

**APOIO À CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE DO MUNICÍPIO DE CURITIBA**

**Programa de avaliação e quantificação do potencial de absorção de carbono por  
florestas nativas em Curitiba**

**Relatório de Atividades**

**2011**

**Parceria:**

**SPVS - Sociedade de Pesquisa em Vida Selvagem e Educação Ambiental**

**Prefeitura Municipal de Curitiba / Secretaria Municipal do Meio Ambiente**

## 1. INTRODUÇÃO

Com as recentes abordagens retratando os problemas ocasionados pelo aquecimento global, cuja principal causa é intensificação de emissões de gases do efeito estufa (em especial o CO<sub>2</sub>, utilizado pelas plantas no processo fotossintético), houve um crescente interesse pela definição das quantidades de carbono contidas nas florestas naturais, consideradas importantes reservatórios desse elemento nos ecossistemas terrestres (UNFCCC, 2008; Campos, 2001, Pearson et al., 2005). Como o carbono tem relação direta com a biomassa das plantas, representando em média 40 a 50% da matéria orgânica total de uma floresta (Watzlawick et al., 2003), os trabalhos buscando estabelecer tanto as quantias de carbono acumulado como as taxas de assimilação desse elemento pelos diferentes sistemas naturais se intensificaram nos últimos anos, e vêm contribuindo de forma marcante na definição de estoques e dinâmica da matéria orgânica assimilada pelas diferentes formações vegetais no planeta.

A quantidade de carbono varia muito entre diferentes formações vegetais (situadas em zonas climáticas distintas ou não) e também dentro de uma única região fitoecológica (Brown et al., 1989, Houghton, 1994, DeWalt e Chave, 2004; Britez et al., 2006; Chave et al., 2008), sendo esse processo possivelmente mais eficiente em zonas mais úmidas, devido às condições favoráveis de balanço hídrico que otimizam o acúmulo de matéria orgânica (Brown et al, 1989). O incremento, por sua vez, varia entre as espécies e entre indivíduos de uma mesma espécie, e é produto da interação entre os aspectos genéticos e os vários fatores (climáticos, edáficos e antrópicos) a que a comunidade vegetal está sujeita, além dos aspectos ecológicos determinados pelas relações entre os organismos (Vanclay, 1994; Pizzatto, 1999; Castilho, 2004).

Estudos abordando quantificação de carbono estão mais concentrados em certas regiões, muito em função da dificuldade na obtenção de dados (Moreira-Burger & Delitti, 1999; Brown et al., 1989, Vieira et al., 2008). Dentre os meios para sua

averiguação, destacam-se os diretos, onde os indivíduos são submetidos à pesagem *in loco*, e os indiretos, onde a estimativa de carbono é baseada em regressões denominadas especificamente de equações alométricas, que buscam estabelecer a relação matemática entre algum parâmetro morfológico da planta (normalmente altura ou diâmetro) e seu peso seco. Embora o ideal seja a combinação desses dois métodos (como proposto por Brown et al., 1989), a maioria dos estudos se utiliza apenas de métodos indiretos, tendo em vista que a aplicação de amostragem destrutiva em ambientes florestais envolve dificuldades logísticas, financeiras e legais (Moreira-Burger & Delitti, 1999; Ponce-Hernandez et al., 2004, Vieira et al., 2008).

Em florestas naturais, e principalmente nos trópicos, onde a elevada riqueza de espécies, associada aos inúmeros condicionantes abióticos, resulta numa diversidade muito grande das situações ambientais (Holdridge, 1982), os cálculos de carbono acabam se tornando muito mais complexos. No Brasil, pesquisas relacionadas ao tema tomaram maior importância a partir dos projetos de longa duração desenvolvidos na Amazônia (Klinge & Rodrigues, 1973; McWilliam et al., 1993; Higushi et al., 1998; Araújo et al., 1999, Keller et al., 2001, Vieira et al., 2004, Barbosa & Ferreira, 2004; Silva, 2007). Das formações vegetais extra-amazônicas, os Cerrados já foram explorados por Castro e Kauffmann (1998), Abdala et al. (1998) e Salis et al. (2006). Nas regiões sudeste e sul do Brasil, estudos foram realizados por Clevelário et al. (1998), Tiepolo et al. (2002) Watzlawick et al. (2003), Rolim et al. (2005), Brites et al. (2006), Dias et al. (2006), Socher et al. (2008), Vieira et al. (2008), Medeiros (2009) e Borgo (2010), retratando diferentes formações vegetais.

Dentro do meio urbano, não há registro no Brasil de levantamentos dessa natureza. Nessa condição, os remanescentes florestais são essenciais na manutenção da qualidade de vida da população, pois é deles que depende uma série de serviços ambientais necessários à manutenção das cidades. O estudo de remanescentes florestais nesse ambiente normalmente restringe-se a levantamentos em curto prazo, dando uma perspectiva de estrutura e diversidade em um único momento. Pesquisas em médio e longo prazo, que retratem a dinâmica desses fragmentos ao longo do tempo são raras, e quando existem, estão limitadas a um único sítio amostral.

Dentro dessa perspectiva, o levantamento efetuado em 2008 e finalizado em 2009 nos maciços florestais em 14 parques da cidade de Curitiba (SPVS, 2009) já representa uma situação ímpar. Desses resultados, chegou-se às projeções de estoque de carbono em áreas naturais para o município, fato inédito no Brasil. Como perspectiva de se buscar o entendimento da dinâmica do incremento de carbono, novas medições foram planejadas em um intervalo de 2 anos, apresentadas nesse relatório.

Durante os trabalhos de levantamento de estoque de carbono em florestas naturais, percebeu-se que a presença de grandes araucárias em meio à vegetação arbórea acabava por aumentar de forma significativa as quantidades de carbono daqueles locais. Assim, percebendo a importância dessa espécie enquanto fonte de absorção de carbono, previu-se a estimativa de estoque de carbono contida nas araucárias incluídas na amostragem realizada em 2008 e a identificação dos indivíduos da espécie através de imagens de satélite, tentando-se verificar a possível relação entre o tamanho de copa e a biomassa das árvores.

Outro componente importante dentro das cidades que pode apresentar uma quantia significativa de carbono acumulado são as plantas utilizadas em arborização urbana. Tal conjunto representa um elemento paisagístico bastante marcante no ambiente urbano, e está associado não só ao prazer visual, mas também ao conforto e manutenção de qualidade de vida dentro das cidades. O conjunto vegetal encontrado em parques, praças e ao longo das vias de trânsito já foi denominado de “floresta urbana”, mas como floresta nos remete a uma área com cobertura vegetal predominantemente arbórea, formando camadas (tecnicamente denominadas de estratos), esse termo não deve ser utilizado.

Dentro das cidades é grande o contingente de árvores utilizadas na arborização, e que assim como qualquer outra planta, dentro do seu processo natural de sobrevivência, elas armazenam o carbono oriundo do processo fotossintético em suas estruturas (raízes, troncos, galhos e folhas), e contribuindo na absorção de gases do efeito estufa, tidos como os principais causadores das mudanças climáticas na atualidade. Assim, a estimativa do carbono acumulado por essas árvores é mais um

instrumento que pode auxiliar na definição de estratégias locais de ações contra o aquecimento global, juntamente com outras iniciativas desenvolvidas pelo município.

## **2. OBJETIVOS**

- quantificar o incremento de carbono em áreas nativas de Curitiba, submetidas à avaliação de estoque de carbono em 2008;
- avaliar os estoques de carbono contidos nos elementos de arborização urbana do município de Curitiba.
- verificar possíveis relações entre a biomassa de indivíduos de araucária e dados biométricos obtidos através de imagens de satélite

## **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **3.1. Equipe de trabalho**

- Coordenadora geral: Marília Borgo (Bióloga, Doutora em Engenharia Florestal - Conservação da Natureza / UFPR)
- Coordenadora de campo: Marise Pim Petean (Bióloga, Doutora em Engenharia Florestal - Conservação da Natureza / UFPR)
- Estagiários: Eduardo Damasceno Lozano e Lucas Menon de Oliveira (Graduandos em Biologia, PUC/PR).

