

BETINA DOUBRAWA

**DINÂMICA DA COBERTURA FLORESTAL E DOS ESTOQUES DE
CARBONO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO: 2000 A 2010**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Engenharia Florestal – Área de Concentração Manejo Florestal.

Orientador:
Prof. Dr. Carlos Roberto Sanquetta

Co-orientadora:
Prof^a. Dr^a. Ana Paula Dalla Corte

Curitiba, 2013

Ficha catalográfica elaborada por Denis Uezu – CRB 1720/PR
Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira - UFPR

Doubrawa, Betina

Dinâmica da cobertura florestal e dos estoques de carbono na bacia hidrográfica do Rio: 2000 a 2010 / Betina Doubrawa. – 2013
127 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Roberto Sanquetta

Coorientadora: Profa. Dra. Ana Paula Dalla Corte

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 22/03/2013.

Área de concentração: Manejo Florestal

1. Dinâmica de vegetação. 2. Comunidades vegetais – Paraná. 3. Carbono. 4. Iguaçu, Rio, Bacia. 5. Teses. I. Sanquetta, Carlos Roberto. II. Corte, Ana Paula Dalla. III. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. IV. Título.

CDD – 634.9

CDU – 634.0.182.21



Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências Agrárias - Centro de Ciências Florestais e da Madeira
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

PARECER

Defesa nº. 971

A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após arguir o(a) mestrando(a) *Betina Doubrava* em relação ao seu trabalho de dissertação intitulado "**DINÂMICA DA COBERTURA FLORESTAL E DOS ESTOQUES DE CARBONO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO IGUAÇU: 2000 A 2010**", é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** do(a) acadêmico(a), habilitando-o(a) ao título de *Mestre* em Engenharia Florestal, área de concentração em **MANEJO FLORESTAL**.

Dr. Luciano Farinha Watzlawick
Universidade Estadual do Centro Oeste - UNICENTRO
Primeiro examinador

Dr. Nelson Yoshihiro Nakajima
Universidade Federal do Paraná
Segundo examinador

Dr. Carlos Roberto Sanquetta
Universidade Federal do Paraná
Orientador e presidente da banca examinadora

Curitiba, 22 de março de 2013.

Antonio Carlos Batista
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Carlos Roberto Sanquetta
Vice-coordenador do curso

Av. Lothário Meissner, 3400 - Jardim Botânico - CAMPUS III - CEP 80210-170 - Curitiba - Paraná
Tel: (41) 360-4212 - Fax: (41) 360-4211 - <http://www.floresta.ufpr.br/pos-graduacao>



AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus e a todos os espíritos de luz, os quais me deram todo o suporte para nunca desistir.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela bolsa de estudos.

Ao Professor Dr. Carlos Roberto Sanquetta, meu orientador, pela competência científica e acompanhamento do trabalho, pela disponibilidade e generosidade reveladas ao longo destes anos de trabalho, assim como pelas críticas, correções e sugestões relevantes feitas durante a orientação.

À Professora Dra. Ana Paula Dalla Corte, minha co-orientadora, por me colocar o desafio de fazer a dissertação de mestrado, pela competência científica e orientação dada, e que me ensinou com prazer e dedicação parte do que sei, bem como pela disponibilidade e amizade então demonstradas.

Aos meus pais, Udo e Neide, vocês são para mim exemplos pelos quais estou construindo minha vida. Obrigada por todo amor e incentivo onde quer que eu estivesse e em todas as decisões que tomei. Obrigada simplesmente por tudo e por fazerem parte de minha vida.

Estendo meus agradecimentos aos companheiros do Laboratório de Inventário Florestal da UFPR, obrigada pela prontidão e ensinamentos.

RESUMO

Este trabalho foi realizado na bacia do Rio Iguaçu, que está localizada na Região Sul do Brasil, no Estado do Paraná. A área de estudo está inserida dentro do Bioma Mata Atlântica, este que é considerado o mais ameaçado do Brasil e é também o mais importante do ponto de vista hidrográfico, por abrigar sete bacias hidrográficas do Brasil, além de ser a mais rica do mundo em espécies de fauna e flora. O objetivo principal deste trabalho foi avaliar a dinâmica na cobertura florestal e dos estoques de carbono na Bacia do Rio Iguaçu, entre os anos de 2000 e 2010. O mapeamento da cobertura foi realizado por meio de imagens de satélite Landsat 5, sensor TM, com resolução espacial de 30 m, tendo como ano base os anos de 2000 e 2010. Aplicou-se o processo da segmentação, com o objetivo de dividir a imagem em grupos de pixels ou objetos de acordo com grau de homogeneidade. Após este processo, as classes de vegetação (secundária inicial, médio a avançado e reflorestamento) foram interpretadas visualmente para toda a bacia do Rio Iguaçu. A acurácia obtida para o mapeamento foi de 0,85 para o índice de exatidão global e de 0,75 para o índice de Kappa. Os fragmentos florestais da bacia do Rio Iguaçu foram divididos em classes, conforme o tamanho, tendo sua área quantificada. Foi analisado o índice de circularidade dos fragmentos florestais conforme a relação área/perímetro. A quantificação dos estoques de carbono na vegetação da Bacia do Rio Iguaçu e nas suas Áreas de Preservação Permanente foi feita pelo método indireto a partir de equações da literatura. O mapeamento, considerando as áreas maiores que 1,00 ha, apontou um aumento de 22,93% na cobertura florestal na Bacia do Rio Iguaçu do ano de 2000 para o ano de 2010. Nos 10 anos de estudo observou-se um aumento na estocagem de carbono pela vegetação da ordem de 207.385.808 t.ha⁻¹. Foram também analisadas as fragilidades ambientais potencial e emergente da bacia do rio Iguaçu. A análise indicou que, em sua maior parte (49,69%), a área encontra-se na classe de fragilidade potencialmente alta e fragilidade emergente média.

Palavras-chave: fragmentação florestal, fragilidade ambiental, Mata Atlântica.

ABSTRACT

This research was performed in the Iguauçu river Basin, which is located in Parana state, southern in Brazil. The study area is located within the Atlantic forest biome, which is considered to be the most endangered one in Brazil, and also the most important one in terms of water supply because it comprises seven hydrography basins as well as because of its rich fauna and flora diversity. The main goal of this research was to evaluate the dynamics in forest cover and carbon stocks in the Iguauçu river Basin, during years 2000 and 2010. The mapping was conducted through the Sensor TM of the Landsat 5 satellite imagery of 2000 to 2010, with spatial resolution of 30 meters. It was applied a segmentation process aiming to have the images divided into pixels or groups of objects according to a certain degree of homogeneity. After this process, a visual interpretation of the vegetation was carried out, separating them into initial secondary forest vegetation, medium and advanced forest types and reforestation. The accuracy calculated from the mapping was 0.85, based on the global overall accuracy index, and 0.75, based on the Kappa index. The forest fragments of the River Iguauçu Basin were also divided into size classes. It was analyzed the roundness index of the forest fragments by means of the area/perimeter ratio. The indirect method was used for quantifying carbon stocks in the Iguauçu river Basin by using equations taken from the literature. The mapping results, for fragments over 1ha, showed an increase of 22.93% in the forest cover during 2000 and 2010. This corresponds to an increase of 207,385,808 ton. ha⁻¹ of carbon. The Iguauçu River Basin lies mostly (49.69%) in the high potential fragility class and in the intermediate emergent fragility class.

Keywords: forest fragmentation, environmental fragility, Atlantic Rain Forest.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO. A) LOCALIZAÇÃO DO PARANÁ NO BRASIL; B) ÁREA DE ESTUDO NO ESTADO DO PARANÁ	28
FIGURA 2	FIGURA 2: DISTRIBUIÇÃO DAS FITOFISIONOMIAS MAIS REPRESENTATIVAS DO ESTADO DO PARANÁ	29
FIGURA 3	A) AMOSTRA DE VEGETAÇÃO SECUNDÁRIA INICIAL NA IMAGEM.E B) AMOSTRA DE VEGETAÇÃO SECUNDÁRIA INICIAL EM CAMPO	40
FIGURA 4	A)AMOSTRA DE VEGETAÇÃO SECUNDÁRIA EM ESTÁGIO MÉDIO A AVANÇADO NA IMAGEM E B) AMOSTRA DE VEGETAÇÃO SECUNDÁRIA EM ESTÁGIO MÉDIO A AVANÇADO EM CAMPO	41
FIGURA 5	A) AMOSTRA DE REFLORESTAMENTO NA IMAGEM E B) AMOSTRA DE REFLORESTAMENTO NO CAMPO	42
FIGURA 6	CLASSIFICAÇÃO DA FLORESTA EM CLASSE SUCESSIONAIS DE VEGETAÇÃO SECUNDÁRIA PARA ANO DE 2000	58
FIGURA 7	CLASSIFICAÇÃO DA FLORESTA EM CLASSE SUCESSIONAIS DE VEGETAÇÃO SECUNDÁRIA PARA ANO DE 2010	59
FIGURA 8	FRAGMENTOS DA CLASSE 3 (40 – 100 HA)	72
FIGURA 9	FRAGMENTOS DA CLASSE 4 (100 – 500 HA)	72
FIGURA 10	FRAGMENTOS DA CLASSE 5 (500 - 1.000 HA)	73
FIGURA 11	FRAGMENTOS DA CLASSE 6 (MAIORES QUE 1.000 HA)	73
FIGURA 12	EXEMPLO DE FRAGMENTO MUITO ALONGADO	75
FIGURA 13	EXEMPLO DE FRAGMENTO ALONGADO	75
FIGURA 14	EXEMPLO DE FRAGMENTO CIRCULAR	75
FIGURA 15	FRAGILIDADE AMBIENTAL POTENCIAL	83
FIGURA 16	FRAGILIDADE AMBIENTAL EMERGENTE	87

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1	PORCENTAGEM DE FRAGMENTOS X CLASSE DE FRAGMENTO EM ÁREAS ACIMA DE 1HA	68
GRÁFICO 2	PORCENTAGEM DE FRAGMENTOS X CLASSE DE FRAGMENTO EM ÁREAS ACIMA DE 40HA	68
GRÁFICO 3	PORCENTAGEM DE FRAGMENTOS X CLASSE DE FRAGMENTO EM ÁREAS ACIMA DE 100HA	68

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	ÓRBITA/PONTO E DATA DE AQUISIÇÃO DAS CENAS DO SATÉLITE LANDSAT 5 TM	34
TABELA 2	INTERPRETAÇÃO VISUAL DOS POLÍGONOS	39
TABELA 3	ESQUEMA DA MATRIZ CONFUSÃO ADOTADA PARA ANÁLISE DA CLASSIFICAÇÃO SUCESSIONAL	43
TABELA 4	RELAÇÃO ENTRE OS VALORES DO COEFICIENTE KAPPA E O DESEMPENHO DA CLASSIFICAÇÃO	45
TABELA 5	BIOMASSA SECA ($t \cdot ha^{-1}$) E CARBONO ($t \cdot ha^{-1}$) POR CLASSE DE SUCESSÃO DE VEGETAÇÃO SECUNDÁRIA	48
TABELA 6	GRAUS DE FRAGILIDADE DERIVADOS DA DECLIVIDADE	49
TABELA 7	GRAUS DE FRAGILIDADE DERIVADOS DOS SOLOS	50
TABELA 8	GRAUS DE PROTEÇÃO DERIVADAS DA COBERTURA FLORESTAL	51
TABELA 9	CLASSES DE FRAGILIDADE POTENCIAL E EMERGENTE	54
TABELA 10	CLASSES DE SUCESSÃO DE VEGETAÇÃO SECUNDÁRIA POR ÁREA (ha)	56
TABELA 11	PORCENTAGEM DE OCUPAÇÃO FLORESTAL NA BACIA DO RIO IGUAÇU	60
TABELA 12	MATRIZ CONFUSÃO	62
TABELA 13	CLASSES DE SUCESSÃO DE VEGETAÇÃO SECUNDÁRIA POR ÁREA (ha) NAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE	65
TABELA 14	NÚMERO DE FRAGMENTOS POR CLASSE	64
TABELA 15	ÁREA DOS FRAGMENTOS POR CLASSE	70
TABELA 16	PORCENTAGEM DE ÁREA POR CLASSE	70
TABELA 17	NÚMERO DE FRAGMENTOS POR ÍNDICE DE CIRCULARIDADE.	76
TABELA 18	NÚMERO DE FRAGMENTOS EM CADA CLASSE POR ÍNDICE DE CIRCULARIDADE	76
TABELA 19	ESTOQUES E DINÂMICA DA BIOMASSA E DO CARBONO NA BACIA DO RIO IGUAÇU	78
TABELA 20	ESTOQUES E DINÂMICA DA BIOMASSA E DO CARBONO NAS ÁREAS	79

DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE DA BACIA DO RIO IGUAÇU

TABELA 21	QUANTIFICAÇÃO DE ÁREAS CONFORME CLASSES DE FRAGILIDADE AMBIENTAL POTENCIAL	81
TABELA 22	QUANTIFICAÇÃO DE ÁREAS CONFORME CLASSES DE FRAGILIDADE AMBIENTAL EMERGENTE	84

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVO GERAL	13
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 Cobertura Florestal	14
2.2.Mapeamento da cobertura vegetal	17
2.3 Biomassa e carbono	20
2.3.1 Estimativa de biomassa e carbono através de Sensoriamento Remoto	22
2.4 Fragilidade ambiental	23
3 MATERIAIS E MÉTODOS	27
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	27
3.1.1 Localização da área de estudo	27
3.1.2 Vegetação natural	29
3.1.3 Caracterização geológica da Bacia do Rio Iguaçu	31
3.1.4 Caracterização climática da Bacia do Rio Iguaçu	31
3.1.5 Aspectos ocupacionais da Bacia do Rio Iguaçu	32
3.2 MATERIAL	33
3.2.1 Produtos cartográficos e imagens	33
3.2.1.1 Mapas temáticos	33
3.2.1.2 Imagens de satélite	34
3.2.1.3 Equipamentos de processamento e aplicativos	35
3.3 METODOLOGIA	35
3.3.1 Composição de bandas multiespectrais	35
3.3.2 Georreferenciamento de imagens	35
3.3.3 Segmentação de imagens	37
3.3.4 Interpretação visual para classificação das imagens em classe de sucessão de vegetação secundária	38
3.3.5 Cálculo de acuracidade do mapeamento da cobertura florestal	43
3.3.6 Fragmentação florestal	45
3.3.7 Índice de circularidade	46
3.3.8 Quantificação de carbono e biomassa	46
3.3.9 Áreas de preservação permanente	48
3.4 FRAGILIDADE AMBIENTAL POTENCIAL E FRAGILIDADE EMERGENTE	49
3.4.1 Variáveis físicas avaliadas	49
3.4.2 Declividade	49
3.4.3 Solos	50
3.4.4 Uso do solo	50

3.4.5 Faixas ciliares e áreas de inundação	51
3.4.6 Cálculo de fragilidade potencial e emergente	53
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
4.1 CLASSIFICAÇÃO DA FLORESTA EM ESTÁGIOS SUCESSIONAIS	55
4.2 ACURÁCIA DO MAPEAMENTO DA COBERTURA FLORESTAL PARA O ANO DE 2010	62
4.3 MAPEAMENTO DA COBERTURA FLORESTAL EM ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE	63
4.4 AVALIAÇÃO DA FRAGMENTAÇÃO FLORESTAL E SEUS EFEITOS	65
4.5 FORMA DOS FRAGMENTOS E EFEITO DE BORDA	74
4.6 DINÂMICA DE BIOMASSA E CARBONO DA BACIA DO RIO IGUAÇU	77
4.7 DINÂMICA DE BIOMASSA E CARBONO NAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE	79
4.8 FRAGILIDADE AMBIENTAL DA BACIA DO RIO IGUAÇU	80
4.8.1 Fragilidade potencial	80
4.8.2 Fragilidade emergente	84
5 CONCLUSÕES	88
6 REFERÊNCIAS	89

1. INTRODUÇÃO

O bioma Mata Atlântica e seus ecossistemas associados envolvem uma área de 1,1 milhão de km² (13% do território brasileiro). Contudo, em virtude de séculos de ocupação, a área florestal da Mata Atlântica foi reduzida drasticamente e encontra-se altamente fragmentada. Não obstante, a Mata Atlântica ainda abriga parcela significativa de diversidade biológica do Brasil. Esse bioma possui um elevado número de espécies ameaçadas de extinção (SFB, 2013).

A bacia do Rio Iguaçu se encontra dentro do bioma da Mata Atlântica, situado na divisa entre os estados do Paraná e Santa Catarina, porém com a maior parte de sua área no primeiro. Alguns trechos do rio Iguaçu já foram navegáveis e nessas regiões o rio foi determinante para a colonização dos chamados Campos de Palmas e Campos de Guarapuava. Essa hidrovia que deu suporte ao ciclo econômico da erva-mate possibilitou que diversas cidades e colônias de imigrantes fossem fundadas. Entretanto, com a destruição da mata ciliar para a produção de alimentos, houve alargamento do rio e seu progressivo assoreamento.

O Rio Iguaçu é o maior rio do Paraná e os seus desníveis que fizeram aparecer um grande número de quedas d'água, fazendo dele um dos maiores rios brasileiros na contribuição da geração de energia hidrelétrica, existindo atualmente em seu percurso cinco represas para este tipo de aproveitamento de energia.

A demanda de água vem crescendo em todo mundo, devido ao crescimento populacional e aos padrões de desenvolvimento. Conseqüentemente, pressão descontrolada é exercida sobre os ecossistemas de água doce, que estão sendo gradativamente destruídos pela poluição, uso inadequado da água e do solo, expansão da agropecuária intensiva, desenvolvimento industrial, entre outros, para atender às necessidades cada vez maiores dos habitantes das cidades. Estes fatores têm sido os maiores responsáveis pela situação atual de grande antropização na bacia.

A preocupação com o meio ambiente aumentou nos últimos anos e está norteando ações públicas e privadas. No final das décadas de 1980 e 1990, o estado do Paraná era o campeão no desmatamento da Mata Atlântica. A exploração da madeira e depois a cultura do café, reduziram já em 1950, 39,67% a cobertura florestal do Estado. Em

2010, a cobertura reduziu a 10,52%. Apesar destes valores e da preocupação crescente quanto ao desmatamento, ainda existe dificuldade de se encontrar dados consistentes para quantificar essa diminuição da cobertura florestal no estado do Paraná.

A ação antrópica devastadora, principalmente sobre as florestas, ocasiona também o aumento da concentração de gases poluentes e de efeito estufa pelas queimadas e mau uso do solo, gerando efeitos negativos para o próprio ecossistema e para o Homem.

A emissão ou sequestro de carbono pela vegetação está intimamente ligada ao uso da terra. Quando ocorre um aumento na área florestada, observa-se consequentemente uma maior fixação de carbono e diminuição da concentração de gases de efeito estufa. Da mesma forma, quando ocorre o desmatamento, em muitos casos, o carbono fixado na biomassa vegetal é enviado novamente à atmosfera, provocando a elevação de sua concentração e problemas ambientais de diversas naturezas.

As florestas atuam na fixação ou sequestro de carbono, devido ao processo fotossintético, pelo qual as plantas absorvem o CO_2 da atmosfera e o fixa em forma de matéria vegetal ou biomassa. Conforme mencionado pelo IPCC (2003), as florestas, as terras agrícolas e outros ecossistemas terrestres oferecem um grande potencial de mitigação do efeito estufa. A mitigação poderia acontecer por intermédio de três estratégias: (a) conservação de carbono existente em florestas existentes, (b) expansão de áreas florestais ou reflorestamento, e (c) substituição de matérias primas e produtos para os renováveis.

1.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho teve como objetivo geral avaliar a dinâmica na cobertura florestal e dos estoques de carbono na Bacia do Rio Iguaçu, entre os anos de 2000 e 2010.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos deste trabalho são os seguintes:

- Mapear a cobertura florestal e avaliar a mudança desta presente na bacia do Rio Iguaçu, nos anos de 2000 e 2010;
- Avaliar a fragmentação da cobertura florestal para os anos de 2000 e 2010;
- Avaliar os estoques e a dinâmica da biomassa e carbono florestal arbórea na bacia do Rio Iguaçu, no período entre 2000 e 2010;
- Avaliar a cobertura florestal e os estoques de carbono em áreas de preservação permanente na bacia do Rio Iguaçu, no ano de 2010;
- Elaborar um mapa de fragilidade ambiental para a bacia do Rio Iguaçu para o ano de 2010.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cobertura Florestal

A maior parte da bacia do Rio Iguaçu é formada pela Floresta Ombrófila Mista, principalmente no Alto e Médio Iguaçu, com ocorrência de Floresta Estacional Semidecidual no Baixo Iguaçu. No Alto Iguaçu ocorre também a Floresta Ombrófila Densa.

Conhecida popularmente por Floresta com Araucária, a Floresta Ombrófila Mista pode ser definida como a formação vegetacional cujo elemento característico é a espécie *Araucaria angustifolia*. A área natural de ocorrência da araucária, segundo LAMPRECH (1990), restringe-se quase exclusivamente aos estados do sul do Brasil: Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Em sua superfície original no Brasil, a Floresta Ombrófila Mista, cobria cerca de 200.000 km², ocorrendo no Paraná (40% da sua superfície), Santa Catarina (31%) e Rio Grande do Sul (25%) e em manchas esparsas no sul de São Paulo (3%), internando-se até o sul de Minas Gerais e Rio de Janeiro (1%) (CARVALHO, 1994).

A designação Floresta Ombrófila Mista advém da classificação fitogeográfica empregada pelo IBGE (1992), para formações florestais com *Araucaria angustifolia*, a qual que denomina como Ombrófilas as formações características de ambientes úmidos. Já o termo “Mista” refere-se à origem geológica da formação, que é composta tanto de espécies originárias das regiões que hoje são respectivamente a Oceania e a África. Assim, tem-se uma floresta dita geologicamente mista, formada de elementos da floresta de distintas origens: a araucária da Oceania e a maioria das folhosas (demais espécies) da África (SANQUETTA *et al.*, 2006).

A espécie *Araucaria angustifolia*, característica da região sul, possui diversas denominações, sendo conhecida popularmente como pinho, pinheiro-do-paraná, pinheiro-brasileiro, pinheiro-caiová, pinheiro-das missões e pinheiro-São-José, por exemplo. Como apresenta algumas variedades e formas, recebe ainda os seguintes nomes: pinheiro-preto, pinheiro rajado, pinheiro-de-ponta-branca, pinheiro-monóico, pinheiro-caiová, pinheiro-cajuva, pinheiro-macaco (REITZ *et al.*, 1979).

O pinheiro passou a ser utilizado como madeira no Brasil a partir de 1600 (CAMPANHA, 1986). Nesta época, a madeira era retirada principalmente do litoral brasileiro, pois a inexistência de ligação com o interior dos estados, onde se encontravam as florestas com pinheiros, se constituía no maior empecilho para essa atividade econômica. Os pinheiros eram utilizados apenas nos limites acima da serra do mar (PARANÁ, 1990).

A indústria madeireira paranaense iniciou sua maior expansão após segunda guerra mundial. Embora, os dois outros estados meridionais brasileiros já contassem com a indústria de madeira há mais tempo que o Paraná, as reservas de pinho, maiores neste último, asseguram-lhe as preponderâncias na produção. A madeira de pinho exportada pelo Brasil, por essa razão, recebeu nos mercados externos o tratamento genérico de “Pinho-do-Paraná” (LAVALLE, 1981). Segundo MAACK (1981), as regiões devastadas na zona norte e oeste do Paraná deram lugar aos cafezais, pastos artificiais e à cultura do algodão e cereais.

Nesta época de destruição, surgiram os primeiros reflorestamentos com fins madeireiros. Contudo a reposição era inexpressiva quando comparada ao desmatamento (CAMPANHA, 1986). MAACK (1981) cita que no primeiro planalto paranaense foram reflorestadas áreas por meio de plantações de bracatinga (*Mimosa scabrella*), atualmente também espalhadas até o terceiro planalto.

No final da década de 1980, a utilização da araucária pela indústria madeireira já sofria generalizadamente de falta matéria-prima. As empresas que não investiram em reflorestamento e manejo sustentável de suas reservas sumariamente desapareceram, deixando rastros de desemprego e pobreza. Outra perda tremenda foi o desaparecimento de uma parte importante da cultura associada ao pinho e aos pinhais (SANQUETTA *et al.*, 2006).

A antropização provocou alterações na vegetação da Floresta Ombrófila Mista, provocando o aparecimento de tipos florestais em diferentes estágios sucessionais. Segundo Sanquetta *et al.* (2006), para condições normais ou médias da Floresta com Araucária, o processo de antropização e regeneração conduz a distintas formas e estágios sucessionais da vegetação, evoluindo e regredindo simultaneamente como se fora uma “colcha de retalhos” mutante no espaço e no tempo. Isso é o que se

denomina mosaico (*mosaic*, em inglês) que é colcha, formada pelos distintos retalhos, que são os fragmentos florestais (*patches*, em inglês). Pode haver raleamento ou corte parcial do dossel ou do sub-dossel da floresta, seja para fins silvo-pastoris ou manejo de ervais, gerando a conversão para uma “floresta original raleada”.

