

REMOÇÃO DE CO₂ ASSOCIADA À DINÂMICA DA COBERTURA FLORESTAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO IGUAÇU NO PERÍODO 2000-2010

BETINA DOUBRAWA, CARLOS ROBERTO SANQUETTA, ANA PAULA DALLA CORTE e ÂNGELA MARIA KLEIN HENTZ

RESUMO

Este trabalho foi realizado na bacia hidrográfica do Rio Iguaçu, dentro dos limites do estado do Paraná, Brasil, a fim de avaliar a dinâmica na cobertura florestal e dos estoques de carbono na referida bacia, entre os anos de 2000 e 2010, estimando assim a variação da quantidade de carbono estocada na vegetação florestal neste período. O mapeamento da cobertura foi realizado através de imagens de satélite Landsat 5, sensor TM, a partir dos processos da segmentação, para a geração de vetores com características homogêneas, e classificação através de interpretação visual. Consideraram-se as classes de estágio sucessional de vegetação secundária inicial e médio/avançado, e a classe reflorestamento. A quantificação dos estoques de carbono foi feita pelo método indi-

reto, aplicando-se valores referência da literatura. Houve um aumento ao redor de 22,93% de cobertura florestal na bacia no período de 10 anos. Da mesma forma, ocorreu um aumento na produção de biomassa e no sequestro de carbono, de algo em torno de 135,38 Tg de biomassa (32,81% do original), realizando assim a fixação de 206,81 Tg de carbono equivalente. Ainda, foi possível concluir que a floresta nativa é a maior responsável pelo armazenamento de carbono na bacia, apresentando ~93,53% do total de carbono estocado em 2010. Dessa forma, observa-se que a vegetação da bacia está contribuindo positivamente para a diminuição da concentração de CO₂ na atmosfera, e consequentemente os efeitos negativos do efeito estufa.

 As florestas atuam no sequestro de carbono devido ao processo fotossintético, no qual as plantas absorvem o CO₂ da atmosfera e o fixam em forma de matéria lenhosa ou biomassa. Conforme mencionado pelo IPCC (2003), as florestas, as terras agrícolas e outros ecossistemas terrestres oferecem um grande potencial de mitigação de carbono na atmosfera. Esta 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.

Dessa forma a emissão ou sequestro de carbono está intimamente ligada ao uso da terra. Quando ocorre um aumento na área florestada, observa-se consequentemente uma maior fixação de carbono. Contrariamente, quando ocorre o desmatamento, o carbono fixado na biomassa é, em grande parte, enviado novamente à atmosfera.

As alterações na cobertura terrestre são importantes fontes de avaliação sobre a dinâmica dos estoques de

carbono. Segundo Corte (2010) as mudanças podem ocorrer na superfície terrestre, são transformações ou conversões e podem estar relacionadas a dinâmica natural (estágios sucessionais da vegetação, variabilidade durante os anos) ou às atividades humanas. 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).

Para a quantificação da biomassa e do carbono estocado em uma

PALAVRAS CHAVE / Biomassa / Floresta Ombrófila Mista / Geotecnologias / Imagens de Satélite / Mata Atlântica /

Recebido: 02/05/2013. Modificado: 21/07/2014. Aceito: 23/07/2014.

Betina Doubrawa. Engenheira Florestal e Mestre em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná (UFPR), Brasil. e-mail: betaaa_d@yahoo.com.br

Carlos Roberto Sanquetta. Engenheiro Florestal e Mestre em Engenharia Florestal, UFPR, Brasil. M.Sc. em Silvicultura e Ecologia, Ehime University, Japão. Doutor em Ecologia e Manejo de Recursos Florestais, United Graduate School of Agricultural Sciences, Japão. Professor, UFPR, Brasil. e-mail: sanquetta@ufpr.br

Ana Paula Dalla Corte. Engenheira Florestal, Mestre e Doutora em Engenharia Florestal, UFPR, Brasil. Professora UFPR, Brasil. Endereço: Departamento de Ciências Florestais, Av. Lothário Meissner 900. Jardim Botânico, Curitiba, PR, Brasil. e-mail: anacorte@ufpr.br

Ângela Maria Klein Hentz. Engenheira Florestal, Universidade Federal de Santa Maria, Brasil. Mestranda em Manejo Florestal, UFPR, Brasil. e-mail: angelakhentz@gmail.com

floresta podem ser utilizados vários métodos, sendo divididos geralmente em métodos diretos e indiretos. Os métodos diretos caracterizam-se pela derrubada da árvore, neste caso, segundo Silveira et al. (2008), todas as árvores de uma determinada parcela são derrubadas e pesadas, sendo feita em seguida a extrapolação da avaliação amostrada para a área total de interesse. Já o carbono é obtido a partir de análise laboratorial de amostras dos compartimentos, desta forma obtêm-se os teores de carbono e são então extrapolados de acordo com a quantidade de biomassa, ou a partir de equações estimativas, considerando-se que o teor de carbono é pouco variável entre as espécies já estudadas (Schneider et al., 2004).

Os métodos indiretos utilizam equações alométricas ou imagens de satélite para realizar estimativas. Segundo Watzlawick (2003) com os atuais avanços tecnológicos em relação às imagens provenientes de sensores remotos nos últimos anos (principalmente relacionado a maior disponibilidade de sensores, permitindo assim a escolha entre diferentes resoluções tanto espaciais, como temporais e espectrais, adequadas a cada trabalho), como também maiores opções de sensores quanto ao seu custo, sendo disponibilizados agora vários sensores com imagens gratuitas. Também têm-se obtido uma melhor caracterização da estrutura das florestas e, conseqüentemente de sua biomassa e carbono estocado com o desenvolvimento de sensores que atuam em frequências além do visível como micro-ondas e radares, possibilidade de imagens em 3D, mudanças na forma de disponibilizar os dados que antigamente eram processados como fotografias e hoje são trabalhados em formato digital, e também com os desenvolvimentos relacionados aos avanços no processamento das imagens (softwares para processamento, inclusive gratuitos, assim como o aprimoramento e criação de novas técnicas para o processamento dos dados).

Diante desse cenário, este trabalho teve como objetivo geral avaliar a dinâmica na cobertura florestal e dos estoques de carbono na bacia do Rio Iguazu, entre os anos de 2000 e 2010.