### **3.2. Procedimento metodológico**

#### **3.2.1. Incremento de carbono em áreas nativas**

A estimativa do incremento periódico anual de carbono pelas florestas nativas de Curitiba foi baseada no aumento em biomassa (crescimento em diâmetro ou altura) dos indivíduos arbóreos constantes nas parcelas permanentes alocadas nos parques municipais, em um período de dois anos. Foram utilizados como estoques iniciais de carbono os valores obtidos em 2008, ocasião em que foram instaladas as 39 parcelas permanentes, em 15 unidades de conservação (UC) municipais (Anexo 1 e 2). Visando obtenção dos valores atualizados de biomassa, foram novamente mensurados os parâmetros utilizados nas estimativas da primeira medição entre dezembro de 2010 e janeiro de 2011.

Os procedimentos metodológicos seguiram as condições estabelecidas durante a 1ª medição (SPVS, 2009), seguindo premissas estabelecidas por MacDicken (1997), e Harmon & Sexton (1996), e são brevemente descritos a seguir.

Para a realização dos trabalhos de campo foram confeccionadas fichas contendo as informações obtidas em 2008 sobre cada parcela alocada (número de identificação; coordenadas do centro; correção do tamanho do raio para parcelas localizadas em áreas com declividades), sobre os indivíduos contidos nas mesmas (perímetro a altura do peito – PAP; número de identificação contido na plaqueta; a distância do centro), além de um campo para a atualização das medidas de PAP dos indivíduos.

O centro das unidades amostrais foi localizado em campo com auxílio de GPS e por meio de croquis confeccionados durante a sua instalação. Cada uma das parcelas foi subdividida com cordas em quatro quadrantes, conforme procedimento adotado anteriormente (Figura 1). Todas as árvores, palmeiras e xaxins marcados com plaqueta plástica numerada foram remeidos. As árvores com perímetro à altura do peito (PAP) maior ou igual a 15 cm não mensuradas anteriormente (por não apresentarem este porte na ocasião), foram inseridas na amostragem, e marcadas de acordo com os procedimentos estabelecidos na primeira medição (Figura 2).



Os dados referentes ao PAP atual, à distância de novos indivíduos ao centro da parcela, bem como a numeração das novas plaquetas afixadas foram registrados nas fichas de campo. Para as palmeiras e xaxins foi utilizado o mesmo critério de inclusão que para as árvores, ou seja, PAP igual ou superior a 15 cm, porém foram consideradas apenas as informações referentes à altura dos indivíduos, seguindo o procedimento adotado em 2008.

Durante a remedição dos indivíduos, os pregos que se encontravam totalmente inseridos nas árvores, por consequência de crescimento, foram substituídos por outros, inseridos apenas o mínimo necessário para a fixação da plaqueta, sem que houvesse o perigo de ela cair e de forma a não prejudicar o crescimento da árvore.

Além destas informações, também foram mantidos os procedimentos de medição de material vegetal morto caído sob as cordas que delimitam os quadrantes da parcela, bem como o PAP e altura das árvores mortas em pé. O critério de inclusão para os materiais vegetais mortos caídos no chão (troncos, galhos) foi o perímetro igual ou maior que 6,3 cm (o que equivale ao diâmetro igual ou maior que 2,0 cm). Para cada um destes materiais amostrados foram anotadas informações a respeito do estado de conservação da madeira, sendo:

- Densidade boa: material vegetal sem sinais de decomposição.
- Densidade média: material vegetal em categoria intermediária de decomposição.
- Densidade podre: material vegetal em elevado estado de decomposição.

Para as árvores mortas em pé, além da mensuração do PAP e da altura, foram atribuídos valores de referência relacionados à estrutura da árvore, a saber:

- “0” para as árvores mortas em pé que possuíam apenas o tronco;
- “1” para aquelas com tronco e galhos grossos;
- “2” para árvores com tronco, galhos grossos e galhos finos, e;
- “3” para as árvores mortas em pé que ainda possuíam tronco, galhos e folhas.

As categorias tanto dos materiais vegetais mortos caídos no chão, quanto das árvores mortas em pé foram utilizadas para o cálculo diferenciado da biomassa.

Após a nova mensuração das parcelas, os dados coletados foram transcritos para planilhas e submetidos a análises estatísticas. Para o cálculo da biomassa aérea foram aplicadas três diferentes equações baseadas em estudos realizados em florestas tropicais (**Tabela 1**), e para o cálculo da biomassa abaixo do solo (de raízes) foi aplicada a razão de 0,2 sobre o valor de biomassa aérea, seguindo estimativas mais conservadoras (Cairns *et al.*, 1997).

**Tabela 1** - Equações utilizadas na estimativa da biomassa vegetal aérea

<b>Categoria</b>	<b>Equação</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>Referências</b>
Árvores	$Y=21,297-6,953(DAP)+0,74(DAP^2)$	0,91	Brown, 1997
Palmeiras	$Y=0,3999+7.907*altura$	0,75	Tiepolo <i>et al.</i> ,2002
Xaxins	$Y=(1563,547*EXP(0,310478*altura))/1000$	0,93	Tiepolo <i>et al.</i> ,2002

A quantidade de carbono estimada em relação à biomassa foi de 45%, conforme estipulado anteriormente, visando obter valores mais conservadores, já que estudos gerais indicam percentuais entre 42 e 50% desse elemento químico em relação à biomassa total (Watzlawick *et al.*, 2003). Já a estimativa de CO<sub>2</sub> absorvido foi

feito multiplicando-se a quantidade de carbono obtido nas mensurações pela constante 3,66, ou seja: 1 t C acumulado = 3,66 t CO<sub>2</sub> absorvido.

O incremento anual de carbono foi calculado pela diferença do estoque de carbono contido nas florestas entre as segunda e primeira estimativas, dividido pelo período em anos entre as mesmas (dois).

No intuito de evitar a obtenção de valores super ou subestimados para o incremento de biomassa dos indivíduos mensurados e, conseqüentemente valores errôneos de incremento anual de carbono, foram adotados durante a realização dos cálculos, alguns procedimentos visando à correção de erros amostrais e metodológicos, conforme segue:

- Nos casos onde se constatou um acréscimo em diâmetro superior a 3 cm, padronizou-se como crescimento máximo este valor (3 cm); e em caso de decréscimo, os valores de incremento de biomassa foram considerados nulos, sendo para ambos os casos assumindo erro durante a medição;
- Para o incremento em carbono de novos indivíduos foi considerado o valor obtido na mensuração subtraído do valor obtido pela equação alométrica utilizando-se PAP=14,9 cm, que representa o PAP limite para a não inclusão dos indivíduos na primeira medição. Esse procedimento limita o incremento excessivo de carbono, uma vez que as árvores que entraram somente na 2ª medição já se encontravam dentro da floresta em 2008, e somente não foram incluídas por conta da definição do critério de inclusão;
- Para os indivíduos mensurados anteriormente, mas encontrados mortos durante a remedição, o valor para incremento em biomassa foi considerado nulo. Esses valores poderiam ser subtraídos, mas devido ao curto espaço de tempo entre as medições, essas árvores normalmente encontram-se sem drásticos sinais de alteração, e assim, mantendo a sua quantidade inicial de carbono.

### 3.2.2. Estoques de carbono da arborização urbana

A quantificação do estoque de carbono contido na arborização urbana de Curitiba foi estimada com base na biomassa de seus elementos, calculada a partir de dados fornecidos pelo Departamento de Geoprocessamento da Secretaria Municipal do Meio Ambiente de Curitiba. Foi disponibilizado um arquivo digital contendo a localização de 99.188 elementos da arborização, com suas respectivas informações sobre espécie, medidas de diâmetro e altura, dentre outras informações não relevantes ao cálculo de estoque de carbono (tais como as datas de medição, a equipe e o número do registro fotográfico).

O arquivo fornecido foi analisado com o intuito de verificar a existência de informações que poderiam resultar em valores errôneos de biomassa. Foi constatado que, entre os indivíduos mensurados, estão não somente árvores, palmeiras e xaxins, mas também arbustos, ervas e trepadeiras, considerando as características gerais encontradas na literatura sobre as espécies identificadas pelas equipes da Prefeitura. Todos os indivíduos não reconhecidos como arbóreos, bem como aqueles não identificados ao nível genérico e/ou específico, os mortos, e os indivíduos cujos valores de diâmetro são inexistentes foram desconsiderados nos cálculos.

