



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA**

**MESTRADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS (MANEJO FLORESTAL)**

**ANÁLISE DA FRAGMENTAÇÃO DA VEGETAÇÃO ARBÓREA NA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIO APEÚ, COMO SUBSIDIO AO PLANEJAMENTO  
AMBIENTAL**

*STEPHAN DE ALMEIDA JESUINO*

Belém-Pará

2010



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA**  
**MESTRADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS (MANEJO FLORESTAL)**

**ANÁLISE DA FRAGMENTAÇÃO DA VEGETAÇÃO ARBÓREA NA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIO APEÚ, COMO SUBSÍDIO AO PLANEJAMENTO  
AMBIENTAL**

*STEPHAN DE ALMEIDA JESUINO*

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Ciências Florestais, área de concentração Manejo Florestal, para obtenção do título de Mestre.

Orientador

Engenheira Florestal, Maria de Nazaré Martins Maciel, Doutora

Co-orientador

Engenheiro Florestal, Fransisco de Assis, Doutor

Belém-Pará

2010

JESUINO, Stephan de almeida.

Análise ambiental da bacia hidrográfica do rio Apeú com base na fragmentação da vegetação/ Stephan de Almeida Jesuino. Belém, 2010.

XXf.:il.

Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais - Manejo Florestal) – Universidade Federal Rural da Amazônia, 2010.

1. Manejo florestal.

CDD:



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA**  
**MESTRADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS (MANEJO FLORESTAL)**

**ANÁLISE DA FRAGMENTAÇÃO DA VEGETAÇÃO ARBÓREA NA BACIA**  
**HIDROGRÁFICA DO RIO APEÚ, COMO SUBSÍDIO AO PLANEJAMENTO**  
**AMBIENTAL**

*STEPHAN DE ALMEIDA JESUINO*

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Ciências Florestais, área de concentração Manejo Florestal, para obtenção do título de Mestre.

Aprovado em 30 de Março de 2010

**BANCA EXAMINADORA**

---

Dra Maria de Nazaré Martins Maciel  
Presidente/orientadora  
Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA

---

Dra. Odete Cardoso de Oliveira Santos  
1º Examinador  
Universidade Federal do Pará - UFPA

---

Dr. Nelson Veiga Gonçalves  
2º Examinador  
Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA

---

Dra. Merilene do Socorro Silva Costa  
3º Examinadora  
Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA

À **DEUS**, criador do céu e da Terra.

À minha mãe pela luta incansável em minha educação.

À minha namorada **Lucia Helena** por toda compreensão e apoio.

À Dra. **Maria de Nazaré Martins Maciel** minha orientadora e amiga

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Á DEUS, criador do céu e da Terra, por conceder-nos a vida, o dom da sabedoria e por sua presença eterna.

Á Universidade Federal Rural da Amazônia e ao seu corpo docente, pela oportunidade de realizar este curso e aperfeiçoar nossos conhecimentos.

Ao CNPq pelo financiamento do projeto de pesquisa.

A orientadora Prof<sup>ra</sup>. Maria de Nazaré Martins Maciel, Dra. da Universidade Federal Rural da Amazônia, pela orientação, apoio, estímulo, respeito e competência na elaboração de nossa Dissertação.

Ao co-orientador Prof<sup>o</sup>. Francisco de Assis Oliveira, Dr. da Universidade Federal Rural da Amazônia, pela ajuda na elaboração desta dissertação.

Ao Eng<sup>o</sup>. Florestal Alexandre do Nascimento Ferreira, pela ajuda na aquisição de imagens de satélites para esta dissertação.

Ao Eng<sup>o</sup>. Agrônomo e amigo, Bruno Wendell de Freitas Pereira, pela ajuda na elaboração dos mapas desta dissertação.

A amiga e diretora do Instituto Ciberespacial - UFRA, Merilene do Socorro Silva Costa pela ajuda logística e incentivo nesta dissertação.

Agradecimentos especial à minha mãe, Sônia Maria Mercês de Almeida, minha namorada Lúcia Helena da Silva Feio, pelos incansáveis incentivos e apoio durante a realização do curso e preparo da dissertação.

E a todos aqueles que nos auxiliaram direta e indiretamente para a conquista e concretização deste trabalho de pesquisa.

## RESUMO

A composição e a estrutura da paisagem mudam continuamente no espaço e no tempo, devido principalmente às interações entre o ambiente natural e as atividades humanas, resultando na quebra da estabilidade dos elementos individuais da paisagem e na mudança da sua estrutura espacial, sendo que a fragmentação de habitats é um dos resultados mais visíveis dessas mudanças. Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo realizar, através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, a caracterização ambiental e o estudo de ecologia da paisagem na bacia hidrográfica do rio Apeú, baseado na análise da estrutura dos fragmentos de vegetação arbórea na perspectiva de gerar subsídios para a implementação de políticas públicas voltadas ao planejamento ambiental que atenda a conservação da biodiversidade. Utilizou-se imagens digitais TM/ Landsat 5, do ano de 2008, base cartográfica disponibilizadas pelo IBGE, na escala de 1:100.000, e os softwares GPS Trackmaker Free v.13,0 no auxílio a navegação em campo com o GPS GMAP-76S; Environment For Visualizing Images- Envi 4.5 para processamento de imagens; Arcview 3.1, módulo PATCH ANALISY para análise dos fragmentos; e ArcGis 9.3 para edição dos mapas. As métricas utilizadas ao nível de classe foram: área total, número de fragmentos, borda total, dimensão fractal média, área de interior (core) e número de áreas de interior. Ao nível de fragmentos utilizou-se as métricas: número de fragmentos, área total ocupada pelos fragmentos, tamanho médio dos fragmentos, total de bordas dos fragmentos, tamanho médio das bordas dos fragmentos, dimensão fractal média dos fragmentos, área de interior dos fragmentos (core) e número de áreas de interior. Os resultados mostraram que a rede de drenagem da bacia do rio Apeú é pobre, o que a torna pouco sujeita à cheias e erosões fortes. A paisagem da bacia é fortemente marcada pela atividade pecuária e a vegetação natural abrange 34,4% da área da bacia. Essa vegetação encontra-se bastante fragmentada e a maior parte dela está localizada junto aos recursos hídricos. A paisagem da bacia hidrográfica do rio Apeú, encontra-se prejudicada em relação à qualidade do habitat, pois 70% da vegetação natural é constituída de ambiente de borda, o que compromete a sustentabilidade do ecossistema e dessa forma, a elaboração de planos de manejo ecológico eficientes constitui uma das formas de contribuir para a conservação e manejo dos fragmentos remanescentes, e recuperação das áreas degradadas da região.

**Palavras-chave:** Bacia hidrográfica do rio Apeú, análise ambiental, ecologia de paisagem, fragmentação da vegetação.

## ABSTRACT

The Landscape's composition and structure constantly change in space and time, due mainly to the interactions between the natural environment and human activities, resulting in the breakdown of stability of the individual elements of the landscape and in changes in its spatial structure, and the habitat fragmentation is one of the most visible results of these changes. In this context, this paper aims, through remote sensing and GIS techniques, the environmental characterization and the study of the landscape's ecology of the Apeu river basin, based in the analysis of the structures of the woody vegetation fragments in order to generate data for the implementation of public policies for the environmental planning, in order to preserve the biodiversity. Digital images TM/Landsat 5-2008; cartographic basis from IBGE, in 1:100.000 scale and GPS Trackmaker Free v.13.0 for help in navigation with the GPS GMAP-76S; Environment For Visualizing Images – Envi 4.5 for the processing of images; Arcview 3.1, with PATCH ANALISY module, for the analysis of the fragments; and ArcGis 9.3 for the editing of the charts were used. The metrics used in the class level were: total area, number of fragments, total border, average fractal size, interior (core) area and number of interior areas. In the fragments level, the following metrics were used: number of fragments, total area occupied by the fragments, average size of the fragments, total number of borders of the fragments, average size of the borders of the fragments, average fractal size of the fragments, inner (core) area of the fragments and number of inner areas. The results showed that the drainage network of the Apeu river basin is poor, what makes it less suitable to flooding and strong erosions. The basin's landscape is strongly marked by ranching and the natural vegetation measures up to 34,4% of the basin's area. This vegetation presents itself very fragmented and great part of it is located next to the water resources. The landscape of the Apeu river basin is damaged. This damage is related to the quality of the habitat, because 70% of the natural vegetation is made of border environment, what compromises the ecosystem's sustainability and, therefore, the elaboration of efficient plans for ecological management constitutes one of the ways of helping the conservation and management of the reminiscent fragments and healing of the areas that were once degraded, in that region.

**Keywords:** Apeu river basin, environmental analysis, landscape ecology, vegetation fragmentation.

# SUMARIO

<b>Resumo</b>	<b>vi</b>
<b>Abstract</b>	<b>vii</b>
<b>Lista de Figuras</b>	<b>viii</b>
<b>Lista de Tabelas</b>	<b>ix</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2 OBJETIVOS</b>	
2.1 OBJETIVOS GERAL.....	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
<b>3- REVISÃO.....</b>	<b>5</b>
3.2 A ESTRUTURA DA PAISAGEM.....	6
<b>3.2.1 Manchas.....</b>	<b>7</b>
<b>3.2.2 Corredores.....</b>	<b>12</b>
<b>3.2.3 Matriz.....</b>	<b>12</b>
3.3 FRAGMENTAÇÃO DA PAISAGEM.....	14
<b>4 ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>17</b>
4.1 LOCALIZAÇÃO. ....	17
4.2- CLIMA.....	18
4.3- VEGETAÇÃO .....	18
4.4- GEOLOGIA .....	18
4.5 - GEOMORFOLOGIA .....	19
4.6- SOLOS.....	19
4.7 – DECLIVIDADE .....	19
<b>5–MATERIAL.....</b>	<b>20</b>
5.1. SISTEMATIZAÇÃO DE DADOS GEORREFERENCIADOS.....	20
5.2-SOFTWARES UTILIZADOS.....	20
5.3- INSTRUMENTOS COMPLEMENTARES DE CAMPO.....	20
<b>6 – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....</b>	<b>21</b>
<b>6.1 DELIMITAÇÃO DA BACIA DO RIO PEÚ.....</b>	<b>22</b>
6.2 ELABORAÇÃO DO MAPA DE COBERTURA VEGETAL E USO DA TERRA.....	22



# LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Elementos de paisagem e suas manchas.	6
<b>Figura 2</b>	Efeito da relação borda/interior em diversas características ecológicas. Fonte: FORMAN; GODRON (1986)	11
<b>Figura 3</b>	Relação entre as áreas interiores e as margens de acordo com diferentes formas e tamanhos de manchas. Fonte: FORMAN; GODRON (1986).	11
<b>Figura 4</b>	Diferentes tipos de configuração espacial de uma paisagem hipotética	13
<b>Figura 5</b>	Localização da bacia hidrográfica do rio Apeú. <b>A</b> - Estado do Pará; <b>B</b> – Municípios de Castanhal, Santa Isabel do Pará e Inhangapi; <b>C</b> - Limites da bacia hidrográfica do rio Apeú.	17
<b>Figura 6</b>	Fluxograma das etapas do trabalho.	21
<b>Figura 7</b>	Rede de drenagem da Bacia do Rio Apeú..	26
<b>Figura 8</b>	Tipos de uso e ocupação da terra na Bacia hidrográfica do rio Apeú	28
<b>Figura 9</b>	Representação da cobertura vegetal e uso do solo na Bacia hidrográfica do rio Apeú.	29
<b>Figura 10</b>	Fragmentos de vegetação arbórea e rede hidrográfica da bacia do rio Apeú.	32
<b>Figura 11</b>	Fragmentos de vegetação arbórea classificados por tamanho (ha) para a bacia hidrográfica do rio Apeú.	35
<b>Figura 12</b>	Espacialização das localidades presentes na bacia hidrográfica do rio Apeú	36
<b>Figura 13</b>	Fragmentos da vegetação arbórea da bacia hidrográfica do rio Apeú – (a) fragmentos menores que 50ha; (b) fragmentos menores que 50ha que apresentam área de interior.	38
<b>Figura 14</b>	Distribuição do número de fragmentos menores que 50 hectares na bacia hidrográfica do rio Apeú.	39
<b>Figura 15</b>	Fragmentos da vegetação arbórea da bacia hidrográfica do rio Apeú – (a) maiores que 50 hectares e menores que 100 hectares; (b) fragmentos maiores que 50 hectares e menores que 100 hectares que apresentam área de interior.	41
<b>Figura 16</b>	Fragmentos da vegetação arbórea da bacia hidrográfica do rio Apeú – (a) maiores que 100 hectares e menores que 200 hectares; (b) fragmentos maiores que 100 hectares e menores que 200 hectares que apresentam área de interior.	42
<b>Figura 17</b>	Fragmentos da vegetação arbórea da bacia hidrográfica do rio Apeú – (a) maiores que 200 hectares e menores que 350 hectares; (b) fragmentos maiores que 200 hectares e menores que 350 hectares que apresentam área de interior	44
<b>Figura 18</b>	Fragmentos da vegetação arbórea da bacia hidrográfica do rio Apeú – (a) maiores que 350 hectares e menores que 500 hectares; (b) fragmentos maiores que 350 hectares e menores que 500 hectares que apresentam área de interior	45
<b>Figura 19</b>	Fragmentos da vegetação arbórea da bacia hidrográfica do rio Apeú – (a) maiores que 500 hectares e menores que 1000 hectares; (b) fragmentos maiores que 500 hectares e menores que 1000 hectares que apresentam área de interior.	47
<b>Figura 20</b>	Fragmentos da vegetação arbórea da bacia hidrográfica do rio Apeú – (a) maiores que 1000 hectares e menores que 3000 hectares; (b) fragmentos maiores que 1000 hectares e menores que 3000 hectares que apresentam área de interior	48
<b>Figura 21</b>	Fragmentos da vegetação arbórea da bacia hidrográfica do rio Apeú – (a) maiores que 3000 hectares; (b) fragmentos maiores que 3000 hectares que apresentam área de interior	50

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b>	Caracterização da rede de drenagem da Bacia Hidrográfica do Rio Apeú	26
<b>Tabela 2</b>	Área (em ha e %) ocupada por cada classe de uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do rio Apeú – ano 2008	27
<b>Tabela 3</b>	Valores de métricas de classes da vegetação da bacia do rio Apeú	32
<b>Tabela 4</b>	Número e área ocupada por fragmentos distribuídos por classe de tamanho.	34
<b>Tabela 5</b>	Métricas de fragmentos menores que 50 ha na bacia hidrográfica do rio Apeú.	37
<b>Tabela 6</b>	Métricas de fragmentos maiores que 50 ha e menores que 100 ha na bacia hidrográfica do rio Apeú	39
<b>Tabela 7</b>	Métricas de fragmentos maiores que 100 ha e menores que 200 ha na bacia hidrográfica do rio Apeú	41
<b>Tabela 8</b>	Métricas de fragmentos maiores que 200 ha e menores que 350 ha na bacia hidrográfica do rio Apeú	43
<b>Tabela 9</b>	Métricas de fragmentos maiores que 350 ha e menores que 500 ha na bacia hidrográfica do rio Apeú	44
<b>Tabela 10</b>	Métricas de fragmentos maiores que 500 ha e menores que 1000 ha na bacia hidrográfica do rio Apeú	46
<b>Tabela 11</b>	Métricas de fragmentos maiores que 1000 ha e menores que 3000 ha na bacia hidrográfica do rio Apeú	47
<b>Tabela 12</b>	Métricas de fragmentos maiores que 3000 ha na bacia hidrográfica do rio Apeú	49

## **1 INTRODUÇÃO**

Historicamente, a gestão ambiental pautada em princípios ecológicos não constitui uma das maiores preocupações dos tomadores de decisão. A atenção na busca de tentar prevenir os problemas ambientais é recente, sendo que na maioria dos municípios brasileiros o planejamento ambiental é ainda incipiente e raros são os que entendem a importância de incorporar os fatores ambientais nos processos de gerenciamento e uso dos recursos (PIRES, 1995).

No entanto, tem-se buscado cada vez mais o desenvolvimento de um sistema de proteção à natureza mais consolidado, diante do esgotamento dos recursos naturais e frente ao agravamento dos problemas ambientais com implicações sócio-econômicas. Assim, o planejamento e gestão ambiental voltado à conservação da biodiversidade tem sido pauta de discussões dos atores sociais, visto que os aspectos ambientais são condicionantes da qualidade de vida das populações (PIRES, 1995).

A gestão ambiental pode ser caracterizada como um processo de articulação das ações dos diferentes atores sociais que ocupam certo espaço, com o objetivo de garantir a adequação dos meios de exploração dos recursos ambientais às especificidades do meio ambiente, por meio de princípios e diretrizes previamente definidos (LANNA, 2000). Além disso, a gestão ambiental também busca administrar o uso dos recursos naturais por meio de ações que visem manter ou recuperar a qualidade do meio ambiente (PIRES, 1995).

A integração entre a gestão ambiental e a gestão de recursos hídricos torna-se evidente quando as águas são consideradas um recurso natural. No entendimento de alguns especialistas, elas deveriam estar inseridas na gestão ambiental a ser exercida por meio do Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA) estabelecido mediante a Lei Federal 6.938/81 (MUÑOZ, 2000).

A gestão ambiental é pautada em diversas interfaces que colaboram para que seu papel seja cumprido plenamente: a política ambiental, o gerenciamento ambiental, o método de gerenciamento ambiental e o sistema de gerenciamento ambiental. Para que a Gestão Ambiental seja eficiente, necessita estar baseada nesses constituintes que juntos contribuem para a realização e execução do Planejamento Ambiental. Dentro desse contexto, a gestão dos recursos hídricos também deve ser pautada nesses constituintes, que mais especificamente incluem a política das águas, o plano de uso, controle e proteção das águas e o gerenciamento das águas

.O Planejamento Ambiental surgiu, principalmente nas três últimas décadas, em razão do aumento dramático da competição por terras, água, recursos energéticos e biológicos (SANTOS, 2004). Essa competição conduziu à necessidade da organização do uso e ocupação da terra, compatibilizando esses usos com a proteção de ambientes ameaçados, com o objetivo de melhorar a qualidade de vida das populações. Dessa forma, o planejamento ambiental busca uma solução para os conflitos que possam ocorrer entre as metas da conservação ambiental e do desenvolvimento tecnológico.

A primeira etapa no processo de Planejamento Ambiental consiste no conhecimento do ambiente. Esta fase é conhecida como Caracterização e Análise Ambiental, e exige tempo e recursos para conhecer as características dos diversos compartimentos ambientais na área de estudo e classificá-los conforme sua capacidade para absorver os diferentes usos antrópicos, considerando os riscos que cada atividade pode oferecer (PIRES, 1995).

Para que essa etapa seja cumprida de forma eficaz, é de fundamental importância a delimitação de uma área de trabalho adequada. Para Santos (2004), essa é uma tarefa extremamente difícil não só pela dificuldade em delimitar a área de contenção de impactos, de pressões e fenômenos, como também pela variedade de escalas necessárias para avaliação dos núcleo alvo focados. Lanna (2000) comenta sobre uma certa dificuldade de se trabalhar com espaços geográficos demasiadamente grandes considerando-se todas as dimensões da gestão ambiental e impôs a necessidade de delimitarem-se áreas geográficas mais restritas, que contenham a maioria das relações causa-efeito, sem se tornarem muito complexas.

Assim, diversos autores reconhecem a eficiência do uso da bacia hidrográfica como unidade de gerenciamento, considerando-se que *“não há qualquer área de terra, por menor que seja, que não se integre a uma bacia hidrográfica”* (SANTOS, 2004 p.40-41).

No Brasil, a resolução 001/86 do CONAMA declara, no artigo 5º item III: “definir os limites da área geográfica a ser direta ou indiretamente afetada pelos impactos, denominada de área de influência do projeto, considerando, em todos os casos, a bacia hidrográfica na qual se localiza”. Além disso, a FAO (Foods and Agriculture Organization), desde a década de 70 recomenda que o planejamento adequado de bacias hidrográficas é fundamental para a conservação de regiões tropicais (SANTOS, 2004).

De acordo com Pires et al.(2002), a adoção da bacia hidrográfica como unidade de gerenciamento possibilita avaliar o seu potencial de desenvolvimento e a sua produtividade biológica, apontando para as melhores formas de aproveitamento dos mesmos, com o mínimo impacto ambiental. Assim, torna-se possível propor uma área de estudo e gerenciamento que

englobe uma visão mais ecossistêmica, abrangendo diversos tipos de relações entre os componentes estruturais da mesma.

A manutenção em longo prazo da integridade ecológica de sistemas naturais em uma paisagem, requer áreas naturais em tamanho e em condições suficientes. Uma paisagem muito alterada não mantém uma estrutura ambientalmente saudável e que permita sustentar as atividades humanas.