A bacia do Rio Iguaçu ainda contempla ainda outras fitofisionomias. Ao leste encontra-se a Serra do Mar (vertente oeste), nascentes dos rios formadores do Rio Iguaçu, e ao oeste apresentam-se as características fito-fisiográficas do 1º Planalto ou Planalto de Curitiba. Na Serra do Mar encontra-se a Floresta Ombrófila Densa ou Floresta Atlântica, protegida por lei, que garante a proteção das nascentes de alguns dos rios formadores do Rio Iguaçu. Já na região do Baixo Iguaçu, estão concentrados 15% de remanescentes e extensas áreas de campos naturais nativos, dos quais 58% estão legalmente protegidos em Unidades de Conservação (UCs) de proteção integral. Na porção oeste da bacia localiza-se o Parque Nacional do Iguaçu, o que favorece os índices de conservação dos recursos naturais.

Em 10 de janeiro de 1939, foi criado o Parque Nacional do Iguaçu através do Decreto Lei nº 1.035, este foi o segundo parque nacional brasileiro a ser criado e atualmente sua área total é de 185.262,2 ha. Em 1986 recebeu o título, concedido pela UNESCO, de Patrimônio Natural da Humanidade. O Parque Nacional do Iguaçu teve seu primeiro Plano de Manejo elaborado em 1981, tendo sido revisado no ano de 1999. No Parque Nacional do Iguaçu é possível conhecer uma das mais espetaculares cataratas do mundo. O Parque Nacional do Iguaçu abriga a maior e mais importante área de Floresta Estacional Semidecídua (Floresta Tropical Subcaducifólia) do País (ICMBIO, 20012).

A Floresta Estacional Semidecidual caracteriza-se por comunidades em que 20 a 50% dos indivíduos do estrato arbóreo superior perdem as folhas na estação desfavorável e, portanto, está relacionada em praticamente toda a sua área de ocorrência a um clima de duas estações definidas, uma chuvosa e outra seca (Nordeste, Centro-Oeste e parte do Sudeste), ou então a uma acentuada variação térmica (Sul). Sendo assim, ela ocorre de maneira descontínua praticamente em todos os estados das regiões Nordeste, Sudeste e Sul do país, e em parte da Centro-Oeste, chegando até abacia do rio Uruguai, ao Paraguai e à Argentina (VELOSO *et al.*, 1991).

O bioma Mata Atlântica, que é, por sua alta diversidade de espécies e nível de endemismo, um dos complexos vegetacionais mais singulares no mundo (MORI *et al.*, 1981; FONSECA, 1985), vem sofrendo historicamente as consequências do intenso processo de fragmentação (DEAN, 1996; VIANA e TABANEZ, 1996; RANTA *et al.*, 1998), sendo que a maior parte de suas áreas remanescentes é representada por fragmentos pequenos, de domínio privado (FONSECA, 1985; RANTA *et al.*, 1998), submetidos a diferentes pressões.

2.2 Mapeamento da cobertura vegetal

As primeiras classificações de uso da terra baseavam-se em trabalhos de campo. Posteriormente, a partir de década de 50, um grande número de pesquisadores em várias partes do mundo têm se dedicado à identificação detalhada de culturas agrícolas em fotografias aéreas (STEINER, 1970). Com o advento das imagens orbitais na década de 70, o mapeamento do uso e ocupação do solo em uma dada região ganhava mais um importante instrumento como auxílio.

Esse tipo de trabalho tornou-se de fundamental importância para a compreensão dos padrões de organização do espaço agrícola, cada vez mais alterado pela ação do homem e pelo desenvolvimento tecnológico. Deste modo, existe a necessidade de atualização constante dos registros de uso e ocupação do solo, para que suas tendências possam ser analisadas, com o objetivo de fornecer subsídios às ações do planejamento regional (ROSA, 1990). Ainda segundo este autor, o conhecimento atualizado das formas de utilização e ocupação do solo, bem como seu uso histórico, tem sido um fator imprescindível ao estudo dos processos que se desenvolvem na região, tornando-se de fundamental importância, na medida em que os efeitos do seu mau uso, causam deterioração no meio ambiente. Os processos de erosão intensos, desertificação, inundações, assoreamentos de cursos d'água têm sido exemplos cotidianos de mau uso.

Na avaliação dos processos de ocupação da região amazônica, a necessidade de estudos de monitoramento da vegetação e de mudanças no uso da terra através de ações integradas de investigação, são imprescindíveis. Neste contexto, SADER *et al.*

(1990) observam uma otimização das análises envolvidas para estudos ambientais com a combinação de sistemas de sensoriamento remoto orbital e estruturas auxiliares, tais como sistemas de informação geográfica.

Em ambientes tropicais úmidos, tais estudos apesar de não serem muito numerosos, representam hoje uma fonte valiosa de informações sobre estes ecossistemas que vêm sofrendo rápidas mudanças. Como aplicações potenciais citam-se fornecer tecnologia auxiliar no manejo florestal (SUSILAWATI e Weir, 1988) e na caracterização e mapeamento de áreas florestais (MOORE *et al.*, 1991; SAXENA *et al.*, 1992). Em geral, os autores enfatizam a grande importância de trabalhos de campo intensivos para que a informação desejada, contida nas imagens de satélite, possa ser extraída com maior propriedade.

ANDRADE *et al.* (1998) salientam que a análise visual de imagens consiste basicamente na inspeção e identificação de diferentes padrões tonais /cor e texturais em cada banda, e na sua comparação em diferentes bandas e épocas. Assim, dois aspectos devem ser levados em consideração: o aspecto espectral e o temporal das imagens. O espectral permite a avaliação de informações em diversas bandas. Desta forma, as características espectrais dos alvos podem ser registradas de modos diferentes nas diversas bandas espectrais existentes, possibilitando a identificação de diferentes alvos através de comparação entre bandas.

Segundo VALÉRIO FILHO e FERREIRA PINTO (1996), os alvos da superfície terrestre podem ter sua resposta espectral alterada com o tempo, em função de fatores externos ou próprios de sua natureza. Dentre estes alvos, a cobertura vegetal é tida como a mais sujeita a modificações intrínsecas. Os mesmos autores salientam a importância da interação energia solar com a planta na aplicação de dados de sensoriamento remoto para estudo da dinâmica da ocupação do solo.

Hoje em dia existem muitos trabalhos elaborados com o uso do solo e com a cobertura florestal, juntamente com mapeamentos em larga escala principalmente no bioma estudado neste trabalho.

O primeiro mapeamento, publicado em 1990 com a participação do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA, teve o mérito de ser um trabalho inédito sobre a área original e a distribuição espacial dos

remanescentes florestais da Mata Atlântica. Desenvolvido em escala 1:1.000.000, tornou-se uma referência para pesquisas científicas relacionadas ao tema e para subsidiar as ações políticas em favor da conservação do bioma (SOS MATA ATLÂNTICA, 2009).

Muitos outros projetos de mapeamento têm sido desenvolvidos em áreas específicas do bioma, resultado do trabalho de instituições acadêmicas e de pesquisa, dos governos estaduais e de Organizações Não-Governamentais. Embora estas iniciativas não abranjam toda a área de distribuição da Mata Atlântica, eles se destacam pela escala do mapeamento ou pelo nível de detalhamento da legenda (PROBIO, 2004).

São vários os levantamentos da vegetação referentes à região Sul do país. No Rio Grande do Sul, o Inventário Florestal Contínuo tem como objetivo principal fornecer, periodicamente (de 5 em 5 anos), informações atualizadas, suficientes e confiáveis sobre o estado dos recursos florestais e suas mudanças com o tempo, para embasar a definição de políticas florestais, a administração de recursos florestais e a elaboração de planos estratégicos, de curto e longo prazos, para o desenvolvimento e uso das florestas do Estado. Nos Estados de Santa Catarina e Paraná, merecem destaque os Atlas de Vegetação de ambos Estados, desenvolvidos respectivamente pela Fundação do Meio Ambiente de Santa Catarina-FATMA, em 1993, e pela Secretaria Estadual de Meio Ambiente do Paraná em 2002. Neste último Estado, cabe ressaltar o mapeamento dos remanescentes das florestas com Araucária, em diferentes estágios sucessionais e o mapeamento da cobertura vegetal dentro da área de trabalho do PRÓ-ATLÂNTICA (Programa Proteção da Floresta Atlântica do Paraná) - Litoral, Serra do Mar e Vale do Ribeira.

Na região Sudeste existem muitas as iniciativas de mapeamento, podendo-se citar os projetos desenvolvidos pela Fundação CIDE com apoio do Governo do Estado do Rio de Janeiro e o Mapa de Uso do Solo e Cobertura Vegetal do Estado de São Paulo, executado pelo Instituto Florestal de São Paulo / Secretaria de Meio Ambiente, com apoio financeiro da FAPESP (PROGRAMA BIOTA, 2010).

Segundo a PROBIO (2004), muitas outras iniciativas envolvendo o mapeamento da cobertura vegetal da Mata Atlântica têm sido implantadas com o intuito de atender a

outros interesses, como a indicação de áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade e projetos de corredores ecológicos.

2.3 Biomassa e Carbono

Segundo CHANG (2004), a estocagem e a dinâmica são considerados processos naturais, em função das escalas de tempo de milhares de anos de eras geológicas. No entanto a velocidade e a intensidade com que estão ocorrendo mudanças no sistema climático da Terra, a partir da Revolução Industrial, é que tem sido objeto de preocupação de cientistas e líderes mundiais, principalmente nas últimas décadas.

Segundo informação extraída do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas de 2001, IPCC (2001), o modelo de clima, método que analisa o sistema climático numa abordagem de processos físicos e dinâmicos, indicou uma perspectiva de maior frequência desses fenômenos extremos entre os anos de 2091 e 2100. Segundo o IPCC (2001), nos próximos 50 anos haverá menos dias de frio com geadas do que dias com incidência de ondas de calor, apresentando, assim, estações com climas mais quentes (IPCC, 2007).

Essas alterações do clima estão relacionadas ao aumento de concentração de gases de efeito estufa (GEEs), responsáveis pela temperatura na Terra. Os GEEs são compostos principalmente pelo dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), hidrofluorcarbonos (HFC), perfluorcarbonos (PFC) e hexafluoreto de enxofre (SF_6) (IPCC, 2001).

O cultivo florestal desempenha um papel significativo na atual problemática do ciclo global de carbono, devido a sua capacidade de fixar quantidades de carbono na vegetação em longo prazo (BROWN e ALECHANDRE, 2000). As árvores exercem um importante papel frente à mudança do clima, funcionando como sumidouros de carbono (SANQUETTA e BALBINOT, 2004).

Conforme mencionado pelo IPCC (2003a), as florestas, as terras agrícolas e outros ecossistemas terrestres oferecem um grande potencial de mitigação de carbono. A mitigação poderia acontecer através de três estratégias: (a) conservação de carbono

existente em florestas existentes, (b) expansão de áreas florestais, e (c) sustentabilidade para a substituição de produtos biológicos.

O sequestro florestal de carbono refere-se ao processo de mitigação biológica das plantas que absorvem o CO₂ da atmosfera e o fixa em forma de matéria lenhosa ou biomassa. Esse processo é aplicado desde a preservação de áreas florestais com risco de serem destruídas até a recuperação de áreas degradadas, como também no estabelecimento de novas plantações florestais até sistemas agro-florestais com espécies nativas ou exóticas (CHANG, 2002a).

Segundo CORTE (2005), quando se pensa em áreas florestais, logo se percebe a importância na quantificação de áreas com estoque de carbono e sua dinâmica. O primeiro item a ser considerado é a questão do mapeamento das áreas alvo desta detecção com seus usos em diferentes espaços temporais. Para BATISTA *et al.* (2003), citados por CORTE (2005), a dinâmica de uso e cobertura da terra é entendida como as mudanças, ao longo do tempo, da cobertura vegetal em diferentes classes de vegetação, sendo que cada uma destas classes possui estoques de carbono diferentes e a dinâmica de uso e cobertura implica na emissão ou sequestro de carbono para a atmosfera período de vida de uma árvore pode ser de décadas e até de séculos, embora, após a fase de maturidade, os incrementos geralmente sejam bem menores que aqueles verificados em fases anteriores. Então, é possível mencionar que árvores possuem a capacidade permanente de captura e fixação de carbono enquanto vivas. Daí vem a importância de florestas como meio de armazenamento de carbono por períodos longos (MCT, 2002).

A biomassa contém cerca de 650 Gt de carbono (Gt → Gigatonelada = 10⁹ Mg), valor próximo aos da atmosfera 755 Gt, que por sua vez é duas vezes menor que a quantidade de carbono presente no solo, aproximadamente 1.720 Gt. Os oceanos apresentam as maiores reservas de carbono, com 38.500 Gt (LARCHER, 2000)

De acordo com GARDNER e MANKIN (1981), os ecossistemas florestais contêm cerca de 90% da biomassa terrestre e cobrem aproximadamente 40% de sua superfície. As florestas, além de serem importantes depósito ou sumidouros de carbono, também contribuem com a fixação ou sequestro de carbono, sem superiores em relação a esse potencial quando comparado às demais tipologias vegetais.

A biomassa florestal, conforme definição apresentada por ALEMDAG (1982) referenciado por WENDLING (1998) é a quantidade constituída por organismos no ecossistema em termos de massa.

Já MARTINELLI *et al.* (1994) definem a biomassa como a quantidade expressa em massa do material vegetal disponível em uma floresta. BRIGADÃO (1992) refere-se ao termo fitomassa, como material seco da planta, que combinado com a zoomassa corresponde à biomassa.

Segundo SOARES e OLIVEIRA (2002), citados por SANQUETTA *et al.* (2004), é necessário o desenvolvimento de metodologias que permitam utilizar estimativas de volume e biomassa em diferentes partes das árvores e em compartimentos das florestas, as quais são convertidas em quantidades de carbono através da utilização de fatores de conversão, ou seja, a quantidade de carbono estocada nas florestas de forma indireta principalmente devido ao custo elevado para obtenção da quantidade de carbono presente em diferentes compartimentos da floresta.

Segundo SANQUETTA *et al.* (2004), uma questão a ser resolvida nas metodologias para estimativa dos estoques de carbono e seu monitoramento é carência de um caráter integrador entre as diferentes ferramentas empregadas para se obter informações adequadas nos distintos padrões espaciais e temporais requeridos.

2.3.1 Estimativa de biomassa e carbono através de sensoriamento remoto

Segundo WATZLAWICK *et al.* (2002), as imagens de satélites podem ser importantes para realizar estimativas, tanto no cálculo de áreas, bem como os avanços tecnológicos no que se refere ao tratamento digital das imagens de satélite, permitindo a caracterização das diferentes estruturas florestais, associando o conteúdo de biomassa e carbono a essas imagens.

Para BROWN (1996), o sensoriamento remoto é uma ferramenta tecnológica importante nos estudos de monitoramento de carbono fixado, sendo que a utilização desta tecnologia depende de muitos fatores, tais como: o tipo e tamanho do projeto, recursos financeiros disponíveis e nível de precisão das informações.

Ao utilizar imagens LANDSAT-TM 5 para quantificação de biomassa em áreas de contato floresta/savana, ARAÚJO (1999) obteve resultados que indicaram a existência de correlação significativa entre biomassa e os dados imageados, para as áreas de floresta, sendo que a variável referente aos valores digitais da banda 4 do satélite referenciado acima foi a que melhor se correlacionou com a estimativa do parâmetro da biomassa. Já para áreas de savana, a baixa correlação encontrada demonstrou que as imagens analisadas não são indicadas para caracterizar a variação nos valores de biomassa.

Para SOUZA e PONZONI (1998), as técnicas de sensoriamento remoto têm sido amplamente utilizadas em aplicações e estudos na área florestal, destacando-se trabalhos que visam quantificar a biomassa florestal. A utilização de imagens de satélite constitui-se num método indireto e não destrutivo, podendo-se estimar parâmetros biofísicos (biomassa, carbono, volume de madeira), pelas propriedades espectrais da vegetação que a constitui (folhas, galhos, troncos, dentre outros). Apesar da viabilização das imagens, sua utilização quanto à quantificação de biomassa florestal ainda é pouco conhecida, principalmente em florestas heterogêneas, devido as mesmas terem uma grande diversidade florística, fisionômica e fenológica, bem como a disponibilidade de levantamentos de dados em campo coincidirem com a mesma data da tomada da imagem.

2.4 Fragilidade ambiental

Diversos estudos ressaltam que o meio tem apresentado sinais de desequilíbrio, muitas vezes relacionados à forma com que o homem se apropria a natureza. A ação antrópica tem transformado o meio natural em consequência dos modelos de consumo atuais, não o utilizando como um sistema que garante a sua sobrevivência, mas como recurso financeiro. Conforme ROSS (1994), os ambientes naturais mostram-se ou mostravam-se em estado de equilíbrio dinâmico até o momento em que as sociedades humanas passaram progressivamente a intervir cada vez mais intensamente na exploração dos recursos naturais.

É fato que a Revolução Industrial, ocorrida no século XVII na Inglaterra, configura-se como um momento de mudanças tanto para o progresso da civilização, como para os aspectos ambientais. Para SANTOS (1998), o espaço habitado não pode ser comparado, qualitativa ou estruturalmente, ao espaço do homem anterior à Revolução Industrial.

De acordo com ROSS (1994), as revoluções técnico-científicas acompanhadas do desenvolvimento econômico nos dois últimos séculos, transformaram o homem como ser social. Promoveu a redução dos índices de mortalidade, entretanto, não reduziu a natalidade ao mesmo nível, o que levou a um rápido crescimento demográfico. Concomitantemente, houve o aumento da busca por recursos naturais, assim como a tecnificação e a sofisticação dos padrões socioculturais.

No que concerne às alterações nos diferentes componentes da natureza, Spörl e ROSS (2004) afirmam que qualquer alteração no relevo, solo vegetação, clima e recursos hídricos, acarretam o comprometimento da funcionalidade do sistema, quebrando o seu estado de equilíbrio dinâmico. Deste modo, a exploração de recursos naturais, a supressão de cobertura vegetal para a implantação de culturas ou pastagem, a ocupação desordenada, as diferentes formas de poluição, entre outros, levam ao estado de desequilíbrio diante dos processos erosivos.

Avaliações da fragilidade ambiental, baseadas em fatores como o solo, a capacidade de erosão das chuvas, a declividade e a cobertura vegetal são necessárias ao planejamento ambiental. O conhecimento dos níveis de fragilidades presentes em uma bacia hidrográfica, por meio da integração de diversas variáveis que interferem nas potencialidades dos recursos naturais, possibilita compreender a realidade e obter uma visão mais evidente sobre quais são as opções mais adequadas para o uso do solo (SPÖRL, 2001). Com isso, fica evidente que os estudos de fragilidade ambiental proporcionam melhor definição das diretrizes e ações a serem implantadas no espaço físico-territorial, servindo de base para o zoneamento ambiental e fornecendo subsídios à gestão do território (SPÖRL e ROSS, 2004).

Dentro do conceito de fragilidade ambiental, convém destacar dois termos distintos: a fragilidade potencial e a fragilidade emergente. A fragilidade potencial de uma determinada área é conceituada como sendo a vulnerabilidade natural de um

ambiente em função de suas características físicas como a declividade e o tipo de solo, enquanto que a fragilidade emergente além de considerar as características físicas, contempla também, os graus de proteção dos diferentes tipos de uso e cobertura vegetal sobre o ambiente (KAWAKUBO *et al.*, 2005).

Dentro deste contexto, ROSS (1994) considera imprescindível o conhecimento básico do relevo, do solo, da geologia, do clima, do uso da terra e da cobertura vegetal. Em seu estudo, ROSS (1994) sistematizou uma hierarquia nominal de fragilidade representada por códigos: muito fraca (1), fraca (2), média (3), forte (4) e muito forte (5). Estas categorias expressam especialmente a fragilidade do ambiente em relação ao processo ocasionado pelo escoamento superficial difuso e concentrado das águas pluviais.

Diversos autores fazem referência à metodologia de ROSS (1994), dentre os quais podemos citar SILVA (2001), GHEZZI (2003), BOIKO (2004) e SANTOS (2005), que realizaram o mapeamento da fragilidade ambiental para as bacias hidrográficas do Rio Nhundiaquara, Rio Xaxim, do Rio Curralinho e o do Rio Jirau, respectivamente.

FLORIANI (2003) propôs um ajuste na metodologia de ROSS (1994) através da análise de múltiplos critérios, tendo concluído que nem sempre uma intervenção no meio é sinônimo de degradação ambiental, desde que a tecnologia empregada seja adequada ao potencial ecossistêmico existente. Desta forma, o autor sugere que novas metodologias para mapeamento da fragilidade ambiental sejam analisadas a fim de alcançar um diagnóstico por meio de critérios e indicadores condizentes com os geossistemas locais.

Em seu estudo STOLEN (2006) considerou que a rede “fragilidade ambiental” é dependente de outras duas redes: a rede “estado” e a rede “pressão”. A rede “estado” por sua vez é dependente do *data link*, que neste caso são: percentagem de argila da camada superficial, percentagem de argila da camada subsuperficial, espessura do horizonte “A”, profundidade efetiva do solo e declividade. Já a rede “pressão” é dependente do *data link* cobertura e atividade florestal.

RODRIGUES (2000) realizou um trabalho de mapeamento de fragilidade ambiental utilizando uma metodologia de avaliação da fragilidade do ambiente, relevo e solo, com características do ambiente que interferem na manutenção do equilíbrio do

relevo, obtendo como resultado mapas de uso da terra e de fragilidades potenciais associadas às inclinações das vertentes, geomorfologia e da fragilidade do relevo.

O mapeamento das fragilidades ambientais identifica e analisa os ambientes em função de seus diferentes níveis de fragilidade. Com estas informações pode-se apontar as áreas onde os graus de fragilidades são mais baixos favorecendo, então, determinados tipos de inserção; e também, aquelas áreas mais frágeis onde são exigidas ações tecnicamente mais adequadas a essas condições (SPÖRL, 2001).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1.1 Localização da área de estudo

A Bacia do Rio Iguaçu está localizada na Região Sul do Brasil (porção sul do Estado do Paraná e porção norte do Estado de Santa Catarina – Figura 1) entre as latitudes 25°05'00''S e 26°45'00''S e as longitudes 48°57'00''W e 54°50'00''W, cuja área de drenagem é de aproximadamente 72.000 Km² (MERENDA, 2004).

Com direção preferencial leste-oeste, o Rio Iguaçu percorre aproximadamente 1.060 km, desde suas nascentes, na vertente ocidental da Serra do Mar, próximo à Curitiba, até a sua foz, no Rio Paraná, passando pelos três planaltos paranaenses (ELETROSUL, 1978). Destes, apenas o trecho entre as cidades de Porto Amazonas e União da Vitória é navegável, o que corresponde a 366 km. Considerando a confluência dos rios Atuba e Iraí como ponto de origem e a foz no Rio Paraná como ponto final, o Rio Iguaçu está situado entre as cotas de 908 m e 78m, apresentando um desnível de 830 m (AGOSTINHO e GOMES, 1997).

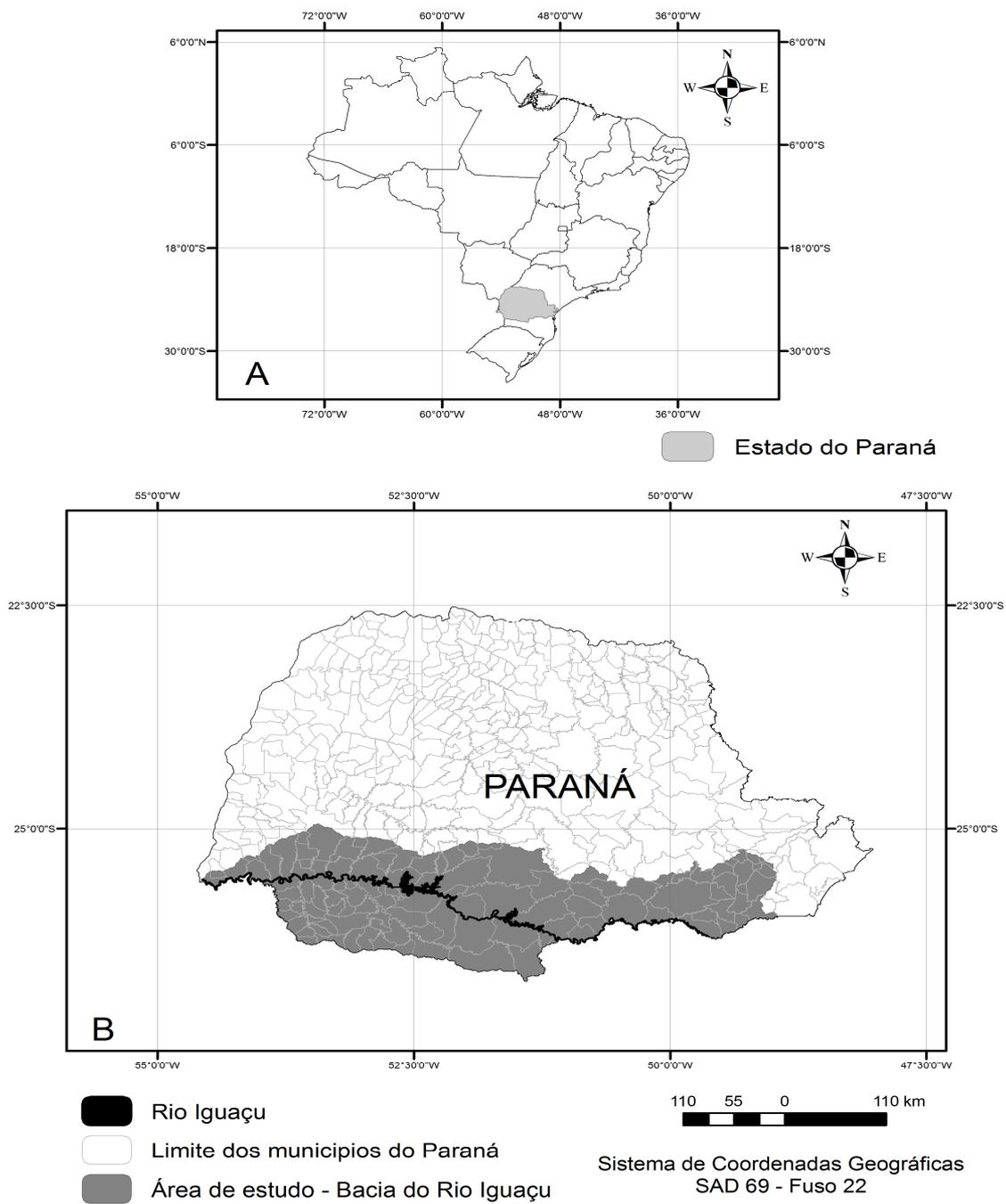


FIGURA 1: LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO. A) LOCALIZAÇÃO DO PARANÁ NO BRASIL; B) ÁREA DE ESTUDO NO ESTADO DO PARANÁ.