Área de Estudo

Abacia do Rio Iguazu é localizada em sua maior parte na porção sul do estado do Paraná, Brasil, mas também ao norte de Santa Catarina e na Argentina. Sua área cobre uma superfície de ~70800 km² (SEMA, 2013).

A extensão total do rio Iguazu é de 1320 km, sendo considerado o maior rio do estado do Paraná. Ele é destaque por apresentar em seu percurso

diversos desníveis que fizeram aparecer um grande número de quedas d'água, tornando-o assim um dos maiores rios brasileiro na contribuição da geração de energia elétrica, existindo atualmente em seu percurso cinco represas para aproveitamento hidroelétrico.

Quanto à vegetação, a bacia está inserida dentro do bioma Mata Atlântica, um dos locais de maior biodiversidade de planeta, e que se encontra em estado de grande preocupação devido à destruição de sua vegetação original. Estima-se que dos 1.315.460 km² da cobertura original da Mata Atlântica, atualmente estão preservados apenas 12%, considerando-se fragmentos acima de 3 ha (SOS Mata Atlântica, 2014). Dessa forma 70% da cobertura vegetal original do bioma foi perdida (Galindo-Leal et al., 2003). No Paraná, segundo dados do SOS Mata Atlântica e INPE (2013) este bioma originalmente cobria 19.639.352 ha, enquanto que em 2011 foram encontrados somente 2.324.370 ha deste bioma, ou seja, ~11,8% da cobertura original.

A vegetação da bacia do Rio Iguazu é composta principalmente pela floresta ombrófila mista (FOM), ~77,9% da bacia, e pela floresta estacional semidecidual (FES) com 8,89%, porém observa-se a floresta ombrófila densa (FOD) em mínima proporção (próximo a 0,09%) e regiões de estepe (~13%), conforme ITCG (2013).

A FOM, também conhecida como 'mata-de-aracária' ou 'pinheiral' apresenta uma ampla distribuição pelo estado do Paraná, com ocorrência registrada nos três planaltos paranaenses, entre as altitudes médias de 800 a 1200m (Roderjan et al., 2003). Na bacia do Rio Iguazu a FOM apresenta-se nas formas de montana, submontana e altomontana (SEMA, 2013, as quais se caracterizam por encontrar-se nos limites de altitude de menor que 400m até maiores que 1000m, excluindo-se portanto apenas a FOM aluvial, caracterizada pela associação com a rede hidrográfica (IBGE, 2012).

Em sua superfície original no Brasil, a FOM, cobria cerca de 200000 km², ocorrendo no Paraná (40% da sua superfície), Santa Catarina (31%), 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). Atualmente, segundo dados do MMA (2000), devido ao ritmo de desmatamento que esta tipologia sofreu, sua área de distribuição foi reduzida a menos de 5% da superfície original.

As florestas estacionais por sua vez, são determinadas pela ocorrência de clima estacional que determina a perda da folhagem da cobertura florestal em certo período do ano. A distinção entre decidual e semidecidual é pela porcentagem de árvores caducifólias no conjunto florestal, sendo que a semidecidual situa-se, ordinariamente, entre 20% e 50% (IBGE 2012).

A FOD por sua vez, está ligada à características ombrotérmicas, relacionando fatores climáticos tropicais de elevadas temperaturas (médias de 25°C) e de alta precipitação, bem distribuída durante o ano (de 0 a 60 dias secos), o que determina uma situação bioecológica praticamente sem período seco (IBGE, 2012).

Materiais e Métodos

Para a realização deste trabalho foram utilizados mapas temáticos do estado do Paraná, disponibilizados pelo ITCG (2013) e arquivo SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) do Paraná (EMBRAPA, 2013). Também arquivos vetoriais de hidrografia do Paraná (IPARDES, 2013), divisão política administrativa do Paraná do ano de 2007 (ITCG, 2013), rodovias do Paraná (IBAMA, 2013) e mapa de solos do Paraná elaborado pela EMBRAPA/EMATER (ITCG, 2013). As imagens utilizadas foram do satélite Landsat 5, com resolução espacial de 30m. Os dados de data de aquisição e órbita estão dispostos na Tabela I.

Foram utilizados aplicativos disponíveis pela Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná (FUPEF), sendo eles: ENVI 4.5, ARCGIS 9.3 e eCognition.

Processamento inicial dos dados

A composição das bandas utilizadas para a classificação foi realizada no ENVI, versão 4.5, e tendo como resultado a combinação RGB: 5,4,3 como sendo a mais adequada.

Para a o registro das imagens desse trabalho, foram usadas as

TABELA I
ÓRBITA/PONTO E DATA DE AQUISIÇÃO DAS CENAS DO SATÉLITE LANDSAT 5

2000		2010	
Órbita/Ponto	Dia/Mês	Órbita/Ponto	Dia/Mês
220/078	19/08	220/078	19/11
221/078	09/07	221/078	16/04
222/078	04/11	222/077	01/11
223/077	29/11	22/078	01/11
223/078	29/01	223/077	01/06
224/078	14/02	223/078	08/11

rodovias e a hidrografia com base nos arquivos vetoriais 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.

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.

Segmentação das imagens

Essa fase do trabalho foi realizada no software eCognition, no qual a imagem foi segmentada em duas classes de interesse: floresta e não floresta (edificações, solo exposto, agricultura, rios entre outros). A segmentação foi realizada após tentativas com diferentes níveis de segmentação optando-se pela escala de 30m.

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.

Para a classificação foram selecionadas as amostras de cada uma das classes criadas (floresta e não floresta). Na etapa de coleta de amostras, cuidou-se para que toda a variabilidade de feições das classes fosse considerada. Muitas amostras foram coletadas para cada classe cobrindo toda a heterogeneidade destas quanto à forma, comportamento espectral e textura.

Para finalizar essa etapa os resultados da classe floresta foram exportados em formato *shapefile*, para posterior interpretação visual e classificação da vegetação em estágios de sucessão de vegetação secundária.

Classificação da vegetação de porte arbóreo

As formações florestais foram classificadas conforme a resolução CONAMA nº 002, de 18 março de 1994, como formações vegetacionais secundárias em estágios sucessionais inicial, médio e avançado.

Os arquivos vetoriais de floresta, classificados no software eCognition, foram exportados ao software ArcGis 9.3, onde foi feita a classificação do estágio sucessional em três categorias: estágio sucessional de vegetação secundária inicial, estágio sucessional de vegetação secundária médio/avançado e reflorestamentos.