Para o gerenciamento ecologicamente adequado dos recursos disponíveis em uma região, torna-se essencial a identificação e a compreensão de como as estruturas ambientais estão dispostas e interagem na paisagem para a manutenção da integridade regional (PIRES et al, 2004).

Dentro deste contexto, os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) são muito empregados no planejamento de bacias hidrográficas, pois auxiliam tanto na busca de conhecimento sobre padrões e processos ecológicos, quanto no apoio a ações de manejo e gestão. Os SIGs trouxeram muitos benefícios à gestão e manejo de bacias hidrográficas, como: capacidade de armazenar, manipular e visualizar uma grande quantidade de dados em um contexto espacializado, integração com modelos ecossistêmicos ou hidrológicos, geração de dados derivados para outras análises, além de apresentarem formas de consulta e visualização de resultados que facilitam a comunicação entre profissionais de diversas formações (BECKER, 2002).

Com a contribuição dos Sistemas de Informações Geográficas, torna-se possível vincular os conceitos ecológicos de bacias hidrográficas aos conceitos da Ecologia da Paisagem.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Realizar, através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, a caracterização ambiental e o estudo de ecologia da paisagem na bacia hidrográfica do rio Apeú, baseado na análise da estrutura dos fragmentos de vegetação arbórea na perspectiva de gerar subsídios para a implementação de políticas públicas voltadas ao planejamento ambiental que atenda a conservação da biodiversidade.

## 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar a rede de drenagem da bacia do rio Apeú
- Quantificar e mapear as áreas de cobertura vegetal e uso da terra da bacia do rio Apeú;
- Caracterizar a configuração dos fragmentos de vegetação arbórea da bacia do rio Apeú por meio de métricas de paisagem, sob o ponto de vista da conservação da biodiversidade.

### 3- REVISÃO

#### 3.1 ECOLOGIA DE PAISAGEM

O primeiro cientista a utilizar o termo “Ecologia da Paisagem” foi o geógrafo alemão Carl Troll (1950, apud FORMAN e GODRON, 1986), que definiu a ciência como sendo o estudo das relações físicas e biológicas que governam as diferentes unidades espaciais da região, considerando as relações verticais (dentro das unidades espaciais) e as horizontais (entre as unidades espaciais). A ecologia, principalmente nas últimas décadas, tem se concentrado nas relações verticais entre plantas, animais, ar, água e solo com relativa homogeneidade das unidades espaciais. Já a Ecologia da Paisagem aprofunda-se no conhecimento das relações horizontais, ou seja, das relações entre as unidades do espaço.

Existem diversas interpretações para o termo “paisagem”. A maior parte das definições inclui invariavelmente uma área contendo um mosaico de manchas ou elementos da paisagem (MCGARIGAL e MARKS, 1995). Para Forman e Godron (1986), a paisagem pode ser definida como uma área composta por um conjunto de sistemas que interagem entre si, e esse padrão se repete em várias escalas.

O conceito de paisagem é variável, dependendo do contexto da pesquisa ou do manejo. Por exemplo, de uma perspectiva da vida selvagem, pode-se definir paisagem como uma área contendo um mosaico de manchas de hábitat. Assim, existem diversas formas de definir-se paisagem, dependendo do fenômeno que está sendo considerado. Se deve atentar para o fato de que a paisagem não é definida pelo tamanho e sim como um mosaico de manchas relevantes para o fenômeno considerado (MCGARIGAL e MARKS, 1995).

A composição e a estrutura da paisagem mudam continuamente no espaço e no tempo. Essas mudanças podem ser atribuídas às complexas interações entre o ambiente natural, diversos organismos e as atividades humanas, resultando na quebra da estabilidade dos elementos individuais no sistema da paisagem e, conseqüentemente, na sua estrutura espacial (LU et al., 2003).

Portanto, a estrutura da paisagem é um resultado das complexas interações entre as forças físicas, biológicas, políticas, econômicas e sociais que atuam sobre ela. Atualmente, muitas paisagens estão sendo influenciadas pelos usos antrópicos da terra. O resultado é um mosaico de paisagem que mistura tanto manchas naturais e como manejadas pelo homem que variam em tamanho, forma e arranjo na paisagem Turner (1998 apud APAN et al., 2002).

Forman; Godron (1986) denominam como *elementos de paisagem* os elementos ou unidades ecológicas básicas que possuem relativa homogeneidade, não importando se eles são de origem natural ou humana.

Segundo estes autores, esses elementos podem ser considerados do ponto de vista ecológico como ecossistemas, ou seja, um conjunto de organismos em um dado lugar em interação com um determinado ambiente físico. Ainda de acordo estes autores, a porção mais homogênea, dentro de um elemento de paisagem heterogêneo, é denominada de tessela (*tesserae*), a qual representa a menor unidade homogênea visível na escala espacial de uma paisagem. Considerando que uma paisagem, do ponto de vista humano, teria a dimensão de algumas dezenas de quilômetros ou mais, o conceito de escala espacial, neste contexto, implicaria que esses elementos de paisagem seriam usualmente identificáveis em fotografias aéreas ou mesmo imagens de satélite, podendo variar de 10 metros a 1 quilômetro ou mais de extensão (Figura 1).

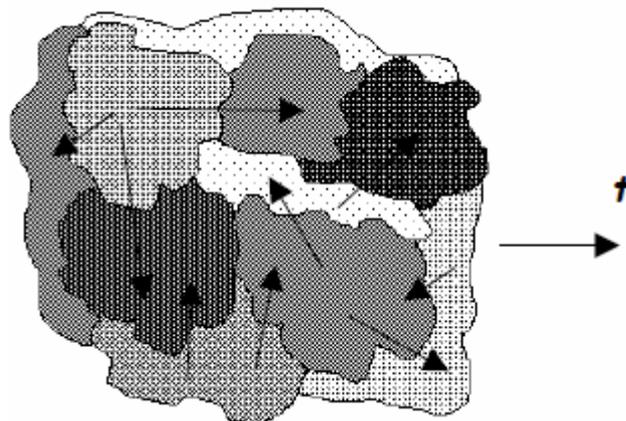


Figura. 1 - Elementos de paisagem e suas manchas. As setas indicam as interações entre as manchas nas trocas de materiais e energia (função), enquanto o padrão formado pelas manchas definem a estrutura da paisagem. A evolução da estrutura e da função ocorre pelas mudanças através do tempo. Estão presentes na paisagem 7 elementos de paisagem e 10 manchas. Fonte: FORMAN; GODRON (1986)

Este conceito de paisagem, como exposto acima, é bem conveniente para aplicação do Geoprocessamento, pois será através do mapeamento desses padrões pelo sensoriamento remoto e da análise de suas relações espaciais, obtidas das formas cartográficas de mapas armazenados em um SIG, que buscar-se-á não só caracterizar distintas paisagens, mas também desvendar os processos de que resultaram.

### 3.2 A ESTRUTURA DA PAISAGEM

Como discorrido anteriormente, o mosaico de retalhos ou manchas composto por *elementos de paisagem*, segundo Forman; Godron (1986), ou *unidades de paisagem e*

*ecótopos*, de acordo com Zonneveld (1972), define um padrão estrutural particular de cada paisagem.

Nesse contexto, a estrutura pode ser entendida como o resultado da lei (função geradora) que governa a organização espacial dos elementos da paisagem, gerando um arranjo espacial representado pelo padrão ou textura. Numa paisagem, a textura ou padrão se expressa por um arranjo repetitivo, formado pelo mosaico de manchas e seus corredores dispostos em uma matriz de fundo. Por conseguinte, na descrição de uma paisagem, torna-se de fundamental importância a caracterização desses três tipos básicos que compõem uma paisagem, a saber: manchas, corredores e a matriz envolvente (FORMAN; GODRON, 1986).

A importância desse conceito de estrutura advém também do reconhecimento que um arranjo espacial da paisagem, em um instante no tempo, pode revelar não só os processos que estão ocorrendo, mas também refletir os processos que determinaram o seu desenvolvimento. Por assim dizer, os componentes da paisagem interagem, resultando em padrões, que são reflexos de mecanismos causais e, em menor proporção, de componentes aleatórios. Por sua vez, essa organização espacial resultante influencia diversos processos, quer sejam eles físicos, ecológicos ou físico-ecológicos.

Desse modo, pode-se dizer que o estudo do relacionamento espacial entre os elementos de paisagem constitui um tema central de pesquisa na Ecologia de Paisagem, tendo em vista que a estrutura horizontal da paisagem relaciona à distribuição de objetos ecológicos - animais, plantas e biomassa -, energia calórica e nutrientes minerais com o tamanho, a forma, o número, o tipo e a configuração das manchas, corredores e matriz (FORMAN; GODRON, 1986).

### **3.2.1 Manchas**

Uma *mancha* - *retalho ou remendo* (tradução do inglês *patch*) - pode ser definida como uma superfície não linear que difere em aparência de seu entorno. As *manchas* variam em tamanho, forma, tipo, heterogeneidade e características de borda. Em adição, as manchas se encontram sempre embebidas numa matriz, uma área de entorno com diferente estrutura e composição (FORMAN; GODRON, 1986).

Segundo estes autores, normalmente, as *manchas* em uma paisagem representam ecossistemas compostos por comunidades de plantas e animais. Contudo, algumas *manchas* podem não conter vida nenhuma ou apenas na forma de microorganismos, como no caso de serem formadas pela presença proeminente de rocha, solo, pavimentos ou edificações. Quatro categorias de *manchas* - não mutuamente exclusivas, mas comuns na literatura - podem ser

reconhecidas em uma paisagem baseadas nas suas origens ou mecanismos causais, a saber: *manchas de perturbação*, *manchas remanescentes*, *manchas de distribuição de recursos ambientais* e as causadas pela alteração antrópica, como no caso das *manchas agrícolas* ou formadas por habitações.

A perturbação de pequenas áreas na matriz de uma paisagem produz uma *mancha de perturbação*. A perturbação ou distúrbio consiste em um evento que causa uma mudança significativa no padrão normal de uma ecossistema ou paisagem (FORMAN; GODRON, 1986). Como lembra Bridgewater (1993), em um sistema próximo da estabilidade, as perturbações ocasionam mudanças dramáticas nos elementos de paisagem. Os regimes de perturbação podem ter diversas causas, como no exemplo de distúrbios naturais, tais como fogo, escorregamento de lama, avalanches, tempestade de vento e gelo, praga de insetos e migrações de mamíferos; ou pela prática de uso do solo, como a extração de madeira e a derrubada das florestas (SHARPE et al. 1987).

Por outro lado, *manchas remanescentes* podem restar em meio a um mar de perturbações, como no exemplo de manchas de vegetação, poupadas pelo fogo florestal e que posteriormente passarão a servir como pequenas ilhas fontes de sementes necessárias ao processo de regeneração vegetal.

Por sua vez, *manchas de regeneração* podem ocorrer assemelhando-se às *manchas remanescentes*, mas com uma origem distinta. Um processo de regeneração ocorre quando um local, dentro de uma área de perturbação crônica, fica livre, permitindo o desenvolvimento do processo de sucessão vegetal. Portanto, em uma paisagem rural a dinâmica das *manchas agrícolas* depende largamente das atividades de manutenção. Interrompendo-se esta atividade, a mancha será invadida por espécies da matriz florestal, dando lugar ao processo de sucessão e o seu conseqüente desaparecimento. Como exemplo, veja os inúmeros casos, de áreas agrícolas abandonadas na fronteira de ocupação amazônica (UHL, 1987, UHL et al., 1988a UHL et al., 1988b, NEPSTAD et al., 1991, MORAN, 1993, MORAN et al., 1994, FEARNSSIDE, 1996). Um mapa da paisagem dessas regiões rurais amazônicas seria então constituído basicamente de três tipos de manchas, a saber: remanescentes florestais, manchas agrícolas e de regeneração.

De acordo com Noss (1983), os diversos estágios de destruição e de regeneração das manchas determinam o aparecimento de vários estágios de desenvolvimento que são mantidos simultaneamente em uma escala regional. O equilíbrio desse jogo entre a perturbação e a regeneração pode levar a uma estabilidade aparente do sistema da paisagem. Por conseguinte, a estabilidade de uma paisagem refere-se então a sua resistência aos distúrbios e capacidade

de recuperação. Entretanto, cada elemento da paisagem tem seu grau de estabilidade. Por exemplo, numa paisagem cultural, elementos estabilizadores são representados por ecossistemas com alto grau de biodiversidade, como as florestas. Já os elementos desestabilizadores seriam representados pelas terras agrícolas, fisicamente instáveis e pobre em espécies (PETCH; KOLEJKA, 1993). Por esta linha de raciocínio, a estabilidade geral de uma paisagem seria então função de uma proporção entre os elementos estabilizadores e desestabilizadores. Forman; Godron (1986) observam que uma paisagem pode se encontrar em equilíbrio ou existir em diferentes estados de equilíbrio, dependendo da sua energia potencial ou biomassa, do nível de resistência à perturbação e da habilidade de se recuperar de um processo de perturbação. Em condições naturais, a recuperação da perturbação torna a estrutura vertical da paisagem mais heterogênea, levando-a a uma maior homogeneidade horizontal (SELMAN; DOAR, 1991). No entanto, uma paisagem homogênea dificilmente é atingida, devido à ocorrência permanente de perturbações e diferentes taxas de alteração de cada elemento de paisagem. Distúrbios moderados normalmente estabelecem mais manchas na paisagem, no entanto, distúrbios severos podem eliminar a presença de manchas, resultando numa paisagem mais homogênea, muito embora devastada (FORMAN; GODRON, 1986).

Ao lado dos processos de perturbação, os atributos físicos da paisagem, como solos, topografia e micro-clima têm um papel principal no desenvolvimento de mosaicos ambientais de uma paisagem. Segundo Ales et al. (1992), esses atributos são importantes também na explicação dos usos do solo, posto que os atributos naturalmente favoráveis, como a fertilidade do solo, ditam a seleção de um certo sítio para um uso específico, resultando em *manchas agrícolas* ou *plantadas*. Por outro lado, condições ambientais adversas e determinadas utilizações podem dar origem às manchas de distribuição de recursos naturais, como no exemplo de um pequeno pântano formado pelo acúmulo local de umidade.

Por fim, esses relacionamentos naturais podem ser ainda alterados pelo homem, tornando-se cada vez mais comum encontrar paisagens antropogênicas formadas por *manchas de habitações*, cujos os padrões não mostram relação com os atributos naturais, mas sim devido à atividade sócio-econômica. Para fins de modelagem em Geoprocessamento, uma mancha, qualquer que seja seu tipo ou origem, se faz representar por uma entidade em um mapa, formada por um único polígono - no caso da representação vetorial -, ou mesmo corresponder a uma singular área, definida por um conjunto de pixels contíguos de igual rótulo ou valor - representação matricial - equivalentes, por exemplo, a um tema obtido pela

classificação espectral de uma imagem de satélite ou de uma fotografia aérea digitalizada. Nesses termos cartográficos, as *manchas* vão possuir ainda atributos nominais definidos pelos tipos de elementos de paisagem que as compõem (estradas, florestas, campos agrícolas e etc.), podendo também apresentar atributos ordenáveis, como no exemplo de edificações erigidas e demolidas durante um certo intervalo de tempo numa paisagem urbana (BAKER, 1989).

Através da representação cartográfica das manchas, pode-se então analisar a estrutura de uma paisagem, usando-se um conjunto de parâmetros ou descritores que incluem, dentre outros: o tamanho, forma, número, conectividade e distâncias entre manchas (BURGESS; SHARPE, 1981, FORMAN; GODRON 1986, GARDNER et al. 1987 e O'NEILL et al. 1988).

O **tamanho** é o aspecto mais notável de uma mancha, se relacionando às várias questões, como a possibilidade de operação de máquinas agrícolas, capacidade de conter espécies no seu interior e quantidade de energia armazenada (RAVAN; ROY, 1993). O tamanho da mancha controla também desde a circulação de nutrientes através da paisagem até a distribuição e quantidade de espécies presentes em uma região (ODUM, 1983), dado que ele afeta de modo inversamente proporcional a razão da área de **borda** ou **margem** de uma mancha em relação ao seu interior. Isto faz com que as manchas menores sejam compostas quase que exclusivamente por ambientes de margem.

Em resultado, o efeito da borda é um fator que encoraja a biodiversidade, devido a sua alta densidade de cobertura e disponibilidade de alimentos (NOSS, 1983). Por conseguinte, a dimensão, natureza e forma das bordas são importantes características das manchas do ponto de vista ecológico (Figura 2).

A **forma** da mancha tem um significado primário em relação à distribuição da borda, por exemplo, uma mancha isométrica, tal como um círculo ou quadrado contém mais áreas interiores do que borda, enquanto um retângulo, com a mesma área, tem proporcionalmente maior relação borda/interior. Finalmente, uma mancha estreita de mesma área pode ser composta inteiramente pela sua borda (Figura 3). Além disso, como observam Forman; Godron (1986), as forma côncavas e convexas de uma mancha servem para indicar se o elemento está, respectivamente, se contraindo ou se expandindo.

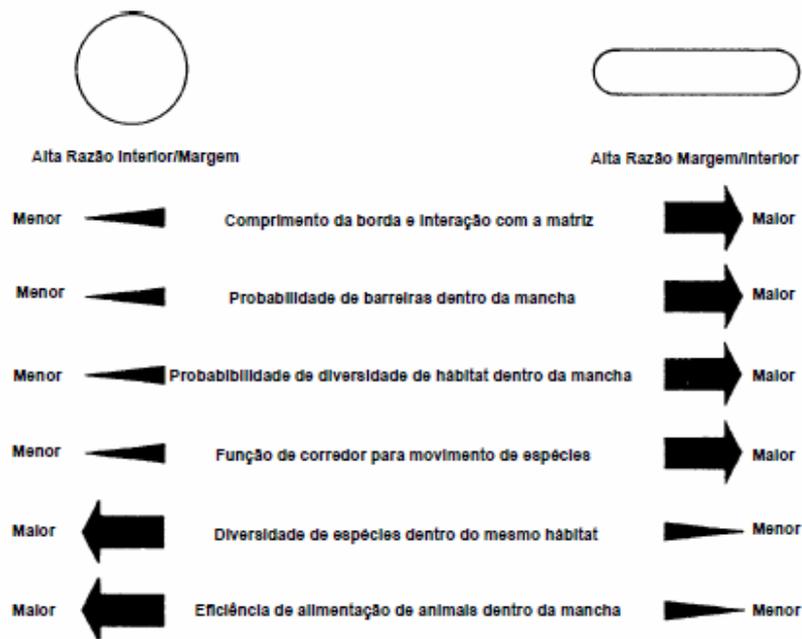


Figura 2 – Efeito da relação borda/interior em diversas características ecológicas.

Fonte: FORMAN; GODRON (1986)

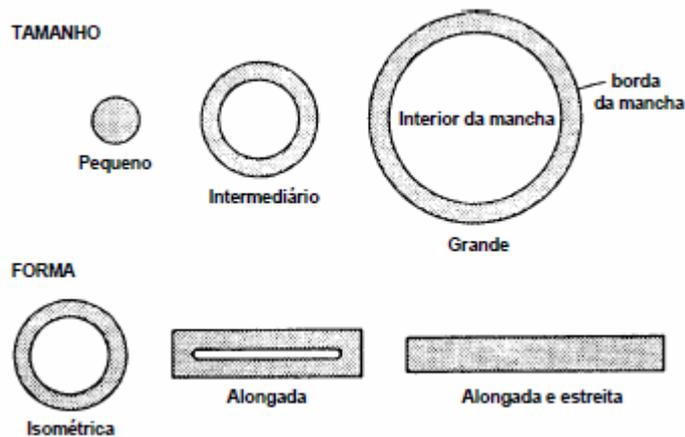


Figura 3 – Relação entre as áreas interiores e as margens de acordo com diferentes formas e tamanhos de manchas. Fonte: FORMAN; GODRON (1986).

Em um estudo da estrutura da paisagem, devem-se ainda examinar as manchas no que tange ao seu **número, densidade e configuração**. Análogo à teoria da biogeografia de ilhas de Macarthur; Wilson (1967), a paisagem é vista como um padrão de habitats em ilhas conectados através de uma rede de barreiras e passagens, conhecidas como *corredores*. Por conseguinte, a proximidade e a ligação entre manchas podem ser consideradas como um fator crucial, no tocante à eficiência de dispersão de organismos através de uma paisagem (SELMAN; DOAR, 1992 e DUNN et al., 1991).