3.1.2 Vegetação natural

O Rio Iguaçu perpassa uma extensão expressiva do Estado do Paraná e do Estado de Santa Catarina, compondo um Corredor Ecológico, onde estão situados os mais significativos remanescentes da Floresta Ombrófila Mista (Floresta com Araucária) e suas transições para a Floresta Estacional Semidecidual, onde se insere o Parque Nacional do Iguaçu e outras importantes unidades de conservação, assim como a Floresta Ombrófila Densa e os campos das regiões dos planaltos e serras dos dois estados. Todas essas fitofisionomias pertencem ao Bioma Mata Atlântica (SELP, 2012).

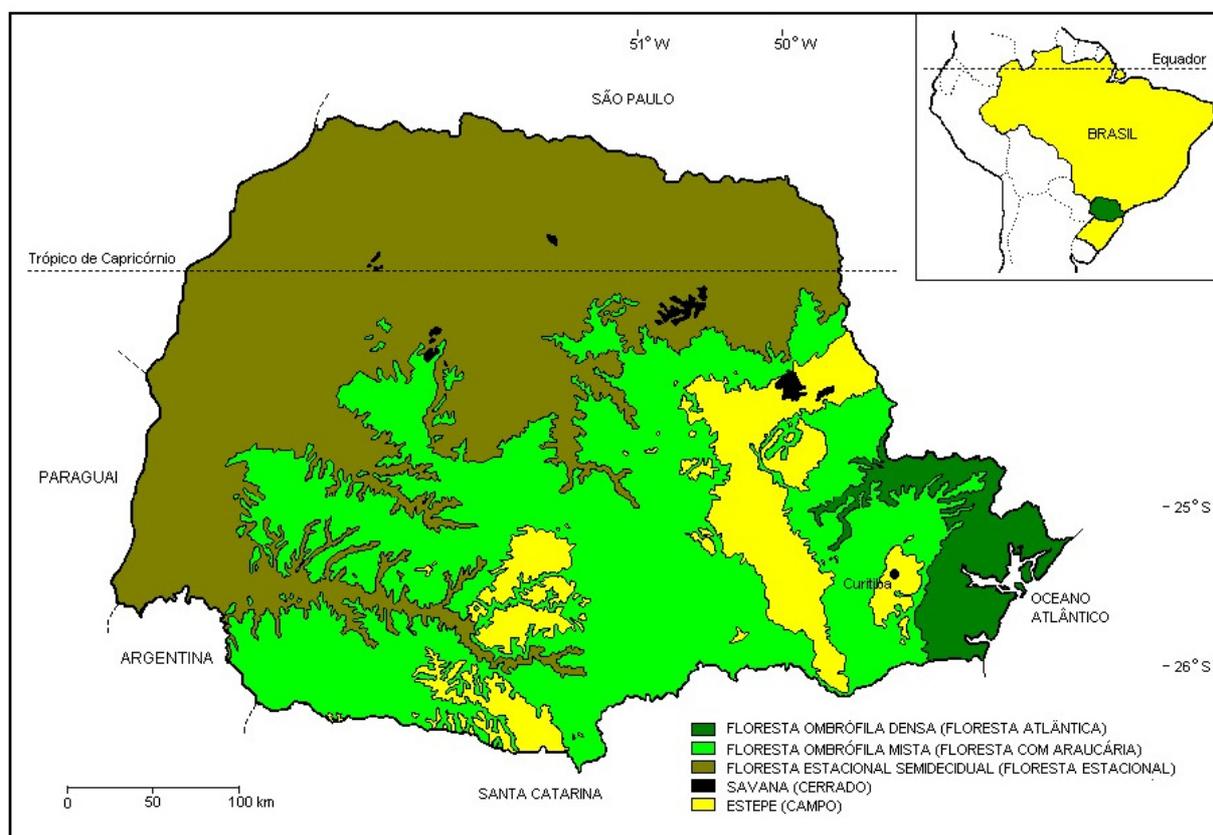


FIGURA 2: DISTRIBUIÇÃO DAS FITOFISIONOMIAS MAIS REPRESENTATIVAS DO ESTADO DO PARANÁ (Adaptado de MAACK, 1950; RODERJAN *et al.*, 2002).

A vegetação da Bacia do Iguaçu era, originalmente, dominada por matas de araucárias. Os levantamentos realizados por MAACK (1981) já revelavam que cerca de dois terços da área ocupada por esta vegetação já havia sido devastada e substituída por matas secundárias, dominadas por samambaias.

SANQUETTA e MATTEI (2006) citam que na região da Floresta Ombrófila Mista no Paraná, notadamente nas regiões menos favorecidas pelas possibilidades de prática da agricultura moderna, ainda predominam atividades econômicas tradicionais, como as culturas agrícolas de subsistência, a extração de erva-mate e o pastoreio sob cobertura florestal. A baixa rentabilidade destas atividades e o êxodo rural decorrente têm determinado o abandono de muitas áreas, com a conseqüente formação de mosaicos vegetacionais em distintas fases sucessionais, que não raras vezes são complexos e de difícil discriminação. Entretanto, as regiões centro-sul e sudoeste, alvos deste trabalho, são conhecidas por serem destaques na produção agrícola do Estado do Paraná.

Levantamentos realizados nesta região revelaram que os remanescentes da mata de araucárias são escassos, ocorrendo em pequenos fragmentos, com diferentes graus de perturbação (COPEL, 1993).

No início da década de 90 a situação de comprometimento dos mananciais do rio Iguaçu já era tida como crítica, fruto da dinâmica da urbanização metropolitana, caracterizada pela expansão da malha urbana para áreas destituídas de infraestrutura constituindo o processo de periferização (SELP, 1991).

Além disso, os sucessivos barramentos transformaram as corredeiras e saltos que existiam no médio curso do rio Iguaçu em um conjunto de aproveitamentos hidrelétricos. Somados estes barramentos alagam cerca de 515 km e acumulam cerca de $18,5 \times 10^6$ m³ de água (AGOSTINHO & GOMES, 1997). Estes aproveitamentos são responsáveis por 41% de toda energia hidrelétrica produzida no Estado do Paraná, incluindo aquela gerada pela Itaipu Binacional.

No Estado do Paraná, as cidades mais importantes inseridas na bacia são Curitiba, São José dos Pinhais, Colombo, Pinhais, Araucária, Guarapuava, Francisco Beltrão e Cascavel (parcialmente). A população estimada da bacia é de 3,3 milhões de habitantes, dos quais 79,4% correspondem à população urbana (MERENDA, 2004).

3.1.3 Caracterização geológica da Bacia do Rio Iguaçu

O substrato da bacia do rio Iguaçu é constituído por rochas cristalinas do Pré-Cambriano Inferior e Superior, rochas sedimentares paleozóicas da Bacia do Paraná e rochas vulcânicas mesozóicas da Formação Serra Geral (SEMA, 2010). As rochas Pré-cambrianas ocupam a maior parte da bacia do Rio Iguaçu, na área Metropolitana de Curitiba e equivalem em quase sua totalidade à área do Primeiro Planalto. As rochas paleozóicas ocupam o Segundo Planalto e a parte alta da bacia do Iguaçu, e as rochas mesozóicas ocupam o Terceiro Planalto. As formações cenozóicas se sobrepõem às Pré-cambrianas na área metropolitana de Curitiba. As sequências geológicas se sobrepõem do leste para oeste em estruturas monoclinais com mergulho para oeste. Na área da bacia do Rio Iguaçu são encontrados sete aquíferos principais, o cárstico (Grupo Açungui), o aquífero fraturado associado às rochas pré-cambrianas, os aquíferos 17 relacionados às rochas sedimentares do Paleozóico Inferior, Médio e Superior, o aquífero da Formação Botucatu, e o aquífero fraturado da Formação Serra Geral (MERENDA, 2004).

3.1.4 Caracterização Climática da Bacia do Rio Iguaçu

A bacia do Rio Iguaçu está inserida em uma zona de clima subtropical úmido, com verão quente e inverno fresco, sem estação seca. A precipitação total anual é superior a 1.000 mm, com o mês mais seco excedendo a 60 mm. O período mais chuvoso concentra-se entre os meses de outubro e março. O período mais seco acontece entre os meses de abril e setembro, sendo abril, normalmente, o mês menos chuvoso. A temperatura média varia entre 17º C e 18º C. O trimestre mais frio ocorre de junho a agosto, ao passo que o trimestre mais quente ocorre de novembro a janeiro (MDK ENGENHARIA DE PROJETOS & CENCO CONSÓRCIO DE ENGENHEIROS CONSULTORES, 1987).

Em função de seu grande tamanho e de sua disposição preferencial leste – oeste, esta bacia abrange duas regiões térmicas distintas. Até a metade oriental do Terceiro Planalto as temperaturas mais quentes são inferiores a 22º C, registrando-se

mais de cinco geadas por ano. No trecho inferior restante, as temperaturas dos meses mais quentes superam a 22° C e são registradas, no máximo três geadas por ano (MAACK, 1981).

As médias de precipitações anuais variam entre 1.200 a 1.600 mm até o final do Segundo Planalto e de 1.600 a 1.800 mm no trecho correspondente ao Terceiro Planalto (Secretaria de Estado da Agricultura e Abastecimento. ITCF, 1987).

3.1.5. Aspectos Ocupacionais da Bacia do Rio Iguaçu

Os registros mais antigos da ocupação na região de Rio Iguaçu pelo homem primitivo datam de aproximadamente 3.000 a 6.000 anos atrás. Trata-se de grupos indígenas que viviam da coleta de frutos e raízes e da caça e da pesca. Posteriormente grupos indígenas mais evoluídos, já apresentavam certa atividade agrícola manifestada principalmente pelas pequenas roças de mandioca.

Após o descobrimento do Brasil, surgiram várias incursões colonizadoras na região. Estes colonizadores ocupavam a terra com culturas de subsistência e atividades pastoris realizadas nos campos de planalto. A criação extensiva de gado constituiu-se a primeira atividade econômica significativa da região. No final do século XIX e início do século XX, a extração de erva-mate e a atividade madeireira foram as responsáveis pelo primeiro grande impacto sobre os ecossistemas naturais.

Nas décadas de 1930 e 1940, a atividade extrativista foi intensificada, sendo as matas do planalto, por estarem em uma área de declividade mais suave, as mais exploradas. A exploração de madeira, embora em grande escala, foi realizada de forma seletiva. Somente eram extraídas as árvores com altura e diâmetro comerciais, não havendo desmatamento generalizado.

Nas últimas décadas, não houve alterações significativas na exploração da região. As barreiras físicas e altas declividades impediram a disseminação da mecanização no vale, o que contribuiu para manutenção da situação agrária da região e a preservação de áreas de matas nos locais de difícil acesso.

Na época em que foram realizados os estudos ambientais para a construção da usina de segredo (1986/1987) a população rural com menor poder aquisitivo e os

pequenos proprietários de terra utilizavam as matas como fonte de madeira para lenha, construção e confecção de utensílios e os animais silvestres e os peixes como principal fonte protéica. Eram cultivados milho, trigo cevada, batata inglesa, fumo e arroz. A pecuária bovina, a suinocultura e a apicultura eram as principais atividades de criação. As atividades extrativistas baseavam-se na extração de madeira nativa e extração de erva-mate, sendo esta responsável por dos mais importantes ciclos da economia paranaense.

3.2 MATERIAL

O material utilizado foi dividido em dois grupos, sendo: 1) produtos cartográficos e imagens e 2) equipamentos de processamento e aplicativos.

3.2.1 Produtos cartográficos e imagens

Foram utilizados os seguintes produtos cartográficos: mapas temáticos e imagens de satélites listados a seguir.

3.2.1.1 Mapas temáticos

Os mapas temáticos do Paraná utilizados neste trabalho foram disponibilizados pelo Instituto de Terras e Cartografia e Geociência – ITCG e pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA.

- Arquivo vetorial – Formato *Shapefile* – da hidrografia do Paraná. Material vetorizado com base nas Cartas Topográficas na escala de 1:25.000. Fonte: IPARDES. Sistema de projeção UTM – Fuso 22 Sul (IPARDES);
- Arquivo Vetorial – Formato *Shapefile* - Mapa da Divisão Política Administrativa do Paraná do ano de 2007. Fonte: ITCG. Sistema de Projeção UTM - Fuso 22 Sul (ITCG, 2007);

- Arquivo Vetorial – formato *Shapefile* – Mapa de Rodovias do Paraná. Fonte: IBAMA, Sistema Compartilhado de Informações Ambientais. Sistema de Projeção UTM - Fuso 22 Sul (IBAMA);
- Arquivo Vetorial – formato *Shapefile* – Mapa de solos do Paraná – Fonte: EMBRAPA/EMATER. Escala: 1:2.000.000. Sistema de Projeção UTM – Fuso 22 sul (EMBRAPA/EMATER, 1999);
- Arquivo *Raster* – Formato TIFF – SRTM do Paraná. Fonte: EMBRAPA, Sistema de coordenadas geográficas. Datum – WGS 84.

3.2.1.2 Imagens de satélite

As imagens utilizadas neste trabalho são oriundas do satélite Landsat 5 TM. Este satélite é multiespectral e possui uma resolução espacial de 30 metros. As datas dos anos selecionados foram as mais próximas possíveis com o objetivo de padronizar as estações dos anos de avaliação. No entanto, houve uma diferença de meses em função da inexistência de dados mais próximos. Na tabela 1 estão listadas as datas de aquisição das cenas juntamente com sua órbita/ponto.

TABELA 1 – ÓRBITA/PONTO E DATA DE AQUISIÇÃO DAS CENAS DO SATÉLITE LANDSAT 5 TM

Órbita/Ponto	Dia/Mês	Ano
220/078	19/08	2000
221/078	09/07	
222/078	04/11	
223/077	29/11	
223/078	29/01	
224/078	14/02	
220/078	19/11	2010
221/078	16/04	
222/077	01/11	
222/078	01/11	
223/077	01/06	
223/078	08/11	

3.2.1.3 Equipamentos de processamento e aplicativos

Foram utilizados aplicativos disponíveis pela Fundação de Pesquisas Florestais – FUPEF, sendo eles: ENVI 4.5 e ARCGIS 9.3. Além deles foi utilizado o *software* eCognition licenciado pelo programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná.

3.3 METODOLOGIA

3.3.1 Composição de bandas multiespectrais

As composições das bandas selecionadas para melhor visualização e interpretação da vegetação foram selecionadas no software ENVI, versão 4.5, e tendo como resultado a melhor combinação analisada de RGB: 5,4,3. Esta combinação tem sido chamada comumente de composição de “cores naturais”. Após a combinação feita, estas imagens foram salvas em formato GeoTIFF para serem exportadas para o *software* Arcgis 9.3.

3.3.2 Georreferenciamento de imagens

O processo de georreferenciamento é fundamental em vários problemas práticos na área de sensoriamento remoto, tais como: integração de uma imagem à base de dados existente num SIG; aplicação na área de cartografia, uso da terra, geografia, que exigem alta precisão geométrica ou fidelidade com respeito à cena, fusão de imagens adquiridas por sensores diferentes, aplicações relacionadas com a combinação de imagens sobre uma grande área (mosaico) e na análise de dados multitemporais (imagens adquiridas em 2000 e 2010). Para que a precisão cartográfica seja avaliada em imagens de sensoriamento remoto, faz-se necessário que as mesmas sejam corrigidas das suas distorções e os elementos que as constituem fiquem referidos a algum sistema de coordenadas.

As coordenadas medidas dos pontos de controle estão sujeitas a erros, a prática tem mostrado que o usuário deve escolher no mínimo 6 e 10 pontos para polinômios de 1º e 2º grau, respectivamente, e de maneira que os pontos fiquem bem espalhados dentro da área de trabalho. Isto permite que os coeficientes sejam avaliados, utilizando-se o cálculo de Mínimos Quadrados, conforme citado em Richards (1993).

Para a o registro das imagens desse trabalho, foram usadas rodovias e a hidrografia com base nos *shapefiles* supracitados nos materiais utilizados do ITCG e realizado no *software* Envi 4.5. Os pontos de controle foram coletados principalmente em cruzamentos de estradas e confluência de rios.

O registro manual se baseia na identificação de pontos de controle no terreno, sendo indicado para os casos em que uma grande precisão não é necessária. Neste caso, porém, ao invés de registrar as coordenadas em pixel/linha de uma imagem às coordenadas geográficas de um mapa, registram-se duas coordenadas tipo pixel/linha entre si.

Em média foram coletados 30 a 40 pontos por imagem. Após a seleção dos pontos de controle, foi indicado o polinômio de 2º grau. Esta correção visou georreferenciar as imagens, com base na localização de pontos (x, y) notáveis no sistema de coordenadas UTM, datum SAD-69. O desempenho deste modelo depende de uma boa distribuição de pontos de controle, da precisão das coordenadas dos pontos de controle e, o mais importante, da adequação da função polinomial escolhida ao que se pretende modelar.

A precisão da operação de georreferenciamento é determinada por processo estatístico, denominado erro médio quadrático (RMS), expressando o erro entre as distâncias das coordenadas reais e transformadas para o mesmo ponto.

KHORRAM *et al.* (1998) citam que quando trabalha-se com imagens de 30 metros de resolução espacial para detecção de mudanças, o processo de georreferenciamento deve garantir que o erro quadrático médio (RMS) seja inferior ou igual a 0,5 pixel (≤ 15 metros). Desta forma, para a correção geométrica entre imagens, este foi o critério utilizado.

Em seguida as imagens foram recortadas visando diminuir a área de abrangência para a bacia do Rio Iguaçu a fim de reduzir o tempo de processamento

dos testes que seriam realizados. Estas foram recortadas no próprio Envi 4.5 para posteriormente serem exportados para o processo de segmentação das imagens realizadas no software eCognition.

3.3.3 Segmentação de imagens

Objetiva-se com a segmentação dividir uma imagem em grupos de pixels ou objetos de acordo com determinado grau de homogeneidade, a fim de associá-los a uma feição do terreno. Dependendo do tipo de imagem e do objetivo, diferentes métodos de segmentação podem ser aplicados (ANTUNES, 2003).

A segmentação por crescimento de regiões inicia uma região constituída por um pixel ou grupo de pixels. O segmentador vai calculando os atributos espaciais (média, variância e textura) e faz a agregação de regiões adjacentes em função dos critérios de similaridade e de área que são fornecidos pelo analista (MOREIRA, 2007). O critério de similaridade tem como base um teste estatístico que testa a média entre regiões, depois divide a imagem em um conjunto de sub-imagens para, então, fazer a união entre as regiões, segundo um limiar de agregação definido, ou seja, duas regiões serão agregadas se: forem similares pelo teste das médias; a similaridade satisfizer o limiar estabelecido pelo analista; e estiverem adjacentes uma à outra (INPE, 2010).

Essa fase do trabalho foi realizada no *software* Ecognition, no qual se pretendia segmentar separando-se em duas classes de interesse: floresta e outra envolvendo o que não fosse floresta, como exemplo: edificações, solo exposto, agricultura, rios entre outros. A segmentação foi realizada após tentativas com níveis de segmentação optando-se pela escala de 30 metros.

O algoritmo de segmentação do *software* Ecognition aplica a abordagem de crescimento de regiões, onde o critério de similaridade é construído a partir do conceito de heterogeneidade interna das regiões. A heterogeneidade resulta da diferença entre o atributo de uma região e a soma dos valores deste mesmo atributo para as duas sub-regiões que serão agrupadas caso o critério seja satisfeito. Assim, são calculados os coeficientes de heterogeneidade para os atributos de cor e forma (BAATZ *et al.*, 2004).

Após esta etapa realizou-se uma classificação hierárquica. Nesta, criada as classes de interesse, que seriam floresta e não floresta e por seguinte selecionadas as amostras. Na etapa de coleta de amostras, cuidou-se para que toda a variabilidade de feições das classes fosse considerada. Muitas amostras (segmentos) foram coletadas para cada classe cobrindo toda a heterogeneidade destas quanto à forma, comportamento espectral e textura. Dessa maneira é importante que a amostra de treinamento seja bastante homogênea e representativa da classe de interesse. Normalmente, as amostras de treinamento são selecionadas a partir do conhecimento prévio que o analista tem da cena. Esse conhecimento pode ser teórico (conhecimento do comportamento espectral dos alvos) ou prático (adquirido em visitas ao campo, em análises de imagens orbitais). Neste trabalho utilizou-se do conhecimento teórico visando que o cenário era muito grande com possibilidade de visitas em pequenas áreas de toda a bacia do Rio Iguaçu.

A partir daí analisou se a imagem já classificada a fim de achar erros e conferir as estatísticas de cada classe (vegetação x não vegetação). Confrontaram-se as duas classes observando suas funções e procurou alterar as mesmas sempre buscando um melhor resultado a fim de evitar trabalhos futuros. Para finalizar essa etapa exportaram-se os resultados da classe floresta em formato *shapefile* para posterior interpretação visual e classificação da vegetação em estágios de sucessão de vegetação secundária.

3.3.4 Interpretação visual para classificação das imagens em classe de sucessão de vegetação secundária

Após a escolha do melhor nível de segmentação para a área de estudo, foram definidas as classes de estágio de sucessão de vegetação secundária e reflorestamento no *software* Arcgis 9.3.

A análise visual de imagens consiste na identificação visual de áreas com a mesma classe de ocupação do solo e na sua delimitação. Atualmente, a análise visual de imagens é feita na tela do computador, o que permite, de imediato, a obtenção de produtos digitais. Esta análise para a cartografia temática exige a definição precisa de

normas de interpretação visual e a seleção da composição colorida que melhor permita a identificação das classes de interesse.

As formações florestais foram classificadas conforme a Resolução CONAMA n° 02/94, de 18 março de 1994, como formações vegetacionais secundárias em estágio inicial, estágio médio / avançado de regeneração.

Com base nessa resolução, as imagens Landsat 5 avaliadas nos períodos de 2000 e 2010 foram abertas no *software* ArcGis 9.3 junto com os arquivos em *shapefile* correspondente, que foram exportados do *software* Ecognition. Estes *shapefiles* possuem uma tabela de atributos com campos no qual foram criados números para cada segmento resultante da segmentação no Ecognition, campo este chamado FID. Assim foi criado outro campo em formato de texto chamado “classe”. Esse campo foi preenchido da seguinte forma: estágio inicial de floresta, ou estágio médio a avançado ou reflorestamento.

A partir de dados coletados em campo na área de estudo foram obtidos áreas com *Global Positioning System* – GPS correspondentes à imagem. Assim, foram definidas amostras de treinamento para facilitar na identificação dos estágios secundários sucessionais, conforme as figuras 3,4 e 5. Estas informações servem como padrão para uma posterior classificação, seja visual como no caso deste trabalho, ou automática, de áreas da imagem. No caso deste trabalho foram levadas em consideração as seguintes características nas imagens segmentadas: padrões de cor, textura, estrutura, forma, além de informações auxiliares de cunho espacial. Alguns parâmetros como cor, tonalidade e textura apareceram de forma prioritária para separação das classes conforme Tabela 2. Além disso, os dados de declividade, hidrografia e região serviram no auxílio da classificação.