As estimativas de biomassa acima do solo foram baseadas em equações alométricas (que utilizam parâmetros morfológicos como o diâmetro, a altura e a densidade específica de cada espécie) extraídas de estudos em florestas tropicais, aplicadas de acordo com as categorias morfológicas. Para tanto foram selecionadas três equações para os indivíduos arbóreos, uma para palmeiras e uma para xaxins (Tabela 2).

**Tabela 2** - Equações utilizadas na estimativa da biomassa vegetal aérea

Categoria	Equação	R <sup>2</sup>	Referências
Equação 1 (geral)	$Y = \exp [-2,289 + 2,649 \cdot \ln(\text{DAP}) - 0,021 \cdot (\ln \text{DAP})^2]$	0,97	Brown, 1997
Equação 2 (geral)	$Y = 21,297 - 6,953(\text{DAP}) + 0,74(\text{DAP}^2)$	0,91	Brown, 1997
Equação 3 (geral)	$Y = (\text{Dens. Espec.}) \cdot \exp(-1,499 + 2,148 \cdot \ln(\text{DAP}) + 0,207 \cdot (\ln(\text{DAP}))^2 - 0,0281 \cdot (\ln(\text{DAP}))^3)$	0,99	Chave <i>et al</i> , 2005

Palmeiras	$Y=0,3999+7.907*altura$	0,75	Brown <i>et al.</i> , 2000
Xaxins	$Y=(1563,547*EXP(0,310478*altura))/1000$	0,93	Tiepolo <i>et al.</i> , 2002

A seleção de três equações para o cálculo da biomassa área das árvores foi realizada considerando-se a existência de modelos matemáticos desenvolvidos com base em dados de diferentes regiões, e utilizando um conjunto de diferentes variáveis dendrométricas (como o DAP e a altura) e/ou estruturais (como a densidade específica da madeira). A densidade específica da madeira das espécies encontradas na arborização, dado necessário para a aplicação da equação desenvolvida por Chave *et al.*, (2005), foi obtida através de consulta a literatura, em diversas bases.

Há de se ressaltar que a condição de crescimento e acúmulo de carbono de árvores utilizadas em arborização urbana pode não corresponder à estrutura dos indivíduos em condições naturais, dentro de florestas nativas. No entanto, diante da inexistência de equações alométricas específicas e da impossibilidade de levantamentos por meio direto (amostragem destrutiva) desses elementos, optou-se pela seleção de equações desenvolvidas para florestas tropicais, considerando as características gerais da zona climática em que se encontra Curitiba.

Seguindo o padrão adotado nas medições de florestas nativas (item 3.2.1), foi utilizada uma proporção de 45% de carbono em relação à biomassa e 20% de carbono contido nas raízes em relação à biomassa acima do solo.

### **3.2.3. Estoque de carbono em indivíduos de araucária**

Para avaliar a representatividade de estoque de carbono das araucárias em relação às quantidades gerais obtidas na amostragem, todos os indivíduos da espécie foram identificados em cada parcela. A partir dessa identificação, foram efetuados os cálculos de biomassa específicos para a espécie e sua relação com a biomassa total encontrada. Tal procedimento foi feito utilizando-se a equação de Brown *et al.* (1997), contida na Tabela 2, uma vez que as equações específicas para a espécie requeriam

informações adicionais (distinção de galhos e altura, por exemplo), que não puderam ser aferidas durante esse estudo.

Com intuito de avaliar uma possível relação entre dados de diâmetro de copa (DC) e o carbono contido nas araucárias mensuradas, procedeu-se à análise de imagens disponibilizadas pelo Departamento de Geoprocessamento da SMMA. Apesar de não haver relação direta entre os dados dendrométricos necessários à aplicação de equações alométricas (diâmetro e altura, por exemplo), a análise dessas imagens foi efetuada buscando-se alternativas de cálculo indireto, através de equações matemáticas que relacionem um dos parâmetros dendrométricos usados em equações para o cálculo de biomassa aérea (como o diâmetro a altura do peito – DAP) a outro, mensurável em imagens (como o diâmetro da copa - DC).

Com auxílio do programa ArcView 9.3.1, foram identificadas as copas das araucárias contidas dentro das parcelas utilizadas nas medições de carbono, sendo então testadas duas formas de mensuração da copas:

- a) Estabelecimento de quatro categorias de raio para medição das copas das árvores: 5m, 7,5m, 10m e 12,5m.
- b) Mensuração dos diâmetros Norte-Sul e Leste-Oeste de cada copa.

Após essas duas categorizações, a equipe se deslocou ao campo, buscando avaliar a presença das árvores mapeadas em escritório e mensurar *in loco* o diâmetro de tronco e de copa desses indivíduos. Concomitante a isso, buscou-se identificar todas as copas de araucárias contidas nas unidades de conservação de Curitiba, sendo a delimitação dessas UCs fornecidas também pelo Depto. de Geoprocessamento da SMMA (Tabela 3).

**Tabela 3:** Unidades de conservação analisadas nas imagens de satélite (s/i – sem informação)

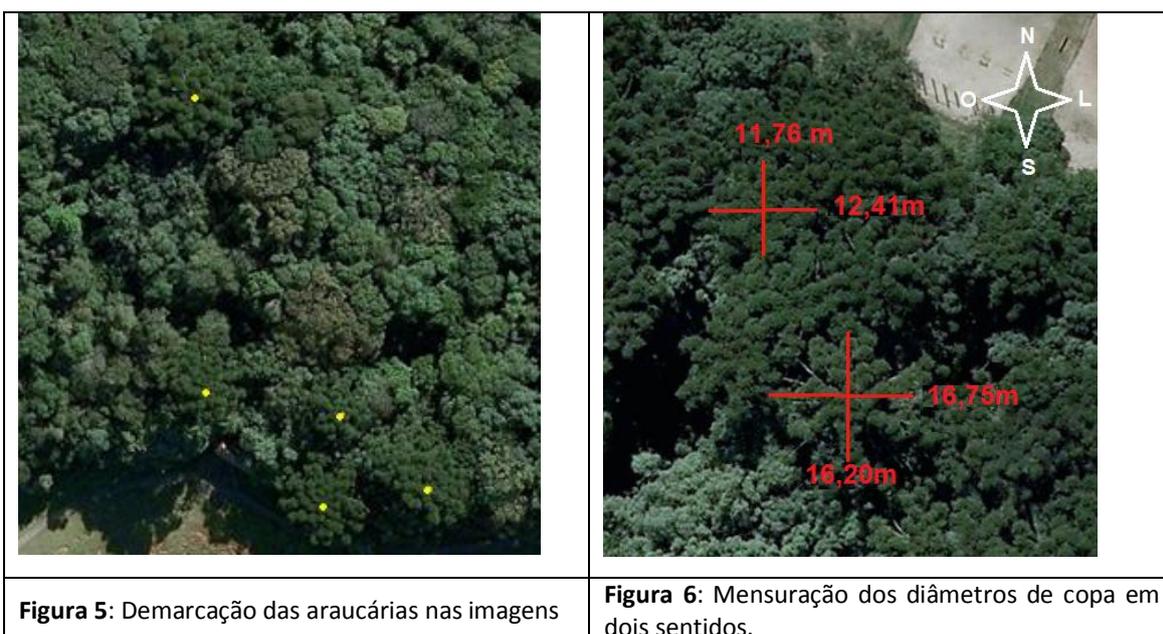
Unidade de conservação	Maciço florestal da UC (ha)
Bosque Alemão	2,35
Bosque Boa Vista	1,15

Unidade de conservação	Maciço florestal da UC (ha)
Bosque Capão da Imbuia	3,79
Bosque da Fazendinha	4,95
Bosque Diadema	3,69
Bosque do Pilarzinho	1,25
Bosque do Trabalhador	9,26
Bosque Gutierrez	2,34
Bosque Italiano	0,62
Bosque João Paulo II	4,15
Bosque Portugal	1,48
Bosque Reinhard Maack	9,00
Bosque São Nicolau	1,20
Bosque Vista Alegre	7,81
Bosque Zaninelli	2,69
Jardim Botânico	6,81
Parque Municipal do Barigui	57,68
Parque Municipal da Barrerinha	11,77
Parque Municipal das Pedreiras	4,71
Parque Municipal dos Tropeiros	6,11
Bosque General Iberê de Matos	2,87
Parque Municipal do Iguaçu	112,93
Parque Municipal Caiuá	s/i
Parque Municipal Nascentes do Belém	0,36
Parque Náutico	s/i
Parque Municipal do Passaúna	2,82
Parque Municipal São Lourenço	8,79
Parque Municipal Tanguá	7,59
Parque Municipal Tingui	10,98
Passeio Publico	4,92

A mensuração de diâmetros das copas, bem como o mapeamento de araucárias em imagens de satélite, só é possível porque a espécie possui características que facilitam sua identificação, como a forma geométrica bastante definida, tonalidade peculiar e posição sociológica dominante (Figuras 3 e 4).