### 3.2.2 Corredores

A ligação entre os elementos de uma mesma classe estabelece numa paisagem um fator de conectividade, função da configuração de redes, onde os corredores permitem o movimento e intercâmbio genético entre animais e plantas e as barreiras inibem tais trocas. Desse modo, algumas características dos corredores a serem estudadas incluem a largura, conectividade, complexidade e estreitamento. Haines-Young et al. (1993) ressaltam que o estudo de corredores na paisagem tem despertado a atenção de vários ecologistas da paisagem, como no exemplo de Bridgewater (1987 e 1993). Este propõe a utilização do termo *ecolinha* para qualquer corredor natural ou semelhante, ressaltando que o conhecimento das ecolinhas e suas ligações forma uma parte da estratégia de desenvolvimento de manejo para a conservação e uso sustentável do meio ambiente. Com esta perspectiva, diversos ambientalistas têm sugerido projetos de ecolinhas, visando a ligação entre importantes reservas e parques naturais.

### 3.2.3 Matriz

Do conceito de conectividade, ou seja da ligação das manchas via corredores, extrai-se ainda a noção da matriz. Como numa visão de fragmentos embebidos em uma massa, a *matriz* de uma paisagem pode ser definida como o seu elemento mais extensivo e conectado e que possui o papel preponderante no funcionamento da paisagem (FORMAN; GODRON, 1986).

Segundo estes autores, a distinção entre as manchas e a matriz de uma paisagem consiste num grande desafio a um estudo de Ecologia de Paisagem. Além de ter uma área bem mais extensa e com limites côncavos envolventes a outros elementos, a matriz também pode ser caracterizada pela sua maior conectividade e pelo seu controle preponderante no fluxo de energia e na dinâmica da paisagem, como nos exemplos do calor do deserto permeando e ressecando os oásis, e dos corredores de vegetação em torno de campos agrícolas ou pastagens, atuando como áreas fontes de sementes ao processo de regeneração florestal. Concluindo, se nenhum tipo de elemento de paisagem for predominante, o maior grau de conectividade indicará qual elemento corresponde à matriz. Ainda, se nenhum destes critérios forem observáveis, o papel dominante na dinâmica da paisagem determinará a matriz.

As medidas básicas de uma matriz são o grau de porosidade e conectividade. A porosidade consiste na medida de densidade de manchas numa paisagem, como no exemplo do número de remanescentes florestais ao meio de áreas agrícolas. Já a conectividade estabelece o grau de percolação em uma paisagem (GARDNER, O'NEILL, 1991), conceito

que pode ser entendido como o grau de facilidade que as espécies podem se movimentar entre as manchas de habitats favoráveis através de corredores.

Para ilustrar como diferentes paisagens podem ser comparadas através de suas configurações espaciais, recorremos ao exemplo de Lagro (1991), o qual demonstra como que uma paisagem hipotética, com 50% de área florestada, pode ser estruturada em diversos arranjos espaciais, cada um apresentando um conjunto único de implicações ecológicas (Figura 4).

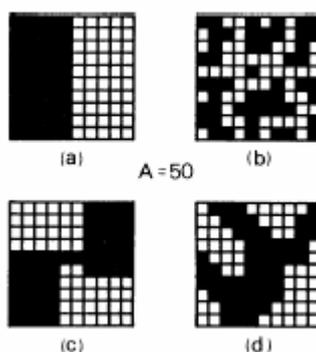


Figura 4 – Diferentes tipos de configuração espacial de uma paisagem hipotética. A floresta pode ser uma plantação, representada unicamente por uma mancha (a); por uma miríade de remanescentes florestais, fragmentados em diversas manchas (b); alternativamente a área da floresta pode ser interconectada, formando uma rede geométrica de matas e linhas de cerca (c) ou ser um ecótopo ripário (d). Fonte: LAGRO (1991)

Como visto, as paisagens são heterogêneas, diferindo em termos de composição e configuração de manchas e matriz. Consequentemente, elas serão funcionalmente diferentes no tocante ao fluxo de espécies, energia e materiais entre seus elementos (SELMAN; DOAR, 1992). Nesse sentido, torna-se de grande valia para o estudo da Ecologia de Paisagem a obtenção de mapas de estrutura da paisagem a partir de um mapa de manchas. Por exemplo, uma análise de estabilidade da paisagem poderá ser obtida a partir da comparação entre a conectividade dos elementos estabilizadores com o isolamento dos desestabilizadores. Ainda, mapas de estrutura da paisagem poderão ser utilizados tanto na avaliação da biodiversidade de uma região, como também para fins de planejamento ambiental.

Deve-se ressaltar, contudo, que qualquer estudo da estrutura da paisagem necessita reconhecer as suas mudanças através do tempo, posto que a mesma consiste, em um dado momento, de um estágio no qual os processos dinâmicos estão ocorrendo, não sendo óbvio o destino dos elementos de paisagem (DUNN et al., 1991 e BRIDGEWATER, 1993). O cenário

emergente de uma paisagem, em comparação com o piscar de luzes de uma cidade, consiste então em um mosaico de manchas de vários tamanhos, de várias origens e em vários estágios de regeneração, que se encontram em perpétua alteração, podendo ou não tender a equilíbrios transitórios de conversão a várias taxas (URBAN et al., 1987). Portanto, qualquer estudo quantitativo das dimensões corológicas da paisagem requer que o tempo, ou as mudanças temporais sejam consideradas, quer seja na compreensão do relacionamento dos padrões aos processos naturais e antropogênicos que os originaram ou para fins de prognose ambiental.

### 3.3 FRAGMENTAÇÃO DA PAISAGEM

Os efeitos deletérios globais e regionais do desmatamento em prol da agropecuária podem ser percebidos por meio da erosão dos solos, da redução na quantidade de chuvas, da perda da capacidade dos solos na retenção da água, intensificação e frequência de alagamentos, dentre outros (HOUGHTON, 1994).

Além disso, uma das principais conseqüências do desmatamento é a fragmentação de habitats, que constitui-se num processo onde uma grande e contínua área de habitat é reduzida em sua extensão e dividida em dois ou mais fragmentos Wilcove (1986 apud PRIMACK e RODRIQUES, 2001). Bender et al. (1998) define a fragmentação como sendo um evento que cria um grande número de manchas de habitat com uma área consideravelmente menor que o habitat original.

O processo global de fragmentação de habitats é, possivelmente, a mais profunda alteração causada pelo homem no meio ambiente. Muitos habitats que eram quase contínuos foram transformados em paisagem semelhante a um mosaico (CERQUEIRA, et al., 2003).

Segundo Saunders et al. (1991) os efeitos primários da fragmentação de uma área de vegetação natural são: (i) a alteração do microclima interno e no entorno da mancha e (ii) o isolamento dessa área, impedindo sua ligação com as outras manchas remanescentes na paisagem. Além disso, uma paisagem fragmentada causa mudanças físicas e biogeográficas no ambiente, com a fragmentação de habitats conduzindo à introdução de uma série de novos fatores na história evolutiva das populações naturais, afetando os parâmetros demográficos de natalidade e mortalidade de diferentes espécies (VIANNA e PINHEIRO, 1998). De acordo com Weins (1989 apud BENDER et al., 1998), para muitos organismos, novas manchas de habitat são interpretadas como um ambiente não familiar ou hostil.

Em uma bacia hidrográfica, a fragmentação de áreas naturais está fortemente associada à qualidade da água. Dentre outras funções, a vegetação funciona como uma proteção natural dos recursos hídricos. Com a inexistência da vegetação, ocorre o aumento do

escoamento superficial e a erosão do solo causa a entrada de material particulado nos corpos hídricos, podendo levar ao assoreamento dos mesmos, além de alterar os seus padrões de vazão e de volume. A erosão e a diminuição da uniformidade das condições do solo causam a deterioração dos habitats aquáticos, comprometendo a qualidade da água e aumentando os custos do tratamento, além de causar danos aos sistemas de distribuição de água (CANTER, apud MARCOMIN, 2002).

A fragmentação da paisagem resulta na modificação no regime hídrico local pela alteração de vários componentes do ciclo hidrológico. A remoção da vegetação arbórea nativa influencia as taxas de precipitação e evapotranspiração, alterando assim a umidade natural do solo. Além disso, a substituição da vegetação arbórea nativa por cobertura herbácea ou espécies de pastagem contribui para a redução significativa da evapotranspiração e aumentam o escoamento superficial. Assim, a erosão aumenta, contribuindo para o transporte de matéria particulada para os recursos hídricos (SAUNDERS, et al., 1991).

As mudanças causadas pela fragmentação de habitats são fortemente influenciadas por diversas características da paisagem e dos próprios fragmentos de vegetação natural, como área, forma, extensão da zona exposta aos efeitos de borda, tipo de matriz e o grau de isolamento entre os fragmentos.

Para um melhor entendimento dos principais fatores que a afetam a dinâmica dos fragmentos de vegetação natural, alguns autores propõem diversos índices de estrutura de paisagem (FORMAN e GODRON, 1986; GUSTAFSON e PARKER, 1992; MACGARICAL e MARKS, 1995). Os índices da paisagem (ou métricas da paisagem) tornam possível quantificar com precisão os padrões espaciais da paisagem e quando relacionados com os processos ecológicos, atingem os objetivos propostos pela Ecologia da Paisagem.

De acordo com Metzger (2003), esses índices (ou métricas) podem ser agrupados em duas categorias: os índices de composição e os de disposição. Os primeiros dão idéia de unidades que estão presentes na paisagem, a riqueza dessas unidades e a área ocupada por elas. Já os segundos permitem quantificar o arranjo espacial dessas unidades em termos de grau de fragmentação e frequência de contato entre as diferentes unidades, o grau de isolamento e conectividade de manchas de unidades semelhantes, além da área, do formato e da complexidade de formas das manchas que compõem o mosaico da paisagem. O uso de índices de estrutura da paisagem auxilia na quantificação do padrão de uso e ocupação da terra, além de facilitar a compreensão da heterogeneidade espacial e da própria estrutura da paisagem. Dessa forma, os índices (ou métricas) capturam aspectos do padrão da paisagem que são necessários para correlacionar o padrão espacial da paisagem com atributos

ambientais importantes e testar hipóteses que relacionam o padrão da paisagem com processos ecológicos e antrópicos (GRIFFITH et al., 2000).

A manutenção da integridade ecológica dos ecossistemas e das funções ambientais implica na manutenção de áreas naturais em condições satisfatórias de tamanho e de qualidade ambiental (PIRES et al., 2004). Para Saunders et al. (1991), o manejo de ambientes fragmentados deve ser realizado em duas esferas: (i) o manejo do sistema natural, ou seja, das dinâmicas das áreas remanescentes e (ii) o manejo das influências externas que atuam no sistema natural.

A proteção da biodiversidade requer o compromisso da proteção integral dos sistemas naturais. As grandes áreas devem ser protegidas em uma estratégia *inter situ*, embora apenas algumas sejam mantidas na estratégia *in situ* devendo ser considerada uma meta prioritária dos planos de conservação para uma paisagem regional (PIRES, 1999, CAVALINI, 2002).

## 4 ÁREA DE ESTUDO

### 4.1 LOCALIZAÇÃO.

A bacia hidrográfica do rio Apeú ocupa uma área de aproximadamente 315,05 km<sup>2</sup> ou 31.374,9479 ha (SANTOS, 2006; JESUS, 2009) e está localizada no nordeste do Pará ou mais precisamente na mesorregião metropolitana de Belém (IBGE, 2009). A bacia se estende entre as coordenadas 1°13'10''S e 1°27'37''S de latitude e 48°4'42''W e 47°53'30''W de longitude (figura 5); sendo que 70% de sua área pertence ao município de Castanhal, 20% ao município de Inhangapi e 10% ao município de Santa Isabel do Pará.(SANTOS, 2006 p.26).

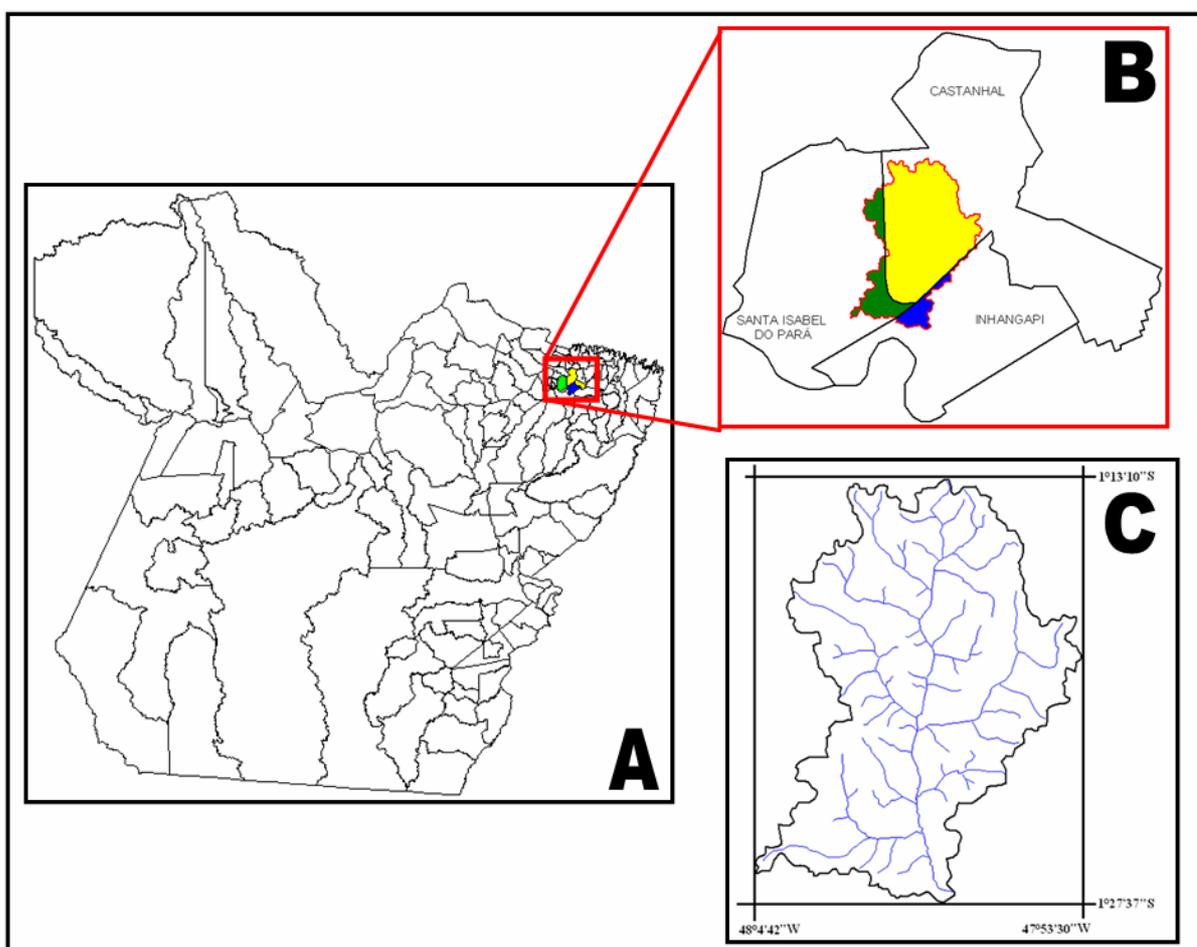


Figura 5 – Localização da bacia hidrográfica do rio Apeú. **A** - Estado do Pará; **B** – Municípios de Castanhal, Santa Isabel do Pará e Inhangapi; **C** - Limites da bacia hidrográfica do rio Apeú.

#### 4.2- CLIMA

Estudos climáticos da região evidenciam o tipo climático Af da classificação de Köppen (VALENTE et al. 2001). A temperatura média anual varia de 23°C a 32°C (SUDAM, 1984) e a umidade relativa média anual de 80% a 85%. O índice pluviométrico médio que está entre 2.500mm a 3.000mm, se distribui principalmente entre os períodos de janeiro à abril, onde as chuvas ocorrem quase que diariamente (SUDAM, 1984)

#### 4.3- VEGETAÇÃO

A vegetação caracterizada como tipo Floresta Ombrófila Densa Veloso & Goes Filho (1982) ou floresta densa de terra-firme é formada de climas quente úmido e superúmido; onde tem como parte da sua estrutura, palmáceas e árvores consideradas de grande porte com mais de 50m de altura, sobressaindo ao estrato arbóreo de 20 a 60m (SANTOS, 2006). Segundo Ferreira (1994) apud Santos (2006), as espécies de árvores mais encontradas na floresta são: castanha do Pará (*Bertholetia excelsa*), bacuri (*Platonia insignis Mart.*), Samaumeira (*Ceiba pentandra*), corticeira (*Pterocarpus amazonicum Hub*), buriti (*Mauritia flexuosa*), açai (*Euterpe oleracea Mart.*), mamorana (*Bombax paraensis Ducke*), paxiúba (*Iriartea exorrhiza, Mart II Wendel*), escada de jabuti (*Bauhinia sp.*), ucuuba (*Virola surinamensis – Rol Warb*), andiroba (*Carapa guianensis Hub*), pajeú (*Coccoloba latifolia*), jauari (*Astrocaryum jauari Marti*), bambu (*Guadua sodest*), aguapé (*Nymphas nelumbo*).

No local ocorre ainda vegetação com significativos distúrbios ambientais oriundos de várias décadas de ação humana. Esta vegetação conhecida popularmente como capoeira tem como uma de suas características, a de apresentar um baixo número de espécies de valor econômico (VALENTE et al., 2001).

#### 4.4- GEOLOGIA

A área da bacia do rio Apeú caracteriza-se pela presença de terrenos terciários da Formação Barreiras, composta por arenitos grosseiros e finos, siltitos e argilitos caulíníficos, além dos sedimentos recentes do quaternário, representados por cascalhos, areias e argilas inconsolidadas que ocorrem nas faixas estreitas e descontínuas, acompanhando os cursos d'água (MME - RADAM, 1974).

A Formação Barreiras, emergindo no Terciário Superior, é formada de inúmeros tipos litológicos que variam de argilito a conglomerados. Todavia, tal aspecto geológico estruturada em camadas que se apresentam alternadamente em perfeições estratificadas e laminadas, além de porções maciças, geralmente tem a predominância de arenitos finos e siltitos (MME -

RADAM, 1974). O grupo Barreiras ainda é caracterizado por fragmentos e lateritos ferruginosos e/ou aluminosos desorganizados, de granulometria fina a média, apresentando matriz argilosa, com proporções diversas em relação aos grãos de areia (ARAÚJO, 1997)

#### 4.5 - GEOMORFOLOGIA

A geomorfologia da bacia caracteriza-se pela presença de colinas de topos aplainados e moderadamente dissecados, compondo um dos setores do Planalto Rebaixado Amazônico e a planície sedimentar do Pleistoceno e Holoceno (MME -RADAM, 1974).

De acordo com Santos (2006), a área norte da bacia, formado pelo Planalto Rebaixado Amazônico alcança as maiores altitudes, com aproximadamente 69m de altura, também tem a porção mais plana; contudo a partir da BR-316 em direção ao sul, o mesmo torna-se mais ondulado ainda que sua configuração englobe as altitudes mais baixas (tabuleiros com cota de 15m e terraços com cotas em torno de 6m). Já na região sul da bacia, a planície sedimentada, torna-se mais ampla, predominando, altitudes máximas de 5m e as mais baixas encontram-se área do deságüe do rio Apeú no rio Inhangapí.

#### 4.6- SOLOS

A partir dos mapas de solos dos municípios de Castanhal (VALENTE *et al.*2001), Inhangapí (VALENTE *et al.* 2001) e de Santa Isabel do Pará (VALENTE *et al.*no prelo), Jesus (2009) conseguiu determinar as seguintes classes de solos compondo a bacia do Rio Apeú, Argissolo Amarelo PA, Argissolo Vermelho-Amarelo PV, Espodossolo Ferrocárbico (ESg), Gleissolo Háptico (Gxbd), Latossolo Amarelo (LAd), Neossolo Flúvico (RUbd)

#### 4.7 – DECLIVIDADE

Jesus (2009), ao determinar o comportamento topográfico da bacia, verificou que a declividade média do relevo está aproximadamente em 2,48%, apresentando uma variação de 0,002% (menor nível) à 15,66% (maior nível). Nesse sentido, assim como foi visto por Santos (2006), a topografia predominantemente da bacia é plana.

## 5. MATERIAL

### 5.1. SISTEMATIZAÇÃO DE DADOS GEORREFERENCIADOS

O tratamento e análise do conjunto de dados e informações georreferenciadas das áreas de estudo foram conduzidas nos programas Envi 4.2 e ArcView 3.4. Visando o levantamento da cobertura vegetal e uso da terra da área de estudo, foram selecionadas imagens digitais TM/ Landsat, órbita/ ponto 223/061, bandas TM 3, 4 e 5 do ano de 2008.

