – Floresta nativa: número de fragmentos e número de fragmentos com área nuclear.

A área nuclear de um fragmento de floresta é, segundo McGarigal & Marks (1995), um melhor indicativo da qualidade dos fragmentos do que sua área total, sendo afetada diretamente pela forma e borda dos fragmentos. Dessa maneira, um fragmento pode ser largo o suficiente para sustentar algumas espécies, mas não conter área nuclear

suficiente para sustentar essas espécies e, sobretudo, manter a integridade de sua estrutura natural (Turner & Gardner, 1990).

O estabelecimento de uma estrutura interna está portanto relacionado a uma área mínima, capaz de manter as espécies típicas do tipo de formação florestal a que o fragmento pertence. Para fragmentos de floresta semidecídua, Metzger (1997) coloca que essa área é de aproximadamente 25 ha. Em uma paisagem predominantemente agrícola, Farina (1998) definiu a área nuclear mínima necessária, para floresta semidecídua, como sendo de aproximadamente 30 ha.

Nas paisagens agrícolas, o tamanho dos fragmentos e a qualidade de suas estruturas internas estão sob constante ameaça e tendem a diminuir, enquanto a resistência da paisagem tende a aumentar. Mesmo os grandes fragmentos são ameaçados pela endogamia de espécies, quando isolados. A manutenção da qualidade de um fragmento depende também da intensidade do fluxo de dispersão na paisagem.

Os fragmentos de menor tamanho (sem área nuclear suficiente) não devem ser desconsiderados em uma paisagem, porque desempenham um papel importante na conservação de sua estrutura florestal, que é a conexão entre fragmentos de floresta.

Neste contexto, torna-se importante conhecer a influência do efeito de borda nos fragmentos individualmente e não somente para a classe floresta nativa, como fornecido pelo índice total de área nuclear (TCAI). A área nuclear dos fragmentos de floresta nativa (CORE) e seus valores de mediana e moda, das sub-bacias, podem ser observados no Anexo B (Tabelas 34 a 38).

Os fragmentos de floresta nativa com área inferior a 1 ha não apresentaram área nuclear, porque em função de seu tamanho estão submetidos à total influência da matriz (efeito de borda). Esses fragmentos foram os responsáveis pela maior porcentagem de efeito de borda, observada com o índice total de área nuclear (TCAI). As sub-bacias com maior número de fragmentos menores que 1 ha foram aquelas que apresentaram menores valores para esse índice (TCAI).

A área nuclear passa a ser representativa nos fragmentos à medida que se tem um aumento em sua área total (Figura 25). Os fragmentos menores que 25 ha possuem áreas nucleares semelhantes, em todas as sub-bacias.

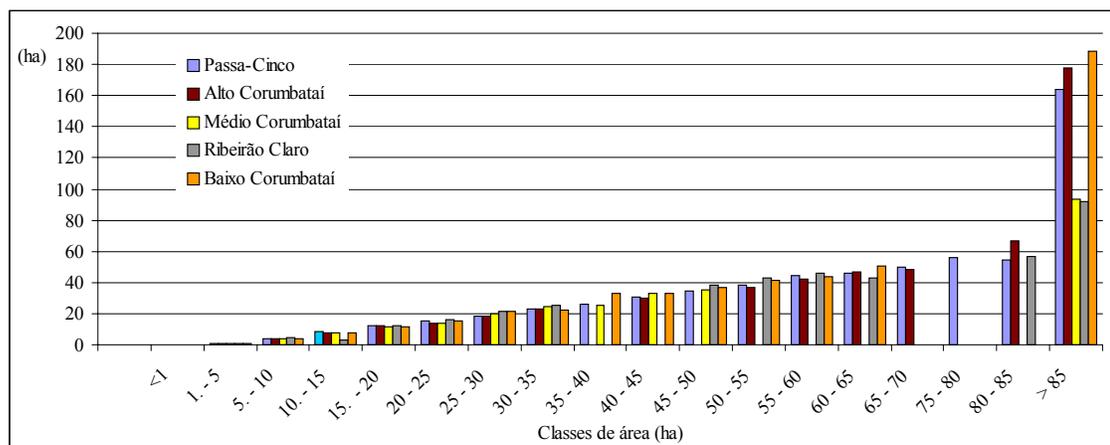


Figura 25 – Mediana do índice de área nuclear (CORE) , para os fragmentos de floresta nativa das sub-bacias.

Os fragmentos maiores que 25 ha continuam a ter áreas nucleares semelhantes nas sub-bacias do Passa-Cinco e Alto Corumbataí. Para algumas classes de área, essas sub-bacias apresentam fragmentos com área nuclear menor que as sub-bacias do Médio Corumbataí, Ribeirão Claro e Baixo Corumbataí.

As sub-bacias do Passa-Cinco e Alto Corumbataí diferenciam-se, portanto, por apresentarem maior número de fragmentos com área nuclear suficiente ao estabelecimento de uma estrutura interna e, sobretudo, fragmentos maiores que 70 ha (Figura 26).

No que diz respeito à área nuclear dos fragmentos de cerrado, pode-se observar na Tabela 32 e Figura 27, o maior efeito de borda para essa classe de vegetação, na sub-bacia do Alto Corumbataí (72,85%) do que nas sub-bacias do Ribeirão Claro (73,09%), e do Passa-Cinco (77,40%). Como a sub-bacia do Alto Corumbataí possui o maior número de fragmentos de cerrado, sendo alguns deles maiores que 85 ha, ela obteve maior percentual de seus fragmentos com área nuclear (78,77%) do que as sub-bacias do Passa-Cinco (73,77%), e do Ribeirão Claro (71,43%), conforme indicam a Tabela 33 e Figura 28.

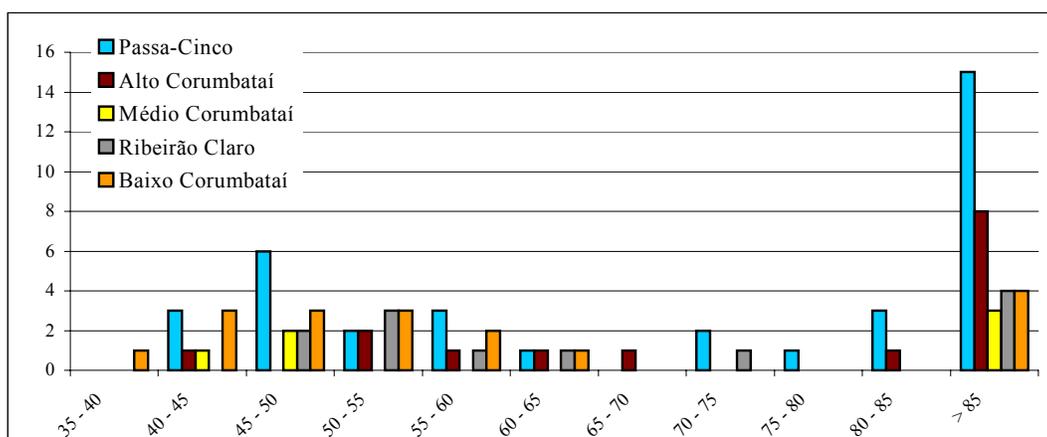


Figura 26 - Número de fragmentos de floresta nativa, das sub-bacias do Corumbataí, com área nuclear maior que 30 ha.

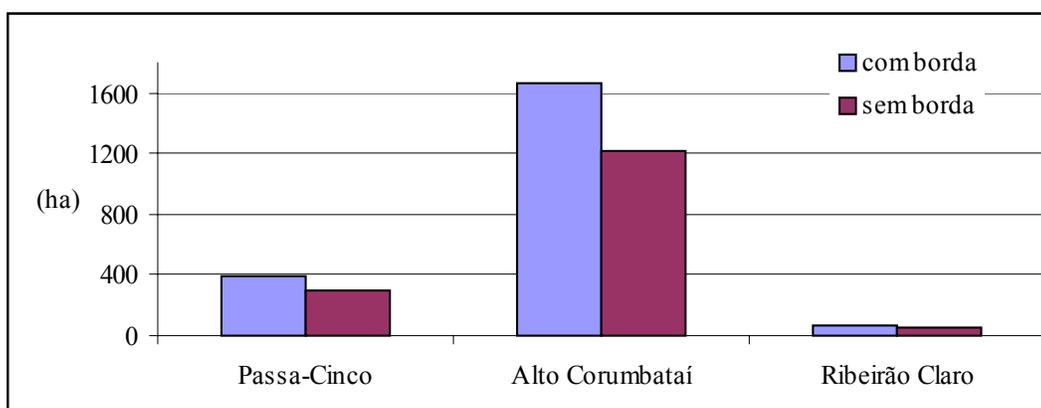


Figura 27 - Área de cerrado nas sub-bacias do Corumbataí: efeito de borda.

Na Figura 27, observa-se ainda que a sub-bacia do Alto Corumbataí, quando se desconsidera sua vegetação de borda, para o cerrado, possui maior área desse tipo de vegetação (1217,20 ha) do que as sub-bacias do Passa-Cinco (300,64 ha) e Ribeirão Claro (53,38 ha).

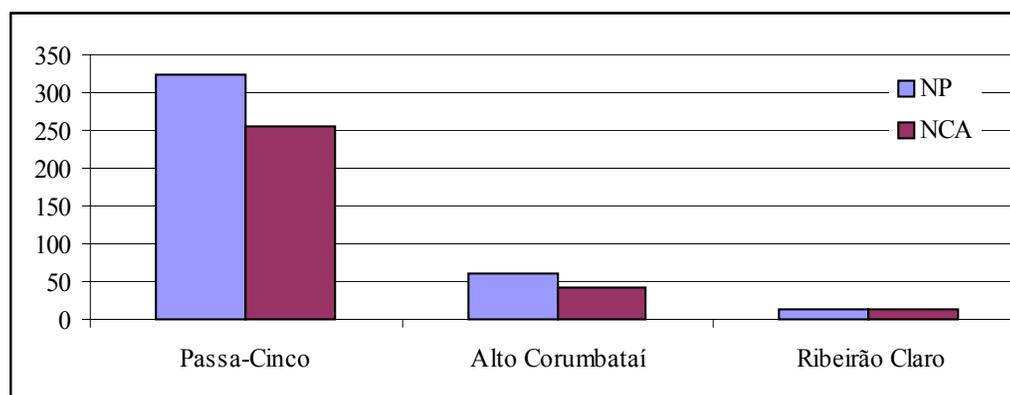


Figura 28 - Cerrado: número de fragmentos e número de fragmentos com área nuclear.

Quando se avalia a forma dos fragmentos de cerrado com seus valores de moda e mediana (Anexo B, Tabelas 39 a 41), para as classes de área das sub-bacias, nota-se que eles têm a mesma tendência de comportamento que os fragmentos de floresta nativa. Os fragmentos de cerrado menores que 1 ha não apresentam área nuclear, sendo que os maiores fragmentos possuem as maiores áreas nucleares (Figura 29).

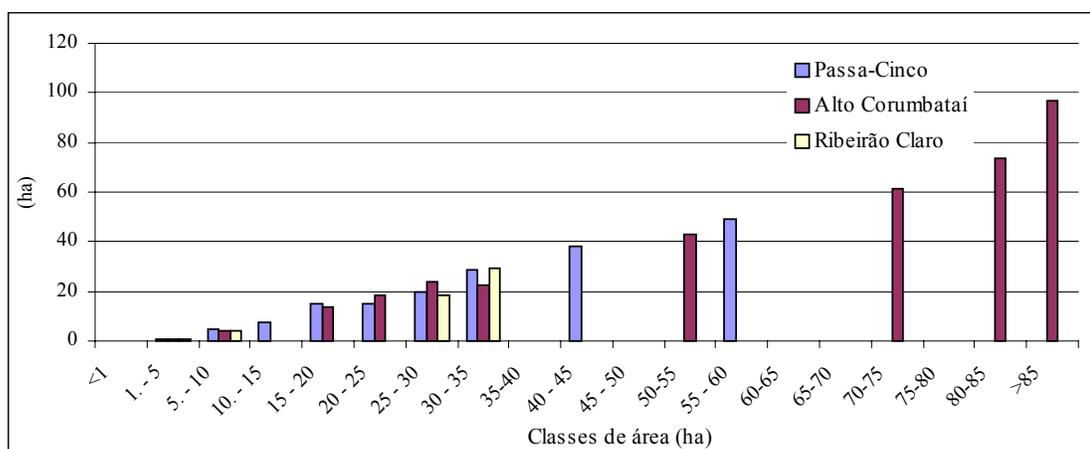


Figura 29 - Mediana do índice de área nuclear para os fragmentos de cerrado.

Nas Figuras 30 a 32 pode-se observar que os fragmentos de cerrado das sub-bacias apresentam, de maneira geral, área nuclear similar ou maior que os de floresta nativa de mesma classe de área. A maior área nuclear dos fragmentos de cerrado é função de sua forma, que se apresentou menos irregular que dos fragmentos de floresta nativa.

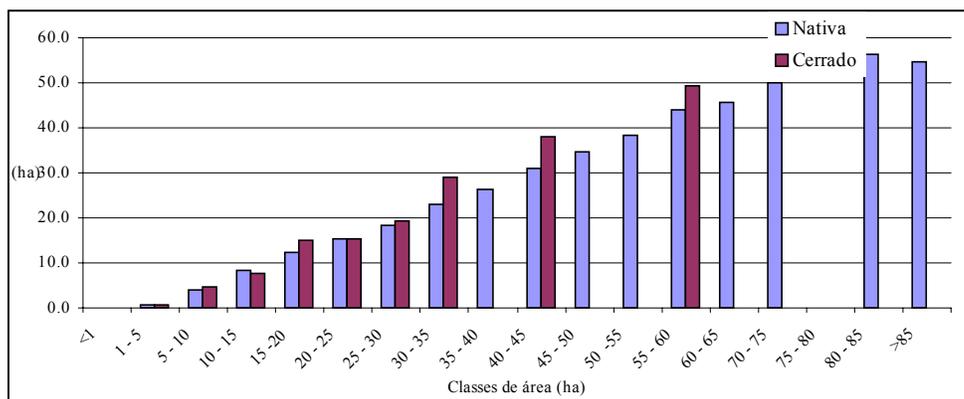


Figura 30 - Alto Corumbataí: mediana do índice de área nuclear para os fragmentos de cerrado e floresta nativa.



Figura 31 - Passa-Cinco: mediana do índice de área nuclear para os fragmentos de cerrado e floresta nativa.

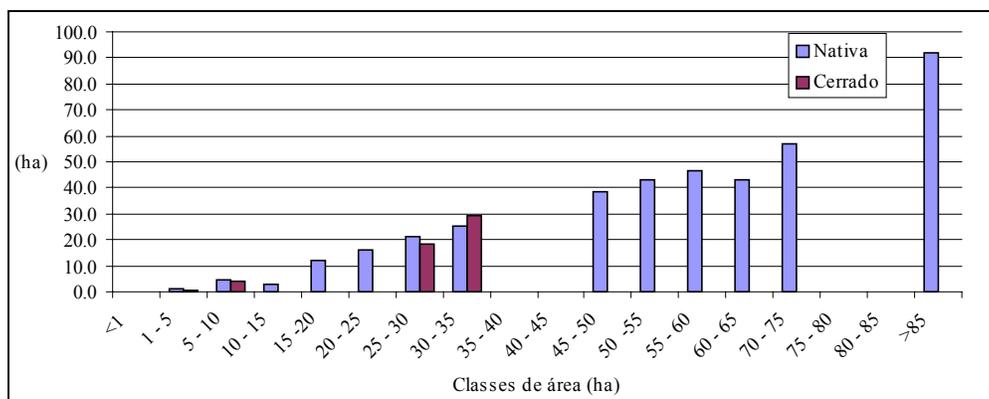


Figura 32 - Ribeirão Claro: mediana do índice de área nuclear para os fragmentos de cerrado e floresta nativa.