TABELA 2. INTERPRETAÇÃO VISUAL DOS POLÍGONOS

Classe de polígonos	Textura	Tonalidade	Forma
Estágio inicial de vegetação secundária	Lisa	Verde clara	Irregular
Estágio médio a avançado de vegetação secundária	Rugosa	Verde escuro	Irregular
Reflorestamento	Rugosa	Verde escuro	Geralmente quadrada ou retangular

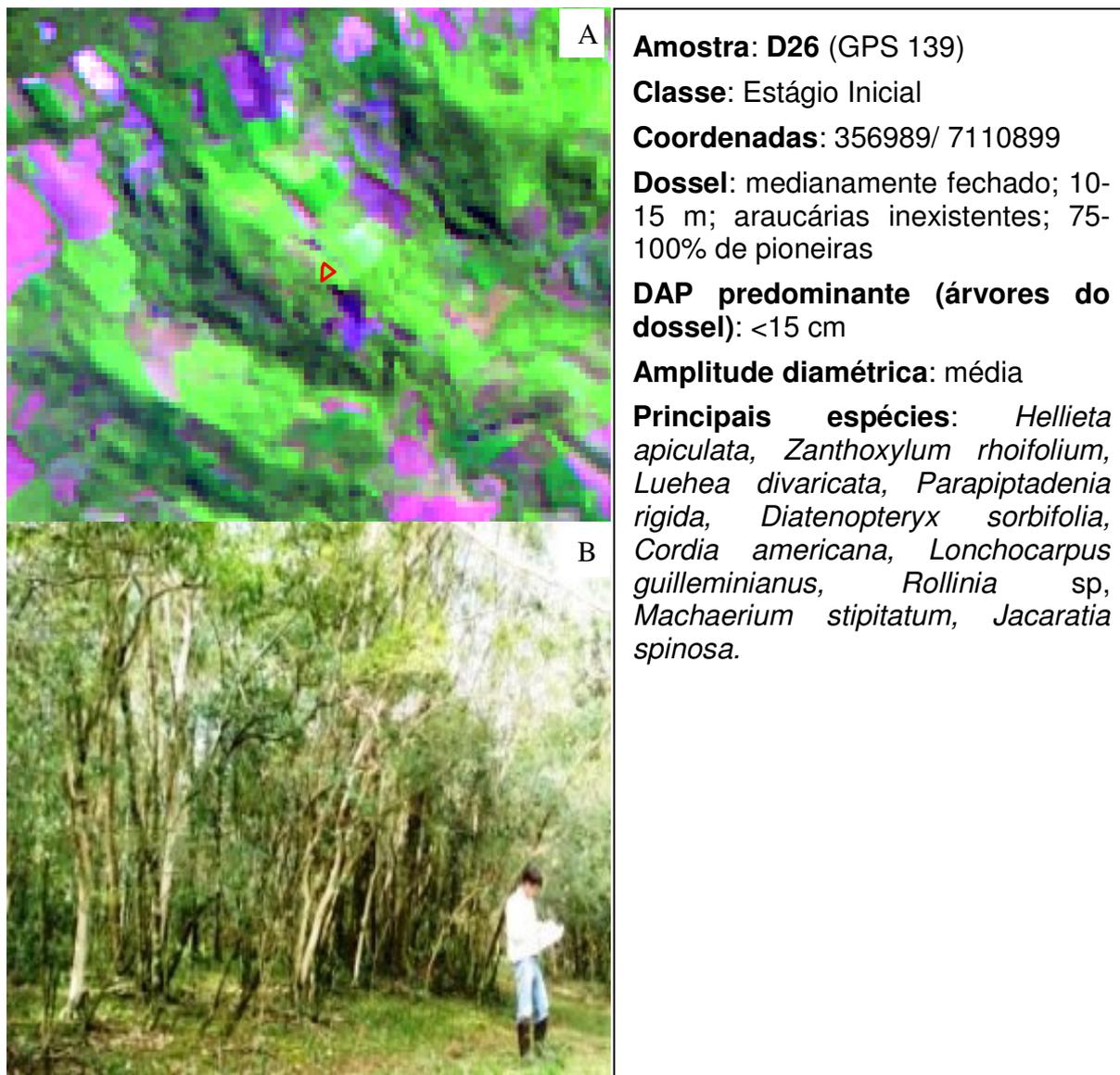


FIGURA 3: A) AMOSTRA DE VEGETAÇÃO SECUNDÁRIA INICIAL NA IMAGEM. B) AMOSTRA DE VEGETAÇÃO SECUNDÁRIA INICIAL EM CAMPO

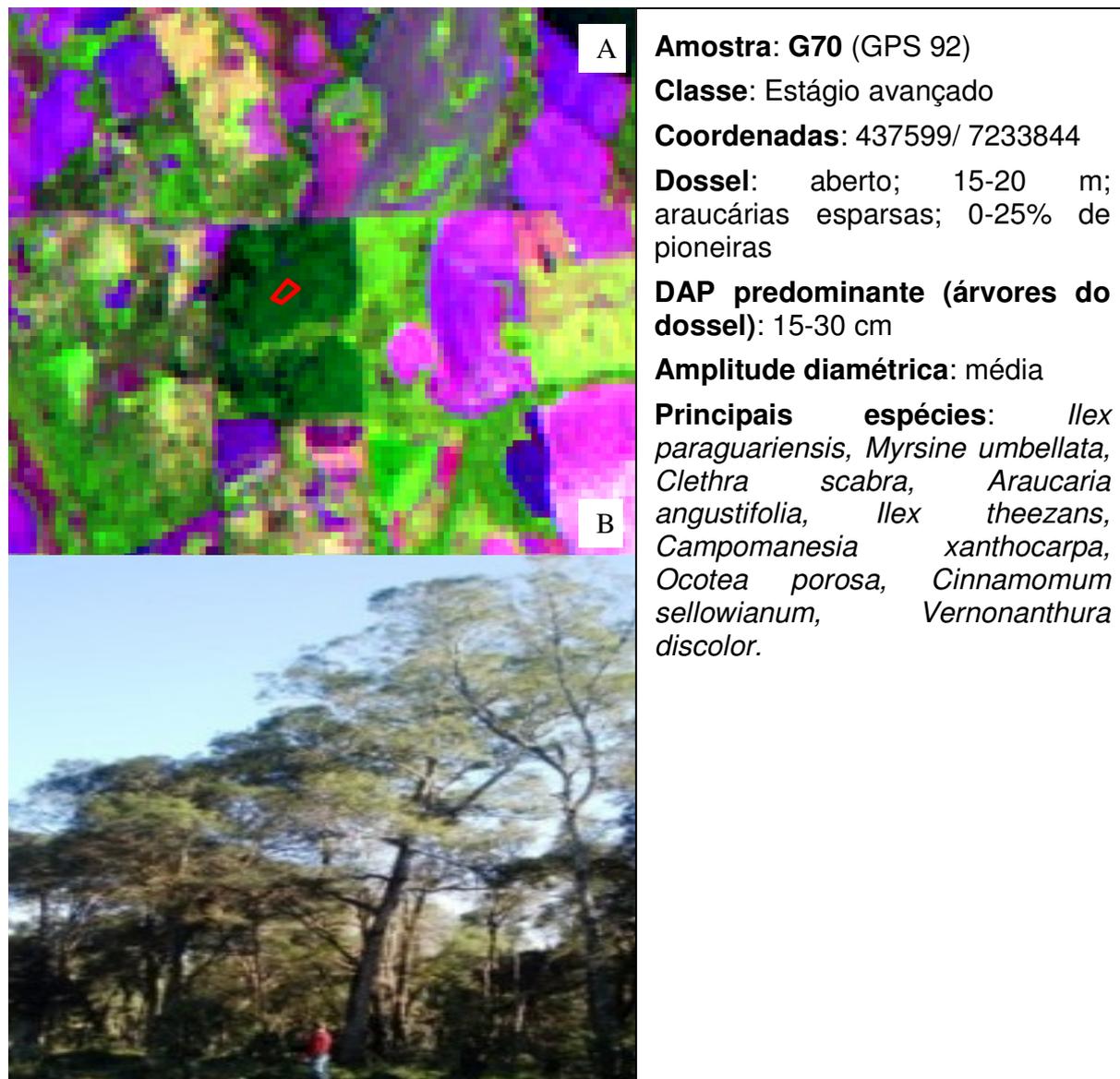


FIGURA 4: A) AMOSTRA DE VEGETAÇÃO SECUNDÁRIA EM ESTÁGIO MÉDIO A AVANÇADO NA IMAGEM. B) AMOSTRA DE VEGETAÇÃO SECUNDÁRIA EM ESTÁGIO MÉDIO EM CAMPO

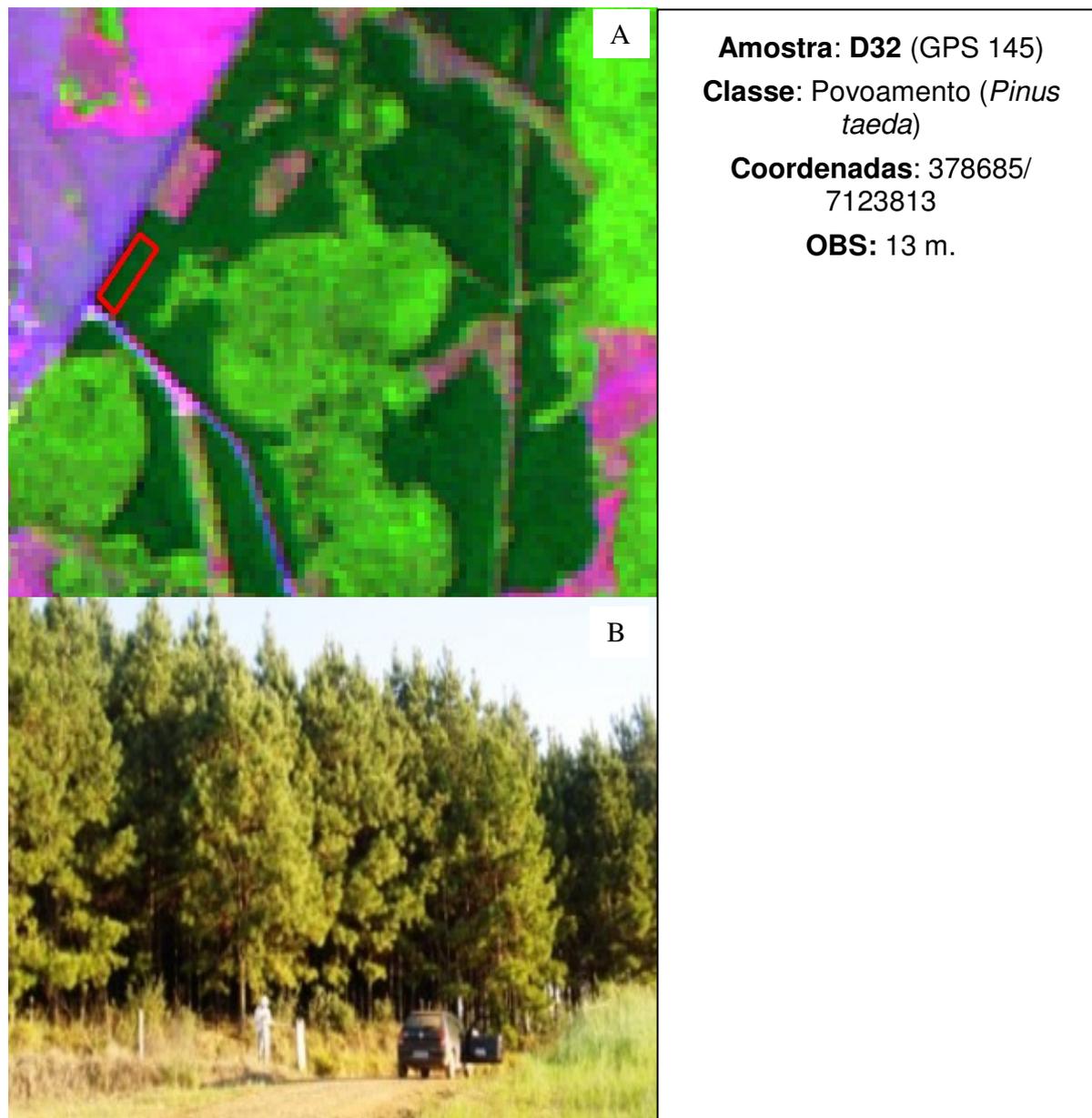


FIGURA 5: A) AMOSTRA DE REFLORESTAMENTO NA IMAGEM. B) AMOSTRA DE REFLORESTAMENTO EM CAMPO

3.3.5 Cálculo de acuracidade do mapeamento da cobertura florestal

Visando quantificar os erros na classificação, para determinar a qualidade do mapeamento, torna-se necessária a avaliação da sua acurácia (MOREIRA, 2007; NOVO, 2008). Para a análise da acurácia do mapeamento do ano de 2010 foram coletas amostras de referência, ou verdade de campo, para todas as classes de vegetação secundária em estágio sucessional. Foram selecionadas 70 amostras para a área de estudo no campo para confrontar na imagem.

A matriz de confusão para a imagem classificada (Tabela 3) foi construída com base no número de polígonos amostrados. Conforme WATZLAWICK (2003), a partir da elaboração da matriz de confusão, pode-se estabelecer o primeiro parâmetro de avaliação da precisão do classificador, chamado exatidão ou precisão global. O seu valor é calculado pela divisão das somas das entradas que formam a diagonal principal da matriz, ou seja, o número de classificações corretas pelo número total de amostras utilizadas.

TABELA 3 – ESQUEMA DA MATRIZ CONFUSÃO ADOTADA PARA ANÁLISE DA CLASSIFICAÇÃO SUCESSIONAL

Classe de vegetação		Estágio inicial	Estágio médio a avançado	Reflorestamento	Total
Verdade de campo	Estágio inicial	*P1,1			
	Estágio médio a avançado		*P2,2		
	Reflorestamento			*P3,3	
	Total				

Onde: *Pontos da diagonal principal classificado corretamente.

LUNETTA e ELVIDGE (1998) comentam que o valor da exatidão global representa a precisão pensando na área total de avaliação e assim, não focando nas classes individualizadas. Abaixo está a equação (1), que expressa o cálculo da precisão global no mapeamento da cobertura florestal utilizada neste trabalho.

$$Q = \frac{\sum A_c}{\sum A_t} * 100 \quad (1)$$

Onde:

Q = precisão global;

$\sum A_c$ = somatório das áreas corretamente detectadas dentro das amostras;

$\sum A_t$ = somatório das áreas totais amostradas.

Posteriormente foi calculado o coeficiente Kappa. Este é um coeficiente de concordância para escalas nominais que pede a proporção de concordância, depois que a concordância atribuída à casualidade é retirada de consideração (COHEN, 1960). Desta forma, LINGNAU & ANTUNES (1997) consideram-no um coeficiente que determina a concordância esperada a posteriori, uma vez que a concordância esperada é determinada após a elaboração da matriz confusão.

Este coeficiente considera ainda todos os elementos da matriz de erros, diferentemente dos que consideram apenas aqueles que se situam na diagonal principal da mesma, estimando assim a soma da coluna e linha marginais (COHEN, 1960), conforme a expressão (2):

$$K = \frac{N * \sum_{i=1}^M M(i,i) - \sum_{i=1}^M SL(i) * SC(i)}{N^2 - \sum_{i=1}^M SL(i) * SC(i)} \quad (2)$$

Onde:

K = coeficiente Kappa;

N = número de *pixels*/área de verificação;

M (i,i) = número de classes;

SC (i) = soma parcial da coluna i da matriz de confusão;

SL (i) = soma parcial da linha i da matriz de confusão.

MOREIRA (2001) cita que os autores LANDIS e KOCH (1977) propuseram uma modificação nos parâmetros de interpretação deste coeficiente, sendo apresentados a seguir na Tabela 4.

TABELA 4 – RELAÇÃO ENTRE OS VALORES DO COEFICIENTE KAPPA E O DESEMPENHO DA CLASSIFICAÇÃO

Coeficiente Kappa	Desempenho da classificação
$K < 0$	Péssimo
$0 < K \leq 0,2$	Mau
$0,2 < K \leq 0,4$	Razoável
$0,4 < K \leq 0,6$	Bom
$0,6 < K \leq 0,8$	Muito bom
$0,8 < K \leq 1,0$	Excelente

3.3.6 Fragmentação florestal

Os principais fatores que afetam a dinâmica de fragmentos florestais são: tamanho, forma, grau de isolamento, tipo de vizinhança e histórico de perturbações (VIANA *et al.*, 1992). Esses fatores apresentam relações com fenômenos biológicos que afetam a natalidade e a mortalidade de plantas como, por exemplo, o efeito de borda, a deriva genética e as interações entre plantas e animais. A análise desses fatores é fundamental para identificar estratégias conservacionistas e prioridades para a pesquisa.

A partir do mapa de fragmentação florestal da região de estudo foi quantificada a área de cada fragmento utilizando a calculadora de valores da tabela de atributos do próprio arquivo de imagem vetorial poligonal, tornando possível comparar os tamanhos dos diversos fragmentos florestais encontrados na bacia do rio Iguaçu.

O número de fragmentos existentes na área foi relacionado à classe de tamanho em fragmentos maiores que 1 ha, aos quais pertencem e identificados como classe 1: fragmentos menores que < 10ha, classe 2 fragmentos 10 a 40ha, classe 3 fragmentos

de 40 a 100ha, classe 4 fragmentos de 100 a 500ha, classe 5 fragmentos de 500 a 1.000ha e por último classe 6 fragmentos maiores que 1.000 ha.

Logo após essa classificação foram aplicados filtros para áreas maiores que 40 ha e para áreas maiores que 100 ha com o objetivo de classificar também os tamanhos dos fragmentos florestais.

3.3.7 Índice de circularidade

O índice de circularidade ou da relação borda/interior foi determinado para propor a tendência em relação à forma de um fragmento, CHATURVEDI (1926) citado por OLIVEIRA *et al.* (2005), conforme a expressão (3):

$$IC = \frac{40.000 * \pi * A}{P^2} \quad (3)$$

Onde:

IC = índice de circularidade;

A = área do fragmento em ha;

P = perímetro do fragmento em metros.

O fragmento apresentará tendência à forma arredondada, quando o valor do índice de circularidade (IC) for próximo de 1. À medida que este se distancia de 1, tem-se um fragmento alongado (GREGGIO *et al.*, 2009).

3.3.8 Quantificação de carbono e biomassa

Neste trabalho, para efeito de cálculo, a abrangência original da fitofisionomia de estepes, foi considerada como as médias da Floresta Ombrófila Mista - FOM, devido ao fato de que nas áreas de floresta dentro das estepes observam-se geralmente indivíduos arbóreos característicos de FOM.

Para a quantificação do estoque de carbono e biomassa desse trabalho utilizou-se o método indireto, através da classificação das imagens de satélite dos anos de 2000 e 2010. Os valores utilizados para quantificar carbono e biomassa aérea na bacia do rio Iguaçu para FOM foram provenientes dos trabalhos de Watzlawick *et al.* (2002). Para o estágio médio a avançado foi realizada uma média aritmética dos valores de médio e avançado, pois neste trabalho não foi classificado separadamente estes dois estágios sucessionais de vegetação secundária.

No caso da Floresta Estacional Semidecidual – FES, usou-se os trabalhos de VEREZ (2012) e BRITZ *et al.* (2006). No estágio inicial foram extraídos os valores encontrados por VEREZ (2012), já para o estágio médio/avançado não foi encontrado em nenhuma bibliografia, sendo desta maneira utilizado um valor médio para FES, encontrado no trabalho de BRITZ *et al.* (2006), ainda, este trabalho somente apresentava valores de carbono, então a quantidade de biomassa foi calculada a partir do valor médio de carbono na biomassa descrito por VEREZ (2012) de 431,68 g.kg⁻¹.

Para o reflorestamento foi utilizado o valor encontrado no trabalho de WATZLAWICK (2003), sendo adotado como espécie principal o *Pinus taeda*, que é uma das principais espécies plantadas no estado do Paraná, e a idade base de 14 anos já que a área de estudo é muito grande para subdividir esta classe. A síntese dos valores encontra-se na Tabela 5.

Assim sendo, para chegar ao estoque total de carbono estocado pela vegetação arbórea da bacia do rio Iguaçu, multiplicou-se a quantidade (área) total de vegetação em cada classe pelos valores obtidos nos trabalhos de WATZLAWICK *et al.* (2002), WATZLAWICK (2003), VEREZ (2012) e BRITZ *et al.* (2006).

TABELA 5 – BIOMASSA SECA (t.ha⁻¹) E CARBONO (t.ha⁻¹) POR CLASSE DE SUCESSÃO DE VEGETAÇÃO SECUNDÁRIA

Domínio	Classe de vegetação	Biomassa	Carbono
FOM	Inicial	69,37	28,84
FOM	Médio a avançado	283,15	117,625
-	Reflorestamento	171,72	75,94
FES	Inicial	56,25	24,28
FES	Médio a avançado	251,57	108,60

Fonte: Adaptado de Watzlawick *et al.* (2002), Watzlawick (2003), Verez (2012) Britz *et al.* (2006).

A quantidade em CO₂ equivalente foi determinada pela multiplicação do valor de carbono por 3,666 (fator de conversão obtido pela razão entre as massas atômicas do dióxido de carbono e do carbono).

3.3.9 Áreas de preservação permanente

A expansão desordenada das barreiras urbanas e agrícolas causou a degradação de grande parte dos recursos naturais do Brasil. Dentre eles, as matas ciliares - qualquer formação florestal ocorrente nas margens de cursos d'água – foram e continuam sendo drasticamente reduzidas. A destruição das formações ciliares desrespeita a Lei nº 4.771 de 15 de setembro de 1965 do Código Florestal, além de prejudicar intensamente o meio ambiente, pois estas servem de filtro, retendo defensivos agrícolas, poluentes e sedimentos que seriam transportados para seu interior.

Assim atingindo o objetivo de mapear e quantificar os remanescentes florestais na faixa ciliar no entorno dos corpos d'água em toda a Bacia do Rio Iguaçu, com o propósito de analisar o percentual de cobertura florestal existente no ano de 2000 e 2010 e o estoque de carbono das áreas de preservação permanente. Com o auxílio do *software Arcgis*, foram gerados *buffers* ao longo dos cursos dos rios. A largura considerada de preservação ao longo do rio, considerada neste estudo, foi de 30 m.

Esta padronização deve-se ao fato de que a base cartográfica utilizada não contém informações sobre as larguras dos rios, dando assim para efeito deste estudo um tratamento único. Essa padronização foi utilizada para todos os rios da bacia exceto para o rio Iguaçu que possui uma largura de aproximadamente de 50 a 200 metros, no qual se considerou uma largura de 100 metros para a área de preservação permanente.

Para o cálculo dos estoques de carbono foram utilizadas as mesmas metodologias do item 3.3.8.

3.4. FRAGILIDADE AMBIENTAL POTENCIAL E FRAGILIDADE EMERGENTE

Para o cálculo da fragilidade potencial e fragilidade emergente foram observadas variáveis físicas como declividade, solo, o uso do solo, faixas ciliares e áreas de inundação da Bacia do Rio Iguaçu.

3.4.1 Variáveis físicas avaliadas

A metodologia de ROSS (1994), recomenda que seja efetuada uma análise integrada dos componentes e que cada tema seja avaliado a partir de uma hierarquia de 5 classes de fragilidade, de acordo com cada tema que for desenvolvido durante a análise como solo, declividade, uso do solo, etc.

Para todas as variáveis foram excluídas as áreas onde havia corpos de água, ou área urbana, pois foi considerado que estas não são importantes para a determinação de fragilidade por não serem passíveis de mudanças. Os corpos de água e as áreas urbanas foram obtidos a partir do ITCG (Instituto de Terras e Cartografia e Geociências), encontradas no *shapefile* de declividade e incorporados aos outros fatores.

3.4.2. Declividade

A declividade foi obtida pelo ITCG no formato vetorial. As classes foram calculadas levando-se em consideração a metodologia de ROSS (1994), porém considerando as classes existentes, que neste caso não abrangem todas as classes do trabalho de ROSS (1994).

TABELA 6. GRAUS DE FRAGILIDADE DERIVADOS DA DECLIVIDADE

Valor	Classe de fragilidade	Classe de declividade
1	Muito baixa	0 a 10 %
2,5	Baixa	10 a 20 %
4,5	Média	20-45 %
5	Alta/muito alta	>45 %

Fonte: Adaptada de ROSS (1994).

As classes de fragilidade e seu respectivo valor variam de acordo com o percentual de declividade. Assim, as declividades menores correspondem às classes de fragilidade mais baixa, e as com declives mais acentuados às de fragilidade mais alta. A classe alta/muito alta foi agrupada devido as classes de declividade maiores que 45 % já serem um nível elevado de declividade restringindo o uso da terra nessas áreas.

3.4.3 Solos

Ross (1994) declara que as classes de solos são determinadas em função de algumas características, como textura, estrutura, consistência, grau de coesão e profundidade/espessura dos horizontes superficiais e subsuperficiais.

Para classificar os graus de fragilidade dos solos ocorrentes em uma determinada área, Ross (1994) utilizou como base as pesquisas do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) e do de Campinas, São Paulo, conforme Tabela 7.

TABELA 7- GRAUS DE FRAGILIDADE DERIVADOS DOS SOLOS

Valor	Classe de fragilidade	Classe de solos
1	Muito baixa	Latossolo Bruno, Latossolo Roxo, Latossolo Vermelho escuro e Vermelho Amarelo textura argilosa
2	Baixa	Latossolo Amarelo e Vermelho Amarelo textura média/argilosa
3	Média	Latossolo Vermelho Amarelo, Argiloso, Alissolo textura média/argilosa
4	Alta	Argissolo textura média/arenosa, Cambissolo
5	Muito alta	Neossolo, Organossolo

Fonte: Ross (1994).

3.4.4 Uso do solo

Para SANTOS (2004), o uso e ocupação das terras retratam as atividades humanas que podem significar pressão e impacto sobre os elementos naturais. Dada sua importância, esta variável é tida como base para estudos ambientais. A ocupação da terra reduz e/ou potencializa o processo erosivo (BIGARELLA, 1978). Assim, ROSS

(1994) propõe uma classificação de graus de proteção aos solos, que variam de acordo com sua cobertura vegetal, conforme o apresentado na Tabela 8.

