

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
CENTRO DE ENERGIA NUCLEAR NA AGRICULTURA

LUÍS RICARDO RAMALHO DE OLIVEIRA

**Deposição atmosférica de elementos-chave, através de chuva, em floresta  
ombrófila densa no parque estadual da serra do mar**

Piracicaba  
2007

LUIS RICARDO RAMALHO DE OLIVEIRA

**Deposição atmosférica de elementos-chave, através de chuva, em floresta ombrófila  
densa no parque estadual da serra do mar**

Dissertação apresentada ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura, da Universidade de São Paulo, para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Área de Concentração: Química na Agricultura e no Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Plínio Barbosa de Camargo

Piracicaba  
2007

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
**Seção Técnica de Biblioteca - CENA/USP**

Oliveira, Luís Ricardo Ramalho de

Deposição atmosférica de elementos-chave, através de chuva, em floresta ombrófila densa no parque estadual da serra do mar/  
Luís Ricardo Ramalho de Oliveira; orientador Plínio Barbosa de Camargo. - - Piracicaba, 2007.

57 f. : fig.

Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ciências. Área de Concentração: Química na Agricultura e no Ambiente) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo.

1. Áreas de conservação 2. Carbono 3. Chuva ácida 4. Mata Atlântica  
5. Nitrogênio 6. Poluição atmosférica 7. Química ambiental I. Título

CDU 502:550.47

***Ofereço***

*Ao meu pai, Luiz Carlos, e ao meu irmão, Gustavo,  
pelo companheirismo, confiança e, sobretudo,  
pela amizade*

*À Patricia Wyler,  
por acreditar nas minhas idéias,  
por compartilhar planos e sonhos e,  
sobretudo, pela aliança que formamos.*

***Dedico***

*À minha mãe, Tânia Regina,  
por ter me demonstrado o amor pelo conhecimento.*



## **Agradecimentos**

Ao Prof. Dr. Plínio Barbosa de Camargo, pela oportunidade, por propiciar as condições necessárias para a realização deste trabalho, pelo comprometimento com o resultado e por ter compreendido e respeitado minhas decisões.

À Profª. Dra. Luciene de Barros Lorandi Silveira Lara, pelas idéias e sugestões e pela co-orientação na condução deste trabalho.

À Fabiana Fracassi e Amanda Calil, pela enorme auxílio que me prestaram, pois, sem elas, esse trabalho não seria impossível.

Aos amigos Jadson, Sérgio, Marcos, Edmar, Carlos, Carolina, Vânia, Juliano, Eduardo, Yoko, Michela, José Mauro, Marco, Tatiana, Fátima e Janaina pelo companheirismo e convivência.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” pela graduação em Engenharia Florestal e Licenciatura em Ciências Agrárias e, principalmente, ao CENA, pela oportunidade de mestrado e por oferecer excelente ambiente de trabalho.

À APG – CENA e aos colegas das gestões 2004/2005 e 2005/2006 pelo trabalho que juntos realizamos e pelas boas horas de lazer.

À república Mata Burro, por ter se tornado meu eterno lar em Piracicaba, assim como à todos os seus moradores e ex-moradores pela irmandade e convivência. À Dona Duda, por ter me aceitado, em seu bondoso coração, com verdadeiro filho.

Ao CNPQ, pela bolsa de estudos.

À administração do Parque Estadual da Serra do mar, em especial ao pessoal dos núcleos Picinguaba e Santa Virgínia.

Ao projeto temático Gradiente Funcional “Composição florística, estrutura e funcionamento da floresta ombrófila densa dos núcleos Picinguaba e Santa Virgínia do Parque Estadual da Serra do Mar” e ao programa Biota/FAPESP.

*Esta terra, Senhor, parece-me que, [...], será tamanha que haverá nela bem vinte ou vinte e cinco léguas de costa. Traz ao longo do mar em algumas partes grandes barreiras, umas vermelhas, e outras brancas; e a terra de cima toda chã e muito cheia de grandes arvoredos. De ponta a ponta é toda praia... muito chã e muito formosa. Pelo sertão nos pareceu, vista do mar, muito grande; porque a estender olhos, não podíamos ver senão terra e arvoredos [...].*

Pero Vaz de Caminha, no ano de 1.500, em carta ao rei D. Manuel.