Para a vegetação de cerrado, pode-se dizer que a sub-bacia do Alto Corumbataí diferencia-se pela presença de maior número de fragmentos de cerrado (sendo alguns maiores que 85 ha) que as outras sub-bacias. Para ter o melhor entendimento da função desses fragmentos na paisagem é necessário ter-se a sua distribuição na paisagem.

4.2.4 Índices de proximidade

As distâncias médias (MNN) entre fragmentos de floresta nativa e entre os fragmentos de cerrado das sub-bacias, podem ser observadas na Tabela 42.

Tabela 42. Distância média (MNN) entre os fragmentos de floresta nativa e entre os fragmentos de cerrado, para as sub-bacias.

Sub-bacias	Floresta Nativa			Cerrado		
	MNN	NNSD	NNCV	MNN	NNSD	NNCV
	(m)	(m)	(%)	(m)	(m)	(%)
Passa-Cinco	79,42	85,76	107,99	148,72	267,02	179,54
Alto Corumbataí	100,12	104,30	104,18	156,65	330,55	211,01
Médio Corumbataí	113,76	118,26	103,95	--	--	--
Ribeirão Claro	123,16	145,61	118,23	35,80	21,88	61,11
Baixo Corumbataí	112,33	129,79	115,55	--	--	--

Na sub-bacia do Ribeirão Claro os fragmentos de floresta nativa encontram-se mais distantes uns dos outros (123,16 m), que o observado para as sub-bacias do Médio Corumbataí (113,76 m), do Baixo Corumbataí (112,33 m), do Alto Corumbataí (100,12 m), e Passa-Cinco (79,42 m).

Hargis et al. (1998) citam que, o valor do índice de distância média (MNN) e de seus respectivos desvio padrão e coeficiente de variação, apresentam-se uniformemente baixos para paisagens em que os fragmentos de floresta estão agregados e que, em paisagens fragmentadas, tendem a diminuir à medida que os distúrbios são controlados.

O grau de isolamento afeta diretamente a qualidade de um fragmento de floresta, em função de afetar a movimentação de organismos e a dispersão das espécies de floresta. Quanto maior é o grau de isolamento de um fragmento de floresta, maior será a taxa de crescimento de espécies de borda, que podem chegar a ocupar todo o remanescente (Jarvinen, 1982).

Na Tabela 42 pode-se observar ainda, o alto valor do coeficiente de variação e, assim, a alta variabilidade para distância entre fragmentos de floresta nativa. Dessa maneira, para melhor avaliar o grau de isolamento entre fragmentos de floresta nativa, de mesma classe de vegetação, são apresentados no Anexo C (Tabelas 43 a 47) o índice de distância (NEAR), com seus valores de moda e mediana.

A maioria dos fragmentos de floresta nativa das sub-bacias possuem, de acordo com o valor da moda (NEAR), a uma proximidade de 20 m outro fragmento desse tipo de vegetação. Quando se avaliam as amplitudes de classes e valores de medianas das classes de área (NEAR) e os valores médios de distância (MNN), observa-se que as sub-bacias apresentam diferenciações, quanto à distribuição de seus fragmentos de floresta nativa na paisagem.

Os fragmentos da sub-bacia do rio Passa-Cinco apresentam valores de distância, para fragmentos de mesma classe de área, que variam de 20 m a aproximadamente 1000 m. No Alto Corumbataí essa variação é de 20 m a 850 m, no Médio Corumbataí de 20 m a 910 m, no Ribeirão Claro de 20 m a 1467 m, e no Baixo Corumbataí de 20 m a 1152 m.

As maiores amplitudes de classe são observadas para os fragmentos menores que 15 ha nas sub-bacias do Passa-Cinco, Alto Corumbataí, Médio Corumbataí, e Baixo Corumbataí. No Passa-Cinco também fazem parte dessa categoria os fragmentos maiores que 85 ha. Essas classes de área apresentam as maiores amplitudes de distâncias, mas valor de moda de 20 metros, o que significa que a maioria desses fragmentos têm a 20 metros de distância outro de mesma classe de área.

Os fragmentos menores que 15 ha representam, em área, 29,4 % da floresta nativa da sub-bacia do Passa-Cinco (Figura 33); 34,8% da floresta nativa do Alto

Corumbataí (Figura 34); 58,4% da floresta nativa do Médio Corumbataí (Figura 35); e 34,8% da floresta nativa do Baixo Corumbataí (Figura 36).

Nas sub-bacias do Passa-Cinco, os fragmentos maiores que 85 ha representam 42,7% da área total ocupada por suas florestas nativas.

A sub-bacia do Ribeirão Claro é uma exceção, porque seus fragmentos de mesma classe, mais distantes uns dos outros, são os menores de 20 ha e representam em área 47,3% de sua floresta nativa (Figura 37).

Dessa maneira, na sub-bacia do Passa-Cinco as menores amplitudes de classe (20 m a 134 m) são observadas para os fragmentos entre 15 ha a 85 ha, que representam em área 28% de sua floresta nativa; no Alto Corumbataí (20 m a 85 m) para os maiores que 15 ha (65,2%); no Médio Corumbataí (20 m a 134 m) para os fragmentos entre 15 ha e 85 ha (17,8%); no Ribeirão Claro (20 m a 140 m) para os maiores que 20 ha (52,7%); e no Baixo Corumbataí (20 m a 60 m) para os fragmentos entre 15 ha e 45 ha (23,5%). Os fragmentos maiores que 45 ha (41,7%), no Baixo Corumbataí, têm amplitude de classe e moda de 20 metros.

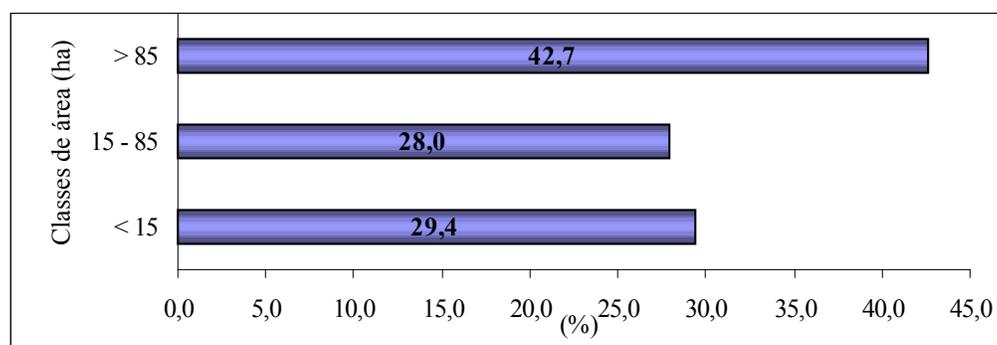


Figura 33 - Grupos de fragmentos de floresta nativa (% área) do Passa-Cinco.

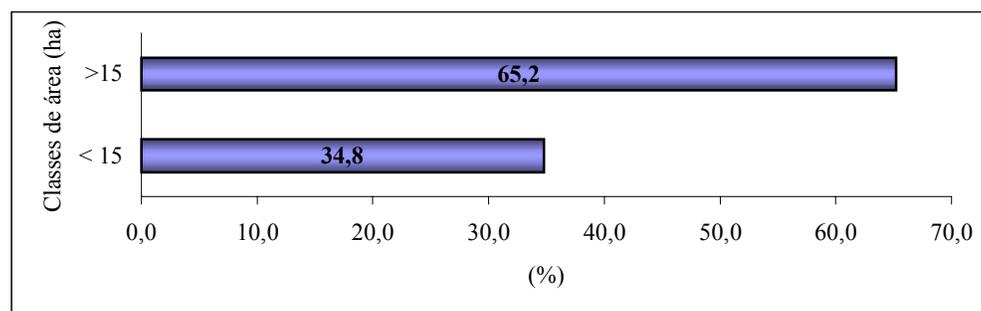


Figura 34 – Grupos de fragmentos de floresta nativa (% área) do Alto Corumbataí.

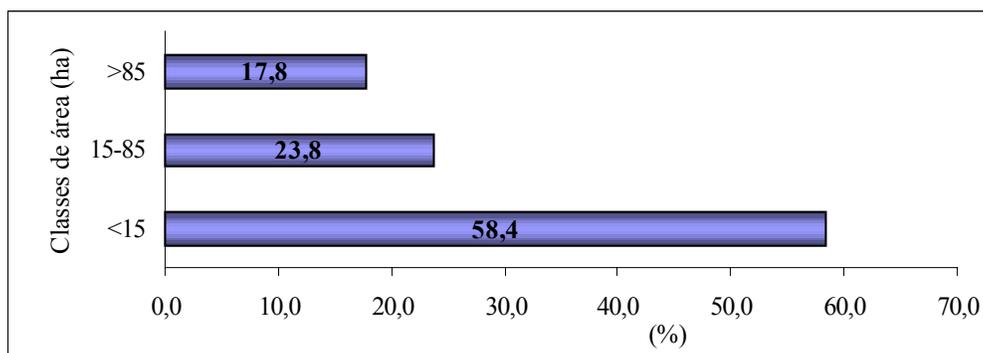


Figura 35 – Grupos de fragmentos de floresta nativa (% área) do Médio Corumbataí.

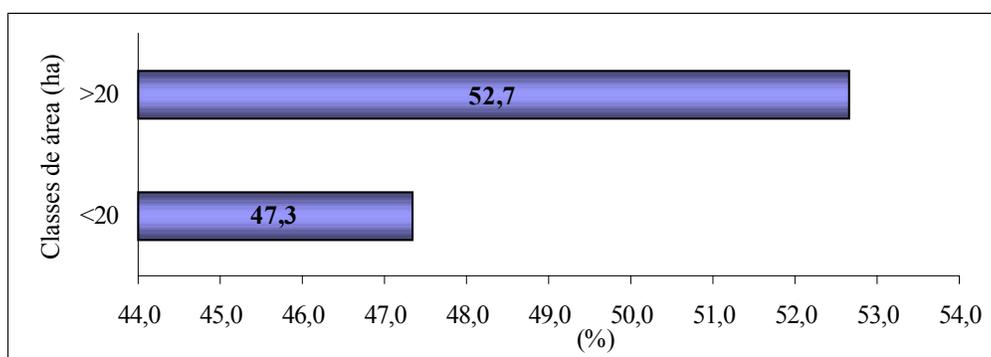


Figura 36 – Grupos de fragmentos de floresta nativa (% área) do Ribeirão Claro.

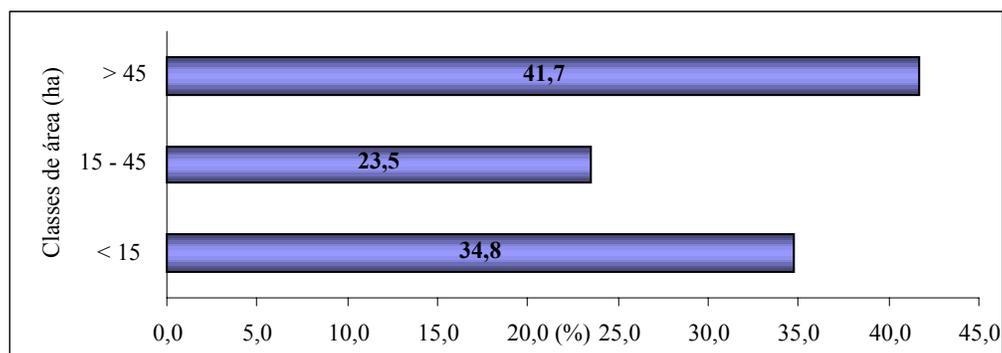


Figura 37 – Grupos de fragmentos de floresta nativa (% área) do Baixo Corumbataí.

No que diz respeito ao índice de distância média (MNN) para a classe de vegetação cerrado, pode-se dizer que a sub-bacia do Ribeirão Claro apresenta distância média (35,8 m) menor que o observado para as sub-bacias do Passa-Cinco (148,72 m) e do Alto Corumbataí (156,65 m), conforme ilustrado na Figura 38. Seus fragmentos, de

acordo com o mapa de uso e cobertura do solo dessa sub-bacia (Figura 11), estão concentrados próximos ao limite com a sub-bacia do Alto Corumbataí.

Somente na sub-bacia do Ribeirão Claro é que se encontram fragmentos de cerrado mais próximos uns dos outros que fragmentos de floresta nativa. Na sub-bacia do Passa-Cinco e principalmente no Alto Corumbataí, os fragmentos de cerrado têm maior distância média que os fragmentos de floresta nativa (Figura 38).

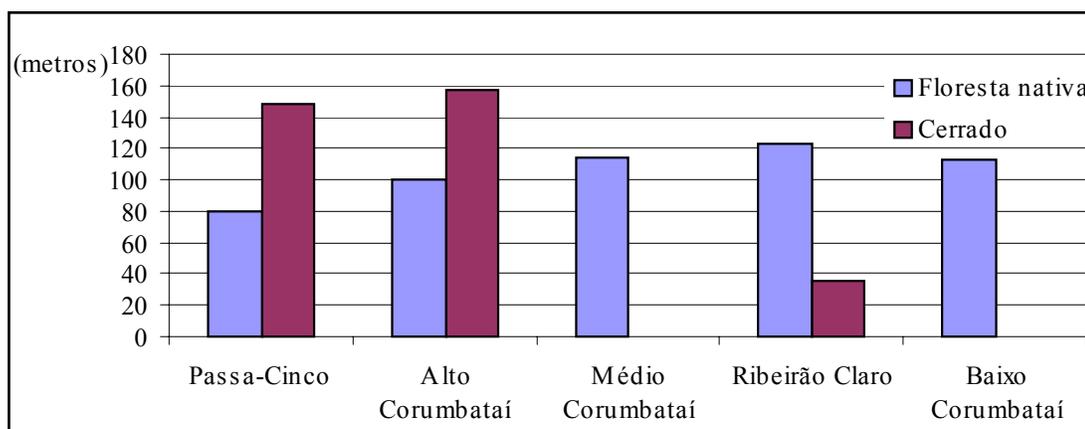


Figura 38 – Distância média (MNN) entre os fragmentos de floresta nativa e entre os fragmentos de cerrado, das sub-bacias do Corumbataí.

Com o índice de distância (NEAR) (Anexo C - Tabelas 48 a 50), nota-se que na sub-bacia do rio Passa-Cinco, a maioria de seus fragmentos menores que 1 ha está a 20 metros de outro fragmento de mesma classe. Apesar disso, esses fragmentos apresentaram amplitude de distância de 20 m a 1884 m. Os fragmentos maiores que 1 ha têm distância de outros fragmentos que varia de 28 m a 500 m. Dessa maneira, os menores fragmentos de cerrado (< 1 ha) são os que se encontram mais espalhados nessa sub-bacia.

Na sub-bacia do Alto Corumbataí, os fragmentos de cerrado apresentam valores de distância (NEAR) que variam de 20 m a 2665 m. As classes de área que apresentam as maiores amplitudes de distância, são aquelas onde encontram-se os fragmentos menores que 15 ha. A área desses fragmentos representa 31,3% da área total ocupada com cerrado nessa sub-bacia.

Os fragmentos maiores que 15 ha têm menores amplitudes de classe para distância, que o observado para os menores que 15 ha. As distâncias entre esses fragmentos (>15 ha) variam de 20 m a 340 m. Tem-se, portanto, fragmentos maiores e mais próximos uns aos outros. A área ocupada por esse grupo de fragmentos representa 68,7% do total da área de cerrado do Alto Corumbataí.

Na sub-bacia do Ribeirão Claro, as distâncias entre os 14 fragmentos de cerrado, de mesma classe de área, variam de 20 m a 80 m.

Para conhecer o padrão da estrutura florestal de uma paisagem, outro componente a ser avaliado é a distribuição dos fragmentos de floresta com relação aos usos e coberturas do solo não florestais, que a compõem. Desse modo, é apresentado na Tabela 51, o índice de proximidade média, para as classes de vegetação floresta nativa e cerrado.

Tabela 51. Índice de proximidade média (MPI) para fragmentos de floresta nativa e de cerrado, considerando um raio de 100 metros.