TABELA 8 - GRAUS DE PROTEÇÃO DERIVADAS DA COBERTURA FLORESTAL

Valor	Grau de proteção	Tipo de cobertura vegetal (Uso do Solo)
1	Muito alta	Florestas/Matas naturais, florestas cultivadas com biodiversidade
2	Alta	Formações arbustivas naturais. Mata homogênea de Pinus densa. Pastagens cultivadas com baixo pisoteio de gato, cultivo de ciclo longo.
3	Média	Cultivo de ciclo longo em curvas de nível/terraceamento, pastagem com baixo pisoteio, silvicultura.
4	Baixa	Culturas de ciclo longo de baixa densidade, culturas de ciclo curto.
5	Muito baixa a nula	Áreas desmatadas e queimadas, solo exposto, gradeação, culturas de ciclo curto sem práticas conservacionistas.

Fonte: adaptado de Ross (1994).

3.4.5 Faixas ciliares e áreas de inundação

Segundo CURCIO (2006), a planície fluvial, paisagem holocênica por onde permeiam algumas áreas desse estudo, é constituinte geomorfológico de vales fluviais mais desenvolvidos. A diversidade desses é muito grande, podendo, em função da interatividade entre os fatores endógenos e exógenos, em uma escala de tempo, resultar em diferentes modelados. Essa afirmativa pode ser contemplada para os vales do rio Iguaçu quando MAACK (1981), no singular trabalho “Geografia Física do estado do Paraná”, discute a diversidade de formas de vales do citado rio, possibilitando idealizar a dinâmica interdependente entre clima e arcabouço geológico. Segundo esse autor, no primeiro planalto paranaense, próximo das nascentes do rio, ocorre a presença de largos vales elaborados por entre paisagens suavemente onduladas. Nas passagens do primeiro para o segundo planalto, bem como desse para o terceiro, são observadas formas de vales mais encaixados – vales de rupturas, donde se iniciam linhas de rejuvenescimento fluvial (MAACK, 1981).

A planície contém diferentes níveis e formas topográficas, condizendo com áreas mais ou menos sujeitas à ação de enchentes, ou mesmo à influência do lençol freático, os quais, juntamente com as características pedológicas texturais, estruturais

e mineralógicas, condicionam os regimes hídricos dos solos: saturados, semi e não-saturados (CURCIO, 2006).

Em relação ao nível fluviométrico normal do rio, a despeito de suas variações (FRANÇA, 1993; LIMA, 2000; BARDDAL, 2006), a ponta da barra em sua cota mais elevada apresenta um alçamento de cerca de 1 a 1,5m, portanto de fácil transborde. Essa conformação imprime uma dinâmica de distribuição vegetacional, principalmente hoje em dia quando se tem o processo de transborde mais facilitado em função do assoreamento do canal do rio.

A ponta da barra tem uma extensão variável em função da altura do caudal fluvial, mas normalmente contém cerca de 20 metros, composta por relevos convexados que variam de ondulado a praticamente plano em ambiente mal drenado.

Com base nesses estudos e ainda com ausência de uma metodologia científica elaborada para definir essas áreas, utilizando a primeira cota da curva de nível de 20m após os limites do rio Iguaçu definiu-se esta área como sendo área de inundação do rio Iguaçu.

Além disso, foram calculadas as áreas de faixa ciliares para os demais rios e afluentes através da ferramenta do Arcgis 9.3. Criaram-se *buffers* de 30 metros para estas áreas.

Essas áreas de inundação do rio Iguaçu e faixas ciliares após serem demarcadas contaram com um índice de fragilidade muito alta (5) e o resto das áreas com nível de fragilidade baixa (1) para compor outra variável física avaliada.

O motivo dessa área de inundação e das faixas ciliares possuírem um alto grau de fragilidade deve-se a todos os solos e/ou sedimentos que compõem essas áreas serem redoximórficos, com processos de gleização em alta intensidade, caracterizando um ambiente redutor, decorrente das frequentes enchentes, exponenciado pelas baixas permeabilidades dos horizontes e/ou camadas presentes, além da presença do lençol freático a menos de 1m de profundidade em grande parte do ano BARDDAL (2006).

3.4.6. Cálculo de fragilidade potencial e emergente

TRICART (1997) criou o conceito de Unidades Ecodinâmicas, baseando-se no instrumento lógico de sistema, focado nas relações mútuas entre os diversos componentes da dinâmica e os fluxos de energia/matéria no meio ambiente. O autor classifica os meios ambientes como: estáveis, integrantes e instáveis, o que se relaciona tanto com os fatores naturais, como com os antrópicos.

Baseado no conceito de TRICART (1977), ROSS (1994) criou a metodologia Análise Empírica de Fragilidade Ambiental, mais conhecida no âmbito da Geografia para estudos de fragilidade. Esta análise é de grande importância para a análise ambiental e planejamento, visto que a partir dela pode-se identificar a vulnerabilidade e as potencialidades dos diferentes ambientes.

Para a determinação da fragilidade potencial da Bacia do Rio Iguaçu teve como base a expressão 4, conforme metodologia aplicado no trabalho de MAGANHOTTO *et al.* (2010).

$$FP = \frac{CD + CS}{2} \quad (4)$$

Onde:

FP = fragilidade potencial;

CD = classe de declividade;

CS = classe de solos.

A fragilidade emergente foi gerada a partir do cruzamento dos mapas de fragilidade potencial com os de cobertura florestal e planície aluvial com os seus respectivos valores de classes. Assim, como na determinação da fragilidade potencial, para a fragilidade emergente priorizou-se a identificação da fragilidade média obtida por da expressão 5, adaptada de MAGANHOTTO *et al.* (2010).

$$FE = \frac{FP + US + FCA}{3} \quad (5)$$

Onde:

Fe = fragilidade emergente;

FP = fragilidade potencial;

US = uso do solo;

FCA = faixa ciliares e áreas de preservação permanente.

Os resultados obtidos dessas fórmulas variam entre números fracionários e inteiros. Para isso utilizou-se o cruzamento dos mapas temáticos para definição das classes de fragilidade potencial e emergente, ficando definida como na Tabela 9.

TABELA 9 - CLASSES DE FRAGILIDADE POTENCIAL E EMERGENTE

Média dos valores atribuídos	Classe de fragilidade
< 1,5	1 - Muito Baixa
1,5 - 2,5	2 - Baixa
2,5 - 3,5	3 - Média
3,5 - 4,5	4 - Alta
> 4,5	5 - Muito alta

O mapeamento da fragilidade ambiental exige a execução de inúmeros produtos intermediários que auxiliam na análise do produto final. Para mapear a fragilidade ambiental utilizaram-se as técnicas de geoprocessamento, como Modelagem Numérica do Terreno (MNT) e o Sensoriamento Remoto. A partir do MNT foram geradas cartas derivadas que auxiliaram na elaboração dos produtos intermediários. Os dados de Sensoriamento Remoto foram utilizados para confecção do mapa de uso e cobertura vegetal.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 CLASSIFICAÇÃO DA FLORESTA EM ESTÁGIOS SUCESSIONAIS

Segundo informações da FAO (2010), existe uma mudança na vegetação, principalmente no bioma Mata Atlântica, em que a base da taxa histórica de desmatamento ocorrida é de 0,55% de sua área total ao ano. Entretanto outros estudos confrontam essa idéia e propõem que medidas conservacionistas podem aumentar a área e diminuir o impacto causado até o momento. Nesse contexto, o bioma Mata Atlântica, possui hoje 7,3% de sua cobertura florestal original e 22% em diferentes estágios de regeneração, encontrando-se muito fragmentado (IBAMA, 2012). Pelos resultados apresentados e ao contrário do que os índices indicam (FAO, 2010), para o bioma em questão, nesta porção da Mata Atlântica representada pela bacia do Rio Iguaçu houve um aumento considerável da área com vegetação arbórea entre os períodos de 2000 e 2010.

A partir dos dados encontrados para as áreas maiores que 1 ha na classificação da floresta em classes de vegetação secundária, constatou-se um aumento de 22,93% na cobertura florestal do ano de 2000 para o ano de 2010 na bacia do Rio Iguaçu (Tabela 10). Isso ocorreu devido ao aumento de cobertura florestal na classe sucessional médio a avançado de vegetação secundária. Entretanto, para a classe de sucessão inicial de vegetação secundária houve um decréscimo de 108.148,89 ha na cobertura florestal do ano de 2000 para o ano de 2010. Para a classe de reflorestamento houve um aumento de 24.869,96 ha de área.

Um dos motivos que pode explicar esse aumento é a exigência do governo do Estado do Paraná no cumprimento do Decreto 387/99, que institui o SISLEG e a obrigatoriedade das áreas rurais do Estado do Paraná em recuperar, manter e proteger as Áreas de Reserva Legal e de Preservação Permanente. O SISLEG é um sistema de gerenciamento que foi criado pelo Estado do Paraná com o objetivo de facilitar aos proprietários rurais o cumprimento das exigências legais estabelecidas pelo Código Florestal e averbar às margens das matrículas, as áreas de Reservas Legais de suas propriedades.

Quando se trata do mapeamento de fragmentos maiores que 40 ha, observa-se um aumento de 352.782,69 ha de floresta nativa do ano de 2000 em relação ao ano de 2010. O aumento de reflorestamento foi de 14.424,07 ha. Esse número diminui em relação ao mapeamento de fragmentos maiores que 1 ha, mostrando a importância de se mapear os fragmentos de menores tamanhos, conforme mostra a Tabela 10.

Em 1998, em um Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira – PROBIO (2002), foi realizado o mapeamento da vegetação nativa do Paraná através de imagens Landsat TM 5 com datas do ano de 1998 e pautando-se em fragmentos mínimos de 40 ha também. Esse mapeamento na região da área de estudo teve como resultado 1.353.060,47 ha, o qual confronta-se com o resultado de 1.626.291,26 encontrado neste trabalho para o ano de 2000.

TABELA 10 – CLASSES DE SUCESSÃO DE VEGETAÇÃO SECUNDÁRIA POR ÁREA (ha)

Filtro	Classe de vegetação	Ano 2000	Ano 2010	Diferença (ha)
> 1 ha	Inicial	324.228,02	216.079,13	-108.148,89
	Médio a avançado	1.285.148,43	1.776.456,43	491.308,00
	Subtotal nativas	1.609.376,45	1.992.535,56	383.159,11
	Reflorestamento	169.724,73	194.594,69	24.869,96
	Total	1.779.101,18	2.187.130,25	408.029,07
> 40 ha	Inicial	260.414,32	166.828,7	-93.585,62
	Médio a avançado	1.206.952,48	1.653.320,79	446.368,31
	Subtotal nativas	1.467.366,80	1.820.149,49	352.782,69
	Reflorestamento	158.924,46	173.348,53	14.424,07
	Total	1.626.291,26	1.993.498,02	367.206,76
> 100 ha	Inicial	196.027,00	118.023,55	-78.003,45
	Médio a avançado	1.128.408,43	1.566.321,41	437.912,98
	Subtotal nativas	1.324.435,43	1.684.344,96	359.909,53
	Reflorestamento	144.204,23	143.942,51	-261,72
	Total	1.468.639,66	1.828.287,47	359.647,81

No Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira - PROBIO (2007) foi realizado o mapeamento do Bioma Mata Atlântica para fragmentos maiores que 40 ha, no qual foram utilizadas imagens do satélite Landsat 7 com a mesma resolução de 30 metros. Foi encontrada uma área total de 1.950.509,18

ha de floresta na bacia do Rio Iguaçu, enquanto que neste trabalho o valor encontrado para o ano de 2010 foi de 1.993.498,02 ha.

Analisando-se a Tabela 10, no que diz respeito ao mapeamento de fragmentos maiores que 100 há, observa-se um aumento de floresta nativa de 359.909,53 ha na cobertura florestal de nativas do ano de 2000 para o ano de 2010. Já para áreas de reflorestamento ocorreu um decréscimo de 261,72 ha. Isso mostra que houve diminuição somente nos fragmentos de reflorestamento de grandes áreas, pois somente quando foi aplicado o filtro de 100 ha é que tal diminuição se verificou no intervalo de 10 anos.

Em um estudo realizado pelo SOS Mata Atlântica (2010), num acordo feito pelo MMA e IBAMA, usando imagens Landsat TM e CBERS CCD, com resolução de espacial de 30 e 20 metros, respectivamente, mapearam-se os remanescentes de vegetação do bioma Mata Atlântica. Como resultado para o período mapeado de 2005 a 2008 foram quantificados 771.765,43 ha de floresta remanescente para a bacia do Rio Iguaçu. Porém, no referido trabalho foram mapeados somente os fragmentos maiores que 100 ha e na classe de estágio sucessional de estágio avançado de vegetação, ou seja, não foram mapeados polígonos de reflorestamento e nem de estágio médio e inicial de sucessão de vegetação.

Espacialmente observa-se, por meio das Figuras 6 e 7, o grande aumento de cobertura florestal na classe de vegetação nativa médio a avançado de vegetação secundária, principalmente na porção central e leste da bacia do Rio Iguaçu. Observa-se ainda uma diminuição dos fragmentos de classe inicial de vegetação secundária, também nas porções central e leste da bacia. Além disso, para o ano de 2010, os polígonos de reflorestamento concentraram-se mais na porção central da bacia do Rio Iguaçu do que no ano de 2000.

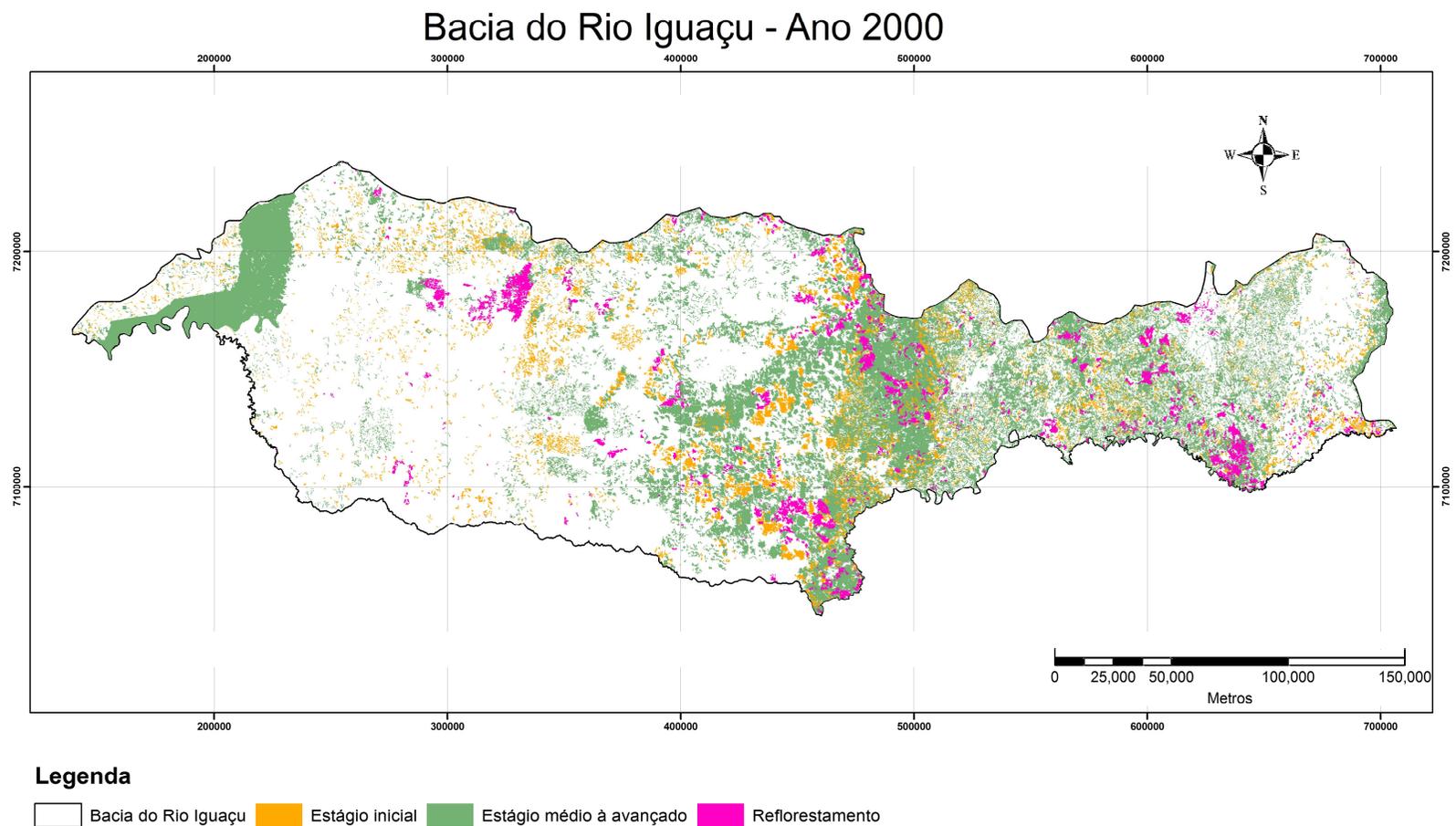
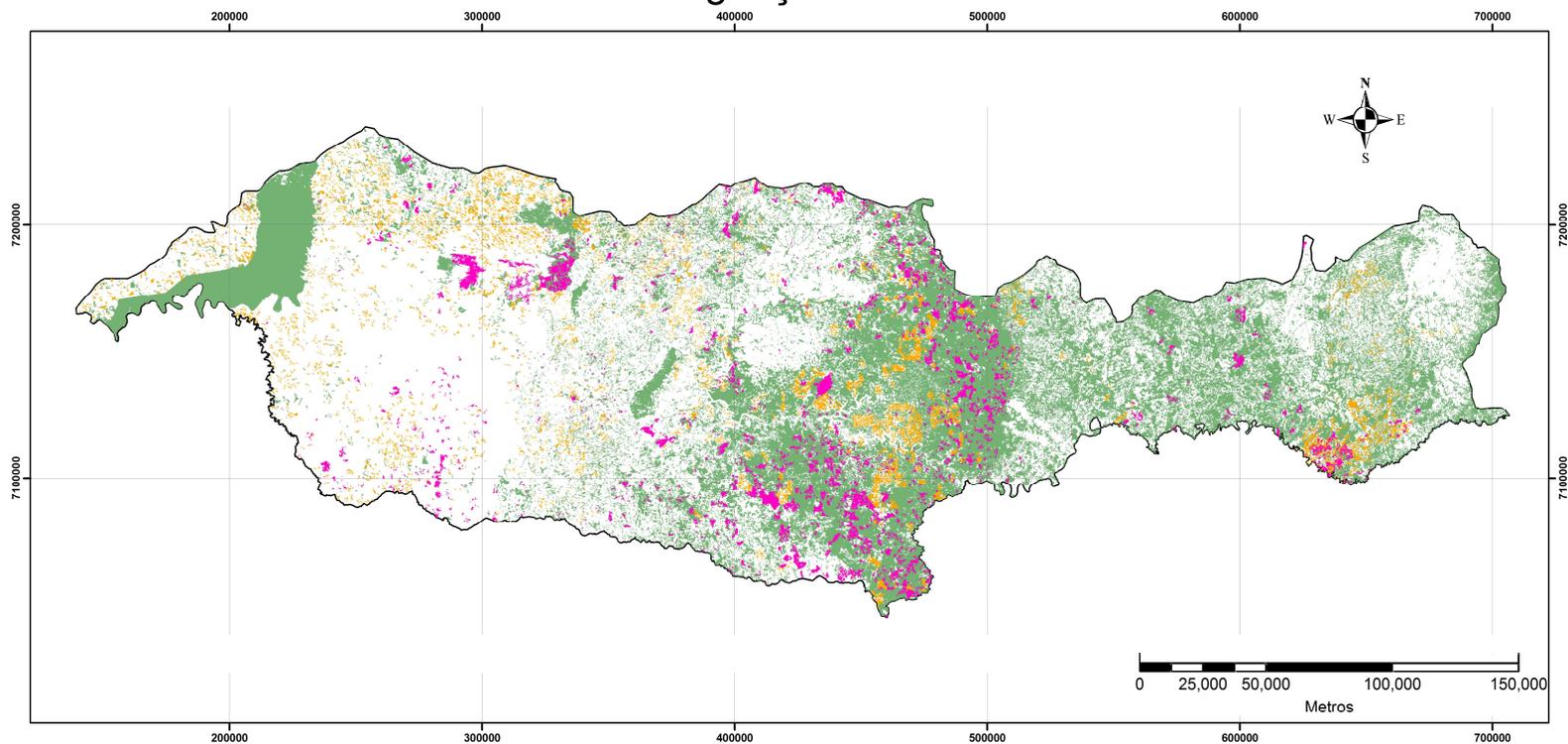


FIGURA 6 – CLASSIFICAÇÃO DA FLORESTA EM CLASSE SUCESSIONAIS DE VEGETAÇÃO SECUNDÁRIA PARA ANO DE 2000

Bacia do Rio Iguaçu - Ano 2010

**Legenda**

□ Bacia do Rio Iguaçu ■ Estágio inicial ■ Estágio médio à avançado ■ Reflorestamento

FIGURA 7 – CLASSIFICAÇÃO DA FLORESTA EM CLASSE SUCESSIONAIS DE VEGETAÇÃO SECUNDÁRIA PARA ANO DE 2010

A bacia do Rio Iguaçu possui uma área total de 5.449.435,03 ha, sendo possível calcular o percentual de ocupação de cada classe de vegetação secundária e a também da classe de reflorestamento (Tabela 10). Analisando-se a porcentagem de classe de sucessão de vegetação secundária para a bacia no ano de 2000, evidenciou-se que existem 5,95% de floresta que encontram-se na classe inicial de vegetação secundária, 23,58% de áreas de floresta na classe médio a avançado e 3,11% de reflorestamentos. Para o ano de 2010, obteve-se 3,97% para área de floresta na classe inicial de vegetação secundária, 32,60% para floresta em estágio médio a avançado e 3,57% para reflorestamentos na área de abrangência do estudo.

Ao longo dos 10 anos observou-se uma porcentagem anual de ocupação negativa de 0,20 % para a floresta na classe inicial de vegetação secundária, um aumento em 0,90% para a floresta na classe médio a avançado e para a classe de reflorestamento um crescimento na porcentagem de ocupação de apenas 0,05%. No final, a totalização indicou um aumento anual de 0,75% na ocupação de florestas na área de estudo.

TABELA 11 – PORCENTAGEM DE OCUPAÇÃO FLORESTAL NA BACIA DO RIO IGUAÇU

Classe vegetação	Ano 2000	Ano 2010	Diferença % de ocupação	Diferença % de ocupação anual
	% de área	% de área		
Inicial	5,95	3,97	-1,98	-0,20
Médio - Avançado	23,58	32,60	9,02	0,90
Sub-total Nativas	29,53	36,56	7,03	0,70
Reflorestamento	3,11	3,57	0,46	0,05
Total	32,65	40,13	7,49	0,75

Os resultados aqui encontrados estão de acordo com um projeto realizado pela Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná - FUPEF (2011). O projeto teve como objetivo a atualização do mapeamento da vegetação florestal nativa remanescente na região centro sul do Estado do Paraná com imagens de alta resolução espacial. As imagens do projeto foram datadas de 2005 e realizadas com o satélite SPOT de 2,7 metros de resolução. As classes escolhidas foram floresta em estágio inicial, médio a avançado e reflorestamento. O referido projeto contempla grande parte dentro da área

da bacia do Rio Iguaçu. Naquele trabalho evidenciou que existem 9,60% de áreas em florestas em estágio inicial de sucessão, totalizando 385.213,67 hectares, e 27,01% de áreas de floresta em estágio médio e avançado de sucessão, correspondendo a 1.084.199,02 hectares. As áreas de reflorestamento perfizeram 3,28% da área de abrangência do estudo (131.681,30 hectares).

Em continuidade à série do Projeto de Monitoramento do Desmatamento nos Biomas Brasileiros por Satélite – PMDBBS (2012), o estudo demonstrou que houve queda no corte de vegetação no período de 2008-2009, tendo como ano base imagens Landsat do ano de 2002. A área desmatada correspondente foi de 248 km², representando 0,02% de perda de cobertura vegetal dentro do Bioma Mata Atlântica para o Brasil. O bioma registrou a menor taxa de desmatamento entre os biomas brasileiros no período de 2008 – 2009.

Existem algumas hipóteses para que a taxa de desmatamento na bacia do Rio Iguaçu seja negativa. Uma explicação seria a própria diminuição na taxa de desmatamento em nível nacional no bioma da Mata Atlântica, no qual se encontra a área de estudo. Outra hipótese foi à criação das áreas prioritárias para conservação pelo Ministério do Meio Ambiente – MMA. O Decreto de 5.092, de 21 de maio de 2004, estabeleceu que o Ministério do Meio Ambiente deveria definir as regras para identificação de áreas prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade. A bacia do Rio Iguaçu encontra-se dentro das classes de alta, muito alta e de extremamente alta importância em termos de biodiversidade e dentro da classe de alta e muito alta em se tratando de áreas prioritárias à conservação, segundo o MMA. Outra hipótese é a criação do Sistema Nacional de Unidades de Conservação – SNUC, por intermédio da Lei n° 9.985, de 18 de julho de 2000. A lei foi criada com objetivos de contribuir para a preservação e restauração da diversidade dos ecossistemas naturais. Na bacia do Rio Iguaçu localiza-se algumas dessas unidades de conservação, tais como: o Parque Nacional do Rio Iguaçu, o Parque Estadual do Rio Guarani, o Parque Estadual de Santa Clara, o Parque Estadual do Monge, entre outras áreas enquadradas dentro do SNUC.