A classificação nesta etapa foi feita com base em padrões visuais, de cor, textura e forma observados nas imagens do satélite Landsat 5. Para facilitar a classificação das classes sucessionais, foram coletados pontos de treinamento a campo com uso de GPS. Desta forma foi possível identificar a sucessão a campo, e observar a partir de suas coordenadas qual seria o perfil de cor, textura e forma que esta classe apresenta na imagem. Neste trabalho foram considerados somente os valores de área dos fragmentos ≥ 1 ha. Também foram utilizados filtros de 40 e 100 ha para comparação com outros estudos.

A acuracidade do mapeamento foi determinada através da matriz de confusão global e do coeficiente kappa. Foram selecionadas um total de 70 amostras em campo para a área de estudo, onde foi observada a verdade a campo. Posteriormente foi calculada a acuracidade do mapeamento pelos dois métodos, que comparam a relação entre os acertos do mapeamento e os erros.

Quantificação de biomassa e carbono

Para efeito de cálculo, a abrangência original da fitofisionomia de estepes foi considerada como as médias da 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 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 Iguazu para FOM foram provenientes dos trabalhos de Watzlawick *et al.* (2002), que encontrou valores de biomassa e carbono respectivamente, de 69,37 e 28,84t·ha⁻¹ para o estágio inicial, 168,84 e 70,23t·ha⁻¹, para o estágio médio, e 397,79 e 165,02t·ha⁻¹ para o estágio avançado. No presente estudo, para o estágio médio a avançado foi realizada uma média aritmética dos valores de médio e avançado, pois no trabalho de Watzlawick *et al.* (2002) foram quantificados separadamente estes dois estágios sucessionais de vegetação secundária.

No caso da FES usou-se os trabalhos de Verez (2012) e Brites *et al.* (2006). No estágio inicial foram extraídos os valores encontrados por Verez (2012) de 56,25t·ha⁻¹ para biomassa e 24,28t·ha⁻¹ para carbono. Já

para o estágio médio/avançado não foi encontrado em nenhuma bibliografia, sendo desta maneira utilizado um valor médio para FES do trabalho de Brites *et al.* (2006), o qual encontrou valores entre 61 e 178t·ha⁻¹ resultando na média de 108,6t·ha⁻¹ utilizado no presente estudo. Ainda, o trabalho de Brites *et al.* (2006) 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 431,68g·kg⁻¹, o qual variou de 401,32 a 457,71g·kg⁻¹ naquele estudo. Desta forma com o valor de carbono e do teor na biomassa, estimou-se a biomassa para o estágio médio/avançado da FES em 251,57t·ha⁻¹.

Para o reflorestamento foi utilizado o valor encontrado no trabalho de Watzlawick (2003), sendo adotado como espécie principal o *Pinus taeda* L., 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. O valor biomassa encontrado neste estudo foi de 171,72t·ha⁻¹, com intervalo de confiança entre 202,79 e 112,48t·ha⁻¹, e para carbono de 75,94t·ha⁻¹, com intervalo entre 96,56 e 45,63t·ha⁻¹. A síntese dos valores encontra-se na Tabela II.

Assim sendo, para chegar ao estoque de carbono acima do solo estocado pela vegetação arbórea da bacia do rio Iguazu, 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 Brites *et al.* (2006).

A quantidade de 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).

Resultados e Discussão

O mapeamento da Bacia do Rio Iguazu obteve 60 amostras classificadas de forma correta (das 70 totais)

TABELA II
BIOMASSA SECA (T·HA⁻¹) E CARBONO (T·HA⁻¹) POR CLASSE DE SUCESSÃO DE VEGETAÇÃO SECUNDÁRIA

Domínio	Classe de sucessão de vegetação secundária	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

Adaptado de Watzlawick *et al.*, (2002), Watzlawick (2003), Verez (2012) e Brites *et al.* (2006). FOM: floresta ombrófila mista, FES: floresta estacional semidecidual.

chegando a uma exatidão global (Q) igual a 0,857. De mesma forma, 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 ($0,6 < K \leq 0,8$) segundo Foody (1992) e Congalton e Green (1998), indicando que a classificação alcançou um resultado satisfatório.

Os dados de área por cada classe de sucessão secundária e reflorestamentos, nos dois períodos, podem ser vistos na Tabela III. A partir dos dados encontrados para as áreas >1 ha na classificação da floresta em classes de vegetação secundária, constatou-se um aumento de 22,9% na cobertura florestal do ano de 2000 para o ano de 2010 na Bacia do Rio Iguazu. Isso ocorreu devido ao aumento de cobertura florestal na classe médio/avançado de vegetação secundária. Para a classe de reflorestamento houve um aumento de 24.869,96 ha. 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.

Um dos motivos que pode explicar esse aumento é a exigência do governo do estado do Paraná no cumprimento do decreto nº 387 de 1999 que instituiu o Sistema de Manutenção, Recuperação e Proteção da Reserva Florestal Legal e Áreas de Preservação Permanente (SISLEG) um sistema de gerenciamento criado pelo Estado do Paraná com o objetivo de facilitar aos proprietários rurais o cumprimento das exigências legais estabelecidas pelo Código Florestal e averbar as margens das matrículas, as áreas de reservas legais de suas propriedades.

Quando se trata do mapeamento de fragmentos maiores que

40 ha, obteve-se um aumento de 352.782,69 ha de floresta nativa do 2000 em relação ao 2010. O aumento de reflorestamento foi de 367.206,76 ha. Esse número cai em relação ao mapeamento de fragmentos maiores que 1 ha, mostrando a importância de se mapear os fragmentos de menores tamanhos.

Mapeamento da vegetação nativa do Paraná através de imagens Landsat TM 5 com datas do ano de 1998 e utilizando fragmentos mínimos de 40 ha também (PROBIO, 2002) obteve como resultado 1.353.060,47 ha, relativamente menor ao resultado de 1.626.291,26 ha encontrado nesse trabalho.

Mapeamento do bioma Mata Atlântica para fragmentos >40 ha (PROBIO, 2007), no qual foi utilizado o satélite Landsat 7 também com a resolução de 30m, foi encontrada uma área total de 1.950.509,18 ha de floresta na bacia do Rio Iguazu enquanto que neste trabalho o valor encontrado para o ano de 2010 foi de 1.993.498,02 ha.