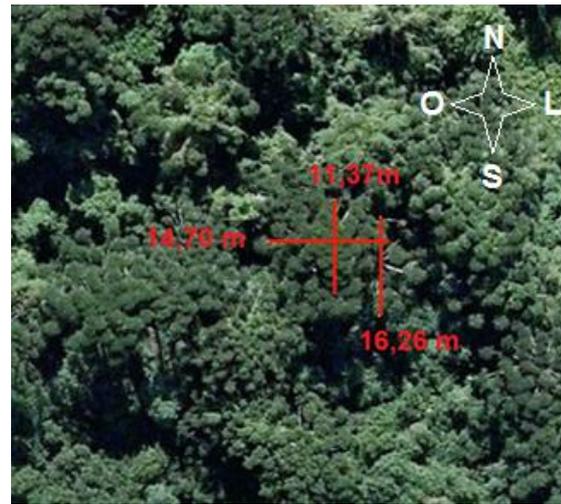
As imagens foram analisadas em escala 1:600, sendo as araucárias localizadas foram marcadas conforme a Figura 5, o diâmetro de suas copas foi então mensurado em dois sentidos: norte - sul e leste - oeste (Figuras 6), utilizando a ferramenta régua do ArcView 9.3.1, sendo considerado como diâmetro de copa (DC) a média entre os valores mensurados. Este procedimento foi adotado como padrão visando evitar medidas de diâmetros sub ou superestimados, principalmente no caso de copas irregulares (Figura 7).



Para os indivíduos onde não foi possível mensurar a copa nas duas direções, situação observada principalmente quando existe a sobreposição de copas na imagem (Figura 8), utilizou-se como medida de DC o valor mensurado em apenas um dos dois sentidos (norte - sul ou leste - oeste).

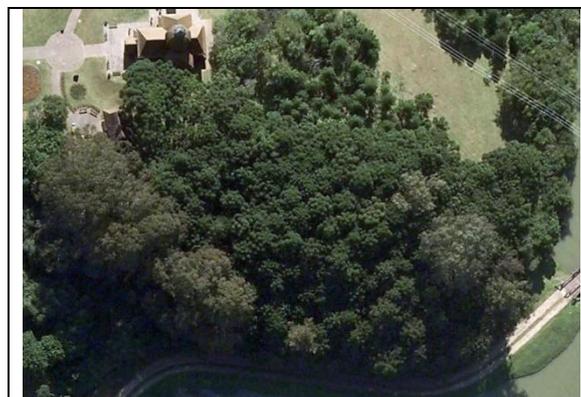


**Figura 7** Mensuração dos diâmetros em copas irregulares



**Figura 8** Mensuração dos diâmetros em apenas um sentido

Em alguns parques há grandes adensamentos de araucárias, situação que torna inviável a definição dos limites de copa. Nesse caso, tais indivíduos não foram incluídos nos resultados, considerando a impossibilidade de individualização e mensuração (Figura 9).



**Figura 9** Região com adensamento de indivíduos.

## SELEÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO PARA CALCULAR O DAP

Para quantificar o estoque de carbono contido nas araucárias das unidades de conservação (UC) municipais de Curitiba, selecionou-se uma equação matemática para calcular o DAP, utilizando os valores de DC das araucárias mensuradas e mapeadas em imagens de satélite. Estes valores foram então utilizados para calcular a biomassa contida nas araucárias, através de equações alométricas.

A seleção do modelo matemático usado para calcular os DAPs a partir dos valores de DCs mensurados nas imagens foi realizada com base em testes estatísticos realizados para demonstrar a equação mais eficiente, dentre quatro pré-selecionadas em literatura (Tabela 4).

Tabela 4: Equações utilizadas na estimativa do DAP a partir dos valores de DC obtidos através de imagens de satélite.

Equação	R <sup>2</sup>	Referências
$DAP=13,742+3,55DC$	0,77	Oliveira, 1982
$DAP= 24,715+1,142DC+0,117DC^2$	0,75	Oliveira, 1982
$DAP=((DC+12,564)/3,086)^2$	0,65	Nascimento et al, 2010
$DAP= -(DC+1,5577)/0,2135$	0,64	Nascimento et al, 2010

Os testes foram baseados na comparação entre os valores estimados (através das equações) e valores reais (mensurados em campo). Para tanto, optou-se pela coleta de dados no Jardim Botânico, UC de rápido acesso, com visitação controlada em suas áreas de vegetação, e onde a disposição das araucárias propicia identificação e localização facilitada, tanto nas imagens quanto em campo. Assim as araucárias desta UC foram mapeadas, mensuradas quanto ao diâmetro da copa, e receberam um número de identificação na imagem (Figura 10). Os indivíduos foram então localizados em campo e tiveram seus DAPs mensurados e anotados em fichas (Figura 11).



**Figura 10** Identificação das araucárias do Bosque do Jardim Botânico na imagem de satélite



**Figura 11:** mensuração dos indivíduos identificados

Os valores dos DAPs das araucárias do Jardim Botânico foram então calculados a partir das quatro equações pré-selecionadas (Tabela 4), e comparados aos valores reais, através do teste de T para dados emparelhados ( $\alpha = 0,05$ ), que avalia diferenças significativas entre suas médias (Triola, 2008). Desta forma optou-se pela equação que resultou em valores de DAP mais próximos aos valores mensurados em campo (considerados valores reais).

## ESTIMATIVA DOS ESTOQUES DE CARBONO

O estoque de carbono das araucárias UCs municipais foi obtido com o somatório da biomassa total dos indivíduos mapeados. Para esse cálculo foram utilizados os valores de DAP estimados a partir do diâmetro das copas mensurados nas imagens, aplicando-se a equação alométrica desenvolvida por Brown (1997), com a equação conforme segue:

$$\text{Biomassa aérea} = 21,297 - 6,953(\text{DAP}) + 0,74(\text{DAP}^2)$$

Para o cálculo da biomassa de raízes (abaixo do solo) foi aplicada a razão de 0,2 sobre o valor de biomassa aérea (Cairns et al., 1997). Como proporção de carbono em relação à biomassa total estimada foi considerada 45%, valor já utilizado nas demais análises de carbono elencadas nesse estudo.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Incremento de carbono em áreas nativas

O inventário atualizado do estoque de carbono resultou em uma quantidade média de 174,1 t C/ha, considerando os mesmos componentes avaliados em 2008, houve, portanto um incremento de 5,8 t C/ha em relação à estimativa anterior (Tabela 5), ou seja, um incremento médio anual de 2,9 t C/ha.

**Tabela 5** - Quantidade de carbono estimada por componente nas áreas mensuradas em 2008 e em 2010.

	Carbono em 2008 (t C.ha <sup>-1</sup> )	Carbono em 2010 (t C.ha <sup>-1</sup> )
Árvores (acima do solo)	130,03 (±51,7)	134,99 (±52,7)
Raízes	26,21 (±10,3)	27,00 (±10,5)
Árvores mortas caídas	6,10 (±10,0)	9,99 (±10,0)
Árvores mortas em pé	4,91(±6,7)	2,09 (±4,3)
Carbono total	168,25 (±60,9)	174,1 (±65,4)

Há de se considerar algumas variações importantes nas quantidades de carbono encontradas por componente, especialmente naqueles que representam material vegetal morto. Como a medição desses grupos não se pauta especificamente no material originalmente mensurado, situação definida pelo método selecionado, há possibilidade de grandes variações. Isso se intensifica se considerarmos a condição natural dos fragmentos, onde a interferência humana é bastante efetiva, considerando serem remanescentes sujeitos à intensa visitação.