Sub-bacias	Floresta Nativa	Cerrado
Passa-Cinco	369,36	40,74
Alto Corumbataí	328,98	245,04
Médio Corumbataí	33,72	--
Ribeirão Claro	86,53	93,99
Baixo Corumbataí	147,25	--

Para a classe de vegetação floresta nativa, o índice de proximidade média (MPI) (raio de 100 m) indica que, as sub-bacias do Passa-Cinco (369,36) e Alto Corumbataí (328,98) apresentam seus fragmentos mais próximos entre si e com menor interação com os outros usos e coberturas que as compõem, do que a sub-bacia do Baixo Corumbataí (147,25), Ribeirão Claro (86,53) e Médio Corumbataí (33,72).

Para a vegetação florestal de cerrado, nota-se que a sub-bacia do Alto Corumbataí (245,04) tem seus fragmentos mais próximos entre si, e portanto,

interagindo menos com os outros usos e coberturas do solo do que as sub-bacias do Ribeirão Claro (93,99), e do Passa-Cinco (40,74).

Com os valores desse índice observa-se ainda que a vegetação de cerrado está menos próxima entre si e, portanto, interage mais com os outros usos e coberturas do solo, do que a vegetação florestal nativa.

4.2.5 Índice de dispersão e justaposição

Para definir o padrão de distribuição dos fragmentos na paisagem é importante conhecer o grau de interação entre as classes de vegetação floresta nativa e cerrado, que foi avaliado pelo índice de dispersão e justaposição (IJI), apresentado na Tabela 52.

Tabela 52. Índice de dispersão e justaposição (IJI), para a vegetação florestal nativa e de cerrado, das sub-bacias.

Sub-bacias	IJI (%)
Passa-Cinco	12,28
Alto Corumbataí	67,19
Ribeirão Claro	11,81

Na sub-bacia do Alto Corumbataí, de acordo com o índice dispersão e justaposição (IJI), os fragmentos de cerrado estão mais distribuídos entre seus fragmentos de floresta nativa (67,19%) que nas sub-bacias do Passa-Cinco (12,28%), e do Ribeirão Claro (11,81%). No Anexo D (Figuras 39 a 43) são apresentados os mapas de vegetação florestal das sub-bacias, que auxiliam o entendimento desse índice.

No Alto Corumbataí o valor do índice de dispersão e justaposição (IJI) explica ainda a predominância dos fragmentos de floresta da porção superior a média dessa paisagem e não em sua totalidade. Para as sub-bacia do Passa-Cinco e Ribeirão Claro, esse índice indica que, apesar de possuírem diferentes números de fragmentos de

floresta, seus fragmentos de cerrado encontram-se distribuídos pobremente entre seus fragmentos de floresta nativa.

Com os índices dispersão e justaposição e de proximidade, pode-se dizer que o cerrado influencia diferentemente no grau de isolamento e na estrutura florestal das sub-bacias. Essa vegetação tem maior influência na sub-bacia do Alto Corumbataí do que nas sub-bacias do Passa-Cinco e, principalmente, do Ribeirão Claro. A maior influência dos fragmentos de cerrado na estrutura florestal do Alto Corumbataí é indicada, quando se observa que se tem, em alguns casos, esses dois tipos de vegetação unidos. Para esses casos, a vegetação florestal nativa está associada à rede de drenagem.

4.2.6 Caracterização do padrão florestal das sub-bacias e a avaliação sob o ponto de vista da conservação e da preservação

As sub-bacias da Bacia do Rio Corumbataí, apresentam uma fragmentação florestal que é classificada por Lord & Norton (1990) como estrutural. Nesse tipo de fragmentação, os fragmentos de floresta estão inseridos em uma matriz não florestal e existem fragmentos, próximos uns aos outros, criando uma pseudo continuidade florestal.

Nesse tipo de fragmentação são necessárias ações conservacionistas tanto nos fragmentos, quanto na paisagem. Essas ações devem estimular o desenvolvimento da área nuclear e a diminuição do grau de isolamento entre fragmentos (Jarvinen, 1982).

Na maioria das paisagens onde a matriz é agrícola, os fragmentos, com área suficiente para a estabilidade de processos e fenômenos, são praticamente inexistentes mas, para as paisagens onde estão presentes, Willis (1984) e Lovejoy et al. (1986) defendem a necessidade de preservá-los. Esses fragmentos são a base da estrutura florestal de uma paisagem, pois são detentores de parte da biodiversidade da formação florestal à que pertencem.

Os fragmentos aptos à preservação, porque são aqueles com área nuclear (30 ha) suficiente para serem considerados remanescentes de biodiversidade e “focos” de irradiação e colonização de áreas adjacentes, são os maiores que 40 ha nas sub-bacias do

Passa-Cinco, do Alto Corumbataí, do Médio Corumbataí, e do Ribeirão Claro. Na sub-bacia do Baixo Corumbataí esses fragmentos compreendem aqueles com área total superior a 35 ha.

Na sub-bacia do Passa-Cinco, os fragmentos maiores que 40 ha correspondem, em área, a aproximadamente 55,3% da sua floresta nativa (Figura 44); têm formas irregulares (não-circular) e, apesar da maioria (moda = 20 m) ter outro fragmento dessa classe de área próximo, existem alguns, maiores que 85 ha, mais distantes. A classe de área maior que 85 ha compreende aqueles fragmentos em que a maioria está concentrada em uma porção dessa sub-bacia (moda = 20 m) mas que existem outros distantes desse grupo (20 m a 255 m).

Na sub-bacia do Alto Corumbataí, esses remanescentes (> 40 ha) têm área que equivale a 56,4% de sua área ocupada com floresta nativa (Figura 45). Possuem a vantagem de estar próximos uns aos outros (20 m a 85 m), o que aumenta a possibilidade de troca de material genético e desenvolvimento das espécies florestais.

No Médio Corumbataí, os fragmentos que possuem a área mínima (30 ha) necessária à estabilidade de sua estrutura interna, correspondem em área a 24,3% de sua floresta nativa e, quanto à proximidade, podem ser divididos em dois grupos: os fragmentos com área entre 40 ha e 85 ha e os maiores que 85 ha.

Os fragmentos entre 40 ha e 85 ha correspondem a 6,4% da área de floresta (Figura 46) dessa sub-bacia e pertencem ao grupo de fragmentos que estão mais próximos uns aos outros (20 m a 85 m).

Os fragmentos maiores que 85 ha equivalem, em área, a 17,8% da floresta nativa do Médio Corumbataí. Compreendem 3 fragmentos com distâncias entre si, de 28,3 m, 60,0 m, e 144,2 m. Os fragmentos responsáveis pela estabilidade da estrutura florestal dessa sub-bacia são, portanto, em número reduzido.

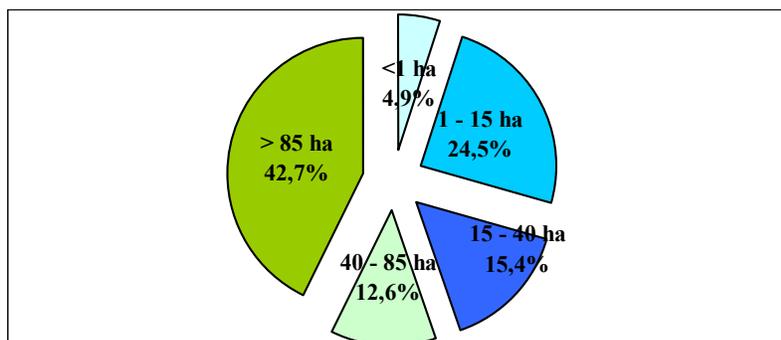


Figura 44 - Fragmentos de floresta nativa (% área), por grupos de distância (NEAR) e área nuclear (CORE), do Passa-Cinco.

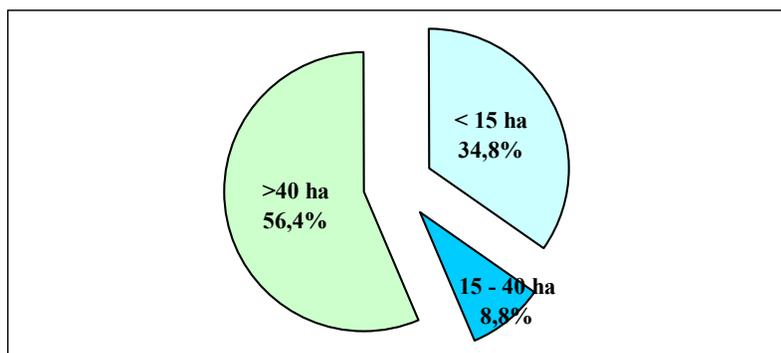


Figura 45 – Fragmentos de floresta nativa (% área), por grupos de distância (NEAR) e área nuclear (CORE), Alto Corumbataí.

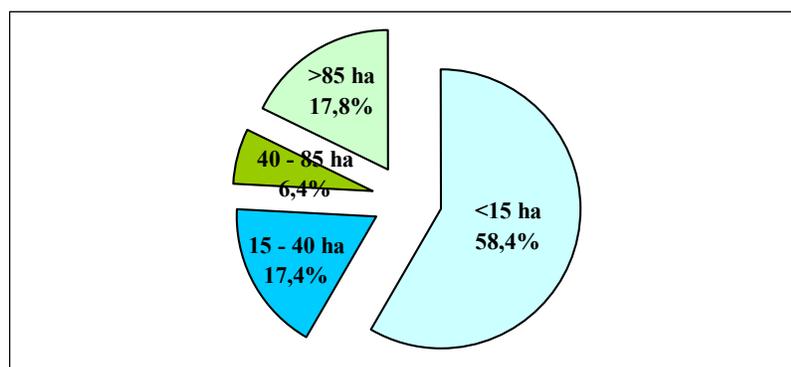


Figura 46 – Fragmentos de floresta nativa (% área), por grupos de distância (NEAR) e área nuclear (CORE), Médio Corumbataí.

Na sub-bacia do Ribeirão Claro, os fragmentos maiores que 40 ha e que devem ser preservados, correspondem a 42,0% de sua área ocupada com floresta nativa (Figura 47), e pertencem ao grupo de fragmentos (> 20 ha) com distâncias entre 20 m a 140 m (fragmentos de mesma classe).

No Baixo Corumbataí, os fragmentos que devem ser preservados (> 35 ha) representam 47,81% de sua área de floresta nativa (Figura 48). No que se refere à distância entre fragmentos de mesma classe, esses remanescentes podem ser divididos em dois grupos: 35 ha a 45 ha e os maiores que 45 ha.

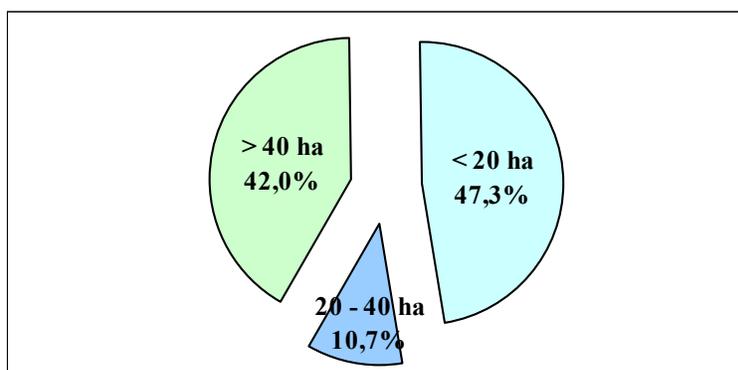


Figura 47 – Fragmentos de floresta nativa (% área), por grupos de distância (NEAR) e área nuclear (CORE), do Ribeirão Claro.

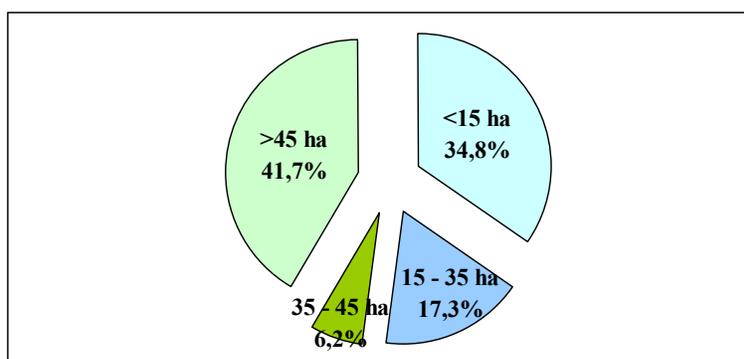


Figura 48 – Fragmentos de floresta nativa (% área), por grupos de distância (NEAR) e área nuclear (CORE), do Baixo Corumbataí

Os fragmentos entre 35 ha e 45 ha têm distância variando de 20 m a 60,0 m. Os fragmentos maiores que 45 ha pertencem ao grupo, onde a maioria tem, a 20 m, outro remanescente de mesma classe próximo a si; forma mais irregular e maior área nuclear que o restante.

A proximidade entre os fragmentos que já têm uma estrutura interna estabelecida, facilita a sua preservação. No caso das sub-bacias, observa-se que a maioria de seus fragmentos que devem ser preservados, estão próximos uns aos outros (20 m a 130 m), mesmo existindo alguns mais distantes desse grupo (máximo 255 m). Nas sub-bacias do Passa-Cinco e Alto Corumbataí essa condição é favorecida, por apresentarem maior número de fragmentos maiores que 40 ha.

O efeito da distância entre fragmentos é difícil de ser estimado, em função das diferenças que os grupos de organismos apresentam, quanto a sua capacidade de dispersão de sementes.

Para uma área de 623 km², com predomínio de Floresta Atlântica, Ranta et al. (1998), encontraram a maioria de seus fragmentos, de um total de 1839, distantes uns dos outros, no máximo 350 m.

Para a preservação dos remanescentes que já têm área nuclear suficiente para manter sua estrutura interna, também é necessária a interação e, principalmente, a conservação dos fragmentos que não possuem essa condição. Nas sub-bacias do Passa-Cinco, do Alto Corumbataí, do Médio Corumbataí, e do Ribeirão Claro, os fragmentos nessa condição são os menores que 40 ha e correspondem, em termos de área, a 43,0% ; 44,0%; 75,8%; e 59,0%, respectivamente, de suas florestas nativas. Na sub-bacia do Baixo Corumbataí esses fragmentos são os menores que 35 ha e equivalem em área a 52,10% de sua floresta nativa.

Nas sub-bacias do Passa-Cinco, Alto Corumbataí e Médio Corumbataí, os fragmentos que devem ser conservados (< 40 ha) podem ser divididos, quanto ao grau de proximidade, em dois grupos: os menores que 15 ha e os fragmentos entre 15 ha e 40 ha. A sub-bacia do Baixo Corumbataí diferencia-se quanto ao segundo grupo, porque seus fragmentos a serem conservados são os menores que 35 ha, enquanto que a sub-bacia do

Ribeirão Claro apresenta diferenciação em relação ao primeiro grupo: menores que 20 ha.

O primeiro grupo de fragmentos das sub-bacias tem por característica possuir alguns dos remanescentes de floresta que se apresentaram mais espalhados nas paisagem, principalmente aqueles menores que 1 ha, mesmo tendo moda de 20 metros para o índice de distância (NEAR).

Os fragmentos com área inferior a 1 ha têm tamanho reduzido associado à ausência de área nuclear e forma circular. Essas características contribuem para a inexistência de uma estrutura interna e os tornam sujeitos à total influência da matriz.

Os fragmentos entre 1 ha e 15 ha e, no caso da sub-bacia do Ribeirão Claro, entre 1 ha e 20 ha, têm área nuclear que representa pelo menos 50% de sua área total, mas como essa área não é suficiente para manter sua estrutura, quando isolados tendem a ser extintos.

Metzger (1997) ressalta a importância da proximidade entre remanescentes de floresta e cita que, os fragmentos com área superior a 0,72 ha têm condições de assumir uma importante função na conexão florestal, visto serem úteis à locomoção de animais e dispersão de sementes na paisagem.

Turner et al. (1996) citam que, em fragmentos de floresta de Mata Atlântica com 4 ha, aproximadamente 50% de suas espécies tornaram-se extintas no último século.