Como base cartográfica foram utilizadas a base planialtimétrica compilada a partir do uso de dados digitais disponibilizados pelo IBGE, na escala de 1:100.000, contendo entre outros elementos, a rede de drenagem e a malha viária existente para a área de estudo.

### 5.2-SOFTWARES UTILIZADOS

Foram utilizados os aplicativos dos programas GPS Trackmaker Free v.13,0 no auxílio a navegação com o GPS em campo. O programa Environment For Visualizing Images- Envi 4.5 (ENVI, 2009) foi utilizado para o tratamento e processamento das imagens de satélite. As análises relacionadas à configuração da paisagem e dos fragmentos de vegetação natural foram realizadas por meio do software Arcview 3.1, módulo PATCH ANALISY e para edição dos mapas utilizou-se o ArcGis 9.3.

### 5.3- INSTRUMENTOS COMPLEMENTARES DE CAMPO

Na primeira visita a campo, que tinha a intenção de fazer o reconhecimento da área, utilizou-se um GPS de navegação do tipo GARMIM e carta imagem em formato analógico da área de estudo. Posteriormente, nas outras viagens, foi utilizado um GPS de navegação do tipo eTrex Vista Color acoplado ao Netebook da marca Positivo Mobo White 1080, Windows xp professional sp3 e o Software TRACKMAKER FREE v.13,0 que proporcionou a navegação em tempo real sobre a carta imagem digital.

Para registro fotográfico das informações coletadas em campo utilizou-se uma câmera fotográfica Samsung-S630 de resolução 6.0 megapixels.

As viagens seguiram com o apoio de um automóvel tracionado L-200 e o auxílio de um guia, conhecedor da área, que possibilitou uma maior agilidade na obtenção dos dados e o recobrimento de toda área de abrangência da bacia do Rio Apeú.

## 6 – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

As etapas relacionadas ao desenvolvimento do trabalho estão representadas na Figura 6.

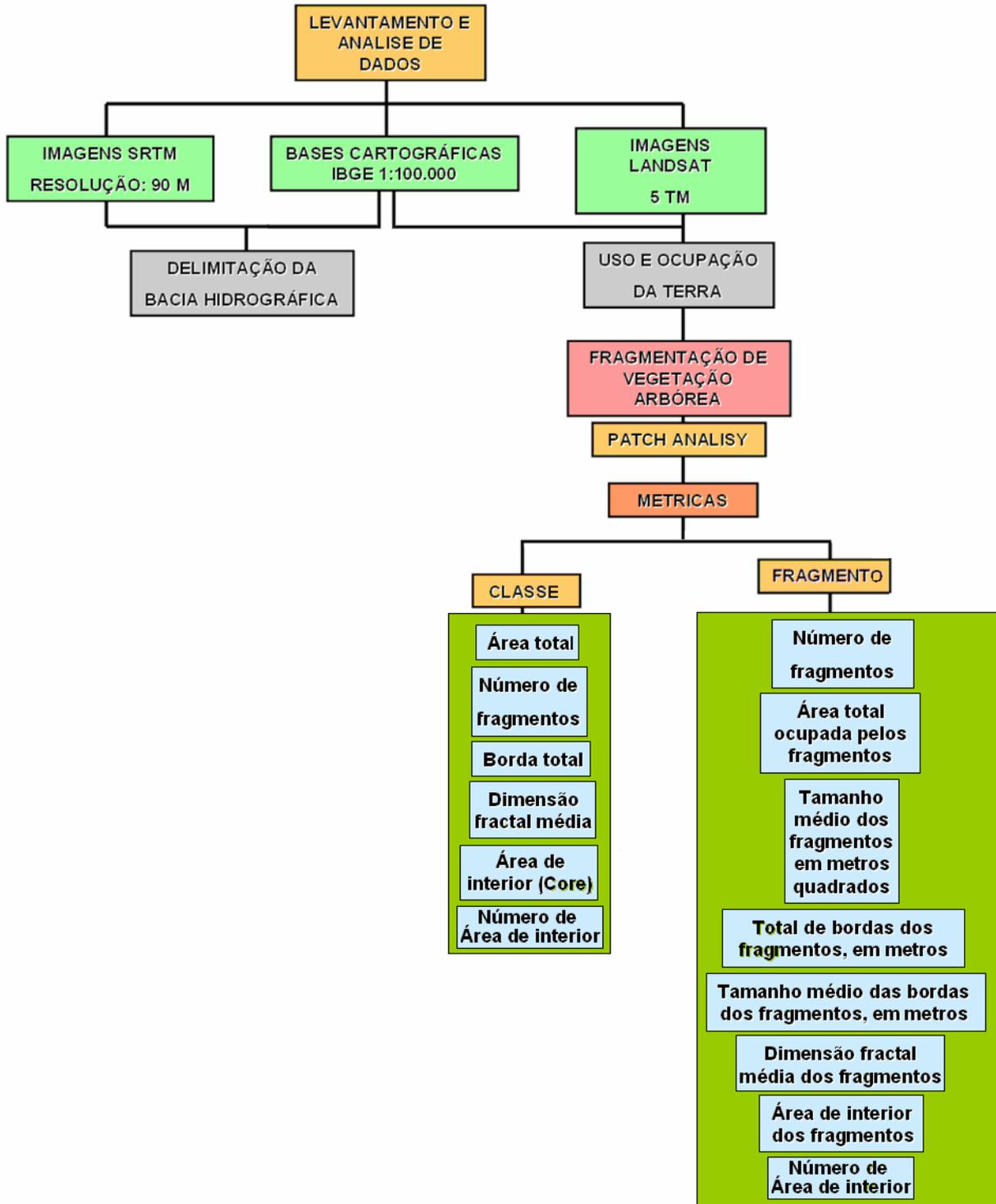


Figura 6. Fluxograma das etapas do trabalho.

## 6.1 DELIMITAÇÃO DA BACIA DO RIO APEÚ

O limite da bacia de estudo foi baseado em dados georreferenciados do relevo das áreas em questão, derivados de produtos *Shuttle Radar Topography Mission - SRTM* (DTED 90 metros, NASA/JPL/USGS; EROS/USGS, 2008). Para isso, utilizou-se a ferramenta *HIDROLOGY*, que funciona acoplada ao programa *ArcView 3.1*. O limite da bacias foi, portanto, definido pelos divisores topográficos que circunscrevem a área que drena para este ponto específico.

## 6.2 ELABORAÇÃO DO MAPA DE COBERTURA VEGETAL E USO DA TERRA

De posse da imagem já retificada, a mesma foi submetida ao processo de classificação. O processo de classificação foi conduzido a partir do algoritmo de máxima verossimilhança que, por ser ligado ao método supervisionado, necessita de um conhecimento prévio das feições ocorrentes na área de estudo. Tal análise teve apoio do trabalho de campo, permitindo assim, correlacionar as feições espectrais presentes nas imagens com padrões de cobertura vegetal e uso da terra observados no campo.

Após a coleta de amostras das classes de interesse, foi efetuada uma análise do desempenho das mesmas sendo, a seguir, gerada a classificação visando obter o maior índice Kappa. A partir do mapeamento para as geoclasses, foram realizadas edições temáticas de modo a refinar as informações presentes na imagem.

## 6.3. ANÁLISE DOS FRAGMENTOS DE VEGETAÇÃO ARBÓREA

As análises relacionadas à configuração da paisagem e dos fragmentos de vegetação natural foram realizadas por meio do software *Arcview*, módulo *PATCH ANALISY*. Esse software calcula diversas métricas em três níveis: mancha (*patch*), classe (*class*) e paisagem (*landscape*). Em qualquer um desses níveis, essas métricas quantificam a composição e/ou a configuração da paisagem, que afetam de forma significativa os processos ecológicos, tanto independente quanto simultaneamente.

As métricas de composição podem ser mais facilmente quantificadas e se referem às características associadas com a variedade e abundância dos tipos de manchas na paisagem, sem considerar as características espaciais, como a sua localização na paisagem.

A configuração espacial é mais difícil de ser quantificada e se refere às características espaciais, de arranjo, posição e orientação das manchas na classe ou na paisagem (MCGARIGAL et al., 2002).

As métricas geradas pela ferramenta PATCH ANALISY estão descritas nos itens abaixo.

### **6.3.1 Métricas de classes.**

- Área total - Soma das áreas de todos os fragmentos que compõem a bacia do rio Apeú;
- Número de fragmentos - Soma do numero total de fragmentos que compõem a bacia do rio Apeú;
- Borda total - Soma dos perímetros de todos os fragmentos que compõem a bacia do rio Apeú;
- Dimensão fractal média – mede a complexidade da forma dos fragmentos que compõem a bacia do rio Apeú. Varia de 1 (para manchas com formas mais simples e regulares) a 2 (para manchas com formas mais complexas);
- Área de interior (core) - soma de todas as áreas de interior dos fragmentos que compõem a bacia do rio Apeú. Considerou-se 100 metros de profundidade de borda, devido ao modelo agropecuário local, caracterizado pelo uso abusivo de herbicidas e pastoreio na borda dos remanescentes de vegetação arbórea;
- Número de áreas de interior ( $n^0$  core) - equivale ao número de áreas de interior disjuntas contidas dentro do limite do fragmento.

### **6.3.2 Métricas de fragmentos por classe de tamanho**

- Numero de fragmentos;
- Área total ocupada pelos fragmentos;
- Tamanho médio dos fragmentos em metros quadrados;

- Total de bordas dos fragmentos, em metros;
- Tamanho médio das bordas dos fragmentos, em metros;
- Dimensão fractal média dos fragmentos;
- Área de interior dos fragmentos (core);
- Número de áreas de interior ( $n^0$  core).

## 7 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 7.1 CARACTERIZAÇÃO DA REDE DE DRENAGEM DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo, apresenta um total de 31.374,9479 ha, dos quais 10.811,45 ha, são compreendidos por vegetação, representando 34,45% da área total e por uma bacia hidrográfica com comprimento de 207,396 km, tendo sua densidade representada por 6,6102. A densidade de drenagem (DD) fornece o grau de desenvolvimento de uma rede de drenagem. De acordo com DENAEEEE-ESC (1980) apud Oliveira, (1996) uma rede de drenagem pode ser considerada: pobre ( $DD < 7,5$  m/ha), mediana ( $7,5 < DD < 15$  m/ha) ou rica ( $DD > 15$  m/ha). Assim, em conformidade com esse parâmetro, a drenagem da bacia do Apeú pode ser considerada como uma rede de drenagem pobre como mostra a Tabela 1.

A densidade de drenagem dá indicação da eficiência da drenagem natural de uma bacia, e conseqüentemente a tendência para a ocorrência de cheias. De acordo com Christofolletti (1980), o comportamento hidrológico das rochas reflete na densidade de drenagem. Rochas que dificultam a infiltração contribuem para o escoamento superficial, favorecendo a esculturação de canais. A densidade de drenagem também é um bom indicador da permeabilidade do solo: Solos arenosos, mais permeáveis, apresentam densidade de drenagem menor do que solos mais argilosos.

Acredita-se que a baixa densidade de drenagem verificada para área de estudo é reflexo da presença de um relevo plano e suave (declividade média de 2,48% - SANTOS (2006) e JESUS (2009)), cuja condição de alta permeabilidade do solo permite rapidez de infiltração de água e conseqüente formação de lençóis aquíferos, estando pouco sujeita a cheias e erosões fortes.

Conforme Cooke & Doornkamp (1974), declividades no intervalo de 0 a 2% permitem todos os usos, dentre eles, agricultura mecanizada e desenvolvimento urbano, sendo crítico apenas para pistas de aeroporto internacional, e de 2 a 4% é crítico para transporte ferroviário de carga e passageiros, veículos comerciais, pistas de aeroporto local, plantio e cultivo livre. As restrições surgem a partir das declividades de 4 a 5%, todavia para construções de rodovias principais. Os problemas de riscos de erosão do solo começam a ocorrer somente quando as declividades são superiores a 5%. No caso da bacia hidrográfica do rio Apeú apenas 6,49% de sua superfície corre esse risco, estando o restante, cerca de 93,51% isenta de tal risco (SANTOS, 2006)

TABELA 1. Caracterização da rede de drenagem da Bacia Hidrográfica do Rio Apeú.

	<b>Comprimento da drenagem (km)</b>	<b>Densidade da drenagem (m/ha)</b>	<b>Padrão da drenagem</b>
<b>Bacia do rio Apeú</b>	<b>207,396</b>	<b>6,6102</b>	<b>Pobre</b>

O rio Apeú nasce na fazenda Buriti município de Castanhal e desemboca no rio Inhangapí. O rio Apeú tem como afluentes os igarapés Janjão, Fonte Boa, Marapanim, Papuquara, Capiranga, Itaqui e São João. A Figura 7 mostra a rede de drenagem da bacia do Rio Apeú, identificando os seus principais afluentes.

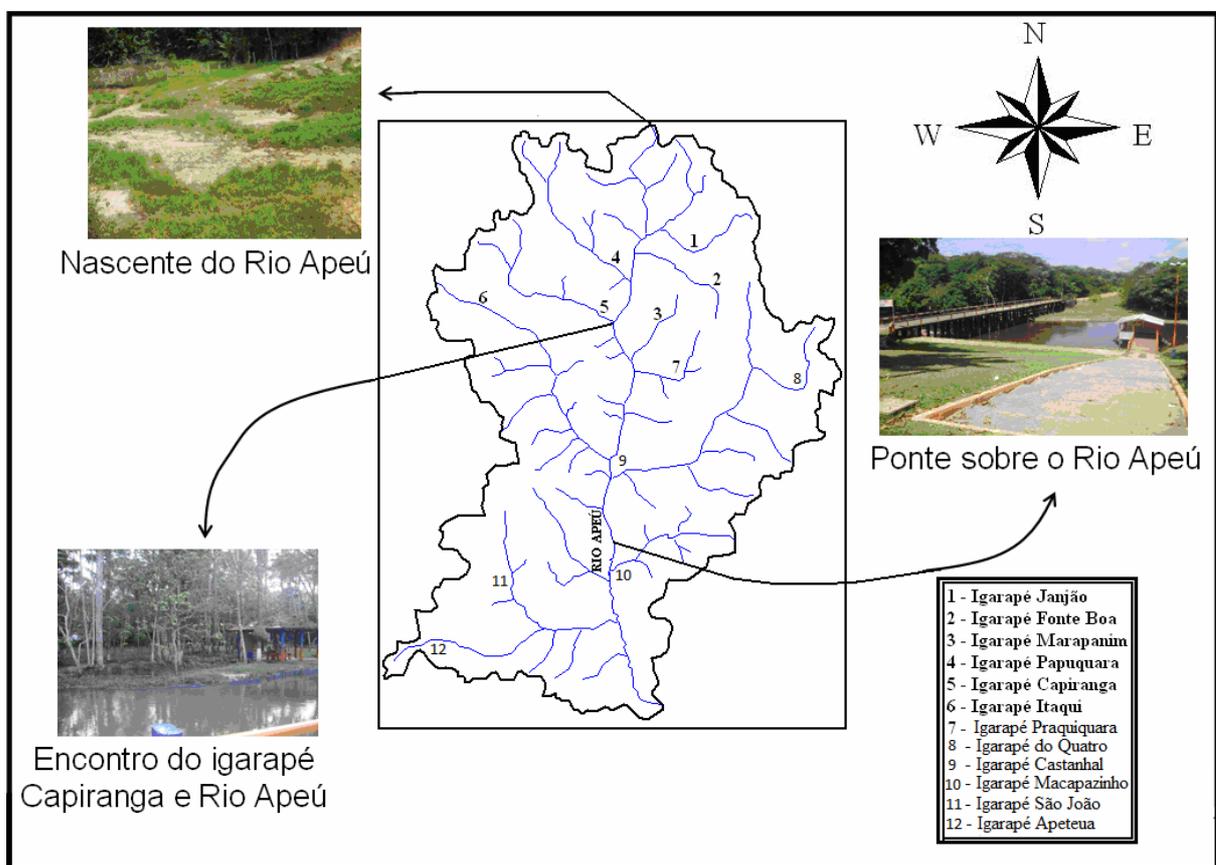


Figura 7: Rede de drenagem da Bacia do Rio Apeú.

## 7.2 - CARACTERIZAÇÃO DA COBERTURA VEGETAL E USO DA TERRA NA ÁREA DE ESTUDO

Foram identificados seis tipos de uso e ocupação da terra para a bacia hidrográfica do rio Apeú: agro-silvicultura, solo exposto, água, pastagem, área de mineração e vegetação arbórea (Figura 8).

O mapa de uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do rio Apeú está representada na Figura 9. Essa figura evidencia uma área com atividade fortemente voltada para pecuária, visto que 36,9% da área de estudo são destinados a esse fim (Tabela 2). Estes resultados coincidem com os observados em muitas áreas na Amazônia (McCracken et al., 1999; Mertens et al., 2002; Watrin et al. 2009; Batistella, 2001), onde a feição de maior evidência em termos de área corresponde às pastagens em seus diferentes estados. Fearnside (2001) estima que pelo menos 80% das áreas desflorestadas na Amazônia estão ocupadas com pastagens cultivadas ou apresentam vegetação secundária oriunda de áreas de pastagens degradadas e/ou abandonadas, principalmente sob tutela de grandes proprietários de terra.

A vegetação natural abrange 34,4% da área da bacia. Watrin et al. (2007) estudando a paisagem de uma bacia hidrográfica no município de Paragominas, também localizada no nordeste paraense, encontrou uma área de 37% ocupada por vegetação natural, valores estes muito próximos ao encontrado neste trabalho.

A área de solo exposto representa 27,28% da área. Vale ressaltar que nesta classe foram consideradas as regiões urbanas, bem como áreas desmatadas por implantação de atividades agropecuárias ou exploração florestal.

Ocupando áreas pouco expressivas, estão as classes agro-silvicultura e área de mineração, que representam somente 0,7% e 0,24% do total da área, respectivamente.

TABELA 2. Área (em ha e %) ocupada por cada classe de uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do rio Apeú – ano 2008

<b>CLASSES</b>	<b>HA</b>	<b>%</b>
ÁGUA	106,38	0,33
SOLO EXPOSTO	8.587,25	27,38
VEGETAÇÃO ARBÓREA	10.811,45	34,45
PASTAGEM	11.572,60	36,9
AGRO-SILVICULTURA	221,58	0,7
ÁREA DE MINERAÇÃO (EXTRAÇÃO DE AREIA)	75,69	0,24
<b>TOTAL</b>	<b>31.374,95</b>	<b>100</b>



Figura 8: Tipos de uso e ocupação da terra na Bacia hidrográfica do rio Apeú

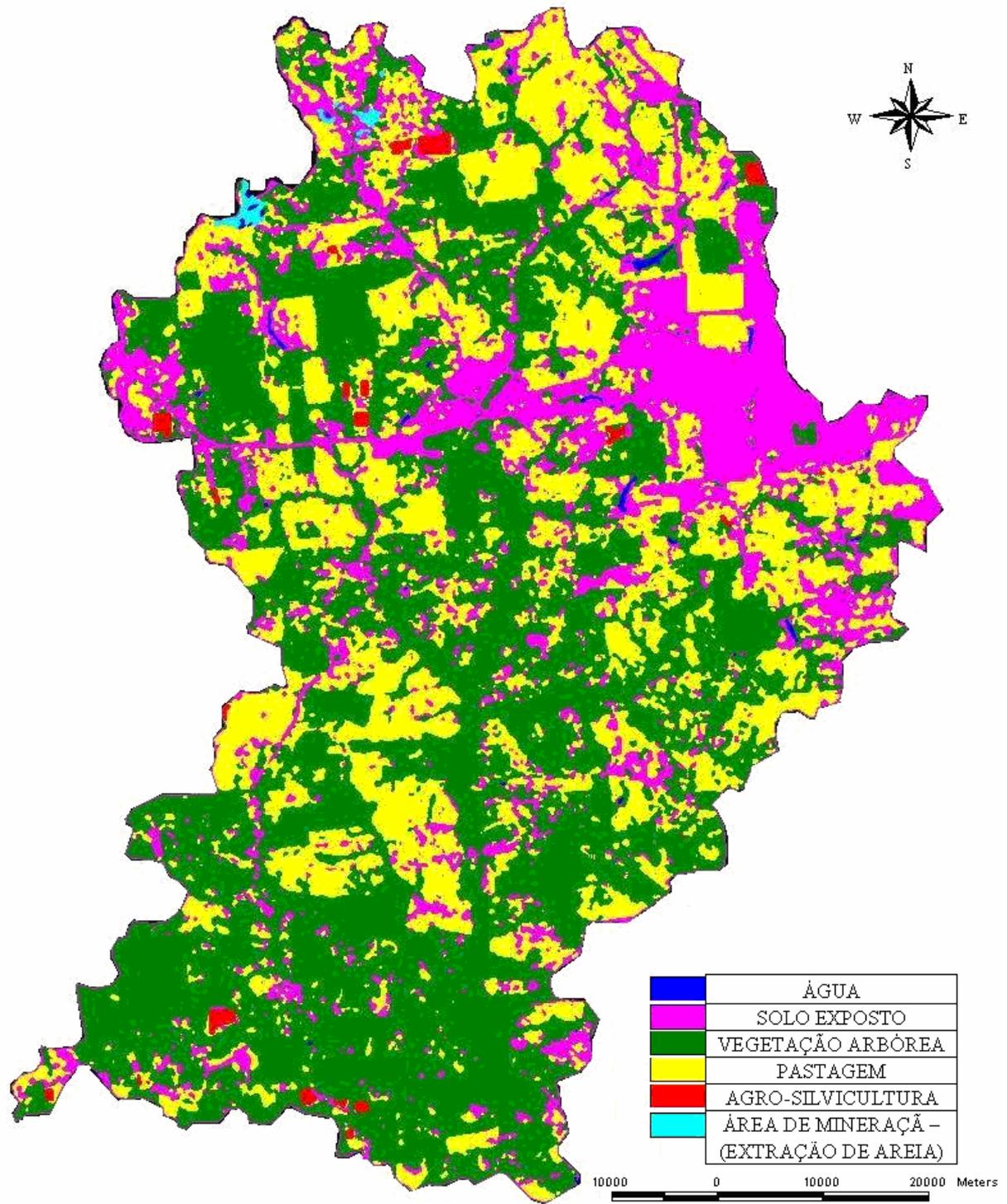


Figura 9. Representação da cobertura vegetal e uso do solo na Bacia hidrográfica do rio Apeú.