Estes valores de incremento anual de carbono são pouco menores aos encontrado por Borgo (2010), em áreas Floresta Ombrófila Densa (Floresta Atlântica) em Antonina, a pouco mais de 60 km de Curitiba (em linha reta). No estudo, a autora analisou trechos de vegetação em diversos estágios de regeneração (desde trechos de vegetação secundária em estágio inicial até florestas maduras), e encontrou valores variando entre 3,1 t C/ ha (6,9 t biomassa /ha ano) e 6,7 t C/ ha ano (14,9 t biomassa

/ha ano). Esta discrepância reflete as diferenças estruturais existentes entre as florestas, situadas em tipologias vegetais e em contextos distintos, já que as áreas analisadas em Curitiba tratam-se de florestas isoladas em meio ao ambiente urbano, bastante heterogêneas, representadas por fragmentos não muito extensos, com formatos e histórico de regeneração/alteração bastante variados, altamente sujeitos aos efeitos de borda (variações bruscas na incidência de luminosidade, ventos, temperatura e umidade – Meffe & Carrol, 1994) e à interferência humana (já que são acessadas publicamente por trilhas e caminhos secundários).

Os valores obtidos representam a quantidade de carbono estimada a partir da remedição das 39 das parcelas permanentes alocadas em 15 UCs municipais, o que resultou num estoque de 42.854 t C nestas áreas. O acúmulo de carbono entre as medições foi de 1.440 t C, o que representa um incremento anual de 720 t C fixadas somente nestas UCs.

Extrapolando a estimativa para todos os maciços florestais do município que se inserem nas categorias “Mata nativa” e “Mata nativa com Araucária” de acordo com a classificação adotada pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SMMA), que segundo dados oficiais do Departamento de Geoprocessamento recobrem 6.554 ha do município, são fixados anualmente nestas áreas 19.007 t C (ou 69.565 t CO<sub>2</sub> equivalente). Esse volume fixado refere-se somente às categorias mensuradas em campo.

As formações vegetacionais não amostradas em 2008 (Mata secundária em regeneração/capoeira, Bracatingal e Mata Ciliar), não tiveram a sua dinâmica de incremento avaliada nesse estudo. Se consideradas todas as categorias de vegetação do município, que representam 7.266,8 ha de áreas naturais em Curitiba, de um patamar inicial de 1.159.593 t C em 2008, chegou-se ao total de 1.197.607 t C em 2010 (Tabela 6).

**Tabela 6:** Estoque de carbono em maciços florestais do município de Curitiba, de acordo com as classes estabelecidas pela SMMA (Miguez, 2001). Os valores de carbono para as duas primeiras categorias baseiam-se em dados de campo (SPVS, 2009 para os dados referentes a 2008 e este estudo para 2010); para mata secundária e bracatingal em Watzlawick *et al.* (2002) e para floresta aluvial em Brites *et al.* (2006).

Classe (SMMA)	Descrição	Área (ha)	Biomassa (t C/ha) 2008	Estoque de carbono (t C) 2008	Biomassa (t C/ha) 2010	Estoque de carbono (t C) 2010
Mata nativa com araucária	Áreas com grande densidade de araucária, independentemente do tipo de sub-bosque (explorado, inexistente ou fechado)	5.462,1	168,3	919.271	174,1	950.951
Mata nativa sem araucária	Vegetação nativa constituída de árvores de grande porte, podendo conter alguns exemplares de araucária, desde que não em abundância e frequência significativas	1.092,1	168,3	183.800	174,1	190.134
Mata secundária em regeneração (capoeira)	Vegetação de porte inferior (principalmente em altura), ao do tipo mata nativa. Pode conter, porém, algumas poucas árvores de grande porte e/ou araucárias	269,1	97,8	26.318	97,8	26.318
Bracatingal	Área com grande densidade de bracatinga	229,5	56,3	12.921	56,3	12.921
Mata ciliar	Áreas que circundam rios e fundos de vale	213,9	80,8	17.283	80,8	17.283
	Total	7.266,8		1.159.593		1.197.607

Essas quantidades podem sofrer modificações, uma vez que a SMMA está em constante aprimoramento dos valores de cobertura das classes de vegetação existentes nas áreas verdes do município, utilizando *softwares* mais precisos, e assim aperfeiçoando o mapeamento.

Outros fatores, entre eles o desenvolvimento da vegetação e as condições de alteração das áreas, também podem resultar em valores distintos em futuras estimativas, já que estudos indicam que a taxa de crescimento das árvores não apresenta comportamento linear ao longo do tempo, podendo elevar-se e então cair, como ocorre com qualquer organismo, sendo o crescimento descrito por uma curva sigmoide (Husch *et al* , 1982).

As outras classes de cobertura do solo, representadas pelas “Mata secundária em regeneração”, “Bracatingal” e “Mata ciliar”, de acordo com a classificação adotada pela SMMA, não foram incluídas nas estimativas de incremento anual de carbono por terem sido somente estimadas através de dados de literatura na 1ª medição. Essa condição se dá pelo fato de sua pouca extensa área de cobertura, se comparada às demais classes de formações vegetacional do município, que na ocasião implicou na impossibilidade de implantação de parcelas permanentes.

A adoção de procedimentos que evitem erros amostrais durante o processo de remedição pode resultar em valores mais precisos, considerando que durante estes trabalhos foram encontradas diversas situações que podem ter gerados erros, tais como:

- em áreas cuja visitação é intensiva, verificou-se a retirada de plaquetas de algumas árvores incluídas na 1ª medição. Essa condição pode resultar na troca das medidas entre indivíduos próximos e com DAPs semelhantes;
- ainda em áreas de visitação intensiva, comprovou-se a retirada dos canos que delimitam os centros das parcelas. Apesar da utilização de coordenadas geográficas de localização, a precisão de obtenção de dados por GPS usualmente traz atrelado um erro médio de 10m de distância, e isso pode ocasionar a inserção ou exclusão de novos indivíduos localizados próximos ao limite das parcelas (mas originalmente fora delas);

- mensuração de DAP do indivíduo arbóreo juntamente com lianas encontradas aderidas ao tronco (apesar de recomendada a mensuração sem a liana no protocolo de procedimentos em campo);
- mensuração de DAP sem observar a inclinação do terreno ou do indivíduo (em desacordo com o manual de procedimentos de campo), o que resulta na mensuração acima ou abaixo de 1,3 m;

#### 4.2. Estoques de carbono contidos na arborização urbana

Dentre os 99.188 indivíduos mensurados pela Prefeitura, 82.627 foram utilizados na composição do estoque de carbono contido na arborização urbana; os demais 16.561 indivíduos não foram utilizados por se tratarem de ervas, arbustos ou trepadeiras, ou ainda por não conterem informações indispensáveis para realização do cálculo a partir das equações alométricas selecionadas (DAP, altura ou identificação da espécie). Dos indivíduos analisados 80.401 são árvores, 2.203 palmeiras e 23 xaxins.

Os valores de estoque de carbono totais e por componente, calculado através das diferentes equações alométricas selecionadas estão na Tabela 7.

**Tabela 7** Quantidade de carbono estimada por componente de acordo com as diferentes equações utilizadas.

<b>Categoria</b>	Equação1	Equação 2	Equação 3
Árvores	35.095,26	22.985,16	39.546,65
Palmeiras*	61,47	61,47	61,47
Xaxins*	0,08	0,08	0,08
Raízes	7.031,36	4.609,33	7.921,63
<b>Total</b>	42.188,16	27.655,99	47.529,79

\* Para os cálculos de carbono de palmeiras e xaxins foi utilizada apenas uma equação para cada um destes componentes.

O menor valor encontrado para o estoque total de carbono da arborização urbana, 27.657 t C, foi obtido com a aplicação da equação 2, desenvolvida por Brown (1997) para regiões muito úmidas, com pluviosidades superior a 4.000 mm anuais.

Valor bem superior, 42.188 t C foi obtido pela aplicação da equação 1, também desenvolvida por Brown (1997), mas para vegetação florestal de zonas úmidas, com médias de precipitações entre 1.500 mm a 4.000 mm, situação mais compatível com a que ocorre no município de Curitiba, cuja precipitação média anual fica em torno de 1.500mm (IAPAR, 1994).