Na sub-bacia do Passa-Cinco, os fragmentos menores que 15 ha merecem atenção especial em algumas regiões, como as próximas aos limites sul e sudoeste dessa sub-bacia, em que se observa a baixa concentração de remanescentes de floresta e a predominância de culturas agrícolas, nesse caso a cana-de-açúcar.

Na sub-bacia do Alto Corumbataí, a condição dos fragmentos menores que 15 ha é agravada principalmente para aqueles concentrados próximos ao limite sul dessa sub-bacia que, conforme observado no mapa de vegetação (Figura 40), é a região com menor número de fragmentos de floresta.

Na sub-bacia do Médio Corumbataí, esses fragmentos (< 15 ha) representam em área 58,4%, de sua floresta nativa. Sua importância para a estrutura florestal é

ressaltada quando se observa que os fragmentos a serem preservados representam somente 24,2% de sua floresta nativa (Figura 46), o que torna eminente, para essa paisagem, a necessidade de conservação e recuperação florestal. Nessa sub-bacia a fragmentação florestal tem como agravante ainda, a presença da área urbana, que ocupa aproximadamente 7% da área total dessa sub-bacia.

Nas sub-bacias do Ribeirão Claro e Baixo Corumbataí, esses fragmentos também representam, em termos de área a maior parte dos fragmentos que devem ser conservados: 47,3% (Figura 47), e 34,8% (Figura 48). Nessas paisagens, a função desses remanescente de promover a conexão florestal, é agravada pelo uso e cobertura do solo.

A cana-de-açúcar tem área que corresponde a 39,29% do total da sub-bacia do Ribeirão Claro, e 49,30% do total do Baixo Corumbataí. A cana-de-açúcar tem em seu manejo, operações como a utilização do fogo na colheita, que contribui para o aumento do efeito de borda em fragmentos de floresta. Outro ponto negativo associado à cana-de-açúcar é o fato de se constituir em uma vegetação de baixa porosidade, porque inibe a dispersão de sementes e o trânsito de animais, fatores importantes à conexão florestal.

Na Bacia do Rio Corumbataí, as regiões com predomínio de cana-de-açúcar foram classificadas, por Vettorazzi et al. (2000), como de alto risco de incêndios florestais.

A respeito dos fragmentos entre 15 ha e 40 ha, eles apresentam nas sub-bacias do Passa-Cinco e Alto Corumbataí, os menores valores para amplitude de classe e mediana: 20 m a 134 m, e 20 m a 85 m, respectivamente. Essa condição também ocorre na sub-bacia do Ribeirão Claro, para os fragmentos entre 20 ha e 40 ha (20 m a 72 m) e, na sub-bacia do Baixo Corumbataí, para os fragmentos entre 15 ha e 35 ha (20 m a 60 m).

Quando comparado aos fragmentos menores que 15 ha, esse grupo apresenta forma mais irregular, contudo maior área nuclear, principalmente os maiores. Dessa maneira estão menos sujeitos às ações da matriz (menor efeito de borda). Eles facilitam a troca de material genético e o deslocamento de animais pela paisagem (menor NEAR). Com ações conservacionistas, eles têm maior probabilidade que os menores que 15 ha, de progredirem a uma situação de estabilidade de sua estrutura interna. As ações

conservacionistas, nesse grupo, devem ter em vista a diminuição do efeito da matriz, principalmente daqueles próximos às culturas agrícolas.

A estrutura florestal das sub-bacias do rio Passa-Cinco e Alto Corumbataí, de acordo com os índices de ecologia da paisagem, apresentaram algumas diferenciações em relação à estrutura das sub-bacias do Médio Corumbataí, do Ribeirão Claro, e do Baixo Corumbataí. Essas diferenciações são conseqüências da composição e configuração de das florestas nativas dessas paisagens e são evidenciadas observando-se a proporção de suas áreas de floresta que devem ser preservadas e conservadas.

Nas sub-bacias do Médio Corumbataí, do Ribeirão Claro, e Baixo Corumbataí, os índices apontaram para uma estrutura com predominância de fragmentos menores que 15 ha. No Médio Corumbataí, o índice de distância média (MPI =33,72) indicou ainda que, seus fragmentos de floresta nativa, independentemente da classe de área a que pertencem, estão mais distantes uns dos outros e, portanto, sujeitos aos outros usos e ocupações do solo, que nas sub-bacias do Ribeirão Claro (86,53), do Baixo Corumbataí (147,25), do Alto Corumbataí (328,98), e do Passa-Cinco (369,36).

Na Figura 49 pode-se observar que as sub-bacias que apresentam maior percentual de sua área de floresta nativa com características favoráveis à preservação florestal, são as que têm essa condição, em termos de área total.

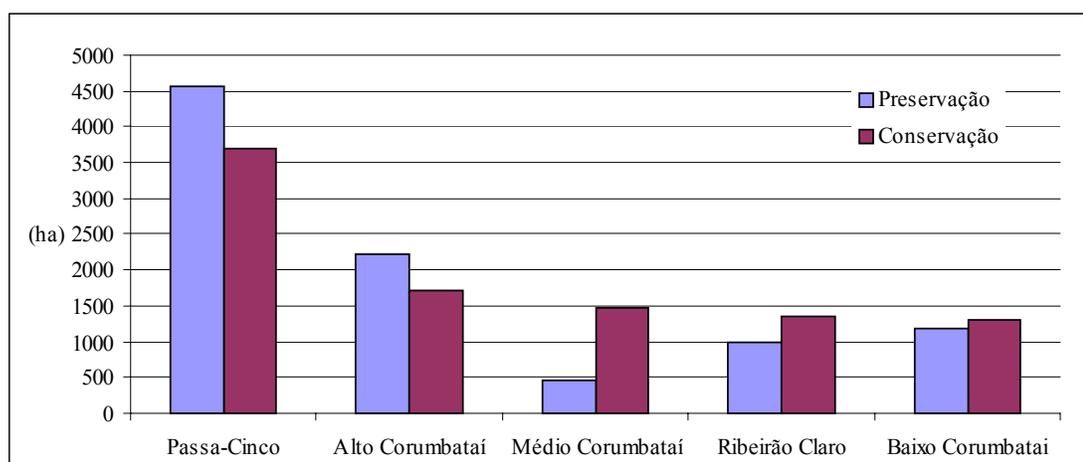


Figura 49 – Área para preservação e conservação dos fragmentos de floresta nativa das sub-bacias, com base na área nuclear (CORE).

Na estrutura florestal das sub-bacias do rio Passa-Cinco, Alto Corumbataí e Ribeirão Claro, como outro componente tem-se a vegetação de cerrado.

Na sub-bacia do rio Passa-Cinco, essa vegetação não tem uma estrutura florestal estabelecida, mas contribui para a locomoção de animais na paisagem, colaborando para a dispersão de sementes. Seus fragmentos apresentaram forma menos irregular e maior área nuclear que os fragmentos de floresta nativa, mas estão mais distantes uns dos outros. Pode-se assim dizer que, o número de fragmentos de cerrado e, principalmente a distância entre eles, não contribuem para a perpetuação desse tipo de vegetação no Passa-Cinco.

No mapa de uso e cobertura do solo (Figura 8) nota-se que os remanescentes de cerrado estão próximos às regiões onde predomina a cana-de-açúcar, o que contribui para o aumento do efeito de borda. Para a manutenção desses remanescentes são necessárias ações conservacionistas, como por exemplo a criação de zonas de proteção ao redor desses fragmentos, para ter-se a diminuição do efeito de borda e mecanismos para a diminuição do seu grau de isolamento dentro dessa sub-bacia, principalmente em relação aos seus maiores remanescentes, que estão localizado na sub-bacia do Alto Corumbataí.

Na sub-bacia do Alto Corumbataí, a vegetação de cerrado representa 78,24% do total desse tipo de vegetação da Bacia do Corumbataí e tem importância não só pelo uso do solo florestal, mas por contribui com a qualidade dos remanescentes de floresta nativa.

A vegetação de cerrado tem características quanto a composição florística e desenvolvimento vegetacional que as difere das outras formações florestais, como no caso a floresta semidecídua.

Gibbs et al. (1983) citam que a florística e a fisionomia dos fragmentos de cerrado, diferem de acordo com o grau de intervenção humana a que foram submetidos, como intensidade de queimadas e limpeza, além de outras causas naturais de perturbação. Os autores colocam que fragmentos de cerrado conseguem manter sua estrutura, mesmo quando submetidos a fortes pressões antrópicas em paisagens agrícolas

e que o fogo é um dos fatores mais importantes na abertura da estrutura desse tipo de vegetação.

Para Cole (1986) e Ratter (1991), a estrutura de um fragmento de cerrado pode devolver-se para uma condição de floresta mesófila, após muitas décadas de fogo e cortes de proteção.

Para a vegetação de cerrado torna-se portanto complexo, determinar a área nuclear mínima necessária para que seus fragmentos sejam considerados remanescentes da biodiversidade e tenham condições de manter sua própria estrutura interna. Sabe-se, porém, que os maiores fragmentos e que não estão isolados em uma paisagem, têm melhores condições de se manterem do que os menores e mais isolados.

Considerando uma área nuclear mínima (30 ha) semelhante à necessária para os fragmentos de floresta nativa, tem-se em área 48,8% do total de cerrado, nessas condições. Esses fragmentos pertencem ao grupo dos remanescentes que apresentam as menores distâncias entre si e têm no mínimo 40 ha de área total.

Os fragmentos menores que 40 ha podem ser divididos em dois grupos, quanto à proximidade: os menores que 15 ha e os com tamanho entre 15 ha e 40 ha.

Os fragmentos menores que 15 ha são os que se encontram mais espalhados pela matriz e mais sujeitos às ações antrópicas. Eles representam 31,3% da área de cerrado dessa sub-bacia e se não forem submetidos às ações conservacionistas, são os que têm maiores probabilidades de extinção. A área dos fragmentos entre 15 ha e 40 ha representa 19,9% da área total de cerrado do Alto Corumbataí e no que se refere a distância, pertencem ao grupo dos fragmentos com menores amplitudes de classe dessa sub-bacia (>15 ha).

A sub-bacia do Alto Corumbataí possui, portanto, uma estrutura florestal composta por floresta nativa e cerrado. As ações conservacionistas e preservacionistas para essa paisagem, devem ter em vista esses dois tipos de vegetação, que estão em constante interação e exercem funções complementares. Seus fragmentos variam de tamanho, mas existem os fragmentos, necessários a manutenção da sua estrutura florestal.

Para alguns casos, nota-se no mapa de vegetação dessa sub-bacia, que os fragmentos de cerrado estão unidos aos fragmentos de floresta nativa. Nessas situações os cerrados estão colaborando para a diminuição do efeito de borda dos fragmentos de floresta nativa e, portanto, para a melhoria da qualidade desses fragmentos.

Considerado os fragmentos de cerrado e floresta nativa como um único fragmento, quando estão unidos, tem-se aumento no índice de área nuclear (TCAI). Para a floresta nativa esse índice foi de 70% e quando se considera floresta nativa e cerrado como um único fragmento, esse índice passa a ser de 74%. Para as outras sub-bacias que têm fragmentos de cerrado, observou-se que no Passa-Cinco o índice manteve-se inalterado (fragmentos não unidos) e no Ribeirão Claro passou de 68% para 69%. A menor alteração no Ribeirão Claro é função do número de fragmentos de cerrado (14) que essa sub-bacia possui.

Na sub-bacia do Ribeirão Claro, os fragmentos de cerrado têm forma menos irregular e maior área nuclear que os fragmentos de floresta nativa e estão mais próximos uns aos outros que o observado para as outras sub-bacias.

No mapa de vegetação dessa sub-bacia (Figura 37) pode-se observar ainda que estão concentrados próximos ao limite com a sub-bacia do Alto Corumbataí. No entanto, o número reduzido de fragmentos (14) e o tipo de vizinhança que possuem, onde predominam as culturas agrícolas, os deixam mais susceptíveis à fragmentação e ao aumento do efeito de borda.

Para a continuidade desse tipo de vegetação no Ribeirão Claro seriam necessárias ações para minimizar o efeito de borda e, a longo prazo, os uni-los aos maiores fragmentos desse tipo de vegetação (Alto Corumbataí).

5 CONCLUSÕES

Para as condições específicas em que foi realizado o presente trabalho, foi possível concluir que:

1. A classificação supervisionada das imagens orbitais (SPOT e LANDSAT), utilizando o algoritmo de máxima verossimilhança, mostrou-se eficiente para a obtenção do mapa de uso e cobertura do solo da Bacia do Rio Corumbataí.
2. Com o mapa de uso e cobertura do solo foi possível caracterizar quantitativamente, em termos de área e número de fragmentos, a vegetação florestal nativa e de cerrado da bacia, mas para a caracterização da composição e da configuração dessa vegetação foram necessários os índices de ecologia da paisagem. Os grupos de índices que se mostraram eficientes a essa caracterização foram os de área; de densidade tamanho e variabilidade métrica; forma; área nuclear; proximidade; e de dispersão e justaposição.
3. As caracterizações quantitativas realizadas por meio de índices em nível de fragmentos, mostraram-se mais eficientes para a definição do padrão das classes de vegetação, do que os índices que fizeram essa caracterização em nível de classe. A maior eficiência do primeiro grupo de índices é função da alta variabilidade das características dos fragmentos que compõem as classes de vegetação floresta nativa e cerrado das sub-bacias.
4. Os índices de ecologia da paisagem, quando avaliados isoladamente, permitiram concluir que a área nuclear de um fragmento é função de sua forma e do seu efeito

de borda. O efeito de borda, por sua vez, é consequência do grau de isolamento desse fragmento e do tipo de matriz em que está inserido.

5. Os índices, quando analisados; em conjunto, permitiram a caracterização da estrutura florestal das sub-bacias da Bacia do Rio Corumbataí e a avaliação dessas áreas, sob o ponto de vista da preservação e da conservação florestal.
6. Avaliando a área florestal das sub-bacias sob o ponto de vista da preservação e da conservação florestal, pode-se concluir que as sub-bacias do Passa-Cinco e Alto Corumbataí têm um padrão de estrutura florestal com predominância de fragmentos aptos à preservação. Essa condição é consequência de possuírem fragmentos com área nuclear suficiente para manter sua estrutura interna e a estabilidade da estrutura florestal da paisagem em que estão inseridos. As sub-bacias do Ribeirão Claro, Baixo Corumbataí e, principalmente, do Médio Corumbataí, apresentam estrutura florestal com a maioria de fragmentos que devendo ser conservados. Os fragmentos que possuem a área mínima necessária à autossustentabilidade não são suficientes, em número, para manter a estabilidade dessas paisagens.

ANEXOS

ANEXO A: Índices de forma (SHAPE e FRACT) – Tabelas

Tabela 24. Índices de forma (SHAPE e FRACT) para os fragmentos de floresta nativa da sub-bacia do Passa-Cinco

Classe (ha)	SHAPE	mediana	Moda	FRACT	mediana	moda
<1	1,0 - 1,3	1,2	1,0	1,0 - 1,2	1,0	1,0
1 – 5	1,1 - 3,9	1,6	1,5	1,0 - 1,3	1,1	1,1
5 – 10	1,2 - 4,1	1,9	1,9	1,0 - 1,2	1,1	1,1
10 – 15	1,4 - 3,4	2,3	1,9	1,1 - 1,2	1,1	1,1
15 - 20	1,7 - 4,0	2,5	2,6	1,1 - 1,2	1,2	1,2
20 – 25	2,0 - 3,7	2,7	2,5	1,1 - 1,2	1,2	1,2
25 – 30	1,6 - 5,0	2,9	*	1,1 - 1,3	1,2	1,2
30 – 35	2,1 - 3,2	3,0	3,0	1,1 - 1,2	1,2	1,2
35 – 40	2,2 - 4,7	3,3	3,3	1,1 - 1,2	1,2	1,2
40 – 45	3,3 - 4,2	3,4	*	1,2	1,2	1,2
45 – 50	3,0 - 4,4	3,6	--	1,2	1,2	--
50 – 55	3,3 - 4,3	3,8	--	1,2	1,2	--
55 – 60	1,7 - 3,8	3,1	*	1,1 - 1,2	1,2	1,2
60 – 65	3,94	3,9	--	1,21	1,2	--
70 – 75	4,0 - 5,5	4,8	--	1,2 - 1,3	1,2	--
75 – 80	4,62	4,6	--	1,23	1,2	--
80 – 85	4,6 - 7,4	6,0	*	1,2 - 1,3	1,3	1,3
> 85	1,9 - 9,3	6,6	6,9	1,1 - 1,3	1,3	1,3

* = não existem valores iguais.