Analisando a Tabela III, no que se trata de mapeamento de fragmentos 100 ha obteve-se um aumento de floresta nativa de 359.909,53 ha na cobertura florestal de nativas do 2000 para o 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 foi somente quando aplicado o filtro de 100 ha que houve diminuição no intervalo de 10 anos.

Em um estudo realizado pelo SOS Mata Atlântica e INPE (2011), através de imagens Landsat TM e imagens CBERS CCD, com resolução espacial de 30 e 20m respectivamente, foram mapeados os remanescentes de vegetação

do bioma mata atlântica. Como resultado para o período de 2005 a 2008 obteve-se 771.765,43 ha de florestas remanescentes para a bacia do rio Iguazu. Porém no trabalho do SOS Mata Atlântica foram mapeados somente os fragmentos >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. A diferença tão significativa entre estes dois trabalhos possivelmente seja reflexo desta escala de trabalho, visto que as classes <100 ha são significativas no presente estudo, assim como pela exclusão da classe inicial e de reflorestamentos no trabalho do SOS Mata Atlântica, que no nosso estudo representam respectivamente (aplicando-se o filtro de 100 ha) 196.027,00 e 118.023,55 ha.

Os resultados aqui encontrados estão de acordo com o projeto realizado pela FUFPEF (2001). 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, e contempla grande parte da bacia do Rio Iguazu. As imagens do projeto foram datadas de 2005 e realizadas com o satélite SPOT de 2,7m de resolução. As classes escolhidas foram floresta em estágio inicial, médio a avançado e reflorestamento. No trabalho da FUFPEF (2001) evidenciou que existem 9,60% de áreas em florestas em estágio inicial de sucessão, totalizando 385.213,67 ha, e 27,01% de áreas de floresta em estágio médio e avançado de sucessão, correspondendo a 1.084.199,02 ha. As áreas de reflorestamento perfizeram 3,28% da área de abrangência do estudo (131.681,30 ha).

TABELA III
CLASSES DE SUCESSÃO DE VEGETAÇÃO SECUNDÁRIA POR ÁREA (HA)

Filtro	Classe de sucessão de vegetação secundária	Ano 2000	Ano 2010	Diferença (%)	Outros estudos
>1 ha	Inicial	324.228,02	216.079,13	-33,4	385.213,67 (FUFPEF, 2001) 1.084.199,02 (FUFPEF, 2001) 131.681,30 (FUFPEF, 2001); 516.163, 58 (Corte e Sanquetta, 2007)
	Médio a avançado	1.285.148,43	1.776.456,43	38,2	
	Subtotal nativas	1.609.376,45	1.992.535,56	23,8	
	Reflorestamento	169.724,73	194.594,69	14,7	
	Total	1.779.101,18	2.187.130,25	22,9	
>40 ha	Inicial	260.414,32	166.828,7	-35,9	1.353.060,47 (PROBIO, 2002); 1.950.509,18 (PROBIO 2007)
	Médio a avançado	1.206.952,48	1.653.320,79	37,0	
	Subtotal nativas	1.467.366,80	1.820.149,49	24,0	
	Reflorestamento	158.924,46	173.348,53	9,1	
	Total	1.626.291,26	1.993.498,02	22,6	
>100 ha	Inicial	196.027,00	118.023,55	-39,8	771.765,43 (SOS Mata Atlântica, 2011)
	Médio a avançado	1.128.408,43	1.566.321,41	38,8	
	Subtotal nativas	1.324.435,43	1.684.344,96	27,2	
	Reflorestamento	144.204,23	143.942,51	-0,2	
	Total	1.468.639,66	1.828.287,47	-33,4	

Espacialmente, observa-se através das Figuras 1 e 2, o grande aumento de cobertura florestal na classe médio/avançado de vegetação secundária principalmente na porção central e leste da Bacia do Rio Iguaçu. Observa-se também uma diminuição dos fragmentos de classe inicial de vegetação secundária também na porção central e leste da área. Essa diminuição nos fragmentos de floresta inicial ao mesmo tempo que houve aumento na floresta em geral, pode sugerir que as florestas estejam se estabilizando, ou seja, há algum tempo atrás áreas desmatadas foram abandonadas e a vegetação arbórea voltou a se estabelecer. Agora estas encontram-se em um estado mais avançado de sucessão, portanto houve um aumento na classe média/avançada. Nas Figuras, para o ano de 2010, os polígonos de reflorestamento concentraram-se mais na porção central da Bacia do Rio Iguaçu em relação ao 2000.

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 estágio sucessional vegetação secundária e a também da classe de reflorestamento (Tabela IV). Analisando a porcentagem de classe de sucessão de vegetação secundária para a bacia do

Rio Iguaçu no 2000, o trabalho evidenciou que existem 5,95% de floresta na

classe inicial de vegetação secundária, 23,58% de áreas de

floresta na classe médio a avançado e 3,11% de reflorestamentos. Para o 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/avançado, e para a classe de reflorestamento um crescimento na porcentagem de ocupação de apenas 0,05%. No final, totalizam um aumento anual de 0,75% na ocupação de florestas na área de estudo. Os dados de ocupação ao longo dos 10 anos estão na Tabela IV.

Algumas hipóteses para que a taxa de desmatamento na bacia do rio Iguaçu seja negativa, são implementação de diversos mecanismos legais de