A aplicação da equação 3, desenvolvida por Chave et al (2005), resultou em valores próximos aos encontrados pela equação 1, embora pouco superiores (47.529 t C); esta equação foi obtida com base em modelos matemáticos a partir de dados de 27 áreas de florestas tropicais, em três continentes, e utilizando como um dos parâmetros de cálculo a densidade específica da madeira, que se correlaciona com inúmeras propriedades morfológicas, mecânicas, fisiológicas e ecológicas das árvores (Chave et al, 2006)

Embora os valores encontrados utilizando as equações 1 e 3 sejam semelhantes, neste estudo, considerou-se mais apropriado a utilização da equação 1 (Brown, 1997) por ser, dentre as três equações selecionadas, a que obteve dados coletados em região tropicais com índices pluviométricos mais semelhantes aos do município de Curitiba. Outro fator determinante foi o fato desta equação ter sido usada anteriormente para o cálculo dos estoques de carbono contido nas UCs do município (como verificado em SPVS, 2009 e no item 4.1 deste relatório), o que uniformiza os procedimentos metodológicos tanto para os cálculos dos estoques e dinâmica do carbono em remanescentes florestais, quanto na arborização urbana de ruas, praças e jardins do município.

No Brasil, estudos considerando os estoques de carbono da arborização urbana são inexistentes, mas trabalhos realizados no Canadá e nos Estados Unidos por Nowak (2010) indicam que os valores aqui encontrados são bastante elevados, (proporcionalmente ao número de indivíduos analisados) (Tabela 8). Obviamente, deve ser considerada, dentro dessas comparações, a diferença de zona climática entre os estudos – Curitiba está em transição entre zona tropical e subtropical, e os demais locais em regiões temperadas.

**Tabela 8** Quantidade de carbono estimada na arborização urbana em Curitiba e em diversos municípios reportados por Nowak (2010), com número de árvores analisadas, o valor total de

carbono obtido, o valor de carbono fixado anualmente pelos indivíduos, e a quantidade média de carbono estocada em cada indivíduo.

Localidade/País	Número	Carbono Total (t)	Fixação anual. (t C/ano)	Carbono (m/ind.)
Calgary, Canadá	11.889.000	403.697	19.414	0,03
Atlanta, EUA	9.415.000	1.219.257	42.093	0,13
Toronto, Canadá	7.542.000	899.928	36.560	0,12
New York, EUA	5.212.000	1.224.700	38.374	0,23
Chicago, EUA	3.585.000	649.544	22.861	0,18
Baltimore, EUA	2.627.000	541.589	14.696	0,21
Philadelphia, EUA	2.113.000	480.808	14.606	0,23
Washington, EUA	1.928.000	477.179	14.696	0,25
Boston, EUA	1.183.000	289.392	9.525	0,24
Woodbridge, EUA	986.000	145.150	5.044	0,15
Minneapolis, EUA	979.000	226.796	8.074	0,23
Syracuse, EUA	876.000	156.943	4.917	0,18
San Francisco, EUA	668.000	175.994	4.627	0,26
Morgantown, EUA	658.000	84.368	2.622	0,13
Moorestown, EUA	583.000	106.141	3.411	0,18
Jersey City, EUA	136.000	19.051	807	0,14
Freehold, EUA	48.000	18.144	494	0,38
Curitiba, Brasil*	99.188	42.188	NC	0,43

\*Este estudo.

Estes valores equivalem a em 154.408 t CO<sub>2</sub>, o que corresponde a um adicional de 4% em relação aos estoques encontrados nos maciços florestais das UCs do município.

Há de se ressaltar que apenas cerca de 1/3 das árvores da urbanização municipal foi inserida neste cálculo, uma vez que as demais ainda estão sendo mensuradas pelas equipes da Prefeitura. Uma vez concluídos essas mensurações, os valores tenderão a aumentar.

### 4.3. Estoque de carbono em indivíduos de araucária

A análise das imagens cedidas pela Prefeitura Municipal de Curitiba indicou a dificuldade de uma visualização mais detalhada, tendo-se em vista a pouca variação nas tonalidades e no contraste entre cores dos maciços florestais. Tal situação implicou em um trabalho mais demorado que o esperado.

## SELEÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO PARA CALCULAR O DAP

Durante a coleta de dados em campo no bosque do Jardim Botânico verificou-se que alguns indivíduos não podem ser identificados nas imagens de satélite, especialmente aqueles de pequeno porte ou com copa quebrada (Figura 12).

Desta forma, os resultados descritos acabam por representar a amostragem de araucárias de médio e grande porte, cujas copas estão posicionadas no dossel ou acima dele, ou ainda situadas em áreas não florestais, mas dentro dos limites das UCs (Figura 13).



Dentre as equações testadas, apenas uma não apontou diferenças significativas entre os valores estimados e os reais (Tabela 9), sendo então utilizada para estimar os valores de DAP.

**Tabela 9** Equações testadas para o cálculo do DAP a partir do DC, com seus respectivos valores de t calculado e crítico; em negrito a equação selecionada por não resultar em valores significativamente distintos dos mensurados em campo.

Equação	t calculado	t crítico ( $\alpha = 0,05$ )
$DAP = ((DC + 12,564) / 3,086)^2$	-2,5268	$\pm 2,0117$
<b><math>DAP = (DC + 1,5577) / 0,2135</math></b>	<b>-1,4584</b>	<b><math>\pm 2,0117</math></b>
$DAP = 13,742 + 3,55DC$	5,6071	$\pm 2,0117$
$DAP = 24,715 + 1,142DC + 0,117DC^2$	4,3267	$\pm 2,0117$

Esta estimativa pode ser considerada viável, uma vez que vários ensaios realizados sobre a relação do diâmetro do fuste e o diâmetro da copa mostram que existe uma alta correlação entre eles (Nascimento et al, 2010), embora a dispersão seja razoavelmente grande, resultado de altos valores para o erro padrão da estimativa (SPURR, 1960). Tal situação pode ser verificada nas estimativas realizadas a partir da equação selecionada, apresentando um erro padrão igual a 9,93.

## MAPEAMENTO E MENSURAÇÃO DOS INDIVÍDUOS

O mapeamento das Araucárias resultou na identificação de 2240 indivíduos distribuídos em 26 UCs municipais de Curitiba (Tabela 10) das 30 analisadas. Em quatro unidades de conservação - Parque Náutico, Bosque Portugal, Nascentes do Rio Belém e Caiuá - não foram encontrados representantes da espécie.

O maior número de araucárias mapeadas foi verificado no Parque Iguaçu (1036 indivíduos), seguido do Parque Barigui (400) e do Bosque Reinhard Maack (188). Nos Bosques Zaninelli e Gutierrez foi encontrada apenas uma araucária em cada.

**Tabela 10** Número de indivíduos mapeados por Unidade de Conservação Municipal

<b>Unidade de Conservação</b>	<b>Número de araucárias mapeadas</b>
Bosque Boa Vista	41
Bosque do Alemão	3
Bosque do Fazendinha	47
Bosque do Pilarzinho	9
Bosque do Trabalhador	90
Bosque Gutierrez	1
Bosque Italiano	6
Bosque João Paulo II	39
Bosque Portugal	0
Bosque Reinhard Maack	188
Bosque São Nicolau	40
Bosque Vista Alegre	14
Bosque Zaninelli	1
Capão da Imbuia	88
Jardim Botânico	48
Parque Barigui	400
Parque Barreirinha	72
Parque das Pedreiras	14
Parque Diadema	14
Parque dos Tropeiros	4
Parque Iberê de Matos	3

Parque Iguaçu	1036
Parque Municipal Caiuá	0
Parque Municipal Nascentes do Belém	0
Parque Náutico	0
Parque Passaúna	46
Parque São Lourenço	15
Parque Tanguá	9
Parque Tingui	5
Passeio Público	7

---

## ESTIMATIVA DA BIOMASSA E DOS ESTOQUES DE CARBONO

O estoque contido nas araucárias das UCs de Curitiba resultou em uma quantidade de 70.279,82. t C, valor que pode ser considerado representativo frente aos valores totais de carbono estimados para o município (1.197.607 t C), perfazendo 5,9% do montante atual estimado para as florestas das UCs do município, inseridas nas categorias “Mata nativa” e “Mata nativa com Araucária”. Estes valores são próximos aos encontrados por Nowak (2010) para toda a **arborização urbana** de Morgantown (84.368t C), cidade localizada no estado americano da Virgínia Ocidental.