Tabela 25. Índices de forma (SHAPE e FRACT) para os fragmentos de floresta nativa da sub-bacia do Alto Corumbataí.

Classe (ha)	SHAPE	mediana	Moda	FRACT	Mediana	moda
<1	1,0 - 2,8	1,2	1,0	1,0 - 1,2	1,0	1,0
1 - 5	1,1 - 2,6	1,5	1,4	1,0 - 1,2	1,1	1,1
5 – 10	1,3 - 2,8	2,1	2,6	1,1 - 1,2	1,1	1,1
10 - 15	1,4 - 3,0	2,3	2,4	1,1 - 1,2	1,1	1,2
15 – 20	1,7 - 3,0	2,5	3,0	1,1 - 1,2	1,1	1,2
20 – 25	2,7 - 3,9	3,1	*	1,2	1,2	1,2
25 – 30	2,1 - 3,4	2,9	*	1,1 - 1,2	1,2	1,2
30 – 35	2,5 - 4,0	3,1	*	1,1 - 1,2	1,2	1,2
40 – 45	3,3	3,3	--	1,2	1,2	--
50 – 55	3,3 - 4,0	3,7	--	1,2	1,2	--

Tabela 25. Índices de forma (SHAPE e FRACT) para os fragmentos de floresta nativa da sub-bacia do Alto Corumbataí.

55 – 60	3,9	3,9	--	1,2	1,2	--
60 – 65	3,7	3,7	--	1,2	1,2	--
65 – 70	4,4	4,4	--	1,2	1,2	--
80 – 85	3,5	3,5	--	1,2	1,2	--
>85	4,1 - 8,3	6,5	*	1,2 - 1,3	1,3	1,3

* = não existem valores iguais.

Tabela 26. Índices de forma (SHAPE e FRACT) para os fragmentos de floresta nativa da sub-bacia do Médio Corumbataí.

Classe (ha)	SHAPE	Mediana	moda	FRACT	Mediana	moda
<1	1,0 - 2,0	1,1	1	1,0 - 1,2	1,0	1,0
1 - 5	1,1 - 2,7	1,5	1,27	1,0 - 1,2	1,0	1,0
5 - 10	1,3 - 2,7	1,9	1,88	1,0 - 1,2	1,1	1,1
10 - 15	1,4 - 3,3	2,2	1,4	1,1 - 1,2	1,1	1,1
15 - 20	1,8 - 2,8	2,4	*	1,1 - 1,2	1,1	1,1
20 - 25	1,9 - 3,5	3,2	3,5	1,1 - 1,2	1,2	1,2
25 - 30	1,8 - 2,4	2,1	--	1,1	1,1	--
30 - 35	2,0 - 3,7	2,8	*	1,1 - 1,2	1,2	1,2
35 - 40	4,0	4,0	--	1,2	1,2	--
40 - 45	2,8	2,8	--	1,2	1,2	--
45 - 50	2,6 - 3,3	2,9	--	1,2	1,1	--
>85	2,2 - 6,0	2,6	*	1,1 - 1,3	1,14	1,1

* = não existem valores iguais.

Tabela 27. Índices de forma (SHAPE e FRACT) para os fragmentos de floresta nativa da sub-bacia do Ribeirão Claro.

Classe (ha)	SHAPE	mediana	moda	FRACT	mediana	moda
<1	1,0 - 2,3	1,2	1	1,1 - 1,2	1,0	1
1 - 5	1,0 - 2,7	1,5	1,4	1,0 - 1,2	1,1	1,1
5 - 10	1,2 - 2,9	1,9	1,9	1,0 - 1,2	1,1	1,1
10 - 15	1,2 - 3,3	1,8	2,5	1,0 - 1,2	1,1	1,2
15 - 20	1,5 - 3,0	2,5	2,8	1,1 - 1,2	1,2	1,2
20 - 25	1,5 - 2,7	2,1	1,7	1,1 - 1,2	1,1	1,2
25 - 30	2,2 - 3,2	2,7	--	1,1 - 1,2	1,2	--
30 - 35	2,5	2,5	--	1,1	1,1	--
45 - 50	2,96 - 3,1	3,0	--	1,2	1,2	--

Tabela 27. Índices de forma (SHAPE e FRACT) para os fragmentos de floresta nativa da sub-bacia do Ribeirão Claro.

50 - 55	2,6 - 2,9	2,8	*	1,1 - 1,2	1,2	1,2
55 - 60	2,3	2,3	--	1,1	1,1	--
60 - 65	4,7	4,7	--	1,2	1,2	--
70 - 75	3,1	3,1	--	1,2	1,2	--
> 85	1,3 - 5,2	4,5	*	1,0 - 1,2	1,2	1,2

* = não existem valores iguais.

Tabela 28. Índices de forma (SHAPE e FRACT) para os fragmentos de floresta nativa da sub-bacia do Baixo Corumbataí.

Classe (ha)	SHAPE	mediana	Moda	FRACT	Mediana	moda
<1	1,0 - 2,2	1,2	1,0	1,0 - 1,2	1,0	1,0
1 - 5	1,1 - 2,9	1,5	1,3	1,0 - 1,2	1,1	1,1
5 - 10	1,3 - 3,0	2,1	2,5	1,0 - 1,2	1,1	1,2
10 - 15	1,4 - 3,2	2,6	2,7	1,1 - 1,2	1,2	1,2
15 - 20	1,9 - 2,9	2,2	*	1,1 - 1,2	1,1	1,1
20 - 25	2,8 - 3,0	2,9	--	1,2	1,2	--
25 - 30	2,7	2,7	--	1,2	1,2	--
30 - 35	3,7	3,7	--	1,2	1,2	--
35 - 40	1,9	1,9	--	1,1	1,1	--
40 - 45	1,9 - 3,1	2,4	*	1,1 - 1,2	1,1	1,1
45 - 50	2,3 - 3,2	3,1	*	1,1 - 1,2	1,2	1,2
50 - 55	2,1 - 3,6	2,5	*	1,1 - 1,2	1,1	1,1
55 - 60	3,0 - 3,9	3,5	--	1,2	1,2	--
60 - 65	2,8	2,8	--	1,2	1,2	--
> 85	3,7 - 6,1	4,2	*	1,2	1,2	1,2

* = não existem valores iguais.

Tabela 29. Índices de forma (SHAPE e FRACT) para os fragmentos de cerrado da sub-bacia do rio Passa-Cinco.

Classe (ha)	SHAPE	mediana	moda	FRACT	mediana	moda
<1	1 - 1,2	1,1	1	1 - 1,2	1,0	1,0
1, - 5	1,2 - 2,2	1,5	1,5	1,0 - 1,2	1,1	1,1
5, - 10	1,4 - 2,1	1,6	*	1,1 - 1,1	1,1	1,1
10, - 15	1,7 - 2,4	2,1	--	1,1 - 1,2	1,1	--
15 - 20	1,5	1,5	--	1,2	1,1	--
20 - 25	2,5	2,5	--	1,2	1,2	--
25 - 30	2,1	2,1	--	1,1	1,1	--

Tabela 29. Índices de forma (SHAPE e FRACT) para os fragmentos de cerrado da sub-bacia do rio Passa-Cinco.

30 - 35	1,5	1,5	--	1,1	1,1	--
40 - 45	1,6 - 1,8	1,7	--	1,1 - 1,1	1,1	--
55 - 60	1,8 - 2,6	2,2	--	1,1 - 1,1	1,1	--

* = não existem valores iguais.

Tabela 30. Índices de forma (SHAPE e FRACT) para os fragmentos de cerrado da sub-bacia do Alto Corumbataí,

Classe (ha)	SHAPE	mediana	moda	FRACT	mediana	moda
<1	1 - 2,3	1,1	1	1 - 1,2	1,0	1
1 - 5	1,1-2,9	1,5	1,4	1,0-1,2	1,1	1,1
5 - 10	1,3-3,9	1,8	1,6	1,0-1,2	1,1	1,1
10 - 15	1,3-3,2	1,5	*	1,0-1,2	1,1	1,1
15 - 20	1,5-2,5	2,1	*	1,0-1,2	1,1	1,1
20 - 25	1,8-2,7	2,3	--	1,1-1,2	1,1	--
25 - 30	1,6-2,2	1,7	*	1,1	1,1	*
30 - 35	2,9	2,9	--	1,2	1,2	--
35 - 40	2,4-3,4	2,9	--	1,1-1,2	1,2	--
50 - 55	2,9	2,9	--	1,2	1,2	--
70 -75	1,9	1,9	--	1,1	1,1	--
80 -85	1,8	1,8	--	1,1	1,1	--
> 85	3,2-4,1	3,8	*	1,2	1,2	1,2

Tabela 31. Índices de forma (SHAPE E FRACT) para os fragmentos de cerrado da sub-bacia do Ribeirão Claro.

Classe (ha)	SHAPE	mediana	moda	FRACT	mediana	moda
<1	1,0 - 1,5	1,3	1,3	1,0 - 1,1	1,1	1,1
1 - 5	1,5 - 2,6	2,0	--	1,1 - 1,2	1,1	--
5 - 10	1,6	1,6	--	1,1	1,1	--
25 - 30	2,3	2,3	--	1,1	1,1	--
30 - 35	1,7	1,7	--	1,1	1,1	--

ANEXO B: Índice de área nuclear (CORE) – Tabelas

Tabela 34. Área nuclear para os fragmento de floresta nativa da sub-bacia do Passa-Cinco.

Classe (ha)	CORE (ha)	Mediana(ha)	Moda (ha)
<1	0,0 - 0,4	0,0	0,0
1 - 5	0,0 - 3,6	0,8	0,4
5 - 10	1,5 - 7,4	4,0	2,8
10 - 15	4,1 - 11,8	8,2	7,2
15 - 20	7,0 - 14,4	12,3	11,8
20 - 25	12,5 - 17,7	15,2	*
25 - 30	15,8 - 21,0	18,2	*
30 - 35	20,8 - 26,2	22,8	*
35 - 40	22,4 - 30,0	26,3	*
40 - 45	27,5 - 31,6	30,9	*
45 - 50	30,9 - 36,9	34,8	--
50 - 55	35,5 - 40,9	38,2	--
55 - 60	42,7 - 51,3	44,2	*
60 - 65	45,6	45,6	--
70 - 75	48,0 - 52,0	50,0	--
75 - 80	56,2	56,2	--
80 - 85	47,3 - 57,2	54,6	*
> 85	65,4 - 586,6	163,6	1,3

* = não existem valores iguais.

Tabela 35. Área nuclear para os fragmento de floresta nativa da sub-bacia do Alto Corumbataí.

Classe (ha)	CORE (ha)	Mediana (ha)	Moda (ha)
<1	0,0 - 0,4	0,0	0,0
1 - 5	0,1 - 3,4	0,8	0,5
5 - 10	2,2 - 6,2	3,9	3,5
10 - 15	5,4 - 11,6	7,9	7,0
15 - 20	11,4 - 14,8	12,2	*
20 - 25	12,2 - 15,8	13,6	*
25 - 30	17,5 - 23,4	18,3	*
30 - 35	19,3 - 26,5	22,8	*
40 - 45	29,9	29,9	--
50 - 55	36,1 - 37,4	36,8	--

Tabela 35. Área nuclear para os fragmento de floresta nativa da sub-bacia do Alto Corumbataí.

55 - 60	41,8	41,8	--
60 - 65	46,6	46,6	--
65 - 70	48,6	48,6	--
80 - 85	67,0	67,0	--
>85	64,3 - 525,1	178,1	*

* = não existem valores iguais.

Tabela 36. Área nuclear para os fragmento de floresta nativa da sub-bacia do Médio Corumbataí.

Classe (ha)	CORE (ha)	Mediana (ha)	Moda (ha)
<1	0,0 - 0,4	0	0
1 - 5	0,0 - 3,2	0,8	0,4
5 - 10	2,4 - 6,5	3,9	3,4
10 - 15	6,2 - 10,8	7,8	8,9
15 - 20	10,3 - 12,8	11,6	*
20 - 25	12,6 - 17,1	13,4	*
25 - 30	19,4 - 20,1	19,8	--
30 - 35	21,6 - 25,0	24,8	*
35 - 40	25,0	25,0	--
40 - 45	32,6	32,6	--
45 - 50	34,5 - 36,4	35,4	--
>85	90,4 - 118,6	93,3	*

* = não existem valores iguais.

Tabela 37. Área nuclear para os fragmento de floresta nativa da sub-bacia do Ribeirão Claro.

Classe (ha)	CORE (ha)	Mediana (ha)	Moda (ha)
<1	0 - 0,4	0,0	0,0
1 - 5	0,0 - 3,2	0,9	0,4
5 - 10	3,0 - 7,6	4,6	3,2
10 - 15	5,7 - 11,4	3,1	10,4
15 - 20	9,1 - 14,1	12,0	13,1
20 - 25	13,7 - 20,6	15,8	*
25 - 30	19,5 - 23,0	21,2	--
30 - 35	25,2	25,2	--
45 - 50	37,3 - 39,2	38,3	--

Tabela 37. Área nuclear para os fragmento de floresta nativa da sub-bacia do Ribeirão Claro.

50 - 55	39,5 - 43,0	43,0	*
55 - 60	46,4	46,4	--
60 - 65	42,9	42,9	--
70 - 75	56,8	56,8	--
> 85	61,3 - 248,0	91,9	*

* = não existem valores iguais.

Tabela 38. Área nuclear para os fragmento de floresta nativa da sub-bacia do Baixo Corumbataí.

Classe (ha)	CORE (ha)	Mediana (ha)	Moda (ha)
<1	0,0 - 0,4	0,0	0,0
1 - 5	0,0 - 3,2	0,8	0,4
5 - 10	2,4 - 6,5	3,9	3,4
10 - 15	6,2 - 10,8	7,8	8,9
15 - 20	10,3 - 12,8	11,6	*
20 - 25	12,6 - 17,1	13,4	*
25 - 30	19,4 - 20,1	19,8	--
30 - 35	21,6 - 25,0	24,8	*
35 - 40	25,0	25,0	--
40 - 45	32,6	32,6	--
45 - 50	34,5 - 36,4	35,4	--
>85	90,4 - 118,6	93,3	*

* = não existem valores iguais.

Tabela 39. Área nuclear para os fragmento de cerrado, da sub-bacia do Passa-Cinco.

Classe (ha)	CORE (ha)	Mediana (ha)	Moda (ha)
<1	0 - 0,2	0,0	0,0
1 - 5	0,4 - 2,76	0,76	*
5 - 10	4,44 - 5,88	4,82	*
10 - 15	7,12 - 8,32	7,72	--
15 - 20	15,12	15,12	--
20 - 25	15,28	15,28	--
25 - 30	19,48	19,48	--
30 - 35	28,92	28,92	--
40 - 45	37,04 - 38,72	37,88	--
55 - 60	47,16 - 51,24	49,2	--

Tabela 40. Área nuclear para os fragmento de cerrado da sub-bacia do Alto Corumbataí.

Classe (ha)	CORE (ha)	Mediana (ha)	Moda (ha)
<1	0,0 - 0,4	0,0	0,0
1 - 5	0,1 - 3,2	0,9	0,5
5 - 10	1,7 - 6,5	4,0	3,2
10 - 15	5,6 - 11,5	8,9	*
15 - 20	11,4 - 15,8	13,8	*
20 - 25	17,2 - 19,9	18,5	*
25 - 30	19,2 - 24,4	23,8	*
30 - 35	22,6	22,6	*
35 - 40	27,3 - 31,7	29,5	*
50 - 55	42,8	42,8	*
70-75	61,2	61,2	*
80-85	73,8	73,8	*
>85	73,9 - 123,8	97,0	*

* = não existem valores iguais.