## 7.3 – ANÁLISE DOS FRAGMENTOS DE VEGETAÇÃO ARBÓREA

### 7.3.1 – Métricas de classes

Os resultados calculados a partir do software PATCH ANALISY (Tabela 3), mostraram que do universo da bacia hidrográfica do rio Apeú, 10.811,45ha constituem a vegetação arbórea, compreendendo assim um percentual de 34,45%.

A paisagem da bacia hidrográfica do rio Apeú é bastante fragmentada, formada por 507 fragmentos de vegetação natural. Segundo Casimiro (2000) o número de manchas de um determinado habitat pode influenciar uma grande variedade de processos ecológicos, como por exemplo a determinação do número de sub-populações de uma população espacialmente dispersa, pode alterar a estabilidade das interações e oportunidades de coexistência em sistemas de predador – presa e sistemas competitivos. Por outro lado, quanto maior a subdivisão da paisagem, maior número de manchas, maior a resistência potencial à propagação de perturbações (doenças, fogo), podendo as manchas persistir mais facilmente do que se o número fosse diminuto.

As bordas dos fragmentos alcançaram 1.281.999,63 metros. A quantidade total de margens é um bom indicador da configuração da paisagem. Quanto maior for o total de margens maior a fragmentação da paisagem. A importância das margens é muito elevada, pois há uma importante interação da flora e da fauna nestas áreas de margem, que podem constituir habitats por si só, além de serem claramente frentes de interface: predação e refúgio, dispersão de sementes e re-colonização, proteção do vento, etc. É sobretudo o grau de contraste entre as manchas ao longo das margem que influencia vários processos ecológicos importantes, esse contraste pode ser medido à escala das manchas e não da totalidade da paisagem (O'NEILL, 1988).

A dimensão fractal média encontrada para os fragmentos foi de 1,36, demonstrando assim, que em geral, os fragmentos apresentam-se com pouca complexidade de suas bordas, tendendo à formas regulares, o que evidencia a forte presença humana na paisagem da bacia. A forma dos fragmentos florestais é um importante parâmetro a ser considerado, pois está diretamente relacionado ao efeito de borda, determinando o grau com que esse efeito age sobre o fragmento e a maior ou menor influência dos fatores externos sobre a sua biodiversidade (PIRES, 1995).

A área central tem sido considerada uma medida muito mais forte (do ponto de vista de previsão) de qualidade de habitats por especialistas de áreas interiores, do que a área dos fragmentos. A área central é afetada pela forma, enquanto a área do fragmento não (considerando-se a área como invariável). Para se entender o problema das áreas centrais, pode-se pensar que certos fragmentos têm bastante área – o suficiente para manter uma dada espécie – mas não têm área central capaz de permitir a manutenção de uma outra espécie.

A área de interior é de 3.289,77 ha, o que mostra que 70% da área dos fragmentos de vegetação natural que compõem a bacia hidrográfica do rio Apeú é constituída por ambiente de borda, o que evidencia a presença de fragmentos pequenos e/ou alongados, tornando a paisagem da bacia prejudicada quanto à qualidade do hábitat, que fica mais exposto aos efeitos de borda. De acordo com Odum (1988), o formato do fragmento define primordialmente a composição das espécies em seu interior, pois formas isodiamétricas (círculo perfeito) tem uma relação maior de espécies de interior do que aquelas que tendem ao retângulo, que podem chegar ao extremo de possuírem somente espécies de borda. Cabe destacar também que fragmentos com formas mais alongadas tendem a servir como corredores para espécies, e fragmentos com forma mais circular tendem a apresentar uma diversidade de espécies e forrageamento no interior maior (FORMAN e GODRON, 1986).

Considerando que a superfície total abrangida por área de interior é de 3.289,77 ha e que o número de áreas de interior é de 268, tem-se que cada área de interior apresenta uma média de 12 ha. Esta área, segundo Metzger (1997), não é considerada suficiente para manter a sustentabilidade de algumas espécies e a integridade de sua estrutura natural. 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, Metzger (1997) coloca que essa área é de aproximadamente 25 ha.

A Figura 10 mostra os fragmentos de vegetação arbórea encontrados na bacia juntamente com a sua rede hidrográfica. Pode-se perceber que grande parte dos fragmentos está localizada junto aos recursos hídricos, e por isso apresentam formas mais alongadas, formando corredores ao invés de fragmentos com formatos mais simples, caracterizando uma vegetação ribeirinha, também denominada de mata ciliar.

Forman e Collinge (1996) incluem como benefícios da existência de vegetação nas margens dos rios: o controle de erosão nas margens, a redução de nutrientes e outras substâncias que entrariam no córrego, mas que permanecem no sistema, a possibilidade de

abrigo e de condução das espécies que se movem pelo sistema, o fornecimento de sombra e de alimentos, também pelas folhas e troncos caídos.

TABELA 3. Valores de métricas da classe vegetação da bacia do rio Apeú

Área total da vegetação arbórea (ha)	Número total de fragmentos	Comprimento total de bordas (m)	Dimensão fractal média	Área total de interior (ha)	Número de áreas de interior
10.811,45	507	1.281.999,63	1,36	3.289,77	268

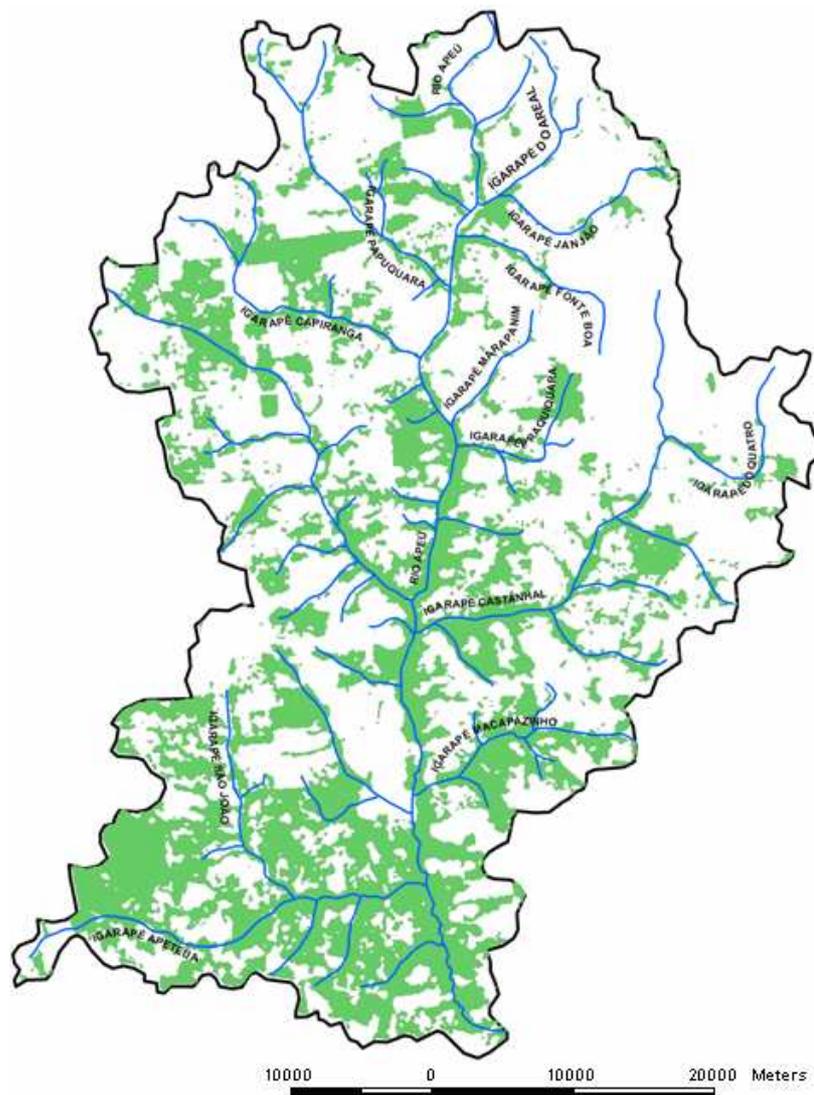


Figura 10 - Fragmentos de vegetação arbórea e rede hidrográfica da bacia do rio Apeú

Fazem parte desta vegetação 507 fragmentos, os quais foram dispostos por classes de tamanhos a fim de atender a grande diversidade de tamanhos encontrados na paisagem, conforme mostra a Tabela 4 e Figura 11.

De acordo com Viana e Pinheiro (1998), a distribuição das classes de tamanho dos fragmentos de vegetação natural na paisagem é um elemento importante para o desenvolvimento de estratégias para a conservação da biodiversidade.

Assim sendo, verifica-se a presença de 490 fragmentos com área menor que 50 ha, que em conjunto ocupam um área de 1335,93 há, ou seja, 12,3% da área ocupada por vegetação. Observa-se que os fragmentos de pequeno tamanho se fazem mais presentes nas porções norte e central da bacia, denotando que nestas áreas existem um maior impacto ambiental causado pela presença humana, pois conforme pode ser verificado através da Figura 12, a maior concentração humana dentro da bacia, realmente encontra-se nestas áreas, o que pode ser evidenciada pela presença de grande número de localidades na porção norte e central da bacia (sede municipal, vilarejos, povoados, fazendas, etc)

A redução do tamanho da manchas pode ser considerada um dos efeitos mais notórios da destruição de habitats (BENDER et al., 1998). São inúmeras as influências da área sobre os fragmentos de vegetação arbórea. De acordo com Saunders et al. (1991), quanto menor o fragmento, mais exposto à influência dos fatores externos ele estará. Nos remanescentes menores, as dinâmicas do ecossistema serão provavelmente dirigidas por fatores externos predominando sobre as forças internas.

Segundo Harris (1984), apud TORENZAN (2005), qualquer diminuição na 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.

Para a fauna, a redução do habitat traz como consequência a falta de recursos alimentícios em uma quantidade que satisfaça a demanda, ou seja a quantidade de espécies que ainda estão no local - gerando com isso a redução ou até mesmo a extinção da espécie. Com relação as aves, por exemplo, existe o problema que algumas se adaptam a toda uma floresta mas não conseguem se adaptar ao fragmento da mesma devido ao próprio espaço necessário ao seu desenvolvimento e a outras condições como o clima e a intervenção humana (METZGER, 2003).

O maior fragmento da paisagem encontra-se na parte sul da bacia, que conforme pode ser verificado através da Figura 12, é a parte da bacia que se encontra menos povoada, evidenciada pelo menor número de localidades, o que em consequência acarreta um menor impacto ambiental. Este fragmento apresenta uma área de 3.985,82 ha, aproximadamente 13% da área. Este índice é importante quando se busca verificar a presença de espécies que dependem de um tamanho determinado de fragmento como área de vida. Os remanescentes maiores geralmente possuem uma maior biodiversidade que os remanescentes menores. Portanto, quanto maior o fragmento, maior o tamanho das populações nele encontradas e maiores serão as chances de resistir aos processos de extinção (SAUNDERS et al., 1991).

No entanto, os efeitos da área dos fragmentos variam para cada espécie. Espécies que necessitam de áreas maiores ou que requerem combinações de diferentes tipos de hábitat sobreviverão preferencialmente em fragmentos relativamente maiores, assim como organismos com populações pequenas e locais e que requerem hábitats simples, conseguem facilmente sobreviver em fragmentos menores (SAUNDERS, et al., 1991).

TABELA 4. Número e área ocupada por fragmentos de vegetação arbórea distribuídos por classe de tamanho.

<b>CLASSES</b>	<b>Num. Fragmentos</b>	<b>Área (ha)</b>
< 50	490	1.335,93
50 – 100	6	454,80
100 – 200	4	596,15
200 – 350	2	595,03
350 – 500	1	386,70
500 – 1000	2	1.103,84
1000 – 3000	1	2.353,18
> 3000	1	3.985,82
<b>TOTAL</b>	<b>507</b>	<b>10.811,45</b>

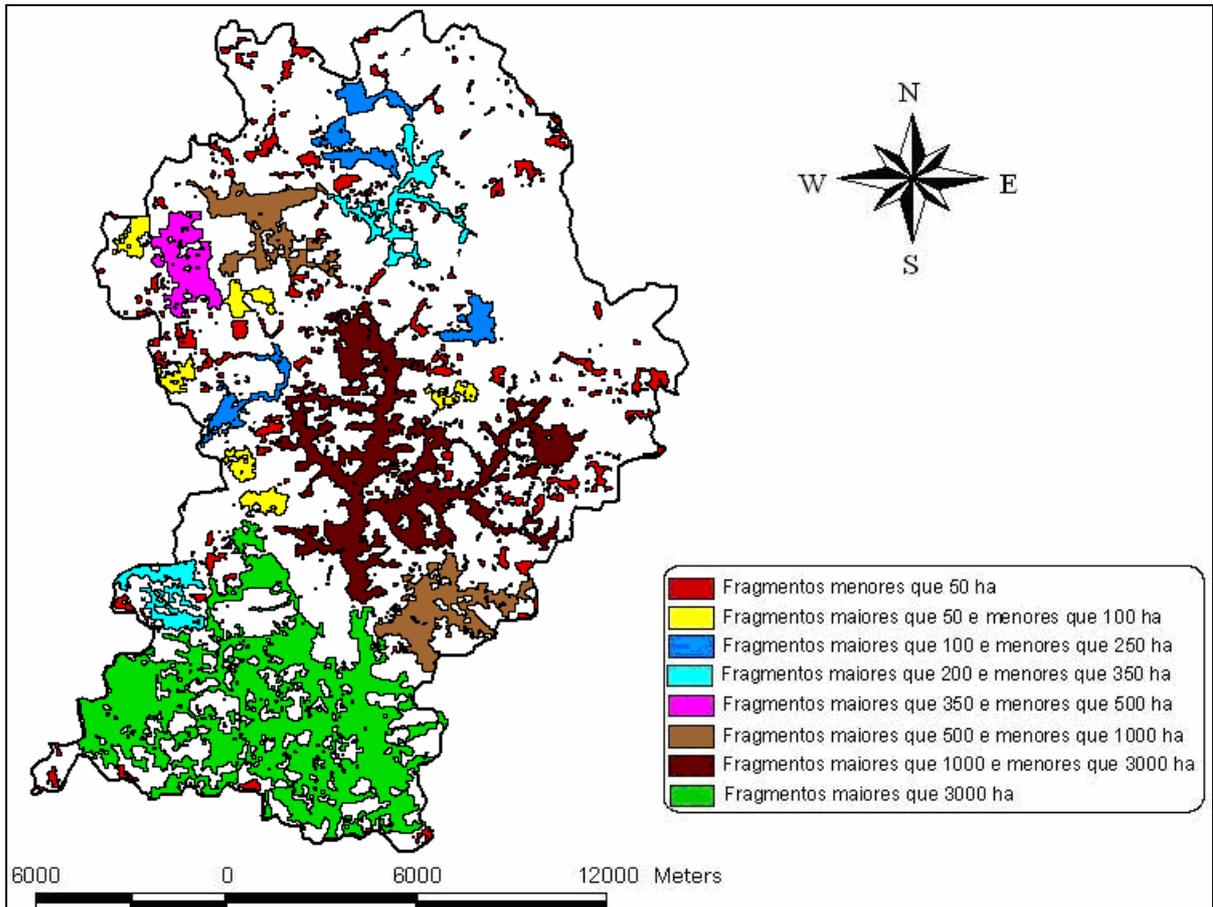


Figura 11- Fragmentos de vegetação arbórea classificados por tamanho (ha) para a bacia hidrográfica do rio Apeú

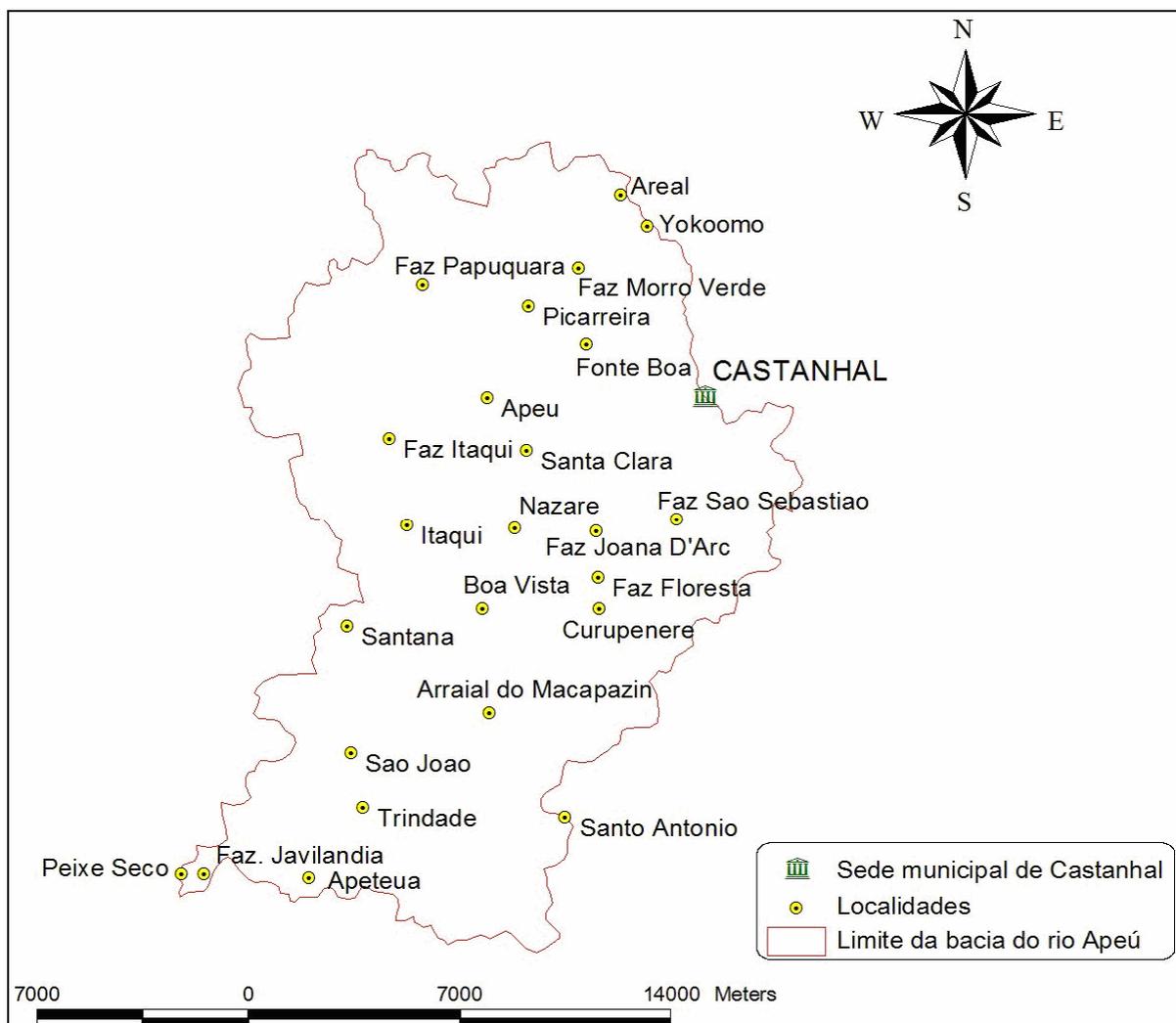


Figura 12- Espacialização das localidades presentes na bacia hidrográfica do rio Apeú

### 7.3.2 - Métricas de fragmentos por classe de tamanho

#### 6.3.2.1 – Fragmentos de vegetação menores que 50 hectares.

Para esta classe de fragmentos, obteve-se 490 fragmentos, ou seja, 97% dos fragmentos que constituem a bacia apresentam área menor que 50 ha. A média de tamanho destes fragmentos é de 2,72 hectares, tamanho de borda de 371.435,55 metros, média de bordas de 758,03 metros, dimensão fractal média de 1,36 e área interior de 46,67ha, conforme verifica-se na Tabela 5.