Comparando esta análise e a realizada em 15 unidades UCs para estimar os estoques totais de carbono das áreas verdes de Curitiba, mas considerando apenas as 6 UCs que tiveram araucárias inseridas nas amostras (nas demais a espécie não foi contemplada), os valores de carbono encontrados para a espécie obtidos partir das imagens de satélite são muito superiores à amostragem com mensuração de DAP. Utilizando-se a análise de imagens chegou-se a 56.351 tC, para as 6 UCs, enquanto que na amostragem em campo foram estimados para estes indivíduos apenas 6.441 tC.

Assim, considerando a biomassa por hectare nas florestas onde a espécie está presente, substituindo os valores encontrados para a araucária por amostragem, pelos valores encontrados a partir da análise das imagens, estas florestas teriam estoques de carbonos de aproximadamente 377 t C/ha.

Estas estimativas, se extrapoladas para as áreas verdes de Curitiba, considerando as categorias de vegetação estabelecidas pela SMMA, o estoque de carbono atual das florestas do município chegaria a 2.305.540 tC, ou seja o dobro dos valores encontrados quando considerada apenas as estimativas baseadas na amostragem realizada nas 15 UCs do município (Tabela 11).

Cabe ressaltar que estes números tratam-se de estimativas, realizadas por métodos indiretos para a obtenção dos valores de estoque de carbono, e que o desenvolvimento de novos modelos matemáticos que relacionem os parâmetros analisados, bem como o desenvolvimento e aplicação de métodos diretos de mensuração, poderão resultar em valores mais precisos



**Tabela 11** Estoque de carbono em maciços florestais do município de Curitiba, de acordo com as classes estabelecidas pela SMMA (Miguez, 2001) Os valores para as duas primeiras categorias foram baseados nos valores obtidos na amostragem realizada em 15 Unidades de conservação ou considerando também os valores obtidos pela análise das araucárias em imagens de satélite; os para as categorias mata secundária e bracatingal em Watzlawick *et al.* (2002) e para a mata ciliar em Brites *et al* (2006)

Classe (SMMA)	Descrição	Área (ha)	Biomassa (t C/ha) (amostragem em campo)	Estoque de carbono	Biomassa (tC/ha) (mensuração de satélite)	Estoque de carbono
Mata nativa com araucária	Áreas com grande densidade de araucária, independentemente do tipo de sub-bosque (explorado, inexistente ou fechado)	5.462,1	174,1	950.951	376,94	2.058.884
Mata nativa sem araucária	Vegetação nativa constituída de árvores de grande porte, podendo conter alguns exemplares de araucária, desde que não em abundância e frequência significativas	1.092,1	174,1	190.134	174,1	190.134
Mata secundária em regeneração (capoeira)	Vegetação de porte inferior (principalmente em altura), ao do tipo mata nativa. Pode conter, porém, algumas poucas árvores de grande porte e/ou araucárias	269,1	97,8	26.318	97,8	26.318
Bracatingal	Área com grande densidade de bracatinga	229,5	56,3	12.921	56,3	12.921
Mata Ciliar	Áreas que circundam rios e fundos de vale	213,9	80,8	17.283	80,8	17.283
		7.266,8		1.197.607		2.305.540



---

## Sumário dos resultados

- A. Incremento de carbono em áreas nativas:** O inventário do estoque de carbono resultou em uma quantidade média de 174,1 t C/ha. Em relação à primeira medição (2008), houve um incremento de 2,9 t C/ha/ano. O estoque contido nas 15 UCs municipais amostradas representa um total de 42.854 t C, indicando um incremento anual de 720 t C fixadas somente nestas UCs. Extrapolando a estimativa para todos os maciços florestais do município que se inserem nas categorias “Mata nativa” e “Mata nativa com Araucária” (SMMA), que recobrem 6.554 ha do município, são fixados anualmente nestas áreas 19.007 t C.
- B. Estoques de carbono da arborização urbana:** Foi estabelecido um estoque total de 42.188 t C contido na arborização urbana, tendo-se em vista o universo amostral fornecido pela Prefeitura (99.188 indivíduos mensurados, 82.627 foram utilizados na avaliação da composição do estoque de carbono).
- C. Estoque de carbono em indivíduos de araucária:** foram mapeadas 2240 araucárias em 26 das 30 UCs municipais de Curitiba. A estimativa de carbono contido nessas araucárias resultou em 70.280 t C, que representa 5,9% do montante atual estimado para as florestas das UCs do município. Comparando estes valores e aqueles obtidos nas mensurações em campo (item A, supracitado), considerando-se a presença de araucárias visualizadas por imagens de satélite, poderia levar ao dobro dos estoques de carbono nos remanescentes naturais de Curitiba. Maiores esforços devem ser destinados à estruturação de afirmações a respeito desse item, com intensificação das avaliações em campo e em laboratório, mas sem dúvida, a presença de araucárias pode interferir de maneira positiva nos estoques de carbono em áreas naturais de Curitiba.



## BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ABDALA, G.C.; CALDAS, L.S.; HARIDASAN, M; EITEN, G. 1998. Aboveground and belowground organic matter and root:shoot ratio in a Cerrado in Central Brazil. *Brazil Journal of Ecology* 2 (1): 11-23.

BORGIO, M. 2010. *A Floresta Atlântica do litoral norte do Paraná, Brasil: aspectos florísticos, estruturais e estoque de biomassa ao longo do processo sucessional* Tese (Doutorado), Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 165p.

BRITEZ, R.M.; BORGIO, M. ; TIEPOLO, G. ; FERRETTI, A. R. ; CALMON, M. ; HIGA, R. 2006. *Estoque e incremento de carbono em florestas e povoamentos de espécies arbóreas com ênfase na Floresta Atlântica do sul do Brasil*. 1ed. Colombo: EMBRAPA. 165p.

BROWN, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer. *FAO Forestry Paper 134*, Rome, Italy.

BROWN, S.; BURNHAM, M.; DELANEY, M.; VACCA, R.; POWELL, M.; MORENO, A. 2000. Issues and challenges for forest-based carbon-offset projects: a case study of the Noel Kempff Climate Action Project in Bolivia. *Mitigat. Adapt. Strategies Global Change* 5: 99-121.

BROWN, S.; GILLESPIE, A.J.R.; LUGO, A.E. 1989. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. *Forest Science* 35:881-902.

CAIRNS, M.A.; BROWN, S.; HELMER, E.H.; BAUMGARDNER, G.A. 1997. Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia* 111: 1-11

CAMPOS, C. P. 2001. *A conservação das florestas no Brasil, mudança do clima e o mecanismo de desenvolvimento limpo no Protocolo de Quioto*. Dissertação (Mestrado) - Coordenação dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

CASTILHO, C.V. 2004. *Variação espacial e temporal da biomassa arbórea viva em 64 km<sup>2</sup> de floresta de terra-firme na Amazônia Central*. Tese (Doutorado). INPA/UFAM. 72p.

CASTRO, E.A.; KAUFFMANN, J.B. 1998. Ecosystem structure in the Brazilian Cerrado: a vegetation gradient of aboveground biomass, root biomass and consumption by fire. *Journal of Tropical Ecology* 14: 263-283.

CHAVE, J.; ANDALO, C.; BROWN, S.; CAIRS, M.A.; CHAMBERS, J.Q.; EAMUS, D.; FOLSTER, H.; FROMARD, F.; HIGUCHI, N.; KIRA, T.; LESCURE, J.P.; NELSON, B.W.; OGAWA, H.; PUIG, H.; RIÉRA, B.; YAMAKURA, T. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia* 145 (1): 87-99.

CHAVE, J.; CONDIT, R.; LAO, S.; CASPERSEN, J. P.; FOSTER, R. B.; HUBBELL, S. P. 2003. Spatial and temporal variation of biomass in a tropical forest: results from a large census plot in Panama. *Journal of Ecology* 91: 240–252.