Tabela 41. Área nuclear para os fragmento de cerrado da sub-bacia do Ribeirão Claro.

Classe (ha)	CORE (ha)	Mediana (ha)	Moda (ha)
<1	0,0 - 0,2	0	0
1 - 5	0,4 - 0,5	0,4	*
5 - 10	4,2	4,2	--
25 - 30	18,6	18,6	--
30 - 35	29,2	29,2	--

* = não existem valores iguais.

ANEXO C: Índice de distância (NEAR) – Tabelas

Tabela 43. Distância entre os fragmentos (NEAR) de floresta nativa da sub-bacia do Passa-Cinco.

Classe (ha)	NEAR (m)	Mediana(m)	Moda (m)
<1	20,0 - 1001,8	56,6	20,0
1 - 5	20,0 - 584,1	60,0	20,0
5 - 10	20,0 - 379,5	60,0	20,0
10 - 15	20,0 - 198,0	40,0	20,0
15 - 20	20,0 - 72,1	40,0	20,0
20 - 25	20,0 - 126,5	20,0	20,0
25 - 30	20,0 - 134,2	28,3	20,0
30 - 35	20,0 - 56,6	28,3	56,6
35 - 40	20,0 - 72,1	20,0	20,0
40 - 45	20,0 - 44,7	20,0	20,0
45 - 50	20,0 - 100,0	34,1	--
50 - 55	20,0 - 40,0	30,0	--
55 - 60	20,0 - 128,1	40,0	*
60 - 65	20,0	20,0	--
70 - 75	20,0	20,0	--
75 - 80	20,0	20,0	--
80 - 85	20,0 - 28,3	20,0	20,0
> 85	20,0 - 254,6	20,0	20,0

* = não existem valores iguais.

Tabela 44. Distância entre os fragmentos (NEAR) de floresta nativa da sub-bacia do Alto Corumbataí.

Classe (ha)	NEAR (m)	Mediana (m)	Moda (m)
<1	20,0 - 849,7	72,1	20,0
1 - 5	20,0 - 556,1	61,6	20,0
5 - 10	20,0 - 424,3	60,0	40,0
10 - 15	20,0 - 272,0	61,6	40,0
15 - 20	20,0 - 80	20,0	20,0
20 - 25	20,0 - 80,0	38,3	20,0
25 - 30	20,0 - 84,9	24,1	20,0
30 - 35	20,0 - 40,0	40,0	20,0
40 - 45	60,0	60,0	--
50 - 55	28,3 - 44,7	36,5	--

Tabela 44. Distância entre os fragmentos (NEAR) de floresta nativa da sub-bacia do Alto Corumbataí.

55 - 60	20,0	20,0	--
60 - 65	40,0	40,0	--
65 - 70	20,0	20,0	--
80 - 85	20,0	20,0	--
>85	20,0 - 63,3	20,0	20,0

* = não existem valores iguais.

Tabela 45. Distância entre os fragmentos (NEAR) de floresta nativa, da sub-bacia do Médio Corumbataí.

Classe (ha)	NEAR (m)	Mediana (m)	Moda (m)
<1	20,0 - 910,8	80,0	20,0
1 - 5	20,0 - 722,8	60,0	20,0
5 - 10	20,0 - 545,9	56,6	20,0
10 - 15	20,0 - 220,0	56,6	20,0
15 - 20	20,0 - 134,2	59,5	*
20 - 25	44,7 - 60,0	44,7	44,7
25 - 30	20,0 - 128,1	47,5	--
30 - 35	20,0 - 72,1	20,0	20,0
35 - 40	20,0	20,0	--
40 - 45	44,7	44,7	--
45 - 50	20,0 - 84,9	52,4	--
>85	28,3 - 144,2	60,0	*

* = não existem valores iguais.

Tabela 46. Distância (NEAR) para as classes de área dos fragmentos de floresta nativa, da sub-bacia do Ribeirão Claro.

Classe (ha)	NEAR (m)	Mediana (m)	Moda (m)
<1	20,0 - 956,0	80,0	20,0
1 - 5	20,0 - 1467,1	72,1	20,0
5 - 10	20,0 - 325,6	56,6	20,0
10 - 15	20,0 - 746,7	63,3	20,0
15 - 20	20,0 - 449,4	34,1	20,0
20 - 25	20,0 - 72,1	40,0	40,0
25 - 30	20,0	20,0	--
30 - 35	28,3	28,3	--

Tabela 46. Distância (NEAR) para as classes de área dos fragmentos de floresta nativa, da sub-bacia do Ribeirão Claro.

45 - 50	20,0 – 63,2	41,6	--
50 - 55	20,0 – 140,0	56,6	*
55 - 60	20,0	20,0	--
60 - 65	20,0	20,0	--
70 - 75	40,0	40,0	--
> 85	20,0 – 63,3	32,4	20,0

* = não existem valores iguais.

Tabela 47. Distância (NEAR) para as classes de área dos fragmentos de floresta nativa, da sub-bacia do Baixo Corumbataí.

Classe (ha)	NEAR (m)	Mediana (m)	Moda (m)
<1	20,0 - 1151,7	72,1	20,0
1 - 5	20,0 - 947,6	61,6	20,0
5 - 10	20,0 - 428,0	40,0	20,0
10 - 15	20,0 - 205,9	24,1	20,0
15 - 20	20,0 - 56,6	44,7	44,7
20 - 25	20,0 - 44,7	32,4	--
25 - 30	56,6	56,6	--
30 - 35	44,7	44,7	--
35 - 40	40,0	40,0	--
40 - 45	20,0 – 60,0	28,3	*
45 - 50	20,0	20,0	20,0
50 - 55	20,0	20,0	20,0
55 - 60	20,0	20,0	--
60 - 65	20,0	20,0	--
> 85	20,0	20,0	20,0

* = não existem valores iguais.

Tabela 48. Distância entre os fragmentos (NEAR) de cerrado da sub-bacia do Passa-Cinco

Classe (ha)	NEAR (m)	Mediana (m)	Moda (m)
<1	20,0 – 1884,0	60,0	20,0
1 - 5	28,3 – 500,0	72,1	228,0
5 - 10	44,7 – 121,7	64,8	44,7

Tabela 48. Distância entre os fragmentos (NEAR) de cerrado da sub-bacia do Passa-Cinco

10 - 15	44,7 – 212,6	128,7	--
15 - 20	40,0	40,0	--
20 - 25	28,3	28,3	--
25 - 30	100,0	100,0	--
30 - 35	427,6	427,6	--
40 - 45	80,0 – 717,0	398,5	--
55 - 60	28,3 – 220,0	124,1	--

* = não existem valores iguais.

Tabela 49. Distância entre os fragmentos (NEAR) de cerrado da sub-bacia do Alto Corumbataí.

Classe (ha)	NEAR (m)	Mediana (m)	Moda (m)
<1	20,0 – 2665,4	50,6	20,0
1 - 5	20,0 -3753,3	60,0	20,0
5 - 10	20,0 -1171,8	66,1	72,1
10 - 15	20,0 -1672,0	50,0	20,0
15 - 20	40,0 – 340,0	63,3	63,3
20 - 25	40,0 – 72,1	56,1	--
25 - 30	20,0 -316,2	40,0	*
30 - 35	40,0	40,0	--
35 - 40	20,0	20,0	20,0
50 - 55	212,6	212,6	--
70 -75	40,0	40,0	--
80 -85	20,0	20,0	--
> 85	20,0	20,0	20,0

* = não existem valores iguais.

Tabela 50. Distância (NEAR) para as classes de área dos fragmentos de cerrado, da sub-bacia do Ribeirão Claro.

Classe (ha)	NEAR (m)	Mediana (m)	Moda (m)
<1	20,0 - 72,1	20,0	20,0
1 - 5	28,3 - 40,0	34,1	--
5 - 10	80,0	80,0	--
25 - 30	20,0	20,0	--
30 - 35	80,0	80,0	--

* = não existem valores iguais.

ANEXO D: Mapas da vegetação florestal natural das sub-bacias

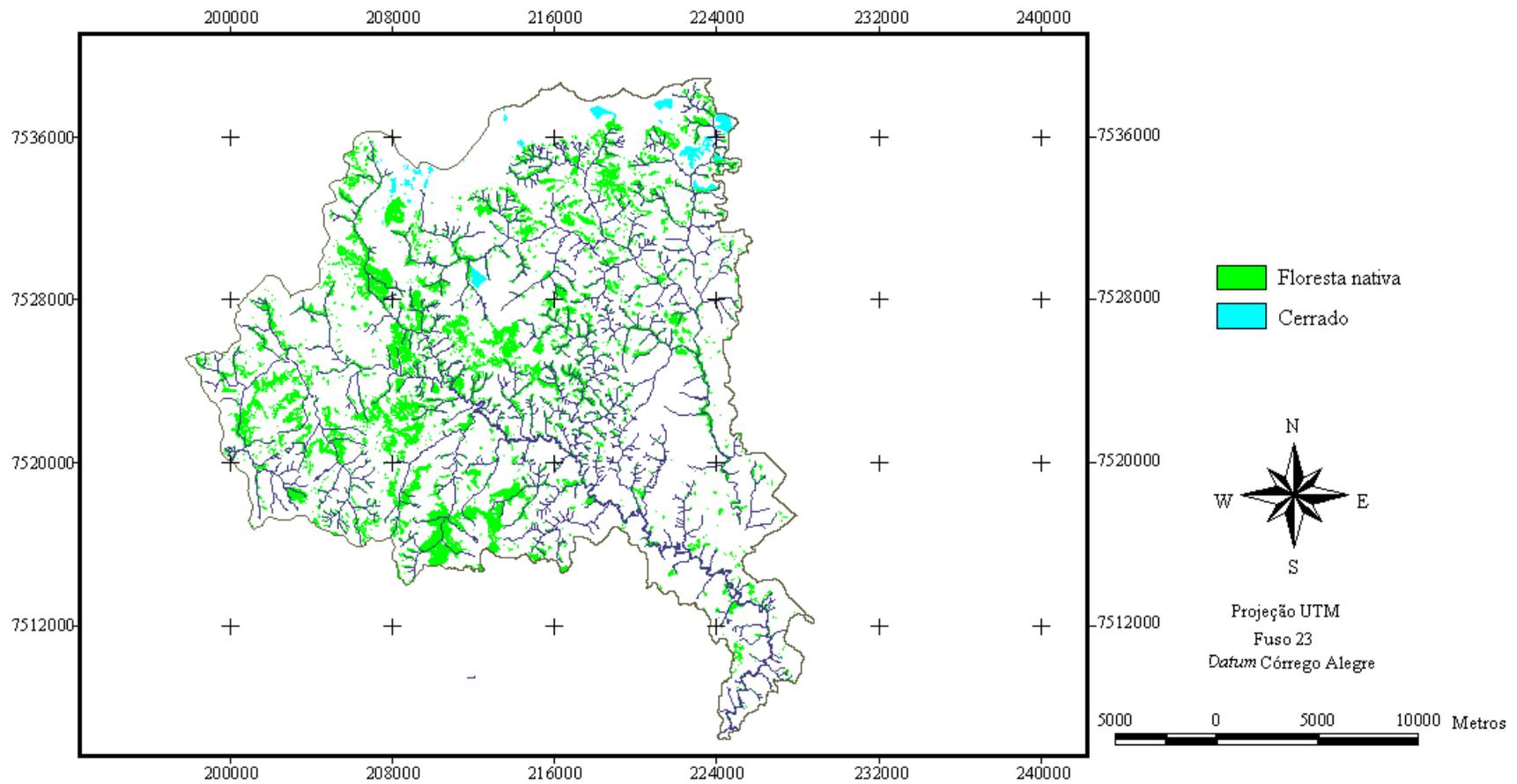


Figura 39 – Mapa de vegetação da sub-bacia do rio Passa-Cinco.

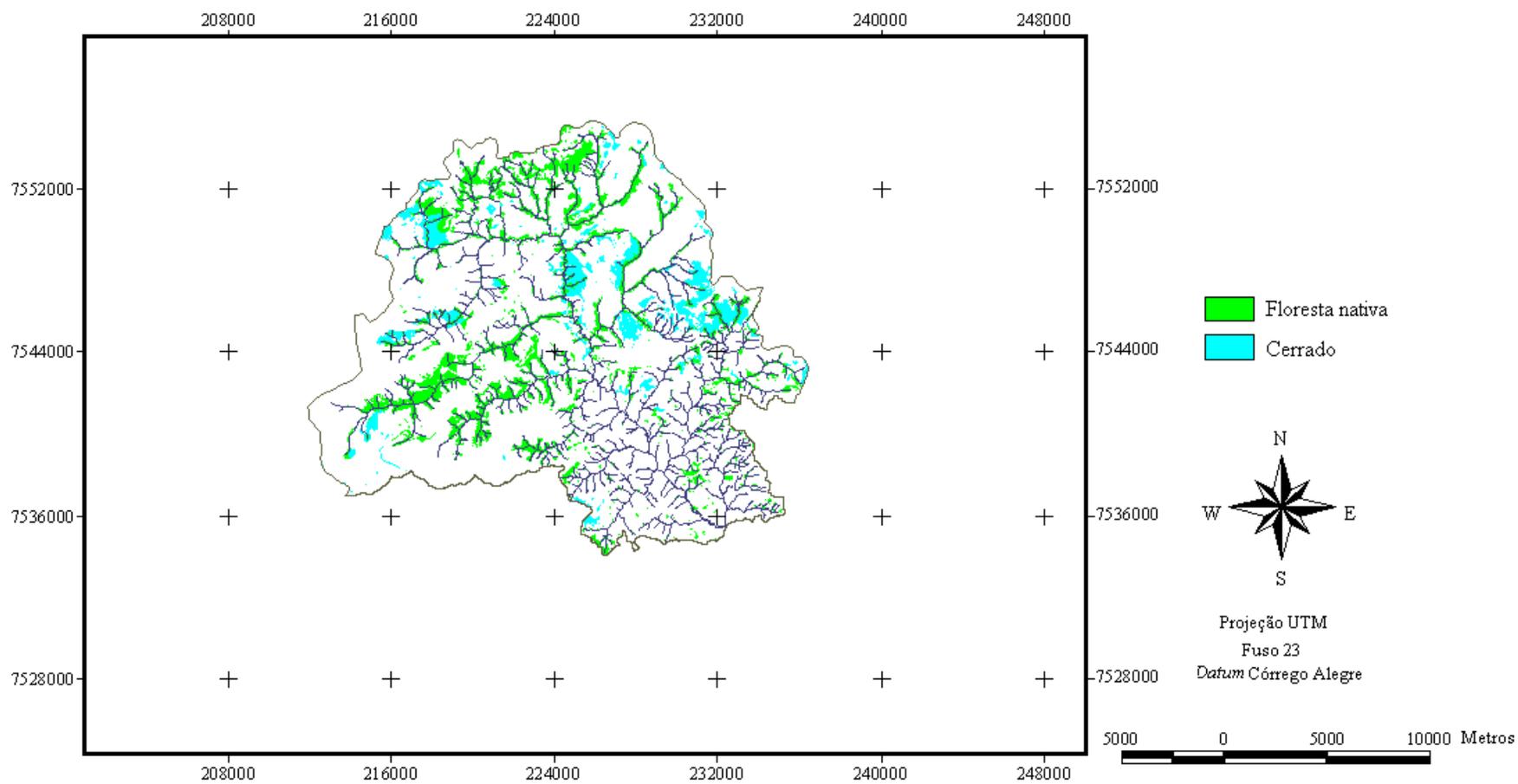


Figura 40 – Mapa de vegetação da sub-bacia do Alto Corumbataí.