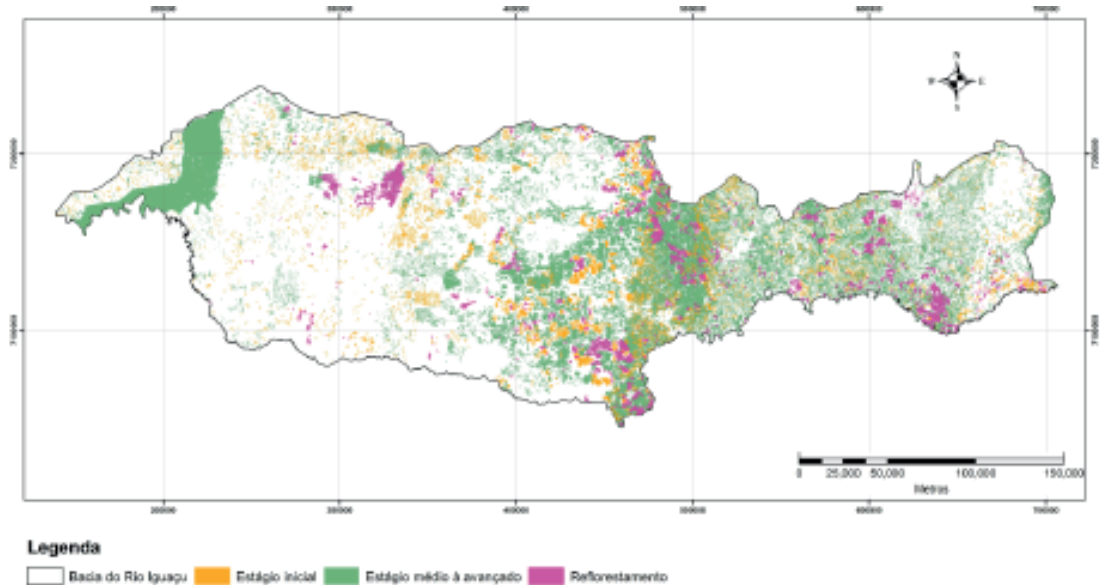


Figura 1. Classificação da floresta em classe sucessionais de vegetação secundária. Ano 2000.

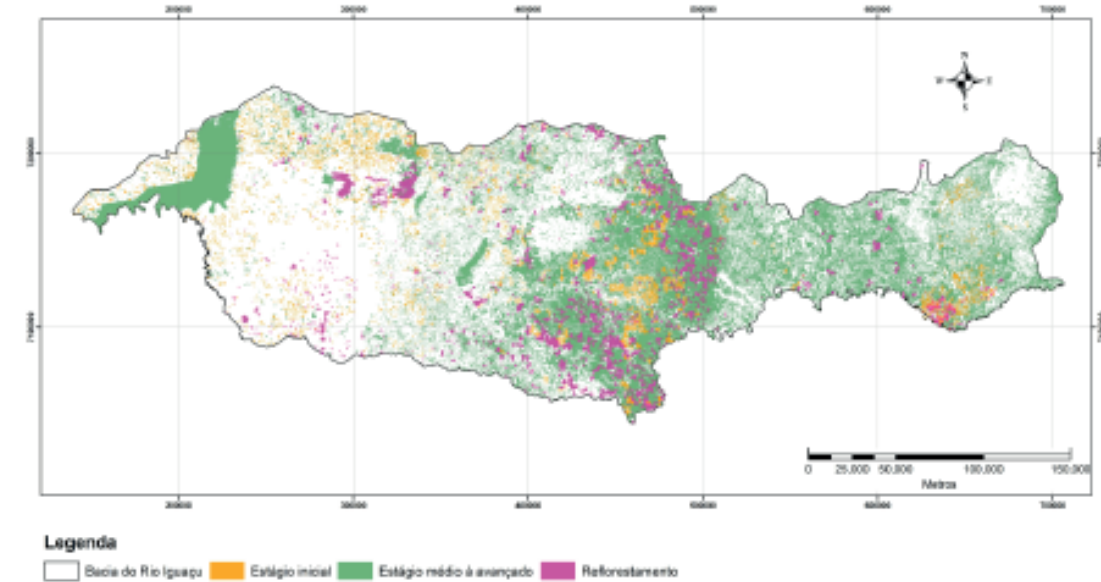


Figura 2. Classificação da floresta em classe sucessionais de vegetação secundária. Ano 2010.

TABELA IV
PORCENTAGEM DE OCUPAÇÃO FLORESTAL NA
BACIA DO RIO IGUAÇU POR CLASSE

Classe de sucessão de vegetação secundária	Ocupação (%)		Diferença (%)	Diferença/ano (%)
	2000	2010		
I	5,95	3,97	-1,98	-0,20
MA	23,58	32,60	9,02	0,90
Subtotal nativas	29,53	36,56	7,03	0,70
R	3,11	3,57	0,46	0,05
Total	32,65	40,13	7,49	0,75

I: classe inicial de sucessão secundária de vegetação, MA: classe média à avançada de sucessão secundária de vegetação, R: reflorestamentos.

conservação (SISLEG e Sistema Nacional de Unidades de Conservação, que foram implementados neste período), aumento da fiscalização devido a implementação destas leis, e alterações na estrutura fundiária na área de estudo, hipóteses que serão melhor detalhadas a seguir. 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, definiu que o MMA deveria definir as regras para identificação de áreas prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade. A bacia do rio Iguazu encontra-se dentro das classes de alta, muito alta e extremamente alta importância à biodiversidade (MMA, 2002) e dentro da classe de alta e muito alta para áreas prioritárias à conservação (MMA, 2003).

A grande importância da conservação da vegetação desta bacia está na presença da Mata Atlântica, incluída entre os 25 *hotspots* de diversidade do planeta e provavelmente o ecossistema mais devastado do planeta (Galindo-Leal e Câmara, 2003). Além disso, se estima que apesar de perdidos pelo menos 70% de sua cobertura vegetal original do bioma, os seus remanescentes abrigam-se mais de 60% de todas as espécies terrestres do planeta (Galindo-Leal e Câmara, 2003), e neste bioma encontram-se entre 1-8% do total de espécies do planeta (Silva e Casteleti, 2003), apesar de dados apontarem que pelo menos 510 espécies de plantas, aves, mamíferos, répteis e anfíbios da Mata Atlântica estão oficialmente ameaçadas de extinção (Tabarelli *et al.*, 2003). Na bacia ainda existe a presença da *Araucaria angustifolia*, espécie que caracteriza a FOM, que está incluída na lista de espécies ameaçadas de extinção do Paraná, caracterizada como vulnerável (SEMA e IAP, 2008) e proibida de corte.

Outra hipótese é a criação do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), através da lei nº 9.985, de 189 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 Iguazu localizam-se algumas dessas unidades de conservação, tais como: Parque Nacional do Rio Iguazu, Parque Estadual do Rio Guarani, Parque Estadual de Santa Clara, Parque Estadual do Monge, entre outras áreas enquadradas dentro do SNUC. Segundo dados da SEMA e IAP (citados em IPARDES, 2006) na área da bacia existem 193.132,11 ha de unidades de conservação (185.262,5 ha somente do Parque Nacional do Iguazu), sendo que destas 7.434,84 ha foram criadas após 2000.