Segundo MERENDA (2004), a Bacia do Rio Iguaçu no estado do Paraná vem sendo aproveitada para a geração de energia elétrica desde 1970, por meio da criação de uma sequência de reservatórios artificiais, entre os quais se destacam: Salto Caxias, Salto Santiago, Salto Osório, Foz do Areia e Segredo. Estudo realizado pelo autor, na usina de Segredo localizada na bacia do Rio Iguaçu, mostrou que com a implantação da usina as áreas de floresta aumentaram do ano de 2001 para o de 2004. Classificou-se uma imagem em 2001, obtendo-se 56% de floresta e 31% de campo e em 2004 a amostragem realizada na imagem classificada mostrou percentuais de 62% em áreas de floresta e 22% de campo. Além disso, deve-se lembrar de que na Resolução CONAMA 302/2002 exige uma área de preservação permanente em reservatórios de represas hidrelétricas numa faixa mínima de 100 metros.

4.2 ACURÁCIA DO MAPEAMENTO DA COBERTURA FLORESTAL PARA O ANO DE 2010

O mapeamento da vegetação da bacia do Rio Iguaçu compreendeu 60 amostras classificadas de forma correta, chegando a uma exatidão global(Q) igual a 0,85. De acordo com WATZLAWICK *et al.* (2002), este valor representa a relação entre o número de pontos classificados corretamente e o número total de pontos amostrais utilizados. Os autores afirmam que a exatidão global representa a precisão de todo o mapeamento, não indicando como a precisão é distribuída através das classes individuais. A matriz confusão para o cálculo está representada na Tabela 12.

TABELA 12 – MATRIZ CONFUSÃO

Classe de vegetação	Inicial	Médio a avançado	Reflorestamento	Total
Inicial	6	1	2	9
Média a avançado	4	22	1	27
Reflorestamento	1	1	32	34
Total	11	24	35	70

Assim, o resultado obtido com a utilização do estimador de acerto Kappa (matriz de erros) para a classificação realizada, foi de 0,75, valor considerado muito bom ($0,6 < K \leq 0,8$) (FOODY, 1992; CONGALTON e GREEN, 1998), indicando que a classificação alcançou um resultado satisfatório.

O fato de o valor do coeficiente Kappa obtido de 0,75 ser menor do que a Exatidão Global (0,85) justifica-se pelo fato de que o índice Kappa considera todas as células da matriz de erros.

4.3 MAPEAMENTO DA COBERTURA FLORESTAL EM ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE

Foram mapeadas em toda a bacia do rio áreas de preservação permanente de 30 metros, sendo esta a mais predominante devido à largura média dos cursos d'água, bem como áreas de preservação permanente de 100 metros para o Rio Iguaçu.

Nas áreas de preservação permanente encontrou um total de 86.122,68 ha de cobertura de florestal (Tabela 13). Para a classe de sucessão de vegetação secundária inicial encontrou-se 7.278,13 ha de floresta, para a classe de sucessão médio a avançado encontrou-se 73.994,03 ha e para a classe de reflorestamento encontrou-se 4.850,52 ha.

TABELA 13 - CLASSES DE SUCESSÃO DE VEGETAÇÃO SECUNDÁRIA POR ÁREA (ha) NAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE

Classe de sucessão de vegetação	Área (ha)	% de área
Inicial	7.278,13	8,45
Médio a avançado	73.994,03	85,92
Subtotal nativas	81.272,16	94,37
Reflorestamento	4.850,52	5,63
Total	86.122,68	100,00

Conforme exposto na Tabela 13, uma porção considerável da superfície da faixa de preservação permanente é atualmente ocupada pela classe médio/avançada de sucessão secundária de vegetação (85,92%).

As áreas de preservação permanente da bacia do Rio Iguaçu totalizam 263.922,07 ha. Para o ano de 2010, existem 32,63% da bacia do Rio Iguaçu sem cobertura florestal e 5,63% das áreas provenientes de reflorestamento. Considerando o disposto no Código Florestal de 1965, ambas as áreas se encontram de forma irregular.

Diversos trabalhos evidenciam a ocupação indevida nas áreas de preservação permanente. Tanto em áreas naturais quanto em áreas urbanas a infração sobre a categoria de APP ao longo dos rios é frequente (COSTA *et al.*, 1996; SIQUEIRA e VALERIANO, 2000; STURM *et al.*, 2003). A ocupação das margens dos rios ocorre, pois estas estão sempre relacionadas ao acesso à propriedade, à obtenção de água, à implantação de cultivos, além de utilização de seus recursos naturais (SIQUEIRA e VALERIANO, 2000).

Uma questão a se considerar é a origem histórica e o propósito da definição das áreas de preservação permanente e qual a sua relação com o seu atual estado de conservação. Segundo MANFRINATO *et al.* (2005), a definição e o conceito das APPs apresentavam caráter econômico, não estritamente ambiental. A análise do histórico da legislação florestal levou à conclusão de que grande parte do desmatamento ocorrido nas APPs foi praticada quando ainda não havia proteção destas áreas. Ou seja, muitos desmatamentos foram realizados dentro da legalidade, daí não ser possível afirmar categórica e genericamente que é obrigação do proprietário é recompor a vegetação natural destas áreas. Neste contexto, os princípios da cidadania deveriam orientar os proprietários de terra e a sociedade à procura de novas formas para restaurar o ambiente e com isto minimizar os impactos ambientais por meio do uso eficiente dos recursos naturais.

4.4 AVALIAÇÃO DA FRAGMENTAÇÃO FLORESTAL E SEUS EFEITOS

Para realizar as análises dos fragmentos florestais na bacia do Rio Iguaçu foi somente considerado o ano de 2010 como o de interesse. A distribuição das classes de tamanho dos fragmentos na paisagem é um elemento importante para o desenvolvimento de estratégias para a conservação da biodiversidade (VIANA *et al.*, 1992).

Na Tabela 14 observa-se um total de 32.454 fragmentos florestais existentes na área de estudo, considerando os polígonos maiores que 1 ha, sendo que destes 20.918 encontram-se na classe 1 (<10ha). Apenas 140 fragmentos encontram-se na classe 6 (>1.000ha), sendo que o maior deles possui 162.208,18 ha de área.

TABELA 14 – NÚMERO DE FRAGMENTOS POR CLASSE

Classes/ Nº de fragmentos	Fragmentos maiores que 1ha				Fragmentos maiores que 40ha				Fragmentos maiores que 100ha			
	I	MA	R	Total	I	MA	R	Total	I	MA	R	Total
1 (<10 ha)	5.977	13.277	1.664	20.918								
2 (10-40 ha)	1.854	4.489	828	7.171								
3 (40-100 ha)	790	1.420	451	2.661	790	1.420	451	2.661				
4 (100-500 ha)	351	750	313	1.414	351	750	313	1.414	351	750	313	1.414
5 (500-1000 ha)	23	92	35	150	23	92	35	150	23	92	35	150
6 (>1000 ha)	15	97	28	140	15	97	28	140	15	97	28	140
Total	9.010	20.125	3.319	32.454	1.179	2.359	827	4.365	389	939	376	1.704

Onde: I = classe inicial de vegetação secundária, MA = classe médio a avançado de vegetação secundária e R = reflorestamento.

Na classe de fragmentos maiores que 40 ha e menores que 100 ha foram identificados 2.661, enquanto na classe de polígonos entre 100 e 500 hectares encontram-se 1.414 fragmentos. Na classe de área entre 500 e 1.000 hectares existem apenas 150 polígonos.

De acordo com SANDERS *et al.* (1991), remanescentes de área pequena apresentam frágeis padrões de sustentabilidade ao longo do tempo e, segundo BIERREGAARD JUNIOR *et al.* (1992), estes não tem a capacidade de proteger a diversidade biológica. Com base nessas informações, a situação da bacia do Rio Iguaçu encontra-se em condição preocupante, devido a maior quantidade de fragmentos se encontrarem nas classes menores como a classe 1, abaixo de 10 ha.

Caso não sejam adotadas medidas de manejo e conservação que promovam aumento em suas áreas e a interligação com fragmentos próximos e maiores, poderá haver um comprometimento no que concerne à perpetuação desses fragmentos florestais.

Em um estudo feito por VIANA e PINHEIRO (1998), foram realizadas análises dos dados obtidos a partir de imagens de satélite Landsat TM de 1989, em uma área de 71.335 ha, na região de Piracicaba, São Paulo, no qual o tamanho mínimo mapeado foi de 4 ha. A maior parte (65%) dos fragmentos florestais apresentou área inferior a 10 ha. Os pequenos (10 ha) e os grandes (>40 ha) fragmentos compreenderam 26,4% e 24,3% da área total remanescentes na cobertura florestal, respectivamente.

A ocorrência de grande quantidade de pequenos fragmentos florestais é comum em paisagens de Floresta Atlântica (RODRIGUES, 1993; LIMA, 1997). RANTA *et al.* (1998), em seu estudo sobre o tamanho, a forma e a distribuição dos fragmentos numa área de 1.500 ha de Floresta Atlântica brasileira, observaram que 48% dos fragmentos possuíam área menor que 10 ha e que somente 7% dos fragmentos dessa formação tinham área maior que 100 ha. PIRES *et al.* (1998) citam que aproximadamente 50% de 118 fragmentos de Floresta Atlântica que eles avaliaram avaliados possuíam área inferior a 10 ha. O principal problema deste padrão é que, quanto mais área florestada estiver contida em pequenos fragmentos, mais intensamente estariam sujeitas ao efeito de borda (RODRIGUES, 1993).

Em outro trabalho na bacia do Rio Itapemirim, localizada no sul do Espírito Santo, o autor obteve resultados similares, sendo que a classe dos fragmentos grandes representou um pequeno percentual (3,04%) do número total de 100 fragmentos florestais mapeados. O total de fragmentos de tamanho médio encontrados, ou seja, que pertence à classe de tamanho de 5 a 50 ha, foi de 749 unidades, correspondendo a 22,80% do total de fragmentos florestais de toda a área. Os fragmentos pequenos, menores que 5 ha corresponderam a 74,15% da área.

Neste trabalho, a porcentagem de fragmentos na classe 1 é de 66,34% e 65,97% dos fragmentos em estágio inicial de floresta e em estágio médio a avançado respectivamente, e para os reflorestamentos de 50,14%. Isto mostra que um total de 64,45% do total de fragmentos existente na bacia do Rio Iguaçu está inserido na classe 1. Já na classe 6, a porcentagem de fragmentos é de 0,17% e 0,48% para floresta, em

estágio inicial e médio a avançado respectivamente, e para reflorestamento 0,84%. Apenas 0,43 % do total de fragmentos existentes são maiores que 10 ha, conforme mostra o Gráfico 1.

Quando aplicado o filtro de 40 ha, evidencia-se também que os fragmentos encontram-se nas menores classes. Os fragmentos da classe 3, apresentam 67,01% e 60,19% nas florestas de estágio inicial e floresta em estágio médio a avançado e 54,53% em reflorestamentos. Perfazendo um total de 60,96 % dos fragmentos totais pertencem a classe 3, conforme Gráfico 2.

No filtro de 100 ha, a maior quantidade de fragmentos encontra-se na classe 4, sendo esta a menor classe representada para este filtro. Conforme o Gráfico 3, pode-se observar que a maior quantidade de fragmentos na classe 4 é da classe inicial de vegetação secundária, com 90,23%. Porém, quando se compara a maior classe de fragmentação, ou seja, fragmentos maiores que 1.000 ha, com 10,33% a classe médio/avançado de vegetação secundária é a de maior representatividade.

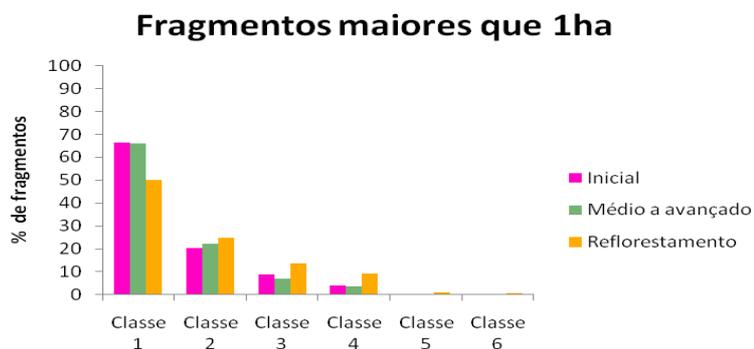


GRÁFICO 1 - PORCENTAGEM DE FRAGMENTOS X CLASSE DE FRAGMENTO EM ÁREAS ACIMA DE 1HA.

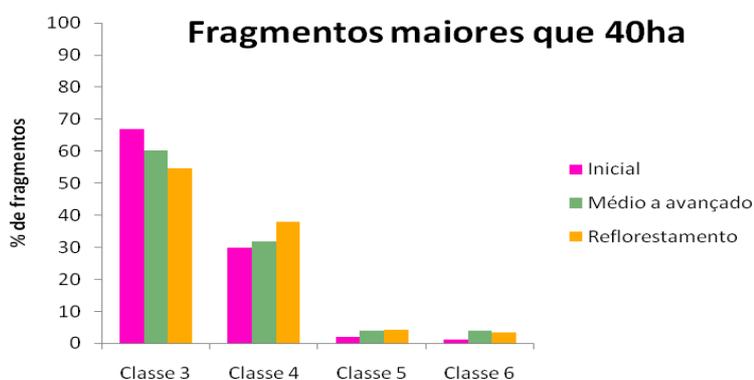


GRÁFICO 2 - PORCENTAGEM DE FRAGMENTOS X CLASSE DE FRAGMENTO EM ÁREAS ACIMA DE 40HA.

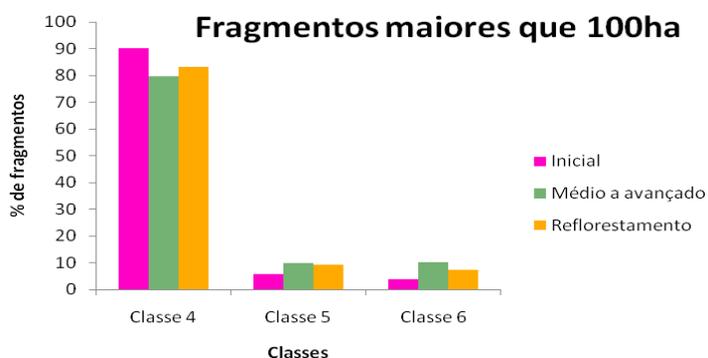


GRÁFICO 3 - PORCENTAGEM DE FRAGMENTOS X CLASSE DE FRAGMENTO EM ÁREAS ACIMA DE 100HA.

Apesar de serem em pequeno número, os maiores fragmentos (classes 5 e 6) representam uma grande porcentagem em termos de área florestal. Analisando os fragmentos classificados acima de 10 ha, observa-se que a classe 6 corresponde a um total de 103.584,24 ha. Já na classe 1 a área correspondente é de 47.178,80 ha. Os dados apontam para 12,24% e 5,57% de área florestal para as respectivas classes citadas (Tabelas 14 e 15).

Aplicando-se o filtro para polígonos de 40 ha, a menor classe mapeada (classe 3) apresentou uma área total de 165.210,55 ha, enquanto que a classe 6 apresentou uma área florestal total de 1.446.330,98 ha. Estes números representam 8,29% e 72,55% de área florestal para as classes citadas, respectivamente (Tabelas 10 e 11). Verificou-se a importância dos grandes fragmentos florestais também para o mapeamento mínimo de 100 ha. Para a maior classe 6, quantificou-se 1.446.330,98 ha de floresta e para a menor classe mapeada (4) obteve-se 281.266,62 ha de floresta, perfazendo um total de 15,38% e 79,11% das respectivas classes de área de floresta analisados na bacia do Rio Iguaçu (Tabelas 14 e 15).

TABELA 15 – ÁREA DOS FRAGMENTOS POR CLASSE

Classe/ Área (ha)	Fragmentos maiores que 1 ha				Fragmentos maiores que 40 ha				Fragmentos maiores que 100 ha			
	I	MA	R	Total	I	MA	R	Total	I	MA	R	Total
1 (<10 ha)	9.802.79	34.811.39	2.564.62	47.178.80								
2 (10-40 ha)	40.167.35	89.582.64	18.871.59	14.8621.58								
3 (40-100 ha)	48.805.14	86.999.39	29.406.02	165.210.55	48.805.14	86.999.39	29.406.02	165210.55				
4 (100-500 ha)	66.825.23	148.351.05	66.090.34	281.266.62	66.825.23	148.351.05	66.090.34	281.266.62	66.825.23	148.351.05	66.090.34	281.266.62
5 (500-1000 ha)	15.249.27	61.236.66	24.203.95	100.689.88	15.249.27	61.236.66	24.203.95	100.689.88	15249.27	61.236.66	24.203.95	100.689.88
6 (>1000 ha)	35.949.06	13.986.95	53.648.23	103.584.24	35.949.06	1.356.733.69	53.648.23	1.446.330.98	35.949.06	1.356.733.69	53.648.23	1.446.330.98
Total	216.798.84	434.968.08	194.784.75	846.551.67	166.828.70	1.653.320.79	173.348.54	1.993.498.03	118.023.56	1.566.321.40	143.942.52	1.828.287.48

Onde: I = classe inicial de vegetação secundária, MA = classe médio a avançado de vegetação secundária e R = reflorestamento

TABELA 16 – PORCENTAGEM DE ÁREA POR CLASSE

Classes/ Área (%)	Fragmentos maiores que 1 ha				Fragmentos maiores que 40 ha				Fragmentos maiores que 100 ha			
	I	MA	R	Total	I	MA	R	Total	I	MA	R	Total
1 (<10 ha)	4.52	8.00	1.32	5.57								
2 (10-40 ha)	18.53	20.60	9.69	17.56								
3 (40-100 ha)	22.51	20.00	15.10	19.52	29.25	5.26	16.96	8.29				
4 (100-500 ha)	30.82	34.11	33.93	33.22	40.06	8.97	38.13	14.11	56.62	9.47	45.91	15.38
5 (500-1000 ha)	7.03	14.08	12.43	11.89	9.14	3.70	13.96	5.05	12.92	3.91	16.82	5.51
6 (>1000 ha)	16.58	3.22	27.54	12.24	21.55	82.06	30.95	72.55	30.46	86.62	37.27	79.11
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Onde: I = classe inicial de vegetação secundária, Ma = classe médio a avançado de vegetação secundária e R = reflorestamento

Com o objetivo de avaliar o efeito geográfico das classes de fragmentos foram elaborados mapas que mostram a localização de cada classe conforme expressam as Figuras 8, 9, 10 e 11. Somente não foram criados mapas para as classes 1 e 2 (menores que 10 ha e de 10 a 40 ha, respectivamente) por serem pequenos fragmentos florestais, não sendo visíveis nos mapas devido à escala do mapa e a busca por representar toda a bacia do Rio Iguaçu.

Observa-se geograficamente que nas classes 3 e 4 a floresta em estágio inicial encontra-se mais na porção oeste da bacia do rio Iguaçu. Para as classes 3, 4, 5 e 6 a maior concentração de reflorestamentos situa-se na porção central da bacia, na qual está localizada a sub-bacia do médio Iguaçu. Vê-se também que nas classes 3 e 4 encontra-se uma expressiva quantidade de fragmentos de reflorestamento na porção oeste da bacia do Rio Iguaçu. A parte com menor concentração de fragmentos é a da sub-bacia dos afluentes do baixo Iguaçu que fica na porção oeste da bacia.

Analisando-se os fragmentos, observa-se que os fragmentos de maior tamanhos (classe 6) estão localizada predominantemente na porção central da bacia do Rio Iguaçu, nas sub-bacias dos afluentes do médio e baixo Iguaçu. O polígono de maior tamanho em área é o Parque Nacional do Iguaçu, que se localiza na sub-bacia do baixo Iguaçu.

Observa-se ainda a diminuição da quantidade de fragmentos de reflorestamento na classe 6. Na realidade a maioria dos reflorestamentos é de pequenas áreas, os quais encontram-se espalhados ao longo de toda a bacia do Rio Iguaçu. As Figuras 8 a 11 mostram que são as áreas maiores que 100 ha as que mais contribuem para a cobertura florestal da bacia do Rio Iguaçu e, em maior parte, estão na classe médio/avançado de sucessão de vegetação secundária.

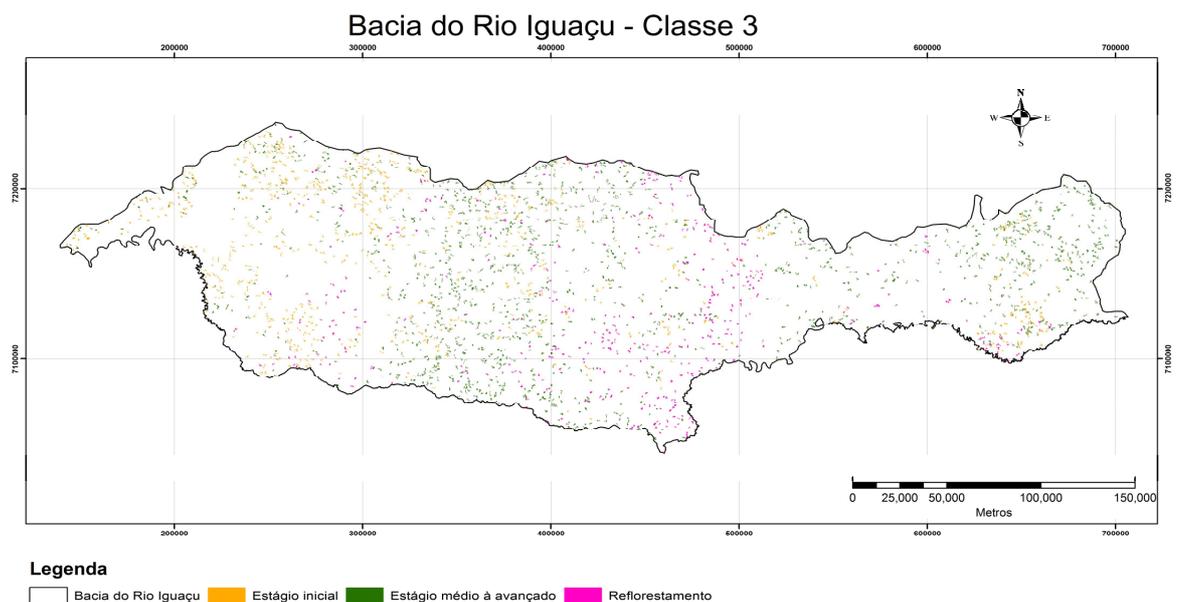


FIGURA 8 - FRAGMENTOS DA CLASSE 3 (40 – 100 HA)

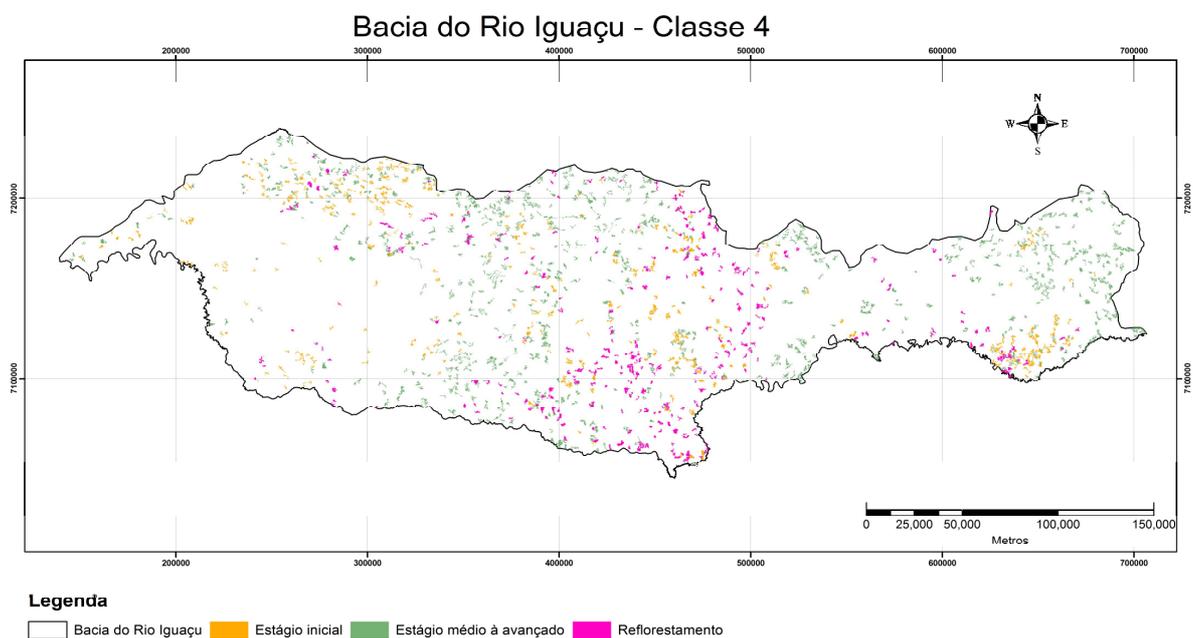


FIGURA 9 - FRAGMENTOS DA CLASSE 4 (100 – 500 HA)