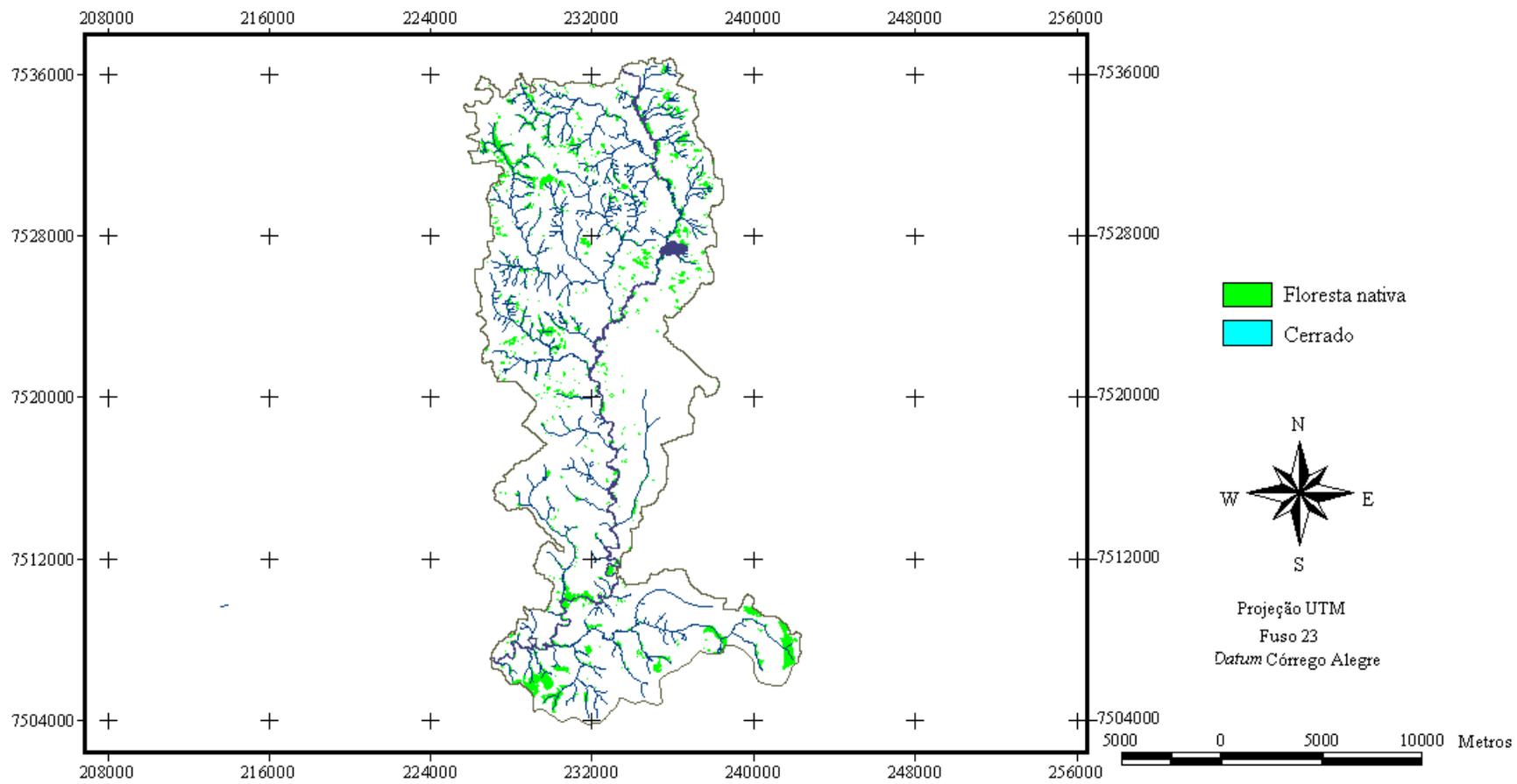


Figura 41 – Mapa de vegetação da sub-bacia do Médio Corumbataí.

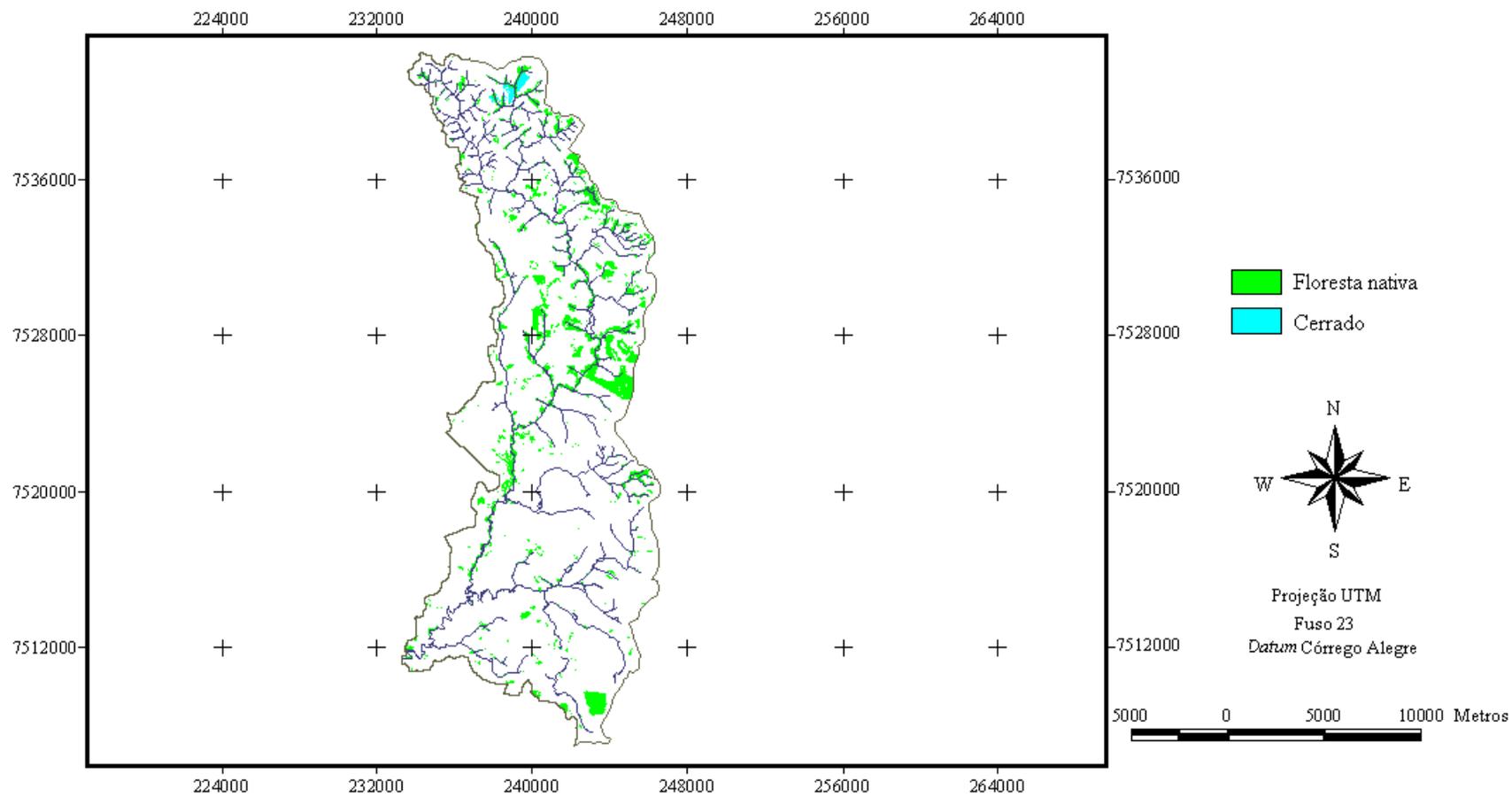


Figura 42 – Mapa de vegetação da sub-bacia do Ribeirão Claro.

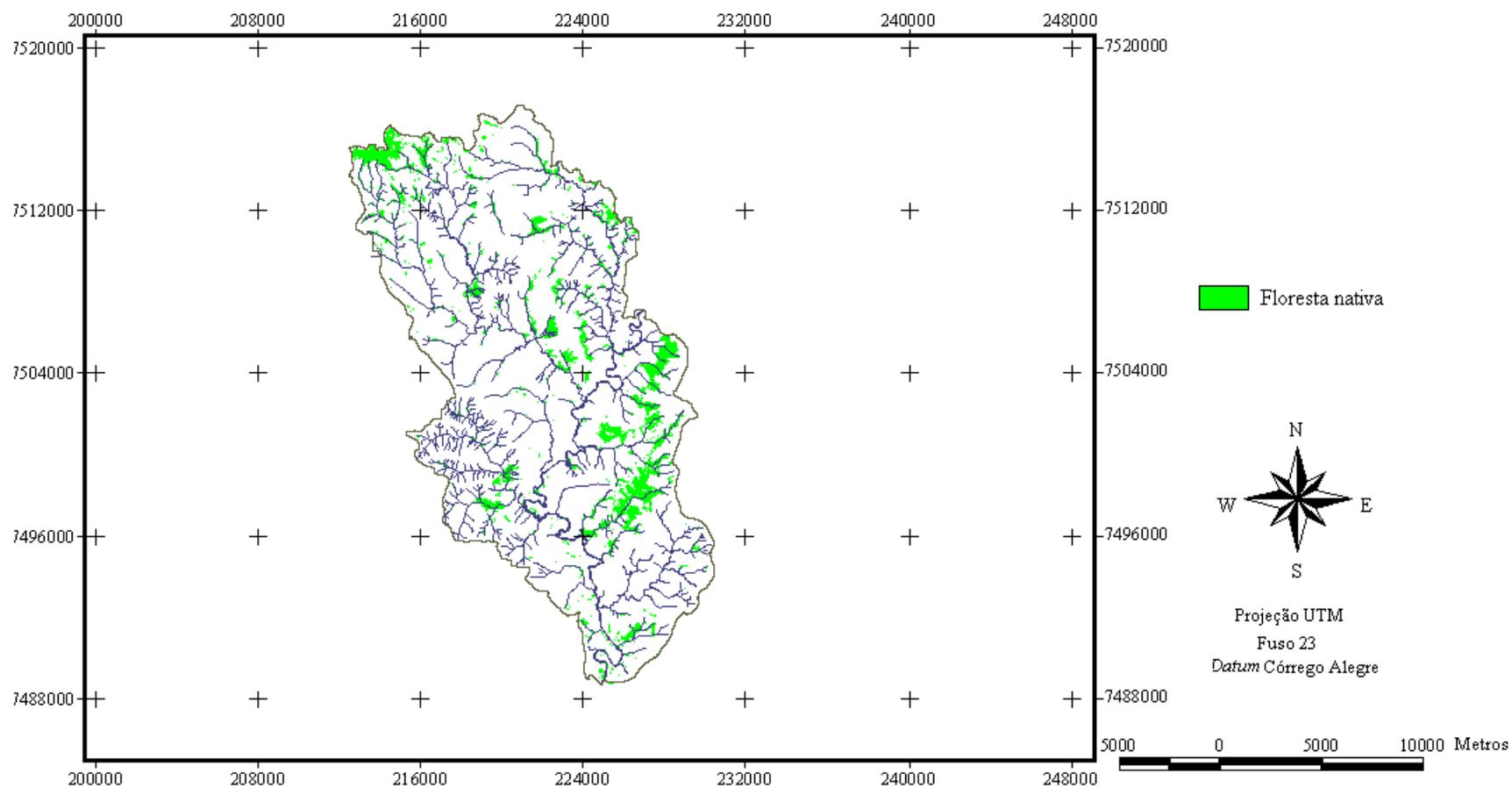


Figura 43 – Mapa de vegetação da sub-bacia do Baixo Corumbataí.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACADÊMIA DE CIÊNCIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Glossário de Ecologia**. 2. ed. São Paulo: ACIESP; CNPq; FAPESP;. Secretaria de Ciências e Tecnologia, 1997. 352 p.
- ADENIYI, P.O. Digital analysis of multitemporal Landsat data for land-use/landcover classification in semi-arid area of Nigeria. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.51, n.11. p. 1761-1774, 1985.
- ALVES, D.S. Sistema de informação geográfica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO,1., São Paulo, 1990. **Anais**. São Paulo: USP, Escola Politécnica, 1990. p.66-78.
- ANDERSON, J.R.; HARDY, E.E.; ROACH, J.T.; WITMER, R.E. **A land use and land cover classification system for use with remote sensor data**. Washington: USGS, 1979. 28p.
- BAKER, W.L. Landscape ecology and nature reserve design in the boundary Waters Canoe area, Minnesota. **Ecology**, v. 70, p. 23-35, 1989.
- BAKER, W.L.; CAI, Y. The role programs for multiscale analysis of landscape structure using the GRASS geographical information system. **Landscape Ecology**, v.7, p.291-302, 1992.
- BASKENT, E.Z. Assessment of structural dynamics in forest landscape management. **Canadian Journal of Forestry Research**, v.27, n.10, p.1675-84, Oct.1997.
- BENDER, D.J.; CONTRERAS, T.A.; FAHRIG,L. Habitat loss and population decline: a metaanalysis of patch size effect. **Ecology**, v.79,n. 2, p.517-533, 1998.

- BORGESA, J.G.; HOGANSON, H.M. Structuring a landscape by forestland classification and harvest scheduling spatial constraints. **Forest Ecology and Management**, v.130, p.269-275, 2000.
- BRITO, C.M.S. Estudo exploratório da distribuição espacial dos fragmentos florestais na bacia hidrográfica do rio Corumbataí – São Paulo. São Carlos, 2001. 79 p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- BROWN, D.G.; DUH, J.D.; DRZYZGA, S.A. Estimating error in an analysis of forest fragmentation change using north-american landscape characterization (NALC) data. **Remote Sensing of Environment**, v. 71, p.106-117, 2000.
- BURROUGH, P.A. **Principles of geographical information systems for land resources assessment**. Oxford: Clarendon Press, 1988. 194p.
- CÂMARA, G.; MEDEIROS, J.S. Mapa e suas representações computacionais. In: ASSAD, E.D.; SANO, E.E. **Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura**. Brasília: Embrapa, SPI; Embrapa, CPAC, 1998. cap.3. p.31-43.
- CAMPBELL, J.B. **Introduction to remote sensing**. New York: The Guilford, 1987. 551p.
- CHEN, J.; FRANKLIN, J.P. Microclimatic pattern and basic biological responses at the clearcut edges of old-growth Douglas-fir stands. **Northwest Environmental Journal**, v. 6, p. 424-425. 1990.
- COLE, M.M. **The savannas: biogeography and geobotany**. London: Academic Press, 1982. 443 p.
- CONGALTON, R.G.; ODERWALD, R.G.; MEAD, R.A. Assessing Landsat classification accuracy using discrete multivariate analysis statistical techniques. **Photogrametric Engineering and Remote Sensing**, v. 49, n.12, p.1671-1678, 1983.
- COUTINHO, L.M. Contribuição ao conhecimento do papel ecológico das queimadas na floração de espécies de cerrado. São Paulo, 1976.173p. Tese (Livre-Docência). Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo.