Valores semelhantes aos encontrados neste trabalho foram observados por Watrin et al (2009) que estudando a configuração da paisagem em duas microbacias bem próximas à área de estudo, no município de Igarapé-Açu, verificou também a predominância de pequenos fragmentos de vegetação nativa. O autor constatou que

96,6% dos fragmentos de vegetação dessas microbacias tinham área inferior a 50 ha com dimensão fractal de 1,35.

TABELA 5. Métricas de fragmentos menores que 50 ha na bacia hidrográfica do rio Apeú.

Nº de Fragmentos	Tamanho médio de fragmentos (ha)	Total de borda (m)	Tamanho médio de borda (m)	Dimensão fractal média	Área total (ha)	Área total de interior (ha)	Nº de áreas de interior
490	2,72	371.435,55	758,03	1,36	1.335,93	46,67	51

A dimensão fractal de 1,36 encontrada neste trabalho informa que os fragmentos possuem uma forma próximo da regular. É importante ressaltar que quanto mais distante o fragmento estiver da forma básica, mais recortado ele se torna, sendo mais suscetível ao efeito de borda.

Em manchas florestais, as bordas são ocupadas por espécies vegetais pioneiras de baixa longevidade e que se apresentam em uma cobertura mais densa - fruto da maior disponibilidade de luz e competição vegetal reduzida no seu lado exterior (RAYNE et al., 1981). Por outro lado, as manchas com áreas maiores possuem mais espécies do que as menores, tendo em vista que elas também fornecem um ambiente mais protegido para espécies interiores mais sensíveis (RAVAN; ROY, 1993). Já do ponto de vista da biodiversidade animal, as bordas ou margens de uma mancha, consideradas também como ecótonos (zonas de transição entre dois habitats), desempenham um papel ecológico importante, pois os recursos ecológicos nessas zonas são, em geral, compartilhados por um número significativo maior de espécies que nos habitats interiores (KIENAST, 1993).

Verifica-se que, embora a área total ocupada pelos fragmentos que compõem esta classe ser de 1.335,93 ha, apenas 46,67 ha (3,5%) são considerados áreas de interior, ou seja 96,5% da área é composta exclusivamente por ambientes de bordas. Isto fica ainda mais evidente através do número reduzido de 51 áreas de interior, com média de 0,9 ha cada, as quais expressam que os fragmentos desta classe possuem formas muito pequenas e/ou alongadas.

Os fragmentos de vegetação desta classe, além de possuírem um número baixo de áreas de interior, nos fragmentos em que essas áreas existem, elas são pequenas, prejudicando a qualidade ambiental de seus fragmentos.

A Figura 13 mostra a espacialização dos fragmentos menores que 50 ha presentes na bacia (Figura 13a), bem como os fragmentos desta classe que apresentaram área de interior (Figura 13b).

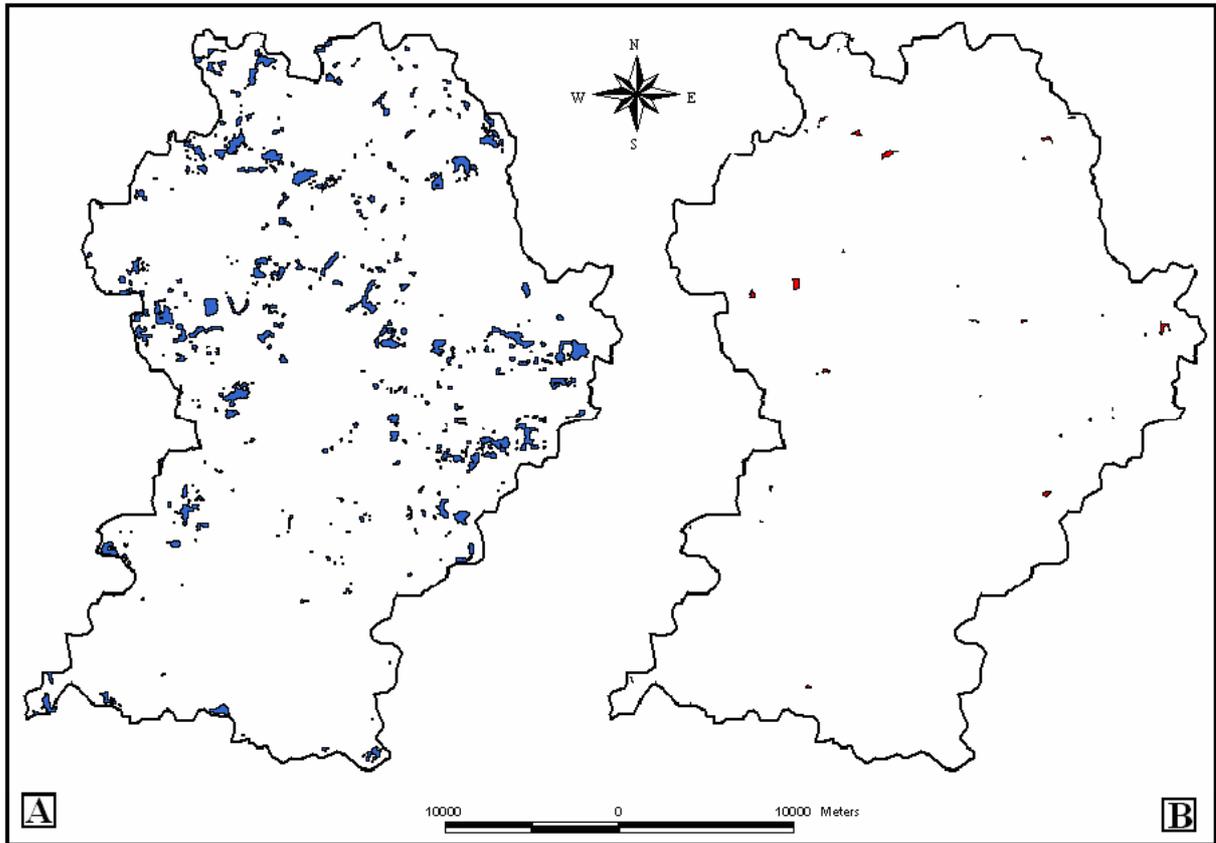


Figura 13- Fragmentos da vegetação arbórea da bacia hidrográfica do rio Apeú – (a) fragmentos menores que 50ha; (b) fragmentos menores que 50ha que apresentam área de interior.

Através da Figura 14, pode-se perceber que, a maior parte dos fragmentos desta classe possui uma área menor que 1 ha caracterizada pela grande retirada da vegetação nativa, não sendo um bom indicativo para a sustentação e manutenção de espécies de fauna. Apesar disso, esses fragmentos são importantes e devem ser conservados, pois auxiliam na conexão entre os fragmentos maiores. De acordo com Metzger (1997), os fragmentos com área superior a 0,72 ha têm condições de assumir uma importante função na conexão florestal, pois são úteis à locomoção de animais e dispersão de sementes na paisagem.

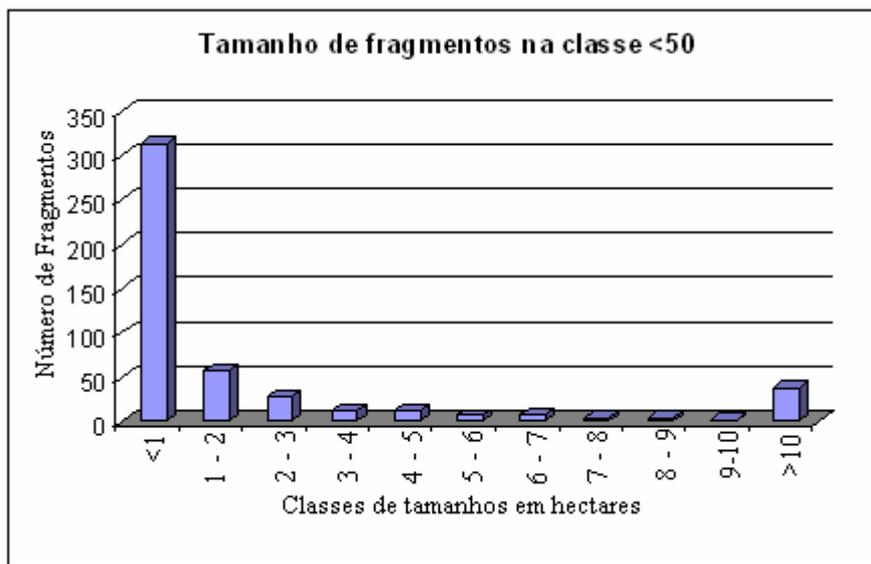


Figura 14. Distribuição do número de fragmentos menores que 50 hectares na bacia hidrográfica do rio Apeú.

### 6.3.2.2 – Fragmentos maiores que 50 hectares e menores que 100 hectares.

Conforme apresentado na Tabela 6, esta classe de fragmentos é constituída de 6 fragmentos, com média de tamanho de 75,80 hectares, tamanho de borda de 56.087,74 metros, tamanho médio de bordas de 9.347,95 metros, dimensão fractal média de 1,35.

TABELA 6. Métricas de fragmentos maiores que 50 ha e menores que 100 ha na bacia hidrográfica do rio Apeú

Nº de Fragmentos	Tamanho médio de fragmentos (ha)	Total de borda (m)	Tamanho médio de borda (m)	Dimensão fractal média	Área total (ha)	Área total de interior (ha)	Nº de áreas de interior
6	75,80	56.087,74	9347,95	1,35	454,80	100,71	17

A área total ocupada pelos fragmentos que compõem esta classe é de 453,80 ha, das quais 78% da área é composta por ambientes de borda, ou seja, 22% são consideradas áreas de interior. Os resultados indicam que a área total de interior é de 100,71 ha com formação

de 17 áreas, o que representa que cada área de interior tem em torno 6 ha. Esta área de acordo com Metzger (1997) pode ser considerada pequena sob o ponto de vista da conservação da biodiversidade.

Apesar de não existir um consenso sobre a área mínima para a conservação da biodiversidade, e sim a necessidade de uma Área Mínima Viável (AMV) para uma População Mínima Viável (PMV), o estabelecimento da eficiência no tamanho de uma área deve se dar de acordo com a população que se deseja manter sustentável. Carmo (2000), estabelece que esta área mínima é de 300 ha. Assim sendo, área dos fragmento desta classe não atendem esse padrão.

Estes fragmentos, embora considerados pequenos para manutenção da biodiversidade, apresentam-se como elementos importantes dentro da paisagem e devem ser conservados, pois auxiliam na conexão entre os demais fragmentos, sendo úteis à locomoção de animais e dispersão de sementes.

A Figura 15 mostra a espacialização dos fragmentos maiores que 50 hectares e menores que 100 hectares presentes na bacia (Figura 15a), bem como os fragmentos desta classe que apresentaram área de interior (Figura 15b).

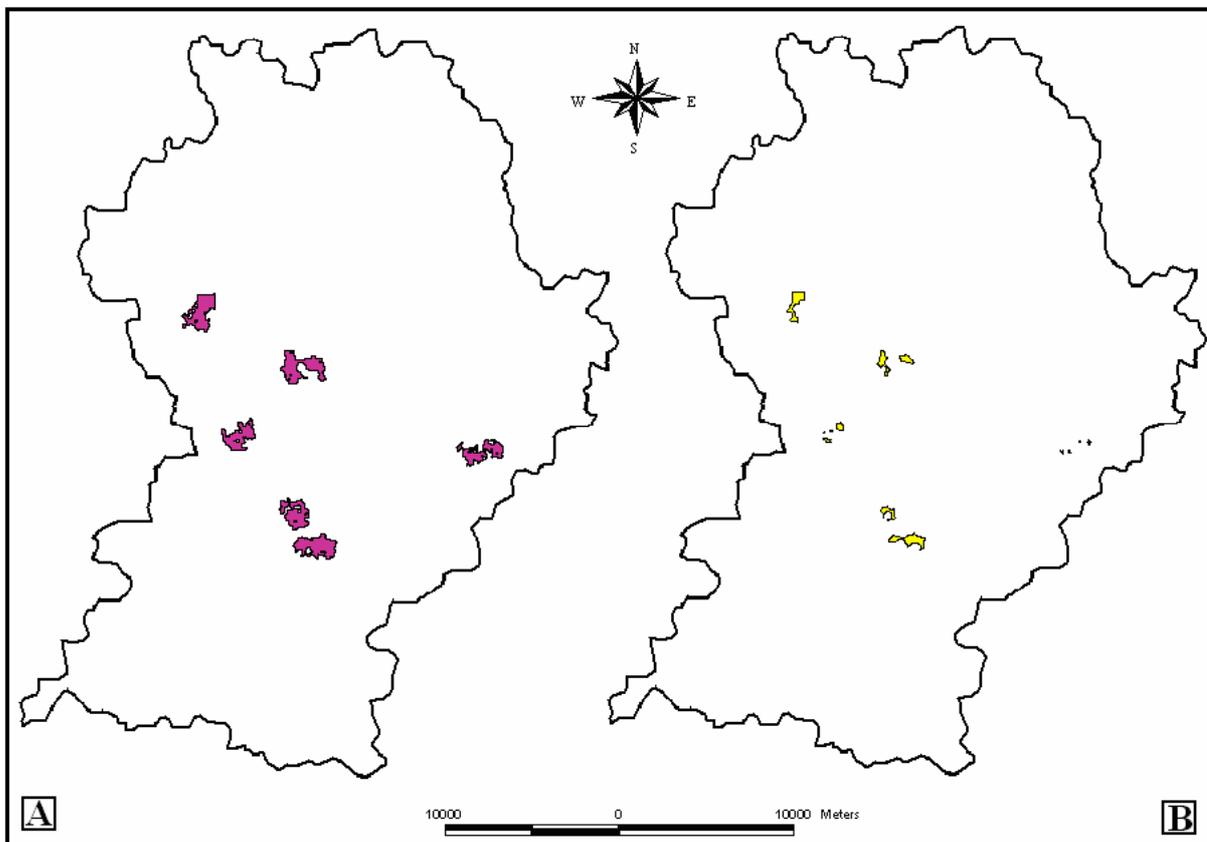


Figura 15- Fragmentos da vegetação arbórea da bacia hidrográfica do rio Apeú – (a) maiores que 50 hectares e menores que 100 hectares; (b) fragmentos maiores que 50 hectares e menores que 100 hectares que apresentam área de interior.

#### 6.3.2.3. – Fragmentos maiores que 100 hectares e menores que 200 hectares.

A Tabela 7, mostra que nesta classe de fragmentos, obteve-se 4 fragmentos com média de tamanho de 149,03 hectares, tamanho total de borda de 65.843,90 metros, tamanho médio de bordas de 16.460,97 metros, dimensão fractal média de 1,35 e área interior de 177,09 ha.

TABELA 7. Métricas de fragmentos maiores que 100 ha e menores que 200 ha na bacia hidrográfica do rio Apeú

Nº de Fragmentos	Tamanho médio de fragmentos (ha)	Total de borda (m)	Tamanho médio de borda (m)	Dimensão fractal média	Área total (ha)	Área total de interior (ha)	Nº de áreas de interior
4	149,03	65.843,90	16.460,97	1,35	596,15	177,09	13

A área total ocupada pelos fragmentos que compõem esta classe é de 596,15 ha, sendo que 70% (419,06 há) desta área é constituída por ambiente de borda, ou seja 30% (177,09 ha) refere-se a ambientes de interior. As áreas de interior apresentam em média 13,6 ha, o que demonstra uma menor tendência ao formato alongado, o que contribui para um menor comprometimento da qualidade ambiental destes fragmentos.

A Figura 16 mostra a espacialização dos fragmentos maiores que 100 hectares e menores que 200 hectares presentes na bacia (Figura 16a), bem como os fragmentos desta classe que apresentaram área de interior (Figura 16b).

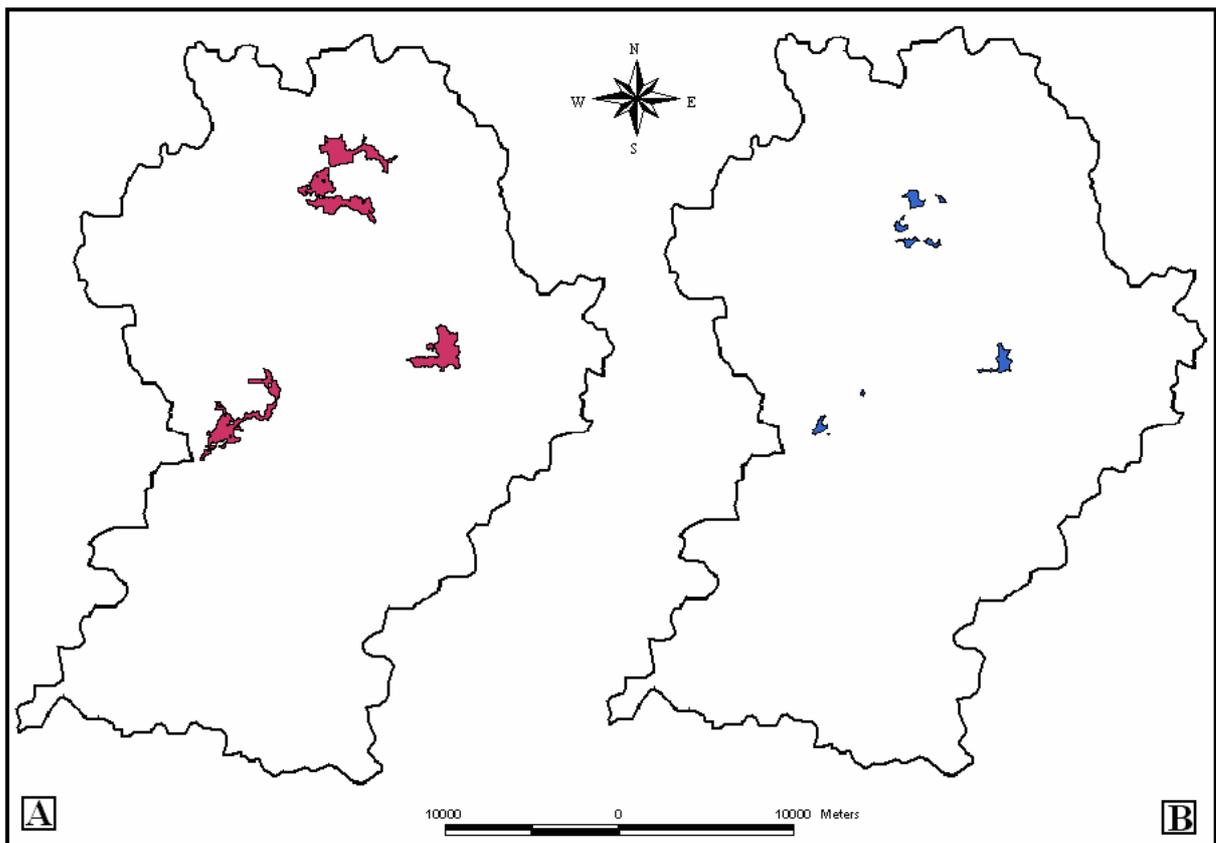


Figura 16- Fragmentos da vegetação arbórea da bacia hidrográfica do rio Apeú – (a) maiores que 100 hectares e menores que 200 hectares; (b) fragmentos maiores que 100 hectares e menores que 200 hectares que apresentam área de interior.

#### 6.3.2.4. – Fragmentos maiores que 200 hectares e menores que 350 hectares.

Para esta classe de fragmentos, obteve-se 2 fragmentos, com média de tamanho de 297,51 hectares, tamanho total de borda de 86.441,49 metros, média de bordas de 43.220,74 metros, dimensão fractal média de 1,42 e área interior de 90,96 ha (Tabela 8). Os fragmentos desta classe apresentam bordas mais complexas ficando assim mais expostos ao efeito de borda.