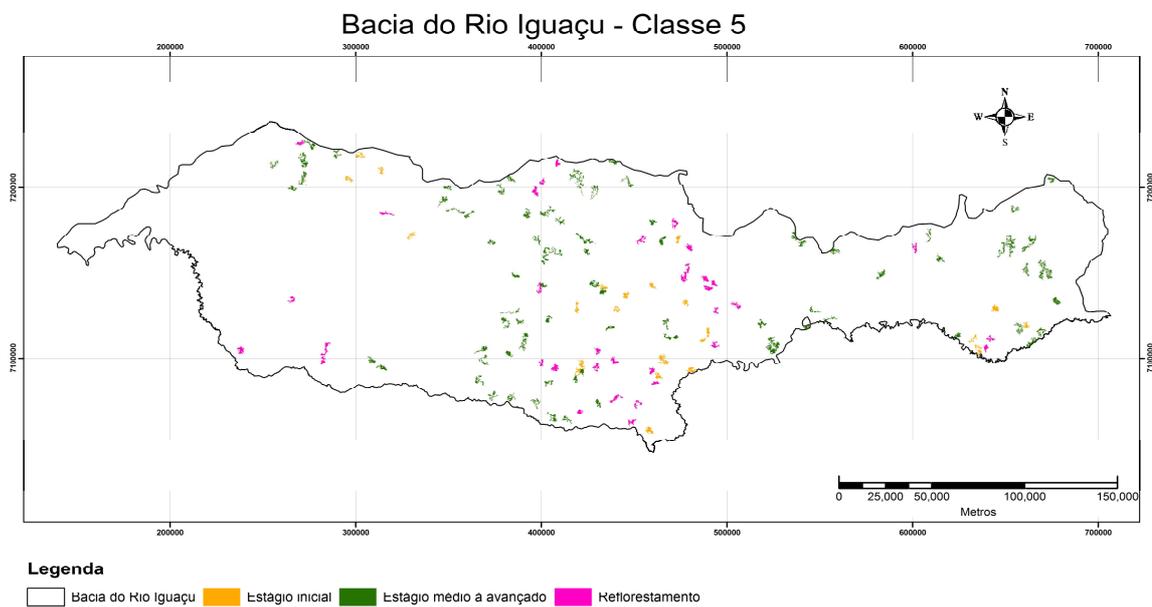


FIGURA 10 - FRAGMENTOS DA CLASSE 5 (500 - 1.000 HA)

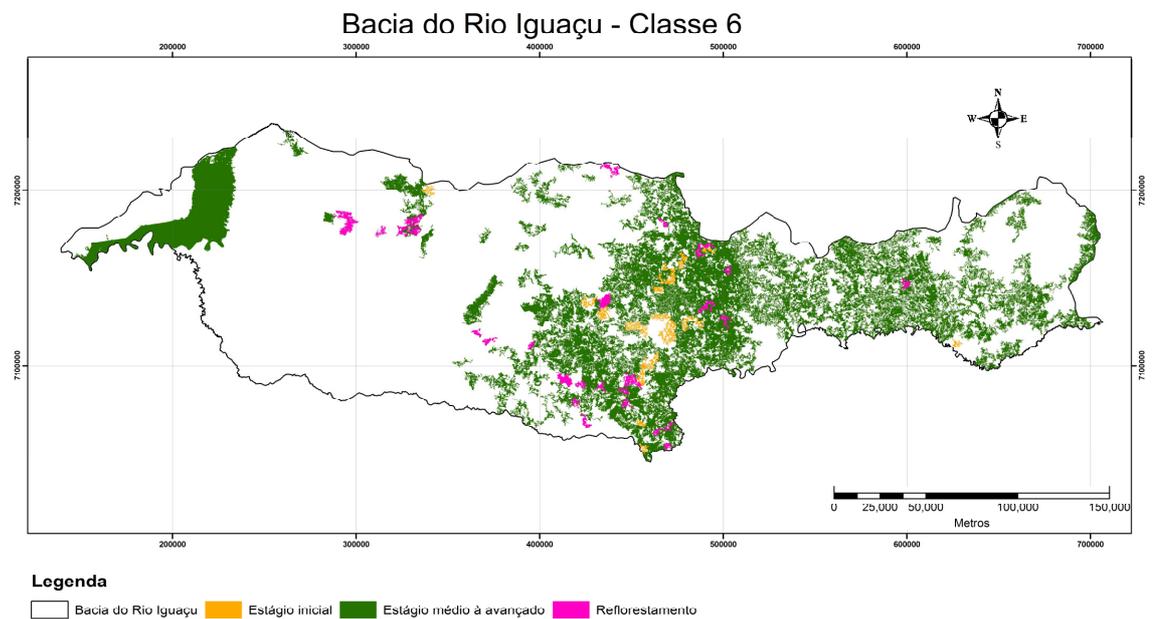


FIGURA 11 - FRAGMENTOS DA CLASSE 6 (MAIORES QUE 1.000 HA)

De acordo com FORMAN e GODRON (1986), os grandes fragmentos são importantes para a manutenção da biodiversidade e de processos ecológicos em larga escala. No entanto, os pequenos remanescentes também cumprem funções relevantes ao longo da paisagem, podendo funcionar como elementos de ligação, trampolins ecológicos (*stepping stones*) entre grandes áreas. Os autores ressaltam ainda que, enquanto os grandes fragmentos possibilitam a manutenção da biodiversidade e de processos ecológicos em larga escala, os pequenos promovem um aumento no nível de heterogeneidade da matriz e atuam como refugio para espécies que requerem ambientes particulares que só ocorrem nessas áreas.

4.5 FORMA DOS FRAGMENTOS E EFEITO DE BORDA

De acordo com NASCIMENTO *et al.* (2006), em seu estudo sobre fragmentos de vegetação nativa na bacia hidrográfica do Rio Alegre, fragmentos com valores de IC acima de 0,850 apresentam tendências de formas arredondadas; com valores de IC entre 0,219 e 0,650 têm tendência de forma alongada e valores de IC entre 0,650 e 0,850 possuem uma tendência moderadamente alongada.

Este parâmetro foi calculado para toda a bacia do Rio Iguaçu, baseado nos dados de mapeamento do ano de 2010. Os resultados demonstraram que existe uma grande diferença entre os fragmentos quanto à forma. Cerca de 32,46% podem ser considerados arredondados (índice de circularidade $> 0,8$), menos sujeitos a efeito de borda. Cerca de 13,57% podem ser considerados alongados (índice de circularidade entre 0,6 e 0,8), menos sujeitos ao efeito de borda. Grande parte dos fragmentos, cerca de 53,97%, podem ser considerados muito alongados (índice de circularidade $< 0,6$). Portanto, os fragmentos estudados apresentam um baixo índice de circularidade e, por possuírem áreas diminutas, são, em quase sua totalidade, atingidos fortemente pelo efeito de borda e, conseqüentemente, estão sujeitos a um maior risco de perturbação. Exemplificação de áreas quanto ao índice de circularidade estão apresentados nas Figuras 12, 13 e 14.

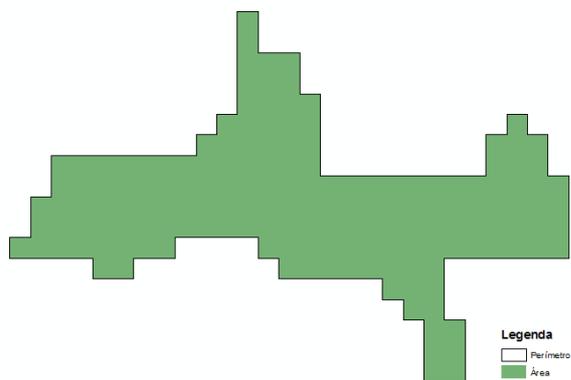


FIGURA 12 – EXEMPLO DE FRAGMENTO MUITO ALONGADO

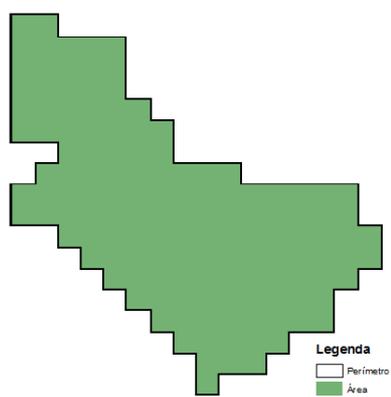


FIGURA 13 – EXEMPLO DE FRAGMENTO ALONGADO

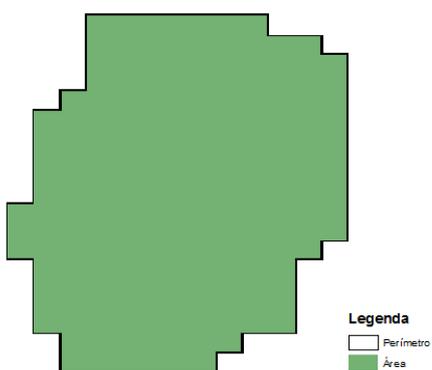


FIGURA 14 – EXEMPLO DE FRAGMENTO CIRCULAR

Os dados sobre as classes de índice de circularidade obtidos neste estudo estão apresentados na Tabela 17.

TABELA 17 – NÚMERO DE FRAGMENTOS POR ÍNDICE DE CIRCULARIDADE

Classe de IC	Nº absoluto de fragmentos	%
Menor que 0,6	17.512	53,97
Entre 0,6 e 0,8	4.404	13,57
Maior que 0,8	10.531	32,46
Total	32.447	100,00

Em um estudo a partir do mapeamento de fragmentos com imagens Landsat TM de 1989 encontrou-se 13,1% para fragmentos circulares, 51,9% considerados alongados e 35% muito alongados (VIANA e PINHEIRO, 1998). NASCIMENTO *et al.* (2006) desenvolveram um estudo do uso da terra e diagnosticaram os fragmentos de vegetação florestal nativa na bacia hidrográfica do Rio Alegre no Estado do Espírito Santo. Esses autores concluíram que a maioria dos fragmentos florestais possuía forma fortemente alongada e a área média de 6,3 ha, com a maior parte sujeita a um elevado nível de perturbação, tendo em vista a cultura cafeeira na região.

VIANA *et al.* (1992), em trabalho realizado em fragmentos de floresta de planalto na região de Piracicaba-SP, encontraram resultados similares. Consideram que para fragmentos florestais de mesma área, os mais arredondados apresentaram baixa razão borda/interior, enquanto fragmentos alongados apresentaram alta razão borda/interior, ou seja, quanto maior e mais arredondado, maior será a região de área intacta.

TABELA 18 – NÚMERO DE FRAGMENTOS EM CADA CLASSE POR ÍNDICE DE CIRCULARIDADE

Classe de fragmentos/IC	< 0,6	0,6 - 0,8	> 0,8
1 (< 10 ha)	7.311	3.575	10.025
2 (10 - 40 ha)	5.932	766	473
3 (40 - 100 ha)	2.575	59	30
4 (100 - 500 ha)	1.407	4	3
5 (500 - 1000 ha)	150	0	0
6 (> 1000 ha)	140	0	0
Total	17.515	4.404	10.531

A Tabela 18 mostra que não existem fragmentos de forma circular e nem alongados nos maiores fragmentos florestais (classe 5 e 6). Os poucos fragmentos florestais dessas classes são considerados extremamente alongados. A maior quantidade de fragmentos de forma circular encontra-se na classe 1, com um total de 10.025 fragmentos florestais.

Os estudos realizados na região norte do Paraná por PAULA e RODRIGUES (2002) mostraram que os fragmentos com áreas maiores tendem a ser mais alongados. Para OLIVEIRA (2006), os fragmentos que apresentam fator de forma relativamente pequeno sofrem mais com o efeito de borda. Isto acontece, principalmente, porque estes fragmentos se encontram em topo de morros e acompanham os divisores de água. Os menores fragmentos geralmente estão situados em áreas mais baixas.

De acordo com SANTOS (2009), na maioria dos fragmentos sergipanos de Mata Atlântica os índices de circularidade foram baixos, em torno de 0,006 - 0,31, indicando que estes fragmentos não têm as bordas arredondadas. É de valia também acrescentar que nesta categoria estão os fragmentos cujos tamanhos variam entre 17,12 - 128 ha, que são justamente os fragmentos menores. Os fragmentos maiores, cujos tamanhos variam em torno de 350 - 460 ha, têm as bordas mais arredondadas, coincidindo com resultados encontrados neste estudo realizado na bacia do rio Iguaçu.

4.6 DINÂMICA DE BIOMASSA E CARBONO NA BACIA DO RIO IGUAÇU

Para realizar os cálculos da biomassa e carbono acima do solo das florestas nos diferentes estágio sucessionais foram adotados os valores de carbono e biomassa seca publicados por WATZLAWICK *et al.* (2002), WATZLAWICK (2003), VEREZ (2012) e BRITTEZ *et al.* (2006), conforme explanado anteriormente no capítulo referente a Materiais e Métodos.

Observando-se a Tabela 19, percebe-se um aumento de 131.107.766,49 t de biomassa na floresta nativa ao longo dos 10 anos de estudo e de 54.524.779,77 t de carbono. Ou seja, houve um sequestro de carbono pela floresta nativa da bacia do rio Iguaçu de 199.887.842,6 toneladas de dióxido carbono equivalente no período. Para

reflorestamento, houve um aumento de 4.270.671 t de biomassa, 1.888.625 t de carbono, perfazendo um total de 6.923.700 t de CO₂ equivalente.

TABELA 19 – ESTOQUES E DINÂMICA DA BIOMASSA E DO CARBONO NA BACIA DO RIO IGUAÇU

Vegetação	Biomassa (t)			Carbono (t)	CO ₂ equivalente (t)
	Ano 2000	Ano 2010	Diferença	Diferença	Diferença
I	22.288.103,62	14.748.078,50	-7.540.025,13	-3.132.129,74	-1.1482.387,63
MA	358.871.935,12	497.519.726,73	138.647.791,61	57.656.909,51	211.370.230,3
SubNativa	381.160.038,75	512.267.805,23	131.107.766,49	54.524.779,77	199.887.842,6
R	29.145.129,90	33.415.801,01	4.270.671,12	1.888.625,46	6.923.700,947
Total	410.305.168,64	545.683.606,25	135.378.437,60	56.413.405,23	206.811.543,6

Onde: I = Classe inicial de vegetação secundária, MA = Classe médio a avançado de vegetação secundária, R = Reflorestamento.

O total de carbono sequestrado pela vegetação da bacia do Rio Iguaçu entre os anos de 2000 e 2010 foi de 56.413.405,23 t. É importante destaca que a maior parte desse sequestro de carbono foi promovida pelas florestas nativas, mas que houve também uma contribuição das em plantações florestais, ou seja, os reflorestamentos. Diante dos resultados ora apresentados, pode-se afirmar que a região de estudo está contribuindo positivamente para a remoção de dióxido de carbono na atmosfera.

CORTE e SANQUETTA (2007) estudaram a fixação de carbono fixado em reflorestamentos de *Pinus* sp. na área de domínio da Floresta Ombrófila Mista no Paraná com imagens CBERS 2 e Landsat do ano de 2004 e 2002, respectivamente. Os autores chegando a um total de 516.163, 58 ha como reflorestamento. Com esse valor estimaram um estoque de carbono nos reflorestamentos da ordem de 26.726.950,2 t, o que corresponde a 97.999.708,2 t de CO₂ equivalente.

4.7 DINÂMICA DE BIOMASSA E CARBONO NAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE

O processo de adequação das propriedades rurais no que concerne à manutenção e principalmente à recuperação das áreas de preservação permanente é um potencial mecanismo de sequestro de carbono.

Este estudo evidenciou que houve sequestro de carbono nas áreas de preservação permanente no período de análise (2000 a 2010), da ordem de 237.407,22 toneladas para a classe inicial de vegetação secundária e 26.767.411,81 t para a classe médio/avançado de vegetação secundária, perfazendo um total de 27.004.819,03 t. Nos reflorestamentos esse montante totalizou 368.348,49 t. Para a cobertura florestal existente dentro de áreas de preservação permanente deixou-se de emitir para a atmosfera 100.350.032,12 toneladas de carbono equivalente, conforme Tabela 20.

TABELA 20 – DINÂMICA DA BIOMASSA E DO CARBONO NAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE DA BACIA DO RIO IGUAÇU

(2000-2010)

Classe de vegetação	Biomassa (t)	Carbono (t)	CO₂ equivalente (t)
Inicial	568.366,71	237.407,22	870.334,88
Médio a avançado	64.203.710,22	26.767.411,81	98.129.331,68
Subtotal nativas	64.772.076,93	27.004.819,03	98.999.666,56
Reflorestamento	832.931,29	368.348,49	1.350.365,56
Total	65.605.008,22	27.373.167,52	100.350.032,12

Este é um tema que merece extensa consideração socioeconômica, pois ao ser proposto, o Código Florestal, inicialmente, visava dar estrutura e condições claras para o proprietário rural poder ocupar suas áreas com agricultura e pecuária, permitindo inclusive ocupação do que é hoje APP. Posteriormente, restringiu-se a ocupação dessas áreas, sem dar ao mesmo, condições econômicas para a recuperação e proibindo o seu uso. Isso vem causando grandes prejuízos a muitos proprietários

rurais. Nesse sentido é importante que as políticas e leis ambientais sejam seguidas de planos e ações que amparem a produção de alimentos e outros produtos do campo.

Os resultados referentes às APPs reforçam a estratégia de recuperação de fragmentos de ecossistemas florestais degradados do Bioma Mata Atlântica, que estejam situados dentro de delimitações do que a legislação ambiental brasileira define como área de preservação permanente. Estratégia essa que pode ter como um dos objetivos principais a definição de justificativas consistentes para a elaboração de projetos de sequestro de carbono, como observam WATZLAWICK *et al.* (2002).

4.8 FRAGILIDADE AMBIENTAL DA BACIA DO RIO IGUAÇU

De posse das características físicas da área referente à declividade e solos, realizou-se, seguindo a metodologia de ROSS (1994), o cruzamento dessas informações em ambiente de geoprocessamento, para a definição das fragilidades potencial e emergente da bacia do Rio Iguaçu. Os mapas resultantes foram apresentados nas Figuras 7 e 8, respectivamente.

4.8.1 Fragilidade potencial

A fragilidade ambiental potencial da área de estudo foi gerada a partir do cruzamento das classes de declive com as classes de uso do solo. De posse dessas informações referentes à média aritmética da fragilidade potencial, identificaram-se cinco classes de fragilidade na bacia do rio Iguaçu, e a quantificação das áreas e sua distribuição espacial nas classes segue exibida na Figura 8, enquanto a quantificação encontra-se na Tabela 21.

TABELA 21 – QUANTIFICAÇÃO DE ÁREAS CLASSES DE FRAGILIDADE AMBIENTAL POTENCIAL

Fragilidade Potencial	Área (ha)	%
1	1.026.174	18,83
2	882.867	16,20
3	2.205.301	40,47
4	723.310	13,27
5	472.886	8,68
Rios	64.196	1,18
Urbana	74.701	1,37
Total	5.449.435	100,00

Ao serem analisadas as informações correspondentes à fragilidade potencial nota-se que a maior parte da área de estudo, cerca de 40,47%, encontra-se distribuída em uma classe de fragilidade potencial média. A classe de fragilidade muito baixa ocupa 18,83%, enquanto que a fragilidade baixa corresponde a 16,20% da unidade. De posse dessas informações, pode-se afirmar que apenas 13,27% encontram-se na fragilidade alta e 8,68% encontra-se na classe de fragilidade muito alta.

Visualmente pode-se observar a classe de fragilidade potencial muito alta é encontrada bastante concentrada na região central da bacia, enquanto a classe muito baixa é distribuída principalmente na porção oeste da área de estudo. Já as outras classes não apresentaram tendências.

Em um estudo feito por MAGANHOTTO (2010) na FLONA de Irati, para um total de 3,495 ha, foi encontrada a maior porcentagem de área na classe de fragilidade potencial baixa (53%) e a classe de fragilidade média ocupou 26% da área de estudo. Porém, vale lembrar que essa área não compreende uma bacia hidrográfica, o que denota uma situação de maior fragilidade.

Outro estudo elaborado por MESSIAS et al. (2012), na hidrelétrica do Funil na sub-bacia do Rio Grande, verificou-se que há predomínio na classe média de fragilidade potencial e a segunda classe mais encontrada foi a classe alta de fragilidade. Alguns locais possuem fragilidade potencial baixa devido a solos de baixa

vulnerabilidade e fraca dissecação do relevo. Ainda foi encontrada a classe de potencial muito alta sendo a mais vulnerável a formação de processos erosivos.

No estudo da bacia do Rio das Pedras em Guarapuava no Paraná, realizado por Pachechenik (2004), a maior porcentagem de fragilidade potencial encontrada foi na classe média, com maior 41,67% da área estudada. Ainda identificou-se na bacia do Rio das Pedras que 33,27% de sua área está classificada como de fragilidade ambiental potencial alta e 4,76% da sua área como fragilidade ambiental potencial muito alta, corroborando o estudo realizado na bacia do rio Iguaçu no qual as maiores porcentagem encontradas estão na classe média e alta de fragilidade potencial.

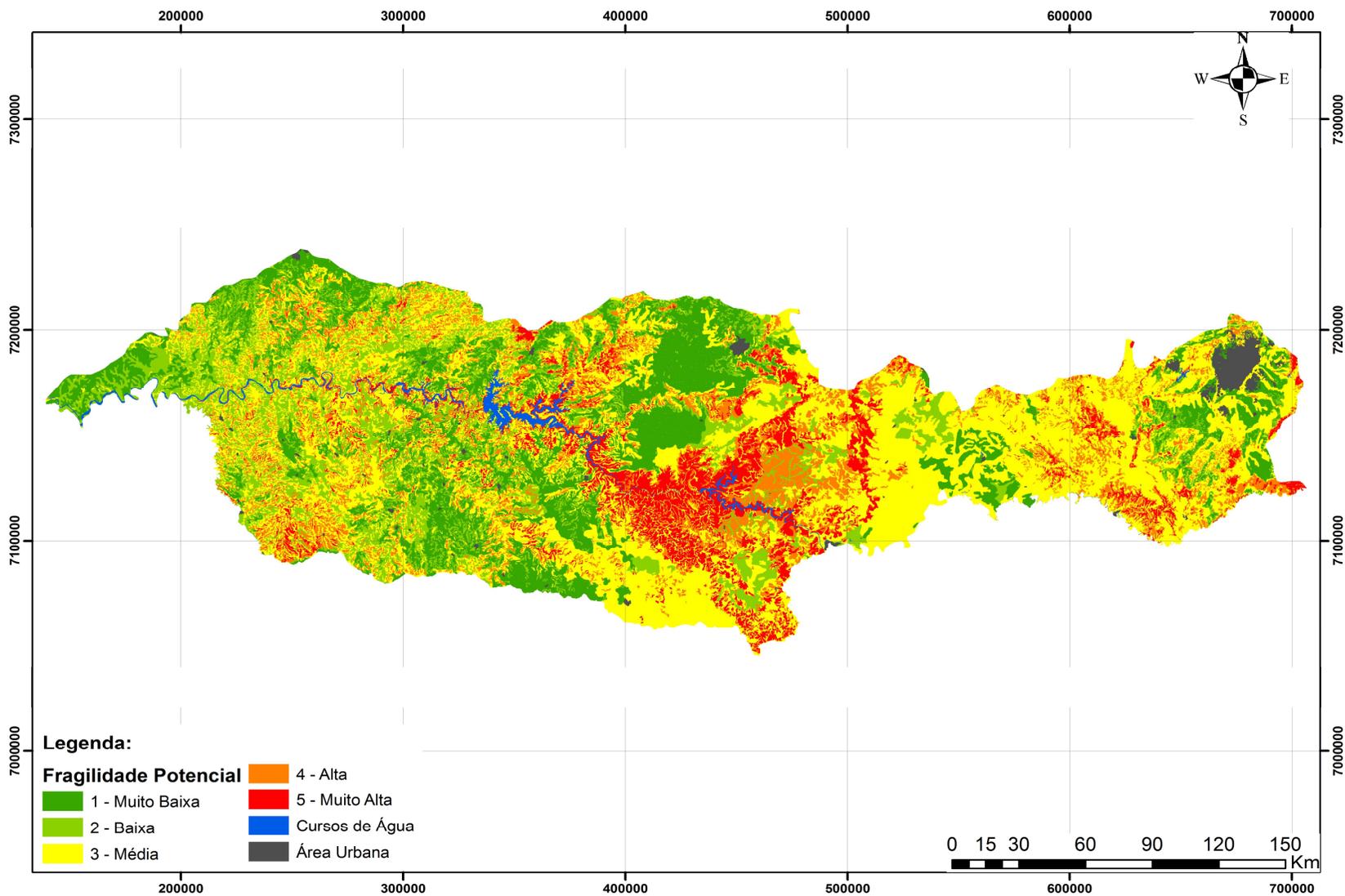


FIGURA 15 – FRAGILIDADE AMBIENTAL POTENCIAL

4.8.2 Fragilidade emergente

A fragilidade emergente resultou da correlação das classes de fragilidade ambiental potencial com as classes de cobertura do solo e áreas de planície de inundação, conforme visualizado na Figura 15.