- COUTINHO, L.M. O conceito do cerrado. **Revista Brasileira de Botânica**, v.1, n.1, p.17-24, 1978.
- CRÓSTA, A.P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas: IG; UNICAMP, 1993. 170p.
- DUNNING, J.B.; DANIELSON, B.J.; PULLIAM, H.R. Ecological processes that affect populations in complex landscape. **Oikos**, v. 65, p. 169-175, 1992.
- DUNSTER, J.; DUNSTER, K. **Dictionary of natural resource management**. Vancouver: University of British Columbia, 1996. 379 p.
- EASTMAN, J.R. **Idrisi for windows user's guide**. Worcester: Clark University, 1995. 109p.
- FARINA, A. **Principles and methods in landscape ecology**. Londres: Chapman & Hall, 1998. 235 p.
- FORMAN, R.T.T.; GODRON, M. **Landscape ecology**. New York: John Wiley, 1986. 619 p.
- FORMAN, T.T. **Land mosaics: the ecology of landscapes and regions**. New York: Cambridge University, 1997. 632 p.
- GARCIA, L.B.R. **Ocupação e desenvolvimento econômico da Bacia do Corumbataí – séculos XVIII a XX**. DEPLAN/IGCE/UNESP, Rio Claro, 2000; atlas ambiental da Bacia do rio Corumbataí. www.rc.unesp.br/igce/ceapla. (02 set. 2001).
- GIBBS, P.E.; LEITÃO FILHO, H.F.; SHEPHERD, G. Floristic composition and community structure in a area of cerrado in SE Brazil. **Flora**, v. 173, p.433-449, 1983.
- GRIFFITH, J.A.; MATINKO, E. A.; PRICE, K.P. Landscape structure analysis of Kansas at three scales. **Landscape and Urban Planning**, v. 52, p.45-61, 2000.
- GUSTAFSON, E.J.; PARKER, G.R. Relationship between landcover proportion and indices of landscape spatial pattern. **Landscape Ecology**, v. 7, p.101-110, 1992.
- HARGIS, C.D.; BISSONETTE, J.A.; DAVID, J.L. The behavior of landscape metrics commonly used in the study of habitat fragmentation. **Landscape Ecology**, v. 13, p.167-186, 1998.

- HARRIS, L.D. **The fragmented forest: island biogeography theory and the preservation of biotic diversity**. Chicago: University of Chicago. 1984. 229 p.
- HESSBURG, P.F.; SMITH, B.G.; SALTER, R.B.; OTTMAR, R.D.; ALVARADO, E. Recent changes (1930s-1990s) in spatial patterns of interior northwest forest, USA. **Forest Ecology and Management**, v. 136, p.53-83, 2000.
- INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Manual do usuário**: Centro Espacial de Cachoeira Paulista – Divisão de Geração de Imagens. 2000. 65 p.
- JARVINEN, O. Conservation of endangered plant populations: single large or several small reserves? **Oikos**, v. 38, p. 301-307, 1982.
- JENSEN, J.R. **Introductory digital image processing: a remote sensing perspective**. 2. ed. New Jersey: Prentice Hall, 1996. 316p.
- JONES, J.R.; LANEY, R.; FULK, M. AUBLE, J. **TOSCA**: reference guide: version 2.0. Worcester: Clark University, 1993. 86p.
- JORGE, L.A.B.; GARCIA, G.J. A study of habitat fragmentation in Southeastern Brazil using remote sensing and geographic information systems (GIS). **Forest Ecology and Management**, v. 98, p.35-47, 1997.
- KAREIVA, P. Population dynamics in spatially complex environments: theory and data. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**. Series B., v. 330., p. 175-190,1990
- KOFFLER, N.F. Uso das terras da bacia do rio Corumbataí em 1990. **Geografia**, v.18, n.1, p.135-150, abr. 1993.
- KOFFLER, N.F. Carta de declividade da bacia do rio Corumbataí para análise digital. (SIG). **Geografia**, v.19, n.2, p.167-182, 1994.
- KOIVU, R.H. Agricultural landscape change: a case study in Yläne, southwest Finland. **Landscape and Urban Planning**, v. 43, p.103-108, 1999.
- KOTLIAR,N.B.; WIENS J.A. Multiple scales of patchiness and patch structure: a hierarchical framework for the study of heterogeneity. **Oikos**, v. 59, p.253-260,1990
- LANDIS, J.R.; KOCH, G.G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v.33, p.159-174, 1977.

- LI, H.; REYNOLDS, J.F. A new contagion index to quantify spatial patterns of landscapes. **Landscape Ecology**, v. 8, p.155-162, 1993.
- LILLESAND, T.M.; KIEFER, R. W. **Remote sensing and image interpretation**. 2. ed. Chichester: John Wiley, 1994. 750p.
- LIMA, E.A.C.F. Estudo da paisagem do município de Ilha Solteira-SP: subsídios para o planejamento físico-ambiental. São Carlos. 1997. 112 p.Tese (Doutorado) – Universidade Federal de São Carlos.
- LIMA, W.P.; RANZINI, M. Levantamento hidrológico da bacia hidrográfica do Passa-Cinco, Ipeúna, SP. In: FUNDAÇÃO DE ESTUDOS AGRÁRIOS LUIZ DE QUEIROZ. **Estudo para implantação de matas ciliares de proteção na bacia hidrográfica do Passa-Cinco visando a utilização para abastecimento público: relatório de pesquisa**. Piracicaba, 1986. cap. 1, p.1-33.
- LOVEJOY, T.E.; BIERREGARD Jr, R.O.; RYLANDS, A.B.; MALCOM, J.R.; QUINTELA, C.E.; HAPER,L.H.; BROWN, Jr, K.S.; POWELL, A.H.; PPOWELL, G.V.N.; SCHUBART, H.O.R.; HAYS, M.B. Edge and other effects of isolation on Amazon forest fragments. **Conservation Biology**, v.2, p.257-285, 1986.
- LUCAS, O.W.R. **The design of forest landscapes**. New York: Oxford University Press, 1991. 391 p.
- MAGUIRE, D.J.; GOODCHILD, M.F.; RHIND, D.W. **Geographical information systems**. Halow: Longman, 1991. 229 p.
- MC GARIGAL, K; MARKS, B. J. **FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure**. Portland: Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, 1995. 122p.
- METZGER, J.P. Relationships between landscape structure and tree species diversity in tropical forests of south-east Brazil. **Landscape and Urban Planning**, v.37, p.29-35, 1997.
- METZGER, J.P.; GOLDENGERB, R.; BERNACCI, L.C. Caminhos da biodiversidade. **Ciência Hoje**, v.25, n.146, p.62-64,1999.
- NAVEH, Z. Biocybernetic and thermodynamic perspective of landscape functions and land use patterns. **Landscape Ecology**, v 1, p.75-83, 1987.

- NAVEH, Z.; LIEBERMAN, A.S. **Landscape ecology, theory and application**. 2 ed. New York: Springer Verlag, 1994. 360p.
- NOVO, E.M.L.M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Edgar Blücher, 1992. 308p.
- O'NEIL, R.V.; KRUMMEL, J.R.; GARDNER, R.H.; SUGIHARA, G.; JACKSON, B.; DEANGELIS, D.L.; MILNE, B.T.; TURNER, M.G.; ZYGMUNT, B.; CHRISTENSEN, S.W.; DALE, V.H.; GRAHAM, R.L. Indices to landscape structure. **Landscape Ecology**, v.1, p. 153-162, 1998.
- OLIVEIRA, J.B.; PRADO, H. **Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo: Quadrícula de São Carlos**. II. Memorial Descritivo. Campinas: Instituto Agronômico, 1984. 118p.
- OLIVEIRA, L.T. Fragmentos de floresta Atlântica semidecidual no município de Lavras: uma comparação ecológica entre a cobertura atual e a cobertura exigida pela legislação. Lavras, 2000.103p. Monografia (Graduação) – Universidade Federal de Lavras.
- PEARLSTINE, L.G.; BRANDT, L.A.; MAZZOTTI, F.J.; KITCHENS, W.M. Fragmentation of pine flatwood and marsh communities converted for ranching and citrus. **Landscape Ecology and Urban Planning**, v. 38, p.159-169, 1997.
- PIRES, J.S.R.; SANTOS, J.E.; PIRES, A.M.Z.C.; HENKE-OLIVEIRA, C. Abordagem metodológica para identificação e manejo de fragmentos de áreas naturais. In: SEMINÁRIO REGIONAL DE ECOLOGIA, 8., São Carlos, 1998. **Anais**. São Carlos: USP; Universidade Federal de São Carlos, 1998. p. 571-584.
- PONZONI, J.F.; ALMEIDA, E.S. A estimativa do parâmetro Kappa (K) da análise multivariada discreta no contexto de um SIG. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., Salvador. 1996. **Anais**. São José dos Campos: INPE, SELPER, 1996. p.52 –58.
- PROCHNOW, M.C.R. Análise ambiental da sub-bacia do rio Piracicaba: subsídios ao seu planejamento e manejo. Rio Claro, 1990.122 p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

- PROJETO PIRACENA. **Banco de dados “Geoprocessamento”**.
<http://www.cena.usp.br/piracena>. (15 ago. 2000).
- PROJETO CORUMBATAÍ. **Conservação dos recursos hídricos e da cobertura florestal na Bacia do Rio Corumbataí**. Piracicaba: IPEF, 2001. 118 p. (Relatório do projeto).
- QUATTROCHI, D.A.; PELLETIER, R.E. Remote sensing. In: TURNER, M.G.; GARDNER, R. H. **Quantitative methods in landscape ecology: the analysis and interpretation of landscape heterogeneity**. New York: Springer Verlag, 1990. cap. 3. p. 15 – 76.
- QUINTANILHA, J.A. Erros em bases digitais de dados espaciais para uso em sistemas de informação geográfica. São Paulo, 1996. 236p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- RADAMBRASIL. Classificação Fisionômica-Ecológica da Vegetação Neotropical. **Boletim Técnico**, Série Vegetação. Ministério das Minas e Energia. n.1, 80 p, 1982.
- RANNEY, J.W.; BRUNER, M.C. LEVENSON, J.B. The importance of edge in the structure and dynamics of forest islands. In: BURGESS, R.L.; SHAPE, D.M. **Forest islands dynamics in man-dominated landscapes**. New York: Springer-Verlag. 1981. cap.6. p.67-95.
- RANTA, P.; BLOM, T.; NIEMELÄ, J.; SIITONEN, E.J.M. The fragmented Atlantic rain forest of Brazil: size, shape and distribution of forest fragments. **Biodiversity and Conservation**, v. 7, p. 385-403, 1998.
- RATTER, J.A. **Guia para a vegetação da Fazenda Água Limpa (Brasília, DF)**. Brasília, Universidade de Brasília, 1991. 137 p.
- RICHARDS, J.A. **Remote sensing digital images analysis: an introduction**. Berlin: Springer Verlag. 1993. 281 p.
- RIITTERS, K.H.; O’NEIL, R.V.; HUNSAKER, C.T.; WICKHAM, J.D.; YANKEE, D.H. TIMMINS, S.P. A factor analysis of landscape pattern and structure metrics. **Landscape Ecology**, v.10, n.1, p. 23-39, 1995.
- RIPPLE, W.J.; HERSHEY, K.T.; ANTHONY, R.G. Historical forest patterns of Oregon’s central Coast range. **Biological Conservation**, v. 93, p.127-133, 2000.

- RISSER, P.G.; Landscape ecology: state-of-the-art. In: TURNER, M.G. **Landscape heterogeneity and disturbance**. New York: Springer-Verlag, 1987. p. 3-14.
- RODRIGUES, E. Ecologia de fragmentos florestais no gradiente de urbanização de Londrina – Pr. São Carlos, 1993.102p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- RODRIGUES, M. Introdução ao geoprocessamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO,1., São Paulo, 1990. **Anais**. São Paulo: USP, Escola Politécnica, 1990. p.1 - 26.
- RODRIGUES. R.R. A vegetação de Piracicaba e municípios do entorno. **Circular Técnica IPEF**. n.189. p 1 – 18, 1999
- SALATI, E. Análise ambiental sintética e qualidade da água do rio Corumbataí (SP) como subsídio para o planejamento regional integrado da bacia de drenagem do rio Corumbataí. São Carlos, 1996. 198 p. Tese (Doutorado) – Ciências da Engenharia Ambiental, Universidade Federal de São Carlos.
- SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente. **Áreas de domínio do cerrado no Estado de São Paulo**. São Paulo, 1998. 84 p.
- SAUNDERS, D.A.; HOBBS, R.J.; MARGULES, C.R. Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. **Conservation Biology**, v.5, p. 18-32, 1991.
- SCHAMA, S. **Paisagem e memória**. São Paulo: Companhia das Letras, 1996. 645 p.
- SCHELHAS, J. GREEMBERG, R. **Forest patches in tropical landscapes**. Califórnia: Island Press. 1996: Introduction. p.XV – XXXVI.
- TABANEZ, A. A.J.; VIANA, V.M.; DIAS, A.S. Conseqüências da fragmentação e do efeito de borda sobre a estrutura, diversidade e sustentabilidade de um fragmento de floresta de planalto de Piracicaba, SP. **Revista Brasileira de Biologia**, v.57, p.47-60, 1997.
- TEMPLE, S.A. Predicting impacts of habitat fragmentation on forest birds: a comparison of two models. In: VERNE, J.; MORRISON, M.L.; RALPH, C.J. **Modeling habitat relationships of terrestrial vertebrates**. Madison: University of Wisconsin Press,1986. p.301-304.

- TRANI, M.K.; GILES JR, R.H. An analysis of deforestation: metrics used to describe pattern change. **Forest Ecology and Management**, v. 114, p.459-470, 1999.
- TROPMAIR, H.; MACHADO, M.L.A. Variação da estrutura da mata de galeria na Bacia do rio Corumbataí (SP) em relação à água do solo, tipo de margem e do traçado do rio. **Biogeografia**, n.8, p.1-28, 1974.
- TURNER, M.G. Landscape ecology: the effect of pattern on process. **Annual Review of Ecology and Systematics**. 20, p. 171-197. 1989.
- TURNER, M.G. Spatial and temporal analysis of landscape patterns. **Landscape Ecology**, v. 4, p. 21-30,1990.
- TURNER, M.G.; GARDNER, R. H. **Quantitative methods in landscape ecology: the analysis and interpretation of landscape heterogeneity**. New York: Springer Verlag, 1990. 536 p.
- TURNER, M.G.; RUSCHER, C.L. Changes in the spatial patterns of lands use in Georgia. **Landscape Ecology**, v.1, p.241-251, 1988.
- TURNER, M.G.; WEAR, D.N.; FLAMM, R.O. Land ownership and land-cover change in the southern Appalachian highlands and the Olympic peninsula. **Ecological Applications**, v 4, p. 1150-1172, 1996.
- URBAN, D.L.; O'NEILL,R.V.; SHUGART, JR.H.H. Landscape ecology: a hierarchical perspective can helps scientists understand spatial patterns. **BioScience**, v.37, p.119-127, 1987.
- VENTURIERI, A.; SANTOS, J.R. Técnicas de classificação de imagens para análise de cobertura vegetal. In: ASSAD, E.D.; SANO, E.E. **Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura**. Brasília: Embrapa, SPI; Embrapa, CPAC, 1998. cap.3, p.31-43.
- VETTORAZZI, C.A. Técnicas de geoprocessamento no monitoramento de áreas florestadas. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba: IPEF. v.10, n.29, p.45-51. 1996.
- VETTORAZZI, C.A. **Sensoriamento remoto orbital: apostila**. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Engenharia Rural, 1992. 134 p.
- VETTORAZZI, C.A.; VALENTE, R.O.A.; BALLESTER, M.V.R. Forest fire hazard mapping in a GIS environment for a river basin in the State of São Paulo, Brazil. In:

- International Conference on Geospatial Information in Agriculture and Forestry, 2., Lake Buena Vista, 2000. **Proceedings**. Ann Arbor: ERIM International, 2000.v.1, p.10-12.
- VIADANNA, A.G. Análise de qualidade hídrica do alto e médio Corumbataí (SP) pela aplicação de bioindicadores. Rio Claro, 1985. 112 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.
- VILELA, M.F. Uso de diferentes métodos de retificação geométrica e classificação digital de uma imagem TM/Landsat-5. Piracicaba, 1998. 118p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- WILCOVE, D.S. Nest predation in forest tracts and the decline of migratory songbird. **Ecology**, v.8, p.1211 – 1214, 1985.
- YAHNER, R.H. Changes in wildlife communities near edges. **Conservation Biology**, v. 2, p. 333-339, 1998.
- YONG, A.G.; MERRIAM, H.G. Effects of forest fragmentation on the spatial genetic structure of *Acer saccharum* Marsh. (sugar maple) populations. **Heredity**, v.1, p.277-289, 1994.
- YOUNG, R.H.; GREEN, D.R.; COUSINS, S. **Landscape ecology and geographic information systems**. New York: Taylor & Francis, 1993. 288 p.