TABELA 8. Métricas de fragmentos maiores que 200 ha e menores que 350 ha na bacia hidrográfica do rio Apeú

Nº de Fragmentos	Tamanho médio de fragmentos (ha)	Total de borda (m)	Tamanho médio de borda (m)	Dimensão fractal média	Área total (ha)	Área total de interior (ha)	Nº de áreas de interior
2	297,51	86.441,49	43.220,74	1,42	595,03	90,96	19

As áreas de interior destes fragmentos são bastantes reduzidas, somente 90,96 ha, o que representa 15% da área total, ficando os 85% restantes da área representados por ambiente de margem.

Apesar dos fragmentos desta classe apresentarem uma dimensão muito próxima a mínima requerida (CARMO; 2000), a média de cada área de interior é de somente 4,7 ha. Isto significa que estes apresentam uma forma bastante alongada, sob grande influência dos efeitos de borda, principalmente pela influência direta da matriz (pastagem), levando a extinções e invasão de outras espécies, mais adaptadas. A reduzida área de interior incorrerá portanto, na perda de biodiversidade das espécies mais sensíveis às mudanças.

A Figura 17 mostra a espacialização dos fragmentos maiores que 200 hectares e menores que 350 hectares presentes na bacia (Figura 17a), bem como os fragmentos desta classe que apresentaram área de interior (Figura 17b).

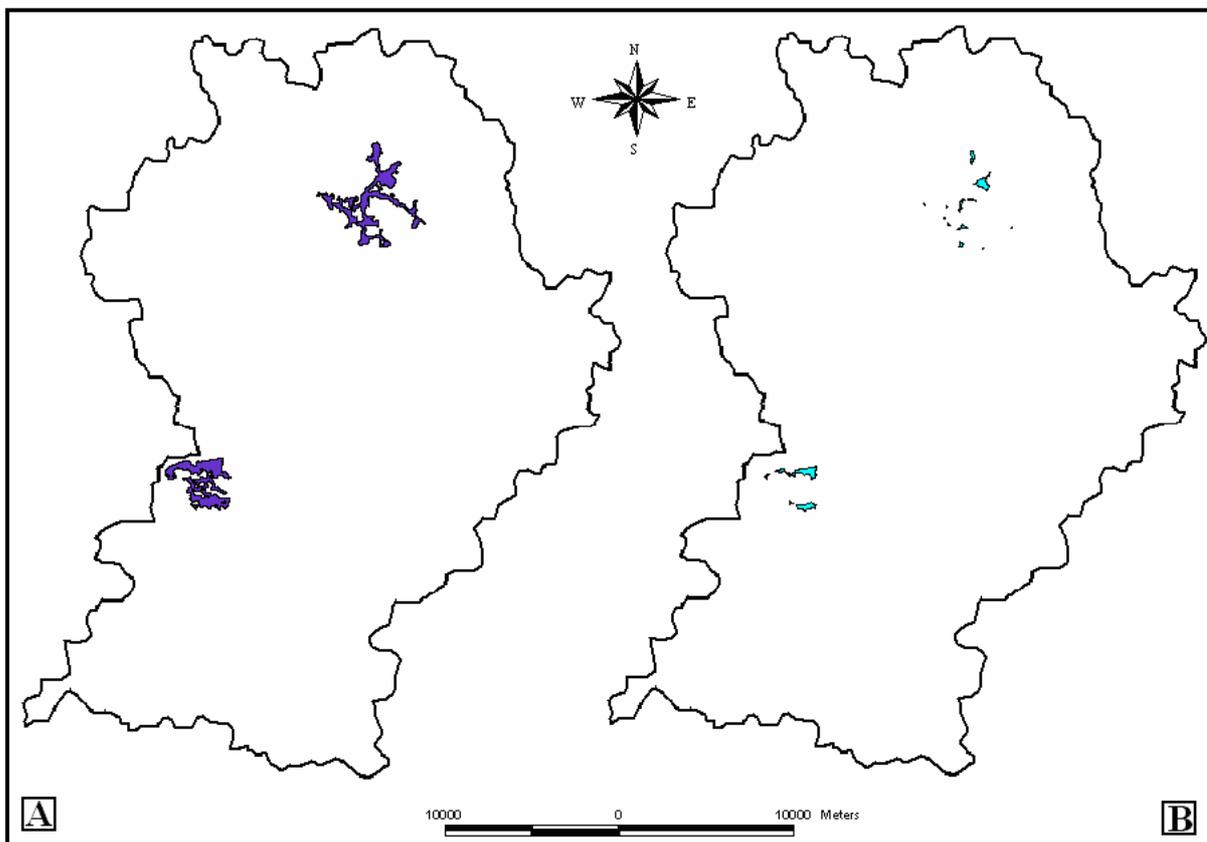


Figura 17- Fragmentos da vegetação arbórea da bacia hidrográfica do rio Apeú – (a) maiores que 200 hectares e menores que 350 hectares; (b) fragmentos maiores que 200 hectares e menores que 350 hectares que apresentam área de interior.

#### 6.3.2.5. – Fragmentos maiores que 350 hectares e menores que 500 hectares.

Como demonstra a Tabela 9 para esta classe, obteve-se apenas um fragmento, com tamanho de 386,70 hectares, tamanho de borda de 31.725,00 metros e dimensão fractal de 1,36.

TABELA 9. Métricas de fragmentos maiores que 350 ha e menores que 500 ha na bacia hidrográfica do rio Apeú

Nº de Fragmentos	Tamanho do fragmentos (ha)	Total de borda (m)	Dimensão fractal média	Área total (ha)	Área total de interior (ha)	Nº de áreas de interior
1	386,70	31.725,00	1,36	386,70	143,26	5

Da área total ocupada pelo fragmento que compõe esta classe, 37% é considerada área de interior, o restante dos 63% da área do fragmento é composta por ambientes de borda.

Considerando-se o proposto por Carmo (2000), que áreas maiores que 300 ha tem um alto valor para a conservação, a área do fragmento desta classe atende a esse padrão. Outro fator importante a ser avaliado é que embora este fragmento apresente uma grande área de borda, ele comportou 5 áreas de interior (cores) com média de 28,6 ha, área esta superior a mínima estabelecida por Metzger (1997), o que indica que sua forma é pouco alongada.

Dentro desta abordagem, este fragmento torna-se de extrema relevância para conservação da biodiversidade dentro da paisagem da bacia do rio Apeú, o que possibilita uma maior diversidade de espécies dentro do habitat e maior eficiência de alimentação de animais dentro da mancha.

A Figura 18 mostra a espacialização do fragmento maior que 350 hectares e menor que 500 hectares presente na bacia (Figura 18a), bem como a área de interior do fragmento desta classe (Figura 18b).

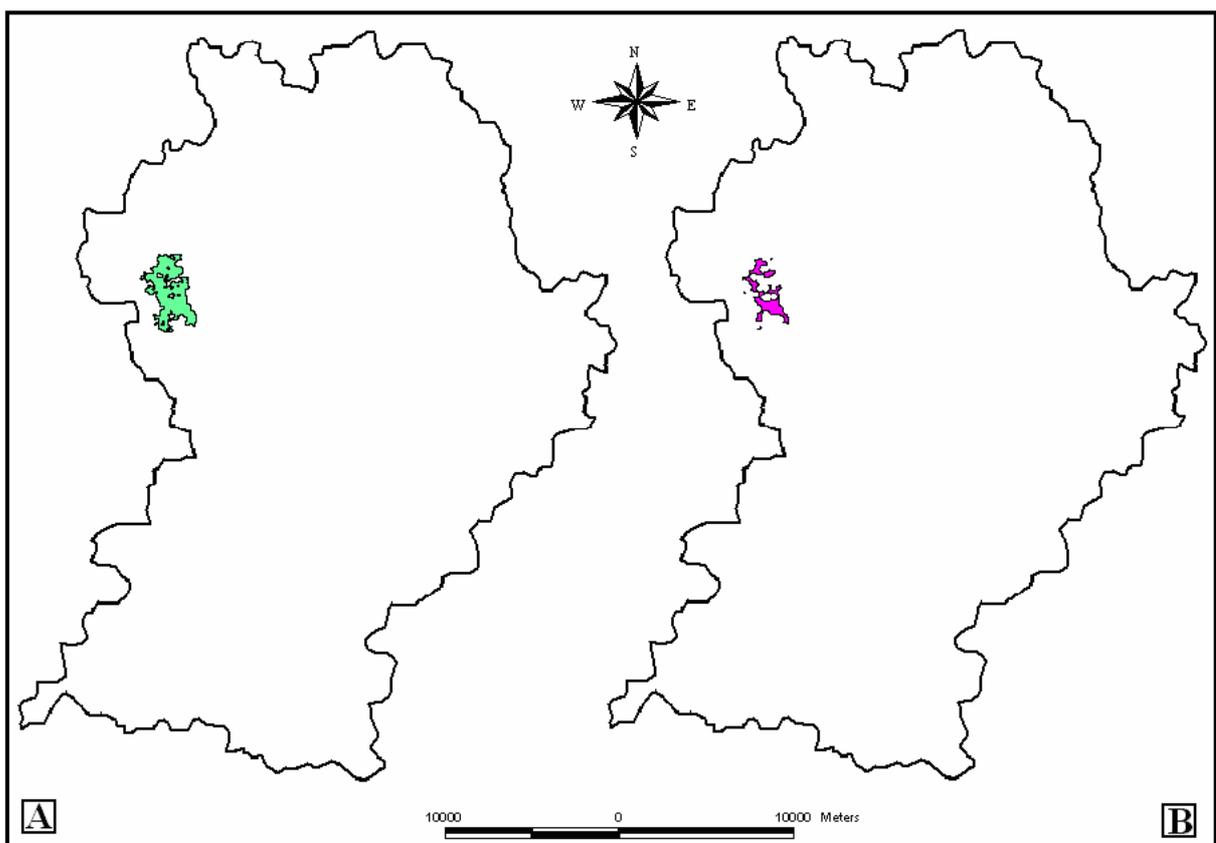


Figura 18- Fragmentos da vegetação arbórea da bacia hidrográfica do rio Apeú – (a) maiores que 350 hectares e menores que 500 hectares; (b) fragmentos maiores que 350 hectares e menores que 500 hectares que apresentam área de interior

6.3.2. 6. – Fragmentos maiores que 500 hectares e menores que 1000 hectares.

Para esta classe de fragmentos, obtiveram-se 2 fragmentos, com média de tamanho de 551,91 hectares, tamanho de borda de 104.697,85 metros, média de bordas de 52.348,92 metros e dimensão fractal média de 1,39, conforme Tabela 10.

TABELA 10. Métricas de fragmentos maiores que 500 ha e menores que 1000 ha na bacia hidrográfica do rio Apeú

Nº de Fragmentos	Tamanho médio de fragmentos (ha)	Total de borda (m)	Tamanho médio de borda (m)	Dimensão fractal média	Área total (ha)	Área total de interior (ha)	Nº de áreas de interior
2	551,91	104.697,85	52.348,92	1,39	1.103,84	387,69	26

A área total ocupada pelos fragmentos que compõem esta classe é de 1.103,84 ha, sendo que 65% desta área (716,15ha) é constituída por ambiente de borda.

Verifica-se então que, embora os fragmentos desta classe apresentem-se com tamanhos suficientemente grandes, a qualidade ambiental não é assegurada, uma vez que as áreas de interior não atingem a condição mínima de 25 ha, proposta por Metzger (1997). A área de interior média dos fragmentos desta classe é de 14,9 ha, indicando que trata-se de formas alongadas, onde o efeito de borda é potencializado e conseqüentemente a qualidade ambiental comprometida.

A Figura 19 mostra a espacialização dos fragmentos maiores que 500 hectares e menores que 1000 hectares presentes na bacia (Figura 19a), bem como os fragmentos desta classe que apresentaram área de interior (Figura 19b).

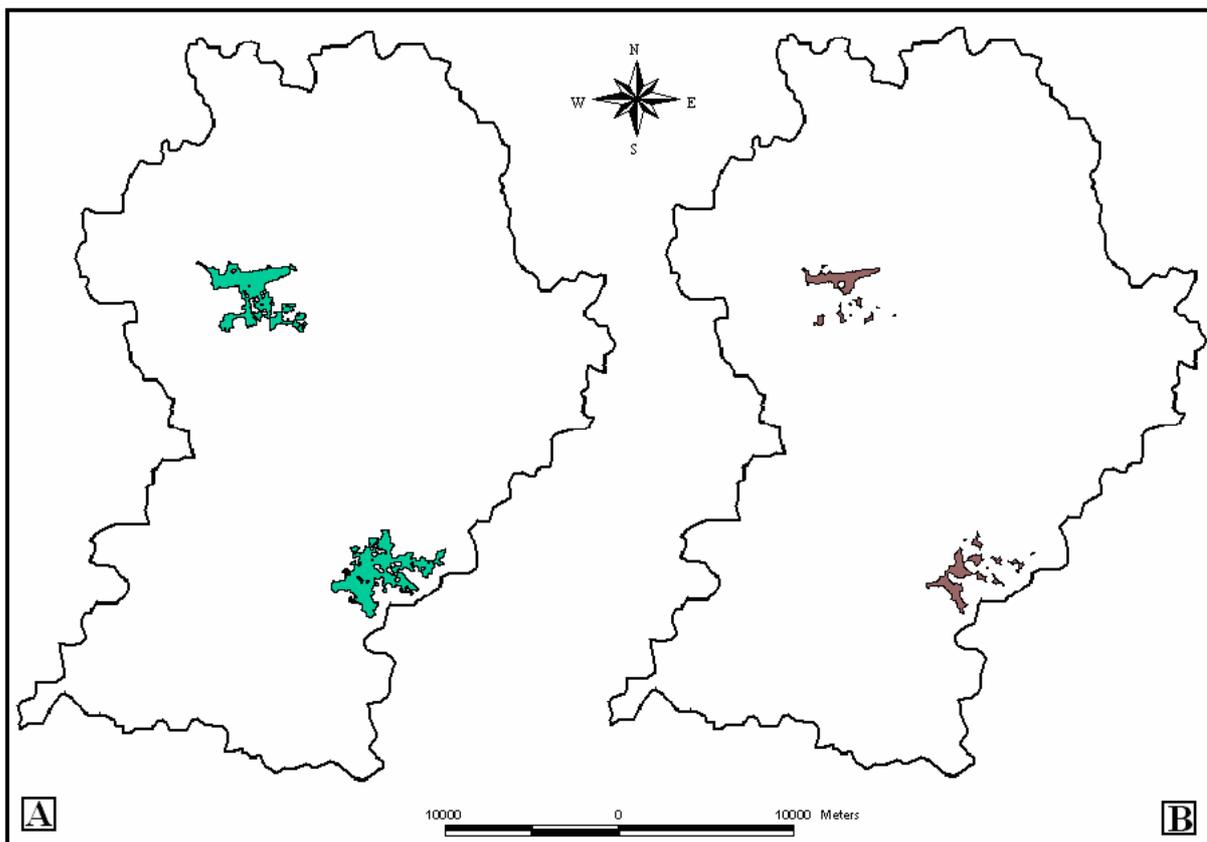


Figura 19- Fragmentos da vegetação arbórea da bacia hidrográfica do rio Apeú – (a) maiores que 500 hectares e menores que 1000 hectares; (b) fragmentos maiores que 500 hectares e menores que 1000 hectares que apresentam área de interior.

#### 6.3.2.7. – Fragmentos maiores que 1000 hectares e menores que 3000 hectares.

Para esta classe de fragmentos, obteve-se um fragmento, com tamanho de 2553,18 hectares, tamanho de borda de 235.068,45 metros e dimensão fractal de 1,45 (Tabela 11)

TABELA 11. Métricas de fragmentos maiores que 1000 ha e menores que 3000 ha na bacia hidrográfica do rio Apeú

Nº de Fragmentos	Tamanho do fragmentos (ha)	Total de borda (m)	Dimensão fractal média	Área total (ha)	Área total de interior (ha)	Nº de áreas de interior
1	2553,18	235.068,45	1,45	2.353,18	754,4	55

Verifica-se que a área total ocupada pelo fragmento que compõe esta classe é de 2.353,18 ha, da qual apenas 754,4 há (32%) são considerados áreas de interior, ou seja 68% do fragmento é composto por ambientes de margem.

De forma semelhante ao que foi verificado na classe anterior, os fragmentos desta classe apresentam-se com tamanhos suficientemente grandes, porém com reduzida área de interior, em média 13,7 ha, bem abaixo do mínimo requerido. Estes resultados demonstram o formato alongamento dos fragmentos, e o comprometimento da qualidade ambiental nestes habitats.

A Figura 20 mostra a espacialização do fragmento da classe maior que 1000 hectares e menor que 3000 hectares presente na bacia (Figura 20a), bem como a área de interior do fragmento (Figura 20b).

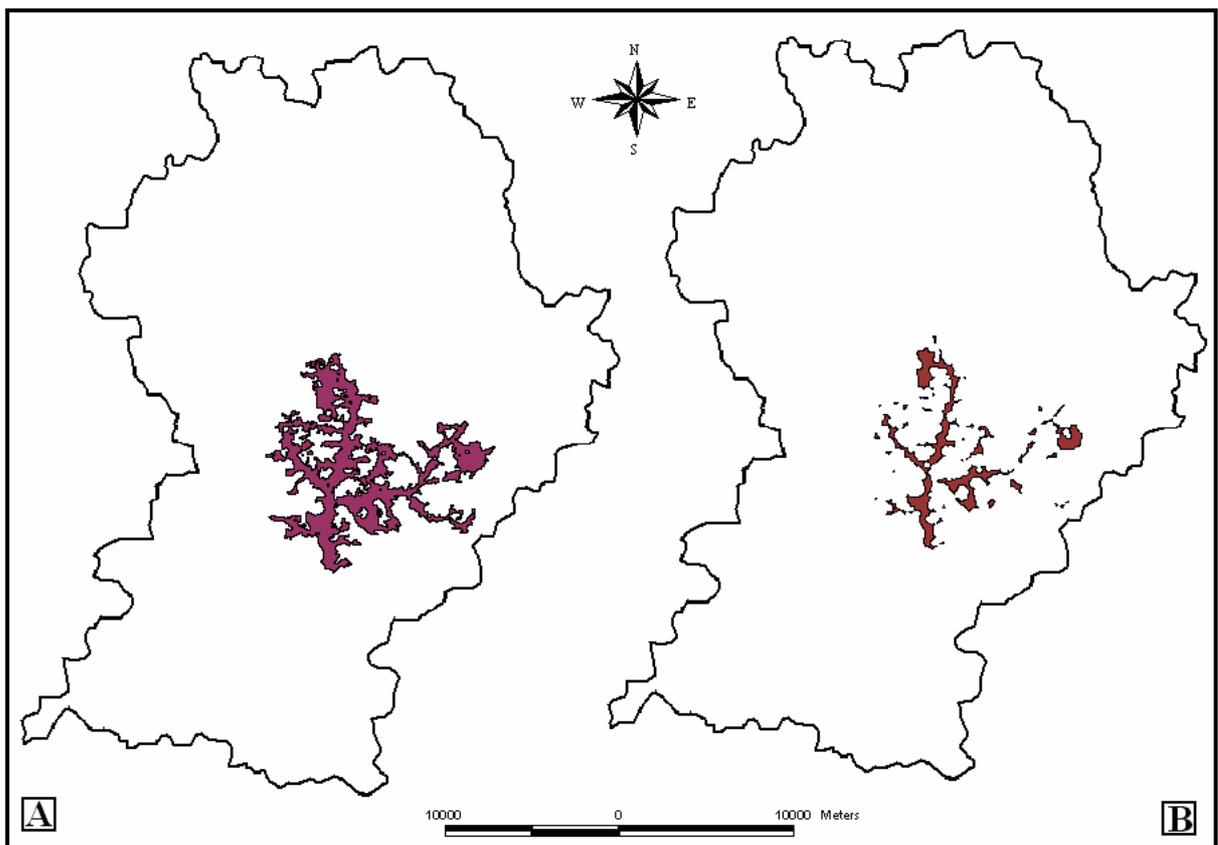


Figura 20- Fragmento da vegetação arbórea da bacia hidrográfica do rio Apeú – (a) maior que 1000 hectares e menor que 3000 hectares; (b) área de interior do fragmento

### 6.3.2.8. – Fragmentos maiores que 3000 hectares.

Para esta classe de fragmentos, obteve-se apenas um fragmento, com tamanho de 3.985,80 hectares, tamanho de borda de 330.699,61 metros, e dimensão fractal de 1,45, conforme mostra a Tabela 12.