Principalmente, este decréscimo nas taxas de desmatamento pode ser resultado dos problemas fundiários brasileiros. Observa-se em todo o país um grande êxodo rural, devido a diversos fatores como a falta de emprego no campo e a pouca lucratividade das pequenas propriedades, entre outros. Desta forma, cada vez menor número de pessoas vive nas zonas rurais do país, e em muitos casos propriedades são abandonadas por falta de quem cuide delas e dessa forma ocorre um retorno da vegetação florestal original. Essa hipótese é reforçada pelos dados de produção disponibilizados pelo IBGE (2014), segundo os quais a área de lavouras consideradas como permanentes em 2000 foi de 221.905 ha, enquanto que em 2010 foi de 174.861 ha.

No Paraná estes números são bem expressivos, segundo dados do IBGE, dos Censos 2000 e 2010 (IBGE, 2010), em 2000 a população do Paraná era de 9.558.454 pessoas, sendo que 81,4% (7.780.581 pessoas) viviam em meio urbano e 18,6% (1.777.782 pessoas) no meio rural. Já em 2010, a população apresentada pelo estado é de 10.444.526 pessoas, vivendo 85,3% (8.909.180 pessoas) no meio urbano e 14,7% (1.535.345 pessoas) no meio rural. Ou seja, houve um decréscimo de 242.437 pessoas domiciliadas no campo durante o período de 2000 a 2010.

Observando a Tabela V, percebe-se um aumento de 131,11 Tg de biomassa na floresta nativa ao longo dos 10 anos de estudo e de 54,52 Tg de carbono. Ou seja, houve um sequestro para a floresta nativa da bacia do rio Iguazu de 199,89 Tg de carbono equivalente no período. Para reflorestamento, houve um aumento de 4,27 Tg de biomassa, 1,89 Tg de carbono perfazendo um acima do solo de 6,92 Tg de CO₂ equivalente.

Para a bacia do rio Iguazu do 2000 para o 2010 obteve-se um sequestro de carbono acima do solo de 56,41 de carbono para a floresta, ou seja

um aumento de 32,82% em relação ao estoque do ano 2000. Considera-se esse um aumento significativo, nas áreas, tanto das florestas nativas, como em plantações florestais no período analisado (2000-2010), que promoveu, conseqüentemente, um acréscimo nos estoques de carbono e biomassa. Assim a região de estudo está contribuindo positivamente para a remoção de dióxido de carbono na atmosfera.

Deve-se observar também, que a maior parte de carbono fixado está na floresta nativa. Em 2010, por exemplo, o somatório de carbono encontrado na floresta nativa corresponde à 93,52% das 228,31 Tg de carbono, enquanto os reflorestamentos correspondem somente à 6,47% deste total. Desta forma, observa-se a importância de proteger as formações florestais nativas, dado que mantém estocada uma grande quantidade de carbono absorvido da atmosfera.

Devido a precisão do mapeamento é possível que os valores da áreas calculadas neste estudo apresentem uma certa variação, desta forma também afetando os valores de biomassa. Devido ao valor do índice kappa apresentar-se como 0,75, infere-se um intervalo de confiança de 25%. Para exemplificar melhor qual a variação que os dados podem apresentar, na Tabela VI são apresentados os intervalos dos valores de área e biomassa para as três classes de floresta, também para os dois anos deste estudo.

Corte e Sanquetta (2007) estudaram o 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 2004 e 2002 respectivamente, chegando a um total de 516.163, 58 ha como reflorestamento. Com esse valor estimaram ao estoque de carbono nos reflorestamentos de 26,72 Tg de carbono fixados para esta área, ou seja, 97,99 Tg de CO₂ equivalente. Dessa forma, o estudo de Corte e Sanquetta (2007) apresenta uma diferença de 11,94 Tg de carbono, em relação aos

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

Formação	Biomassa (Tg)		Diferença	Carbono (Tg)	Remoções de CO ₂ equivalente (Tg)
	Ano 2000	Ano 2010		Diferença	Diferença
I	22,29	14,75	-7,54	-3,13	-11,48
MA	358,87	497,52	138,65	57,66	211,37
Subtotal nativa	381,16	512,27	131,11	54,52	199,89
R	29,15	33,42	4,27	1,89	6,92
Total	410,31	545,68	135,38	56,41	206,81

I: classe inicial de sucessão secundária de vegetação, MA: classe média à avançada de sucessão secundária de vegetação, R: reflorestamentos.

TABELA VI
INTERVALO DE CONFIANÇA PARA OS DADOS
DE ÁREA E BIOMASSA NA BACIA DO RIO IGUAÇU

Classe	Ocupação 2000 (ha)		Ocupação 2010 (ha)		Biomassa 2000 (Tg)		Biomassa 2010 (Tg)	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
I	243.171,02	405.285,03	162.059,35	270.098,91	16,72	27,86	11,06	18,44
MA	963.861,32	1.606.435,54	1.776.456,43	1.776.456,43	358,87	358,87	497,52	497,52
Subtotal nativa	1.207.032,34	2.011.720,56	1.992.535,56	1.992.535,56	381,16	381,16	512,27	512,27
R	127.293,55	212.155,91	194.594,69	194.594,69	29,15	29,15	33,42	33,42
Total	1.334.325,89	2.223.876,48	2.187.130,25	2.187.130,25	410,31	410,31	545,68	545,68

I: classe inicial de sucessão secundária de vegetação, MA: classe média à avançada de sucessão secundária de vegetação, R: reflorestamentos, Mín: valor mínimo do intervalo de confiança, Máx: valor máximo do intervalo de confiança.

valores de 2010 encontrados no atual estudo. Essa diferença significativa pode ser explicada por diferenças metodológicas entre os dois estudos, como a área de abrangência, que no estudo de Corte e Sanquetta (2007) foi maior que 99.000 km², enquanto que para o nosso estudo foi de 70.800 km². Ainda, no citado estudo os valores de carbono foram especificados por regiões socioeconômicas do estado do Paraná, e observou-se que a região que apresentou os maiores valores foi a Centro Oriental, a qual não faz parte da Bacia do Rio Iguaçu, portanto não foi contabilizada no nosso estudo. Desta forma, a área de estudo pode ser responsável pelas diferenças de carbono em reflorestamentos, visto a quantidade de reflorestamentos é bastante concentrada em algumas regiões do estado, enquanto que em outras essa atividade é reduzida.