- CHAVE, J.; OLIVIER, J.; BONGERS, F.; CHÂTELET, P.; FORGET, P.M.; MEER, P.; NORDEN, N.; RIÉRA, B.; CHARLES-DOMINIQUE, P. 2008. Above-ground biomass and productivity in a rain forest of eastern South America. *Journal of Tropical Ecology* 24: 355–366.
- CLEVELÁRIO JR., J.; BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; SANTOS, A.L.; COSTA, L.M. 1998. *Biomassa e balanço de nutrientes na bacia Rio Cachoeira, Floresta da Tijuca, Rio de Janeiro*. In: Anais do IV Simpósio de Ecossistemas Brasileiros, v.II (praia, represa e mata). p.126-134.
- DELITTI, W.B.C.; BURGER, D.M. 1998. Atlantic forests biomass estimates, Brazil. In: The Earth's Changing land GCT-LUCC open Science Conference on Global Change. *Abstracts*. Barcelona.
- DEWALT, S. J.; CHAVE, J. 2004. Structure and biomass of four Neotropical forests. *Biotropica* 36: 7-19.
- HARMON, M.E.; SEXTON, J. 1996. *Guidelines for measurements of woody detritus in forest ecosystems*. Seattle: U.S. LTER Network Office, University of Washington. 73p.
- HOLDRIDGE, L.R. 1982. *Ecología basada em zonas de vida*. San José: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 216p.
- HOUGHTON, R.A. 1994. The worldwide extent of land-use change. *BioScience* 44: 305–313.
- HUSCH, B.; MILLER, C.I.; BEER, T.W. 1982. *Forest mensuration*. 3.ed. New York: J. Wiley & Sons. 402pp.
- IAPAR-INSTITUTO AGRONÔMICO DO ESTADO DO PARANÁ. *Cartas climáticas do Estado do Paraná 1994*. Londrina, IAPAR, 1994. 49 p. ilustr. (IAPAR, Documento, 18).
- MACDICKEN, K. 1997. *A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects*. Arlington: Winrock International Institute for Agricultural Development. 87p.
- MEDEIROS, M.C.M.P. 2009. *Caracterização fitofisionômica e estrutural de áreas de Floresta Ombrófila Densa Montana no Parque Estadual da Serra do Mar, SP, Brasil*. Dissertação (Mestrado). Instituto de Botânica, Secretaria do Meio Ambiente, São Paulo.
- MEFFE, G.K. & CARROLL, C.R. 1994. *Principles of conservation biology*. Sinauer, Sunderland.
- MOREIRA-BURGER, D.; DELITTI, W.B.C. 1999. Biomassa exígia da mata ciliar Rio Mogi-Guaçu, Itapira - SP. *Revista Brasileira de Botânica* 22 (3):429-435.
- NOWAK, DAVID J.; HOEHN, ROBERT E. III; CRANE, DANIEL E.; STEVENS, JACK C.; FISHER, CHERIE LEBLANC. 2010. Assessing urban forest effects and values, Chicago's urban forest. *Resour. Bull. NRS-37*. Newtown Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station. 27 p.
- ROLIM S. G.; JESUS R. M.; NASCIMENTO H. E. M; COUTO H. T. Z.; CHAMBERS J. Q. 2005. Biomass change in an Atlantic tropical moist forest: the ENSO effect in permanent sample plots over a 22-year period. *Oecologia* 142 (2): 238-246.
- SOCHER, L. G.; RODERJAN, C. V.; GALVÃO, F. 2008. Biomassa aérea de uma Floresta Ombrófila Mista Aluvial no município de Araucária (PR). *Floresta* 38 (2): 245-252.
- SPVS (Sociedade de Pesquisa em Vida Selvagem e Educação Ambiental). 2004. *Manual de procedimentos padrões de operações para o monitoramento de carbono do projeto piloto de*



restauração em Antonina, Reserva Natural Morro da Mina - PPRA/PPO. Documento interno. SPVS

TIEPOLO, G.; CALMON, M.; FERETTI, A.R. 2002. Measuring and monitoring carbon stocks at the Guaraqueçaba Climate Action Project, Paraná, Brazil. *In: International Symposium on Forest Carbon Sequestration and Monitoring. Extension Serie Taiwan Forestry Research Institute 153: 98-115*

UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). 2008. *Land Use, Land-Use Change and Forestry (LULUCF)*. Disponível em: <[http://unfccc.int/methods\\_and\\_science/lulucf/items/1084.php](http://unfccc.int/methods_and_science/lulucf/items/1084.php)>. Acesso em: 27/08/2008

VANCLAY, J.K. 1994. *Modeling forest growth and yield: applications to mixed tropical Forests*. Guilford: Biddles Ltd. 312p.

VIEIRA, S.A.; ALVES, L.F.; AIDAR, M.P.M.; ARAÚJO, L.S.; BAKER, T.; BATISTA, J.L.F.; CAMPOS, M.C.R.; CAMARGO, P.B.; CHAVE, J.; DELITTI, W.B.; HIGUCHI, N.; HONÓRIO, E.; JOLY, C.A.; KELLER, M.; MARTINELLI, L.A.; DE MATTOS, E.A.; METZKER, T.; PHILLIPS, O.; SANTOS, F.A.M.; SHIMABUKURO, M.T.; SILVEIRA, M.; TRUMBORE, S.E. 2008. Estimation of biomass and carbon stocks: the case of the Atlantic Forest. *Biota Neotropica 8 (2)*: <http://www.biotaneotropica.org.br/v8n2/en/abstract?point-of-view+bn00108022008>.

WATZLAWICK, L.F.; SANQUETTA, C.R.; ARCE, J.E.; BALBINOT, R. 2003. Quantificação de biomassa total e carbono orgânico em povoamentos de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze no sul do estado do Paraná, Brasil. *Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais 1 (2)*: 63-68.



## Anexo 1

Parcelas georreferenciadas, instaladas em unidades de conservação do município de Curitiba – PR.

<b>Unidade de Conservação</b>	<b>Código</b>	<b>Coordenada UTM (22J)</b>
Bosque Alemão	Alemão M-01	0672345 7189151
Bosque da Fazendinha	Fazen M-01	0668608 7181414
	Fazen M-02	0668694 7181398
Bosque do Capão da Imbuia	Capão M-01	0678987 7185610
	Capão M-02	0679179 7185651
Bosque do Jardim Botânico	J.Bot. M-01	0677247 7184961
	J.Bot. M-02	0677288 7184946
	J.Bot. M-03	0677318 7184977
	J.Bot. M-04	0677316 7184896
Bosque Gal. Iberê de Matos	Bacacheri M-01	0677884 7190913
Bosque Gutierrez	Gutierrez M-01	0672169 7188318
Bosque João Paulo II	J. Paulo M-01	0674108 7188589
	J. Paulo M-02	0674108 7188664
Bosque Reinhard Maack	Maack M-01	0674780 7179615
	Maack M-02	0674710 7179669
	Maack M-03	0674761 7179701
	Maack M-04	0674827 7179763
Parque Municipal da Barreirinha	Barre M-01	0675246 7193953
	Barre M-02	0675335 7193910
	Barre M-03	0675211 7194029
Parque Municipal do Barigui	Barig M-01	0670446 7187869
	Barig M-02	0670459 7187839
	Barig M-03	0670470 7187828
	Barig M-04	0670527 7187846
	Barig M-05	0670519 7187901
	Barig M-06	0670566 7187638
	Barig M-07	0670564 7187639
Parque Municipal do Passaúna	Passauna M-01	0663013 7181388



<b>Unidade de Conservação</b>	<b>Código</b>	<b>Coordenada UTM (22J)</b>
Parque Municipal dos Tropeiros	Tropeiros M-01	0665558 7179284
Parque Municipal Tanguá	Tanguá M-01	0672793 7192207
Parque Municipal Tingui	Tingui M-01	0670560 7189750
Parque Mun. Zoológico Iguazu	Zoo M-01	0677327 7172323
	Zoo M-02	0677303 7172287
	Zoo M-03	0677271 7172265
	Zoo M-04	0677276 7172148
	Zoo M-05	0677353 7172169
	Zoo M-06	0677387 7172199
	Zoo M-07	0677403 7172193
	Zoo M-08	0677391 7172171



## Anexo 2 – Localização aproximada das unidades amostrais

(exceto Parque Mun. Zoológico Iguçu)



Bosque Alemão.



Bosque da Fazendinha



Bosque do Capão da Imbuia.



Bosque do Jardim Botânico.



Bosque Gal. Iberê de Matos.



Bosque João Paulo II.



Bosque Reinhard Maack.



Bosque da Barreirinha



Parque Barigui



Parque do Passaúna.



Parque dos Tropeiros.



Parque Tanguá



Parque Tingui.