TABELA 12. Métricas de fragmentos maiores que 3000 ha na bacia hidrográfica do rio Apeú

Nº de Fragmentos	Tamanho do fragmentos (ha)	Total de borda (m)	Dimensão fractal média	Área total (ha)	Área total de interior (ha)	Nº de áreas de interior
1	3.985,80	330.699,61	1,45	3.985,82	1.588,99	82

Observa-se que 1.588,99 ha (39%) do fragmento que compõe esta classe é constituído por área de interior, ficando os 61% restantes da área representados por borda.

Trata-se de um fragmento bastante grande, porém sua qualidade ambiental não é totalmente assegurada, sob o ponto de vista da conservação da biodiversidade, pois embora que se verifique uma grande quantidade de áreas de interior (82), estas área apresentam em média 19,4, abaixo do proposto por Metzger (1997) que é de 25 ha.

A Figura 21 mostra a espacialização do fragmento maior que 3000 hectares presente na bacia (Figura 21a), bem como a representação da área de interior do referido fragmento (Figura 21b). Analisando-se esta figura percebe-se que este fragmento não apresenta em sua totalidade a forma alongada, o que explica a formação de muitas áreas de interior. Estas áreas de interiores são indícios importantes, pois permitem a manutenção de espécies especializadas.

Assim sendo, este é um fragmento de enorme importância para a manutenção da qualidade ambiental, sob o ponto de vista da conservação da biodiversidade da fauna e da flora na paisagem da bacia do rio Apeú.

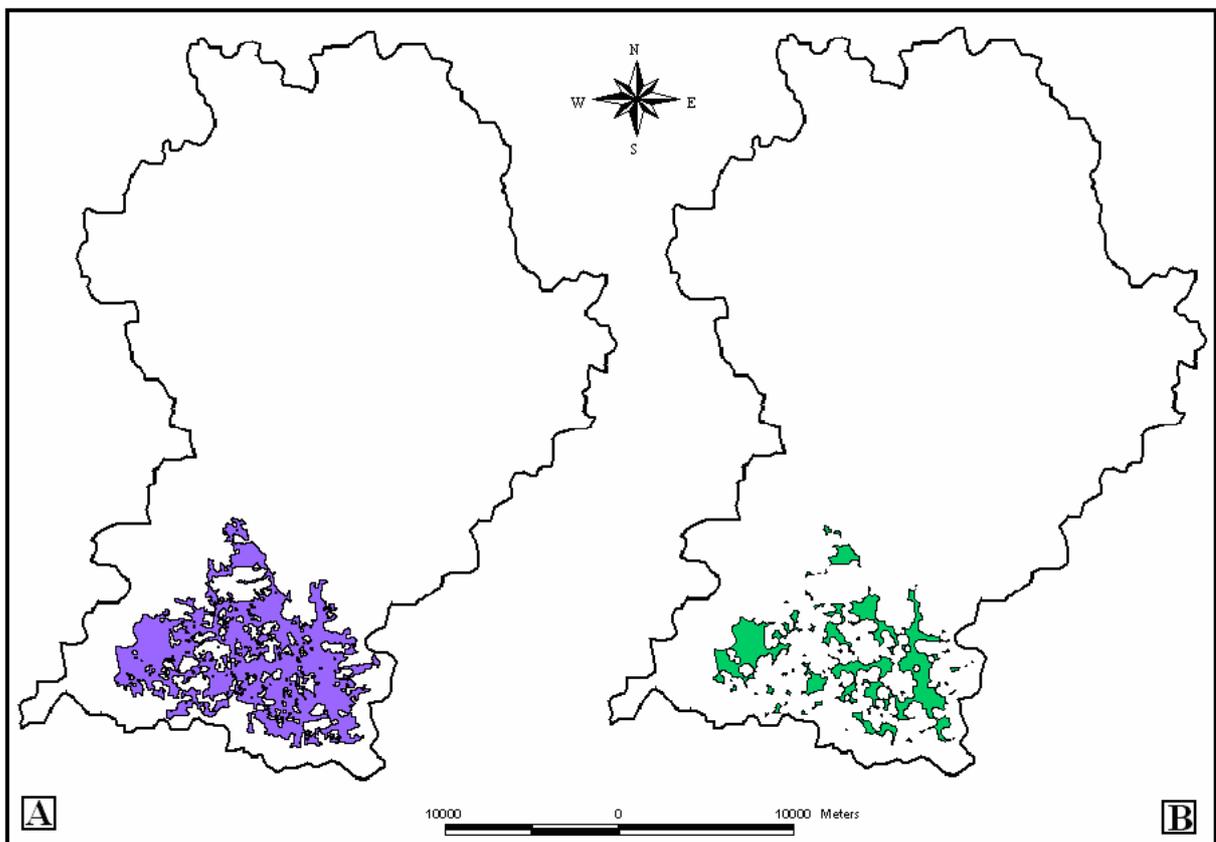


Figura 21 - Fragmento da vegetação arbórea da bacia hidrográfica do rio Apeú – (a) maior que 3000 hectares; (b) área de interior do fragmento.

## 8 - CONCLUSÕES

As técnicas de Sensoriamento Remoto aliadas aos Sistemas de Informação Geográficas constituem uma importante ferramenta para a análise da estrutura da paisagem, sendo de grande importância para o diagnóstico, planejamento e proposição de estratégias de conservação em áreas de bacias hidrográficas;

A rede de drenagem da bacia do rio Apeú é pobre, indicando uma alta permeabilidade do solo, o que permite rapidez de infiltração de água, tornando a área da bacia pouco sujeita a cheias e erosões fortes;

A paisagem da bacia é fortemente marcada pela atividade da pecuária, visto que 37% da área de estudo são destinados a esse fim. A vegetação natural abrange 34,5% da área da bacia;

A vegetação natural da bacia hidrográfica do rio Apeú encontra-se bastante fragmentada, principalmente nas porções norte e central da bacia, caracterizada pela presença de um grande número de fragmentos pequenos, demonstrando o forte impacto da atividade humano na área;

Os fragmentos demonstraram uma tendência de aumento do índice de dimensão fractal com o aumento da área. Dessa forma, os fragmentos maiores tenderam a possuir formas mais complexas, ficando assim mais expostos aos efeitos de borda;

A paisagem da bacia hidrográfica do rio Apeú, encontra-se prejudicada em relação à qualidade do habitat, pois 70% da vegetação natural é constituída de ambiente de borda, o que compromete a sustentabilidade do ecossistema;

A maior parte dos fragmentos está localizada junto aos recursos hídricos, e por isso apresentam formas mais alongadas, formando corredores ecológicos caracterizados pela mata ciliar;

A existência de alguns fragmentos mais conservados dentro dos limites da bacia apresenta-se como um fator positivo para a conservação da biodiversidade. Desta forma, a

elaboração de planos de manejo ecológico eficientes constitui uma das formas de contribuir para a conservação e manejo dos fragmentos remanescentes, e recuperação das áreas degradadas da região.

## 9- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APAN, A.A., STEVEN, R.R., PATERSON, M.S. Mapping and analysis of changes in the riparian landscape structure of the Lockyer Valley catchment, Queensland, Australia. **Landscape and Urban Planning**. 59: 43-57, 2002.

ARAÚJO, S.M.M. **Formas de Organização da Produção Apoiadas Pelo MST: Assentamento João Batista II, Castanhal, Pará**. 2005.128p. Dissertação (Mestrado em Agriculturas Familiares e Desenvolvimento Sustentável). Universidade Federal do Pará-UFPA e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Amazônia Oriental-Embrapa, Belém, 2005

ARAÚJO, P.P. (Org.). **Castanhal: estudo de pesquisa e comprovação hidrológica escala 1:8.000**. Belém: CPRM, 1997.sp.il. Programa de Apoio à Gestão Territorial- GATE

BAKER, W.L. A review of models of landscape change. **Landscape Ecology**, v.2, n.2, p.111-33, 1989.

BATISTELLA, M. **Landscape change and land-use/ land-cover dynamics in Rondônia, Brazilian Amazon**. Bloomington (IN), USA. 367 p. Tese (Doutorado em Filosofia) - School of Public and Environmental Affairs of Indiana University, Oct. 2001.

BECKER, F.G. Aplicações de Sistemas de Informação Geográfica em Ecologia e Manejo de Bacias Hidrográficas. In: **Bacias Hidrográficas: Teorias e Aplicações**. Bahia: Editus, 2002. p 91-111.

BENDER, D. J., THISCHENDORF, L., FAHRIG, L. Using patch isolation metrics to predict animal movement in binary landscapes. **Landscape Ecology**. 18: 17-39, 2003.

BRIDGEWATER, P.B. Connectivity: an Australian perspective, In: SAUNDERS, D. et al., **The role of remnant vegetation in nature conservation**. Sidney, Surrey Beatty, 1987.

BRIDGEWATER, P.B. Landscape Ecology, GIS and nature conservation. In: HAINESYOUNG, R.; GREEN, D.R.; COUSINS, S., **Landscape ecology and spatial information systems**. Bristol, Taylor and Francis, 1993. p.23-36.

BURGESS, R.L.; SHARPE, D.M. **Forest Island dynamics in man-dominated landscapes**. New York, Springer Verlag, 1981.

CARMO, A. P. C. Evaluación de um paisaje fragmentada para la conservación y recuperación de biodiversidad. Costa Rica, 2000, 133p. **Tese (Magister Scientiae)** - Centro Agronômico Tropical de Investigación y Enseñanza.

CASIMIRO, Pedro Cortesão. Uso do solo – Ecologia da paisagem, perspectiva de uma nova abordagem no estudo da paisagem em geografia. **GeoInova**, n. 2, DGPR – FCSH – UNL, Lisboa, p. 45-65, 2000.

CERQUEIRA, R., BRANT, A., NASCIMENTO, M.T. PARDINI, R. Fragmentação: alguns conceitos. In: **Fragmentação de ecossistemas: causas, efeitos sobre a biodiversidade e recomendações de políticas públicas**. Brasília: MMA/SBF, 2003. p.23- 40.

DUNN, P.C. et al. Methods for analyzing temporal changes in Landscape Pattern. In: TURNER, G.M.; GARDNER R.H. **Quantitative methods in landscape ecology: the analyses and interpretation of landscape heterogeneity**. New York, Springer Verlag, 1991. p.173-188.

FEARNSIDE, P.M. Land-tenure issues as factors in environmental destruction in Brazilian Amazonia: the case of southern Pará. **World Development**, v. 29, n. 8, p. 1361-1372, 2001.

FERREIRA, A. P. et al. Bacia do rio Apeú: estudo preliminar sobre impactos ambientais. Castanhal, NUMA/UFGA. 1994. p. 55. (Monografia de conclusão de curso especialização em Educação Ambiental).

FERREIRA, J.C.V. O Pará e seus Municípios. São Paulo: Editora Buriti. 2001

FORMAN, R. T. T.; COLLINGE, S. K. The spacial solution to conserving biodiversity in landscapes and regions. In: DEGRAAF, R. M.; MILLER, R. I. **Conservation of Faunal Diversity in Forest Landscapes**. London: Chapman & Hall, 1996. p.537-568.

FORMAN, R.T.T., GODRON, M. **Landscape Ecology**. Jonh Wile & Sons: New York, 1986. 619p.

GARDNER, R.H et al. Neutral models for the analysis of broad-scale landscape patterns. **Landscape Ecology**, v.1, p.19-28, 1987.

GARDNER, R.H.; O' NEILL, R.V. Pattern, Process, and Predictability: The Use of Neutral Models for Landscape Analysis. In: TURNER, G.M.; GARDNER R.H. **quantitative methods in landscape ecology: the analyses and interpretation of landscape heterogeneity**. New York, Springer Verlag, 1991. p.289-308.

HAINES-YOUNG, R.; GREEN, D.R.; COUSINS, S. Landscape Ecology and Spatial Information Systems. In: HAINES-YOUNG, R.; GREEN, D.R.; COUSINS, S. **Landscape ecology and spatial information systems**. Bristol, Taylor and Francis, 1993. Cap.1, p.3-8.

HOUGHTON, R.A. The worldwide extend of land-use change. **BioScience**. 5 (44): 305- 313, 1994.

HENKE-OLIVEIRA, C. **Análise de padrões e processos no uso do solo, vegetação, crescimento e adensamento urbano. Estudo de caso: município de Luiz Antônio (SP)**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, São Paulo, 2001. 101p.

JESUS, A. A. S de. 2009. Geoprocessamento Aplicado a Estimativa de Perda de Solos por Erosão Laminar na Bacia Hidrográfica do Rio Apeú (Nordeste Do Pará) - Amazônia Oriental. 102 p. **Dissertação** (Mestre em Agronomia). Universidade Federal Rural da Amazônia-UFRA, Belém, 2009

LAGRO, J. JR. Assessing patch shape in Landscape mosaics. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.57, n.3, p.258-93, 1991.

LANNA, A.E. A inserção da Gestão das Águas na Gestão Ambiental. In: **Interfaces da**

**Gestão de Recursos Hídricos: desafios da Lei das Águas de 1997.** Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos, 2000.

LU, L., LI, X., CHENG, G. Landscape Evolution in the middle Heihe River Basin of north-west China during the last decade. **Journal of Arid Environments**. 53: 395-408, 2003.

MCCRACKEN, S.D.; BRONDIZIO, E.S.; NELSON, D. *et al.* Remote sensing and GIS at farm property level: demography and deforestation in the Brazilian Amazon. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 65, n. 11, p. 1311-1320, Nov. 1999.

MACARTHUR, R.H.; WILSON, E.O. **The theory of island biogeography.** Princeton, NJ., Princeton University Press, 1967.

MCGARIGAL, K., CUSHMAN, S. A., NEEL, M. C., ENE, E. **Fragstats: spatial pattern analysis program for categorical maps.** Computer Software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst, 2002.

MCGARIGAL, K., MARKS, B. **FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure.** Forest Service General, US. (Technical Report PNW: 351), 1995.

MCGARIGAL, K.; MARKS, B.J. **Fragstats: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure.** Gen. Tech. Report PNW-GTR-351. Portland, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, 1995, 122p.

MERTENS, B.; POCCARD-CHAPUIS, R.; PIKETTY, M.-G. *et al.* Crossing spatial analyses and livestock economics to understand deforestation process in the Brazilian Amazonia: the case of São Félix do Xingu in south Pará. **Agricultural Economics**. v. 27, p. 269-294, 2002.

METZGER, J.P. Estrutura de Paisagem: o uso adequado de métricas. In: **Métodos de Estudo em Biologia da Conservação e Manejo da Vida Silvestre.** Editora da UFPR: Curitiba, 2003. p. 423-453. 77

MME. MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **Projeto RADAM.** Folha AS 22 e AS 23- Belém-PA/ São Luis – MA: geologia, solos, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1974. 226p.

MORAN, E. F. Deforestation and land use in the Brazilian amazon. **Human Ecology**, v.21, n.1, p.1-21, 1993.

MORAN, E. F. et al. Integrating Amazonian Vegetation, Land-use, and satellite data. **BioScience**, v.44, n.5, p.329-38. 1994. MOTTA, S.H.A. **Estudo do perfil**

MUÑOZ, H.R. Razões para um debate sobre as Interfaces da Gestão de Recursos Hídricos no contexto da Lei das Águas de 1997. In: **Interfaces da Gestão de Recursos Hídricos: desafios da Lei das Águas de 1997.** Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos, 2000.

NEPSTAD, D.C.; UHL, C.; SERRÃO, E.A.S. Recuperation of a degraded Amazonian landscape: forest recovery and agricultural restoration. **Ambio**, v.20, n.6, p.248-255, 1991.

NOSS, R.F. A Regional Landscape Approach to Maintain Diversity. **Bioscience**, v.33, n.11, p.700-706, 1983

ODUM. Ecologia. Rio de Janeiro, RJ: Ed. Guanabara. 434p., 1988.

O'NEILL, R.V. et al. Indices of landscape pattern. **Landscape Ecology**, v.1, n.3, p.153- 162, 1988.

PETCH, J.R.; KOLEJKA, J. Landscape Ecology in Czechoslovakia In: HAINESYOUNG, R.; GREEN, D.R.; COUSINS, S. **Landscape ecology and spatial information systems**. Bristol, Taylor and Francis, 1993. p.39-56

PIRES, A.M.Z.C.R. **Diretrizes para a conservação da biodiversidade em planos de manejo de Unidades de Conservação. Caso de estudo: Estação Ecológica de Jataí e Estação Experimental de Luiz Antônio (Luiz Antônio – SP)**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, São Paulo, 1999.

PIRES, A.M.Z.C.R., PIRES, J.S.R., SANTOS, J.E. Avaliação da integridade ecológica de Bacias Hidrográficas. In: **Faces da Polissemia da Paisagem: Ecologia, Planejamento e Percepção**. São Carlos: Rima, 2004. v.1. p.123-154.

PIRES, J.S.R. **Análise Ambiental voltada ao Planejamento e Gerenciamento do Ambiente Rural: Abordagem Metodológica aplicada ao Município de Luiz Antônio – SP**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, São Paulo, 1995. 166p.

PIRES, J.S.R., SANTOS J.E., DEL PRETTE M.E. A utilização do conceito de Bacia Hidrográfica para a conservação dos recursos naturais. In: **Bacias Hidrográficas: Teorias e Aplicações**. São Paulo: Editus, 2002. p 17-35.

PRIMACK, R.B., RODRIGUES, E. **Biologia da Conservação**. Londrina: Conceito, 2001. 327 p. 78

RAYNE, J.W.; BRUNER, M.C.; LEVESON, J.B. The importance of edges in the structure and dynamics of forest islands. In: BURGESS, R.L.; SHARPE, D.M. **Forest Island dynamics in man-dominated landscapes**. New York, Springer- Verlag, 1981. p.120-153.

SANTOS, O.C.O. **Análise do Uso do Solo e dos Recursos Hídricos na Bacia do Igarapé Apeú, Nordeste do Estado do Pará**. 2006. 256p. Tese (Doutorado em Geografia)-Universidade Federal do Rio de Janeiro-UFRJ, Rio de Janeiro, 2006.

SANTOS, R. F. **Planejamento Ambiental: teoria e prática**. Oficina de textos, São Paulo, 2004. 184p.

SAUNDERS, D.A., HOBBS, R.J., MARGULES, C.R. Biological Consequences of Ecosystem Fragmentation: a review. **Conservation Biology**. 1: 18-32, 1991.

SELMAN, P.; DOAR, N. An Investigation of the Potential for Landscape Ecology to act as Basis for Rural Land Use Plans. **Journal of Environmental Management**, v.35, p.281-99, 1992.

SHARPE, D.M. et al. Vegetation dynamics in a southern Wisconsin agricultural landscape. In: TURNER, M.G. **Landscape heterogeneity and disturbance**. New York, Springer Verlag, 1987. p.137-55.

SOARES FILHO, B.S. **Modelagem da dinâmica de paisagem de uma região de fronteira de colonização amazônica**. São Paulo. 299 p. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1998.

SUDAM. SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DA AMAZÔNIA. **Atlas Climatológico da Amazônia**. Belém, SUDAM/PHCA.1984.p.125

URBAN, D.L.; O'NEILL, R.V.; SHUGART JR., H.H. Landscape ecology: a hierarchical perspective can help scientists to understand spatial patterns. **BioScience**, v.37, n.2, p.119-127, 1987.

VALENTE, M. V. et al. **Solos e Avaliação da Aptidão das terras do município de Castanhal, Estado do Pará**. Belém, EMBRAPA. Amazônia Oriental. 2001a. p. 27 (EMBRAPA/ Amazônia Oriental, documento 119).

\_\_\_\_\_. **Solos e avaliação da aptidão agrícola das terras do município de Inhangapi, Estado do Pará**. Belém, EMBRAPA. Amazônia Oriental. 2001b. p. 27 (EMBRAPA/ Amazônia Oriental, documento 125).

VELOSO, H.P.; GOES FILHO, L. **Fitogeografia brasileira: classificação fisionômica-ecológica da vegetação neotropical**. Salvador: Projeto RADAMBRASIL, 1982. 85p

WATRIN, O.S.; MACIEL, M.N.M.; THALÊS, M.C. Análise espaço-temporal do uso da terra em microbacias hidrográficas no município de Paragominas, Estado do Pará. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (SBSR), 13., 21-26 abr. 2007, Florianópolis. **Anais**. São José dos Campos, SP: INPE, 2007. p.7019-7026. CD-ROM. ISBN 978-85-17-00031-7

WATRIN, O.S.; GERHARD, P.; MACIEL, M.N.M. Dinâmica de Uso da terra e Configuração da Paisagem em Antigas áreas de Colonização de Base Econômica Familiar, no nordeste do Estado do Pará. **Geografia. Rio Claro**, 21p. 2009

ZONNEVELD, I.S. **Land Evaluation and Landscape Science**. Enschede, The Netherlands, International Institute for Aerial Survey and earth Sciences., 1979.