Conclusões

O mapeamento das classes de vegetação, apesar de ser extremamente trabalhoso, originou resultados satisfatórios para que todos os objetivos do presente estudo fossem atingidos.

A partir dos dados encontrados para as áreas >1 ha na classificação da floresta em classes de vegetação secundária, constatou-se um aumento de 22,9% na cobertura florestal do ano de 2000 para o ano de 2010 na Bacia do Rio Iguaçu. Para a classe de reflorestamento houve um aumento de 24.869,96 ha de área. 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.

Ao longo dos 10 anos de estudo, tem-se um aumento no sequestro de biomassa e carbono. A diferença do ano de 2000 para o ano de 2010 foi de 206,81 Tg de CO₂ equivalente para a Bacia do Rio Iguaçu, sendo 96,65% ocupada por florestas nativas.

REFERÊNCIAS

- Britez RM, Borgo M, Tiepolo G, Ferretti A, Calmon M, Higa R (2007) *Estoque e Incremento de Carbono em Florestas e Povoamentos de Espécies Arbóreas com Ênfase na Floresta Atlântica do Sul do Brasil*. Embrapa Florestas, Sociedade de Pesquisa em Vida Selvagem e Educação Ambiental. Colombo, Brasil. 165 pp.
- Carvalho PER (1994) *Espécies Florestais Brasileiras: Recomendações Silviculturais, Potencialidades e Uso da Madeira*. Embrapa-CNPQ, Embrapa-SPI, Brasília, Brasil. pp. 70-78.
- CONAMA (1994) *Resolução nº 2, de 18 de Março de 1994*. Conselho Nacional Do Meio Ambiente. Brasil. www.mma.gov.br/port/conama/res/res94/res0294.html (Cons. 05/05/2013).
- Congalton RG, Green K (1998) *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices*. Lewis. Nova York, EEUU. 137 pp.
- Corte APD (2010) *Metodologia para Detecção de Mudanças em Projetos de Redução de Emissões do Desmatamento e da Degradação Florestal (REDD)*. Tese. Universidade Federal do Paraná. Brasil. 165 pp.
- Corte AP, Sanquetta CR (2007) Quantificação do estoque de carbono fixado em reflorestamentos de *Pinus* sp. na área de domínio da Floresta Ombrófila Mista no Paraná. *Cerne* 13: 32-39.
- EMBRAPA (2013) *Brasil em Relevô*. www.relevobr.cnpq.embrapa.br/download/ (Cons. 11/06/2014).
- Foody GM (1992) On the compensation for chance agreement in image classification accuracy assessment. *Rem. Sens.* 58: 1459-1460.
- FUPEF (2001) *Conservação do Bioma Floresta com Araucária: Relatório Final*. Diagnóstico dos remanescentes florestais/ PROBIO Araucária. Curitiba. Brasil. 236 pp.
- Galindo-Leal C, Câmara IG (2003) Status do hotspot Mata Atlântica: uma síntese. Em Galindo-Leal C, Câmara IG (Eds.) *The Atlantic Forest of South America: Biodiversity Status, Threats, and Outlook*. Washington, EEUU. pp. 3-11.
- IBAMA (2013) *Geoprocessamento*. www.mma.gov.br/governanca-ambiental/geoprocessamento (Cons. 05/05/2013).
- IBGE (2010) *Censo 2010: Resultados*. www.censo2010.ibge.gov.br/resultados. (Cons. 04/05/2013)
- IBGE (2012) *Manual Técnico da Vegetação Brasileira*. 2ª ed. Rio de Janeiro, Brasil. 217 pp.
- IBGE (2014) *Séries Históricas e Estatísticas*. www.seriessestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?no=1&op=0&vcodigo=PA7&t=lavoura-permanente-area-plantada (Cons. 16/06/14).
- IPARDES (2013) *Base Física e Política do Paraná*. www.ipardes.gov.br/index.php?pg_conteudo=1&cod_conteudo=25 (Cons. 05/05/2013).
- IPARDES (2006) *Unidades de Conservação Estaduais de Proteção Integral, Segundo os Municípios do Paraná*. www.ipardes.pr.gov.br/anuario_2007/1territorio/tab1_2_5.htm (Cons. 12/06/2014).
- IPCC (2003) *Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry*. hayama. Japan. 632 pp.
- ITCG (2013) *Dados e Informações Geoespaciais Temáticos*. www.itcg.pr.gov.br/modules/faq/category.php?categoryid=9 (Cons. 05/05/2013).
- MMA (2000) *Avaliação e Ações Prioritárias para a Preservação da Biodiversidade da Mata Atlântica e Campos Sulinos*. Ministério do Meio Ambiente. Brasília, Brasil. 46 pp.
- MMA (2002) *Biodiversidade Brasileira: Avaliação e Identificação de Áreas e Ações Prioritárias para Conservação, Utilização Sustentável e Repartição dos Benefícios da Biodiversidade nos Biomas Brasileiros*. Ministério do Meio Ambiente. Brasília, Brasil. 404 pp.
- MMA (2003) *Atlas: Áreas Prioritárias para a Conservação, Utilização Sustentável e Repartição de Benefícios da Biodiversidade Brasileira*. Ministério do Meio Ambiente. Brasília, Brasil.
- PROBIO (2002) *Atlas de Vegetação do Estado do Paraná*. Secretaria Estadual de Meio Ambiente do Paraná. Curitiba.
- PROBIO (2007) *Levantamento da Cobertura Vegetal Nativa do Bioma Mata Atlântica, Relatório Final*. Rio de Janeiro, Brasil. 84 pp.
- Roderjan CV, Galvão F, Kuniyoshi YS, hatschback G (2003) As unidades fitogeográficas do Estado do Paraná. *Ciênc. Amb.* 24: 75-92.
- Rosa RA (1990) Utilização de imagens TM/LANDSAT em levantamento de uso do solo. In: *Anais VI Simp. Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Vol. 2: 419-425.
- Schneider PR, Finger CAG, Hoppe JM, Giacomelli Sobrinho V, Schneider PSP (2004)