Com o que foi realizado anteriormente para as classes de fragilidade ambiental potencial, as classes de fragilidade emergente também foram quantificadas, conforme exposto na Tabela 22. Comprovou-se, a partir da determinação e quantificação das classes de fragilidade ambiental emergente, a importância das formas de uso do solo para proteção do ambiente físico e a importância da planície aluvial para detecção de ambientes mais frágeis.

TABELA 22 – QUANTIFICAÇÃO DE ÁREAS CONFORME CLASSES DE FRAGILIDADE AMBIENTAL EMERGENTE

Fragilidade emergente	Área (ha)	%
1	418.168	7,67
2	2.219.691	40,73
3	2.264.407	41,55
4	354.245	6,50
5	54.026	0,99
Rios	64.196	1,18
Urbana	74.701	1,37
Total	5.449.435	100,00

Ao se analisar a Tabela 22, pode-se afirmar que a maior parte da área corresponde à classe de fragilidade média, com 41,55% do total da área da bacia do Rio Iguaçu. A classe de fragilidade emergente baixa vem em segundo com 40,73%. Em seguida, com 7,67% está a classe de fragilidade muito baixa, após a fragilidade alta, com 6,50% da área estudada, e por fim a fragilidade emergente muito alta, com apenas 0,99%.

Desta forma, observa-se que quase a totalidade das áreas está em uma situação de fragilidade emergente relativamente boa, pois a soma das fragilidades muito baixa, baixa e média corresponde a 89,95% de toda área da bacia, e somente 7,49% são áreas de fragilidade emergente alta ou muito alta. O restante das áreas compreende corpos de água e áreas urbanas.

Ao se comparar as Tabelas 21 e 22 pode-se deduzir que boa parte da fragilidade potencial que era muito baixa, na fragilidade emergente passou a ser baixa. A fragilidade média permaneceu praticamente inalterada em comparação da potencial com a emergente. As classes alta e muito alta apresentam diminuição, comparando-se a fragilidade potencial com a emergente.

As áreas que se encontram na classe de fragilidade muito alta estão em locais de planície aluvial. ROSS (1994) considera que esta condição é extremamente limitante para o uso do solo. A melhor alternativa de uso do solo seria destinar essas áreas para a preservação da mata nativa.

No trabalho de MESSIAS *et al.* (2012), verificou-se também que há predomínio de fragilidade potencial média. Nos locais de médio grau de dissecação do relevo, associados de média vulnerabilidade, é possível que se desenvolvam atividades antrópicas, desde que estas sejam acompanhadas de profissionais especializados e respeitando as áreas de preservação permanente.

No estudo da bacia do Rio das Pedras em Guarapuava no Paraná por Pachechenik (2004), observa-se que 48,66% da área total da bacia encontram-se na classificação fragilidade ambiental emergente baixa. O uso do solo nestas áreas consiste em mata nativa e reflorestamento. Apenas 1,60% da área total da bacia encontra-se na classificação de fragilidade ambiental emergente muito alta.

Visualmente, pela Figura 17, pode-se analisar que a classe de muito alta de fragilidade emergente encontra-se na sua maior parte nas planícies aluviais. ROSS (1994) considera que esta condição é extremamente limitante para o uso do solo. Por apresentarem elevada declividade das vertentes, estes locais são propícios à ocorrência de processos erosivos, visto que estes locais estão sujeitos a inundações e instalações de processos erosivos nas margens e de acumulação, gerados pela dinâmica fluvial (MESSIAS, 2011).

Observa-se a também que a classe de fragilidade emergente muito baixa e baixa encontra-se localizada na área do Parque Nacional do Iguaçu, o qual possui mais florestas conservadas e de estágio médio a avançado de sucessão, conforme mostra a Figura 16.

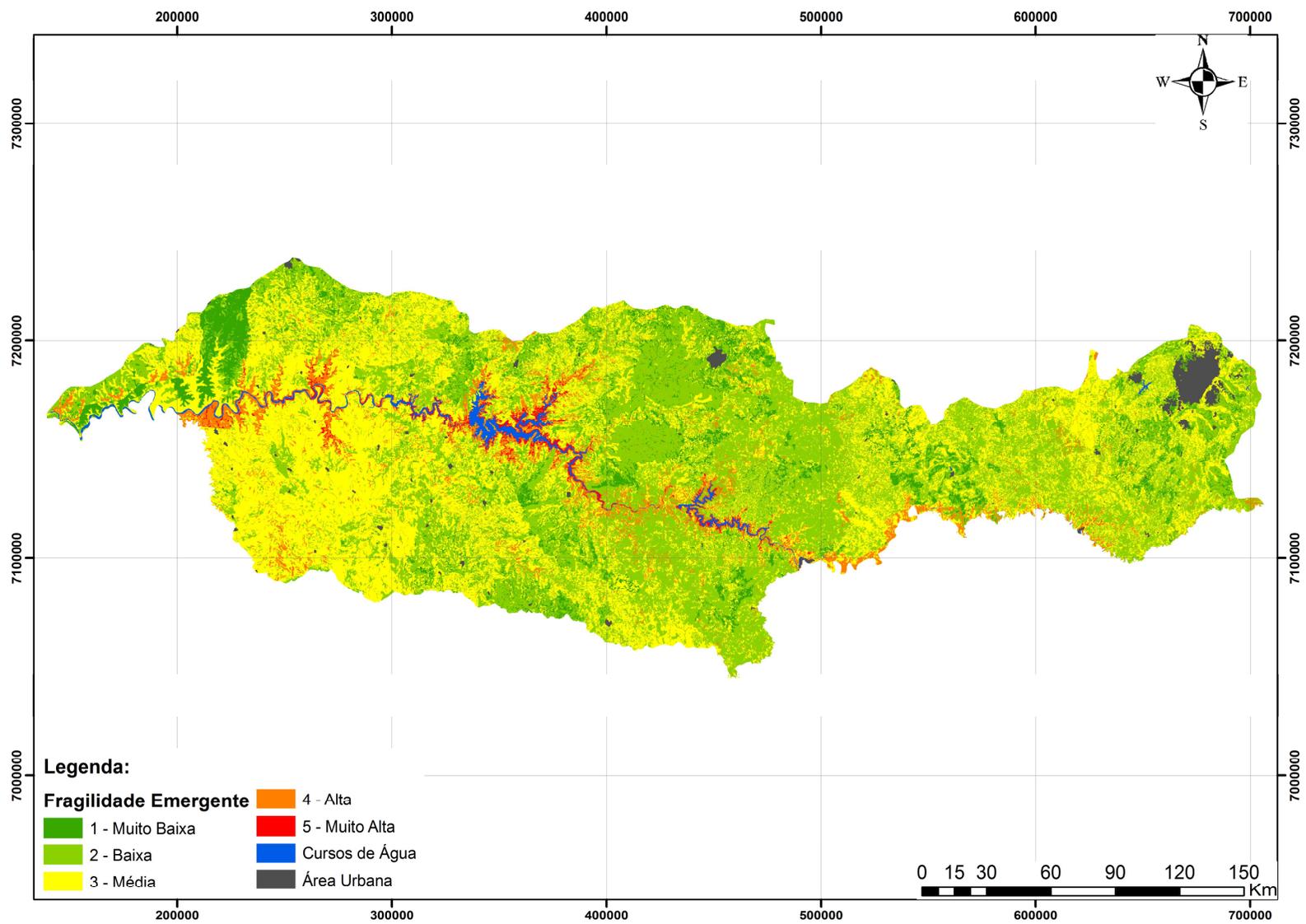


FIGURA 16 – FRAGILIDADE AMBIENTAL EMERGENTE

5 CONCLUSÕES

Com base nos objetivos propostos e na metodologia utilizada, este trabalho conclui que:

- O mapeamento da vegetação a partir de imagens de média resolução Landsat 5 possibilitou realizar satisfatoriamente a classificação da vegetação em inicial, médio a avançado e reflorestamento para toda a bacia do Rio Iguaçu, tanto para o ano de 2000 quanto para o ano de 2010, permitindo realizar uma análise da dinâmica de uso do solo na área de estudo;

- Constatou-se um aumento da cobertura florestal da bacia do Rio Iguaçu entre os anos de 2000 e 2010. Esse aumento ocorreu na classe de vegetação nativa em estágio médio/avançado de sucessão e nos reflorestamentos. Porém, houve decréscimo na classe de vegetação em estágio inicial de sucessão.

- A bacia do Rio Iguaçu encontra-se bastante fragmentada. A maior parte dos fragmentos florestais - que correspondem a 64,45 % do total dos fragmentos existentes - possui menos que 10 ha.

- A maior parte dos fragmentos florestais remanescentes na bacia do Rio Iguaçu é considerada muito alongada, o que indica um alto risco de perturbação devido ao efeito de borda;

- Houve sequestro de carbono e remoção de dióxido de carbono atmosférico ao longo do período de estudo, que corresponde a uma década. Esse sequestro decorre do aumento da cobertura florestal e do crescimento do porte da vegetação. Isto demonstra um cenário positivo em termos de mudança no uso da terra na região, apesar do histórico de fortes antropismos provocados por agropecuária e outras atividades humanas, como as hidrelétricas.

- A bacia do rio Iguaçu encontra, em sua maior parte na classe de fragilidade potencial média e fragilidade emergente baixa.

6 REFERÊNCIAS

AGOSTINHO, A. A, GOMES, L. C. (Eds.) **Reservatório de Segredo: Bases Ecológicas para o Manejo**, Maringá: EDUEM, 1997, 387 p.

ALEMDAG, I.S.; STIELL, W.M. Spacing and age effects on biomass production in red pine plantations. **The Forestry Chronicle**, v. 5, n. 3, p. 220-224, 1982.

ANDRADE, N. S. O.; ARAUJO, L. S.; NUMATA, I. **Estudo da dinâmica da cobertura vegetal e uso da terra na região de Ji-Paraná**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 9., 1998, Santos. Anais... Santos, 1998.

ANTUNES, A. F. B.; LINGNAU, C. Uso dos Índices de Acurácia para Avaliação de Mapas temáticos obtidos por meios de classificação digital. In: **III Congresso e Feira para Usuário de geoprocessamento**, 1997, Curitiba, III Congresso e Feira para Usuário de geoprocessamento, Curitiba: Sagres, 1997.

ANTUNES, A.F.B. Object oriented analysis and semantic network for high resolution image classification. **Boletim de Ciências Geodésicas**. v. 9, n. 2, 2003.

ARAÚJO, L.S. **Análise da cobertura vegetal e de biomassa em áreas de contato floresta/savana a partir de dados TM/LANDSAT e JERS-1**. INPE: São José dos Campos, 1999. 129f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

BARDDAL, M. L. **A influência da saturação hídrica na distribuição de 8 espécies arbóreas da Floresta Ombrófila Mista aluvial do rio Iguaçu, PR, BR**. 116 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

BIERREGAARD, R. O. JR, LOVEJOY, T. E., KAPOS, V., SANTOS, A. S., HUTCHINGS, R. W. The biological dynamics of tropical rainforest fragments a prospective comparison of fragment and continuous forest. **Bioscience**, v.42, n.11, p.859-866, 1992.

BIGARELLA, J.J. A. **Serra do Mar e a porção oriental do estado do Paraná: contribuição à geografia, geologia e ecologia regional.** Curitiba: Paraná, 1978. 248p.

BRIGADÃO, C. **Dicionário de ecologia.** Rio de Janeiro: Toop Books Editora e Distribuidora Ltda, 1992. 344p.

BRITEZ, R. M. de; BORGIO, M.; TIEPOLO, G.; FERRETTI, A.; CALMON, M.; HIGA, R. **Estoque e incremento de carbono em florestas e povoamentos de espécies arbóreas com ênfase na Floresta Atlântica do Sul do Brasil.** Colombo: Embrapa Florestas; Curitiba: Sociedade de Pesquisa em Vida Selvagem e Educação Ambiental, 2007. 165 p.

BROWN, K. **The utility of remote sensing technology in monitoring carbon sequestration agroforestry projects.** Winrock International Institute for Agricultural Development, 1996. 22p. (Working Paper 7/1997).

BRYS, L.M. **Cálculos Geodésicos-Aplicações On-Line.** 89 p. Trabalho de graduação em Engenharia Cartográfica – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2005

CHATURVEDI, M. D. **Measurements of the cubical contents of Forest crop.** Oxford Forestry Memoirs, 1926. 142 p.

COHEN, J. **A Coefficient of Agreement for Nominal Scales. Educational and Measurement.** Vol XX, No 1, p. 37- 46, 1960.

CONGALTON, R.G.; GREEN, K. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices.** New York: Lewis Publishers, 1998. 137 p.

COPEL. Usina Hidrelétrica Segredo, Rio Iguaçu, Paraná, Brasil. **Relatório de Impacto Ambiental – RIMA.** Curitiba, 1987. 188p.

CURCIO, G. R. **Relações entre geologia, geomorfologia, pedologia e fitossociologia nas planícies fluviais do rio Iguaçu, Paraná, Brasil.** 488 f. Tese

(Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

DALLA CORTE, A. P.; SANQUETTA, C. R. Quantificação do estoque de carbono fixado em reflorestamentos de *Pinus* sp. na área de domínio da Floresta Ombrófila Mista no Paraná. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 1, p. 32-39, 2007.

ELETROSUL **O Impacto Ambiental da Ação do Homem sobre a Natureza – Rio Iguaçu, Paraná, Brasil – Reconhecimento da Ictiofauna, Modificações Ambientais e Usos Múltiplos dos Reservatórios**, Florianópolis, 1978, 33 p.

FLORIANI, N. **Avaliação da fragilidade geossistêmica de uma microbacia sobre geologia cárstica: potencial e limitações**. Curitiba, 2003. 147 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Ciência do Solo), - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

FOODY, G.M. On the compensation for chance agreement in image classification accuracy assessment, Photogrammetric Engineering 6. **Remote Sensing**, v. 58, n. 10, p. 1459-1460, 1992.

FORMAN, R.T.T; GODRON, M. **Landscape Ecology**. New York, John Wilwy e Sons, 1986, 619p.

FRANÇA, V. **Caracterização de uma área crítica através da análise de frequências das inundações na bacia hidrográfica do médio Iguaçu**. 308 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 1993.

FU, K. S; MUI, J.K. **A survey on image segmentation**. v. 13, n.1, p. 3-16, 1981.

GARDNER, R.H; MANKIN, J.B. Analysis of biomass allocation in Forest ecosystems of iBP. In REICHLE, P.D. **Dynamic properties of forest ecosystems**. Cambridge, Cambridge University, Press. 1981, Chap. 8, 451-497.

GONZALEZ, R.C; WOODS, R.E. **Processamento de imagens digitais**. São Paulo. Editora Edgard Blucher, 2000, 509.

GREGGIO, T. C.; PISSARRA, T. C. T.; RODRIGUES, F. M. Avaliação dos fragmentos florestais do município de Jaboticabal - SP. **Revista Árvore**, v.33, n.1, p.117-124, 2009.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico da Vegetação Brasileira**. Rio de Janeiro, 1992.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Deforestation estimates in the Brazilian Amazon**. São José dos Campos: Web-site: http://www.obt.inpe.br/prodes/prodes_1988_2008.htm. Acesso: 10/12/2012.

INPE. **Segmentação de imagens**. 2010. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/segmentacao.htm>. Acesso em: 24/11/10.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Good Practice **Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry**. 632p. 2003.

ITCF - Instituto de Terras, Cartografia e Florestas. **Atlas do Estado do Paraná**. Curitiba, Secretaria da Agricultura e do Abastecimento, ITCF, 1987.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**. n. 33, p. 159-174, 1977.

LIMA, E. A. C. F. **Estudo da paisagem do município de Ilha Solteira-SP: subsídios para planejamento físico-ambiental**. São Carlos. 112f. Tese (Doutorado) Universidade Federal de São Carlos. 1997.

LUNETTA, R.L.; ELVIDGE, C.D. Remote **Sensing and Change Detection: Environmental monitoring methods and applications**. Michigan: Ann Arbor

MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná**, Rio de Janeiro: J. Olympio; Curitiba: Secretaria da Cultura e do Esporte do Estado do Paraná, 1981, 442 p.

MAGANHOTTO, R. F.; SANTOS, L. J. C.; OLIVEIRA FILHO, P. C. Análise da fragilidade ambiental como suporte ao planejamento do ecoturismo em unidades de conservação: estudo de caso Flona de Irati-PR. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 41, n. 2, p. 231-242, 2011.

MANFRINATO, W. **Áreas de Preservação Permanente e Reserva Legal no contexto da mitigação de mudanças climáticas**. Piracicaba, 2005.

MARTINELLI, L.A., MOREIRA, M.Z., BROWN, I. F., VICTORIA, R. L. Incertezas associadas às estimativas de biomassa em florestas tropicais. In: EMISSÃO X SEQUESTRO DE CO₂ – UMA NOVA OPORTUNIDADE DE NEGÓCIOS PARA O BRASIL, 1994. Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 1994, p.197–221.

MERENDA, E. A. **Reservatório de Segredo e área de entorno: aspectos legais e modificações no uso do solo**. 70 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Departamento de Geografia – Universidade Federal de Maringá, Maringá, 2004.

MESSIAS, C. G. **Análise da fragilidade ambiental na área de influência da Hidrelétrica do Funil-MG, utilizando-se de imagens do satélite ALOS sensor PRISM**. Trabalho de conclusão de curso (graduação em Geografia). Alfenas: UNIFAL-MG, 2011.

MESSIAS, C. G.; FERREIRA, M. F. M.; RIBEIRO, M. B. P.; MENEZES, M. D. Análise empírica de fragilidade ambiental utilizando técnicas de geoprocessamento: o caso da área de influência da hidrelétrica do Funil – MG - **Revista Geonorte**, Edição Especial, v.2, n.4, p.112 – 125, 2012.

MIMLER, M.; SOHLBACH, M.; WEBER, M.; WILLHAUCK, G. **e-Cognition Professional User Guide 4**. Munchen, Germany: Definiens Imaging GmbH, 2004. 486 p.

MOREIRA, F. M. S. **Código Florestal brasileiro: métodos para localização de Reservas Legais e comparação de propostas de alteração da Lei. 2011.** 117f. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos/USP, São Carlos, 2011.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação.** 3.ed. São José dos Campos: INPE, 2007.

NASCIMENTO, M. C., SOARES, V.P., RIBEIRO, S. A. A. C., SILVA, E. Mapeamento dos fragmentos de vegetação florestal nativa da bacia hidrográfica do Rio Alegre, Espírito Santo, a partir de imagens do satélite Ikonos II. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n.3, p. 389-398, 2006.

OLIVEIRA, F.S.; **Diagnóstico dos fragmentos florestais e das áreas de preservação permanente no entorno do Parque Nacional do Caparaó, no estado de Minas Gerais.** Viçosa, MG: UFV, 2006, 33p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 2006.

PACHECHENIK, P. E.; SOUZA, J. L. M. Estudo do processo chuva-vazão na bacia do rio das Pedras, Guarapuava, Estado do Paraná, com o modelo HYCYMODEL. **Acta Sci. Agron.**, Maringá, v. 27, n. 4, p. 677-686, 2005.

PAULA, A. S.; RODRIGUES, E. Degradação da paisagem norte-paranaense: um estudo de fragmentos florestais. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.23, n. 2, p. 229-238, 2002.

PAULA, A.S.; RODRIGUES, E. Degradação da paisagem norte-paranaense: um estudo de fragmentos florestais **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina- PR, v. 23, n. 2, p. 229-238, jul./dez. 2002.

PERDIGÃO, V. E A. ANNONI. **Technical and methodological guide for updating CORINE Land Cover data base.** European Environmental Agency, Joint Research Centre, European Commission. 1997.

QUEIROZ, C.J. **Análise de transformações geométricas para georreferenciamento de imagens de satélite CBERS-I.** 91p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento

Remoto), Centro de Pesquisa em Sensoriamento Remoto – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.

RANTA, P.; BLOM, T.; NIEMELÄ, J.; SIITONEN, E.J.M. The fragmented Atlantic rain forest of Brazil: size, shape and distribution of forest fragments. **Biodiversity and Conservation**, v.7, p. 385-403, 1998.

RICHARS, J.A. **Remote sensing digital image analysis**. Springer Verlag, Berlin, 281p., 1993.

RODRIGUES, E. **Ecologia de fragmentos florestais no gradiente de urbanização de Londrina – PR**. São Carlos, 102f. Dissertação (Mestrado) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 1993.

ROSA, R.A. Utilização de imagens TM/LANDSAT em levantamento de uso do solo. In: VI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 6., Manaus, 1990, **Anais...** São José dos Campos, INPE, 1990. v.2, p.419-425.

ROSS, J. L. S. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 8, 1994.

SADER, S. A., STONE, T. A., JOYCE, A. T. Remote sensing of tropical forests: an overview of research and applications using nonphotographic sensors. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 56: 1343–1351. 1990.

SANQUETTA, C.R.; MATTEI, E. **Perspectivas de recuperação e manejo sustentável das florestas de Araucária**. Curitiba: PELD/CNPQ, 2006, 297p.

SANTOS, A.L.C. **Diagnóstico dos fragmentos de Mata Atlântica de Sergipe através de sensoriamento remoto**. São Cristovão, SE: UFS, 2009, 64p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal de Sergipe, 2009.

SANTOS, R. F. dos. **Planejamento ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SAUNDERS, D. A.; HOBBS, R. J.; MARGULES, C.R. Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. **Conservation Biology**, v.5, n.1, p.18-34, 1991.

SELP - Secretaria de Estado do Planejamento e Coordenação Geral. ESTADO DO PARANÁ, **Programa de saneamento ambiental da Região Metropolitana de Curitiba** – Carta Consulta. Curitiba, 1991, p. 8

SFB – Serviço Florestal Brasileiro. **Florestas do Brasil em Resumo 2013**. Brasília: MMA, 2013. 186p.

SOUZA, C.L.; PONZONI, F.J. Avaliação de índices de vegetação e de bandas TM/LANDSAT para estimativa de volume de madeira em floresta implantada de *Pinus* spp. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9., 1998. **Anais...** Santos: INPE, 1998. 1 CD-ROM.

SPÖRL, C.; ROSS, J. L. S. Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. **GEOUSP - Espaço e Tempo**, n. 15, p. 39-49, 2004.

STEINER, D. Time dimension for crop surveys from space. **Photogrammetric Engineering**. Falls Church, v.36, n.2, p.187-194. 1970.

TILTON, J. Hierarchical Image Segmentation: as applied to Remotely Sensed Multispectral or Hyperspectral Imagery. NASA Applied Information. **Sciences Branch**. Disponível em www.backserv.gsfc.nasa.gov/code935/tilton . Acesso em abril 2012.

VALÉRIO FILHO, M.; PINTO, S. A. F. Imagens orbitais aplicadas ao levantamento de dados do meio físico: contribuição ao planejamento de microbacias hidrográficas. In: Congresso Brasileiro e Encontro Nacional de Pesquisa sobre Conservação do Solo. 8., 1996, Londrina **Anais...** Londrina: IAPAR, 1996, p. 77-95.

VELOSO, H. P.; RANGEL F., A. R. L.; Lima D. C. A. 1991. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. IBGE, Rio de Janeiro, Brasil, 124pp.

VEREZ, Q. J. I. **Fitossociologia, Dinâmica e Biomassa de um Fragmento da Floresta Estacional Semidecidual – Paraná**. Irati, 99 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade Estadual do Centro-Oeste, 2012.

VIANA, V. M., PINHEIRO, L. A. F. V. **Conservação da biodiversidade em fragmentos florestais**. Série Técnica IPEF v. 12, n. 32, p. 25-42. Dezembro, 1998.

VIANA, V. M., TABANEZ, A. J. A., MARTINEZ, J. L. A. Restauração e manejo de fragmentos florestais. In: CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSÊNCIAS NATIVAS, 2, 1992, Campos do Jordão. **Anais...** Campos do Jordão: Instituto Florestal / Secretaria do Meio Ambiente, 1992. Pt 2, p. 400-406.

VIANA, V. M.; PINHEIRO, L. A. F. V. Conservação da Biodiversidade em fragmentos florestais. Série Técnica, **IPEF**: ESALQ/USP, n. 12, p. 25-42, 1998.

VIANA, V.M.; TABANEZ, A.A.J.; MARTINS, J.L.A. Restauração e manejo de fragmentos florestais. In: CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSÊNCIAS NATIVAS, 2, São Paulo, 1992. Anais. São Paulo: Instituto Florestal de São Paulo, 1992. p. 400-407. Viçosa, 1997.

WATZLAWICK, L. F.; SANQUETTA, C. R.; SANQUETTA, C. R.; ARCE, J. E.; BALBINOT, R. Quantificação de biomassa total e carbono orgânico em povoamentos de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze no Sul do Estado do Paraná, Brasil. **Revista Acadêmica**, Curitiba, 2002. 20p.

WATZLAWICK, L.F.; KIRCHNER, F.F.; MADRUGA, P. R. A. Avaliação de classificação digital em imagens de vídeo multiespectral utilizando matriz confusão. **Revista Ciências Exatas e Naturais**. Irati, v. 5, n. 1, 2003. 47-57p.

WENDLING, J.L.G. **Modelos matemáticos de crescimento e produção em biomassa para árvores de *Euterpe edulis* Mart. plantadas a céu aberto**. Curitiba, 1998. 168f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.