- Método de derivação do volume em biomassa e carbono: uma aplicação em *Platanus x acerifolia* (AITON) WILD. *Anais Simp. Latino-Americano Sobre Manejo Florestal*. Vol. 3: 381-388.
- SEMA (2013) *Bacias Hidrográficas do Paraná, uma Série Histórica*. www.meioambiente.pr.gov.br/arquivos/File/corh/serie_historica_bacias_hidrograficas_2013.pdf (cons. 12/06/2014).
- SEMA, IAP (2008) *Lista Oficial de Espécies da Flora Ameaçadas de Extinção no Paraná*. www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Atividades/POP5_LISTA_OFICIAL_ESPECIES_EXTINCAO.pdf (Cons. 12/06/2014).
- Silva JMC, Casteleti CHM (2003) Estado da biodiversidade da Mata Atlântica brasileira. Em Galindo-Leal C, Câmara IG (Eds.) *The Atlantic Forest of South America: Biodiversity Status, Threats, and Outlook*. Washington, EEUU. pp. 43-59.
- Silveira P, Koehler HS, Sanquetta CR, Arce JE (2008) Estado da arte na estimativa de biomassa e carbono em formações florestais. *Floresta* 38: 185-206.
- SOS Mata Atlântica, INPE (2011) *Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica: período 2008-2010*. Relatório parcial. São Paulo, Brasil. 60 pp. www.mapas.sosma.org.br/site_media/download/atlas_200810_relatorio%20final_versao2_julho2011.pdf. (Cons. 05/05/2013).
- SOS Mata Atlântica, INPE (2013) *Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica: período 2011-2012*. Relatório técnico. São Paulo, Brasil. 61 pp.
- SOS Mata Atlântica (2014) *Nossa causa: A Mata Atlântica*. www.sosma.org.br/nossa-causa/a-mata-atlantica/. (Cons. 16/06/14).
- Tabarelli M, Pinto LP, Silva JMC, Costa CMR (2003) Espécies ameaçadas e planejamento da conservação. Em Galindo-Leal C, Câmara IG (Eds.) *The Atlantic Forest of South America: Biodiversity Status, Threats, and Outlook*. Washington, EEUU. pp. 86-94.
- Verez QJI (2012) *Fitossociologia, Dinâmica e Biomassa de um Fragmento da Floresta Estacional Semidecidual -Paraná*. Tese. Universidade Estadual do Centro-Oeste. Brasil. 99 pp.
- Watzlawick LF (2003) *Estimativa de Biomassa e Carbono em Floresta Ombrófila Mista e Plantações Florestais e Partir de Dados de Imagens do Satélite Ikonos II*. Tese. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Brasil. 120 pp.
- Watzlawick LF, Kirchner FF, Sanquetta CR, Schumacher MV (2002) Fixação de carbono em floresta ombrófila mista em diferentes estágios de regeneração. Em Sanquetta CR, Watzlawick LF, Balbinot R, Ziliotto MAB, Gomes FS (Orgs.) *As Florestas e o Carbono*. Vol. 1. Imprensa Universitária, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Brasil. pp. 153-173.

CO₂ REMOVAL ASSOCIATED TO THE DYNAMICS OF LAND COVER IN THE IGUASSU RIVER WATERSHED, BRAZIL, DURING 2000-2010

Betina Doubrawa, Carlos Roberto Sanquetta, Ana Paula Dalla Corte and Ângela Maria Klein Hentz

SUMMARY

This work was conducted in the Iguassu River watershed, within the limits of the state of Parana, Brazil, in order to assess the dynamics of the forest cover and carbon stocks in that basin, between the years 2000 and 2010, estimating the variation of the quantity of carbon stored in forest vegetation in this period. The cover mapping was carried out by means of Landsat 5 satellite images from a TM sensor. Processes of segmentation were used for the generation of vectors with homogeneous characteristics and classification was made through visual interpretation. Two classes of successional stage of secondary vegetation: initial and intermediate/advanced were considered, as well as a reforestation class. The quantification of carbon

stocks was made by the indirect method, applying reference values from the literature. There was an increase around 22.93% of forest cover in the basin throughout the period of 10 years. Similarly, there was an increase in biomass production and carbon sequestration, of 135.58 Tg of biomass (32.81% of the original), thus accomplishing the fixation of 206.81 Tg of carbon equivalent. It is concluded that the native forest is mostly responsible for carbon storage in the basin, with ~93.53% of the total carbon stored in 2010. Thus, the vegetation of the basin is contributing positively to the reduction of CO₂ concentration of in the atmosphere, and consequently of the negative effects from the greenhouse effect.

REMOCIÓN DE CO₂ ASOCIADO A LA DINÁMICA DE LA CUBIERTA FORESTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RIO IGUAZÚ BRASIL, EN EL PERÍODO 2000-2010

Betina Doubrawa, Carlos Roberto Sanquetta, Ana Paula Dalla Corte y Ângela Maria Klein Hentz

RESUMEN

Este trabajo fue realizado en la cuenca hidrográfica del Río Iguazú, dentro de los límites del estado Paraná, Brasil, con el fin de evaluar la dinámica en la cubierta forestal y del inventario de carbono en la referida cuenca, entre los años 2000 y 2010, estimando así la variación de la cantidad de carbono almacenado en la vegetación forestal en este periodo. El mapeo de la cubierta fue realizado a través de imágenes de satélite Landsat 5, sensor TM, a partir de los procesos de la segmentación, para la generación de vectores con características homogéneas, y clasificación a través de la interpretación visual. Se consideraron las clases de estados sucesionales de vegetación secundaria inicial y medio/avanzada, y la clase reforestación. La cuantificación de los inventarios de carbono fue hecha por el método

indirecto, aplicando valores de referencia de la literatura. Hubo un aumento de aproximadamente 22,93% de la cubierta forestal en la cuenca durante el periodo de 10 años. De la misma forma, ocurrió un aumento en la producción de la biomasa y en el secuestro de carbono, en torno de 135,38Tg de biomasa (32,81% del original), realizando así la fijación de 206,81Tg de carbono equivalente. Aun así, fue posible concluir que el bosque nativo es el mayor responsable por el almacenamiento de carbono en la cuenca, presentando ~93,53% del total de carbono almacenado en 2010. De esa forma, se observa que la vegetación de la cuenca está contribuyendo positivamente para la disminución de la concentración de CO₂ en la atmósfera, y consecuentemente los efectos negativos del calentamiento global.