A primeira impressão documentada do homem europeu sobre o bioma Mata Atlântica.

## RESUMO

OLIVEIRA, L. R. R. **Deposição atmosférica de elementos-chave, através de chuva, em floresta ombrófila densa no parque estadual da serra do mar.** 2007. 57 f. Dissertação (Mestrado) Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

Devido a sua grande amplitude altitudinal, o Parque Estadual da Serra do Mar – PESM – abriga fisionomias variadas da Floresta Ombrófila Densa, essas fisionomias se distribuem ao longo das cotas de níveis de maneira padronizada. Este trabalho busca avaliar a contribuição da deposição úmida, através de chuva, na distribuição dessas fisionomias. Para viabilizar o estudo nas diferentes altitudes foram escolhidos dois dos núcleos administrativos do PESM: o núcleo Picinguaba, o único entre eles a atingir o nível do mar, e o núcleo Santa Virgínia, que contempla as cotas mais altas de altitude e, conseqüentemente, as formações florestais a elas relacionadas. Observou-se em Picinguaba uma maior taxa de deposição de nitrogênio e carbono. A condutividade elétrica da água da chuva também foi maior em Picinguaba, evidenciando que outros elementos, como cloro, sódio, magnésio, entre outros, também são depositados em maiores taxas em Picinguaba. Assim, a variação nas fisionomias florestais ao longo do gradiente de altitude da serra do mar pode estar, em parte, associada às diferentes taxas de deposição atmosférica.

Palavras-chave: Deposição atmosférica, Mata Atlântica, Serra do Mar

## ABSTRACT

OLIVEIRA, L. R. R. **Atmospheric deposition of key-elements through rain in dense ombrophylous forest in the Serra do Mar State Park.** 2007. 57 f. Dissertation (Master's degree). Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

Due its altitudinal amplitude, the Serra do Mar State Park (PESM), shelters a variety of physiognomies of the Dense Ombrophylous Forest, such physiognomies are distributed along the level quota in a standard way. This work aims to evaluate the contribution of the moist deposition through the rain, in the distribution of these physiognomies. In order do make the study in different altitudes possible, two PESM administrative nucleus were chosen: the Picinguaba nucleus, the only one among these ones that reaches the sea level, and the Santa Virginia nucleus which contemplates the highest quotas of altitude and consequentially, the forest formations related to them. It was observed in Picinguaba a lower rate of nitrogen and carbon deposition. The electrical conductivity of the rain water was higher in Picinguaba, putting into evidence that other elements, such as chlorine, sodium, magnesium, and others are also deposited in higher rates in Picinguaba. Thus, the variation in the forest physiognomies along the altitudinal gradient of Serra do Mar could be, in part, related to the different rates of the atmospheric deposition.

Key-words: Atmospheric deposition, Atlantic Forest, Serra do Mar

## LISTA DE FIGURAS E TABELAS

Figura 1	Precipitação média anual dos municípios de Ubatuba (núcleo Picinguaba) e São Luiz do Paraitinga (núcleo Santa Virgínia).....	29
Figura 2	Gradiente altitudinal entre o núcleo Picinguaba – ao nível do mar – e o núcleo Santa Virgínia – no Planalto Atlântico.....	32
Figura 3	Posição dos núcleos Santa Virgínia e Picinguaba em relação as principais áreas metropolitanas vizinhas no estado de São Paulo: Região do Vale do Paraíba, Região Metropolitana da Grande São Paulo e Região Metropolitana da Baixada Santista.....	32
Figura 4	Precipitação mensal acumulada nos núcleos Picinguaba e Santa Virgínia.....	37
Figura 5	Condutividade versus precipitação em Picinguaba.....	38
Figura 6	Condutividade versus precipitação em Santa Virgínia.....	38
Figura 7	Concentração do íon $H^+$ versus precipitação em Picinguaba.....	39
Figura 8	Concentração do íon $H^+$ versus precipitação em Santa Virgínia.....	39
Figura 9	Concentração de DIC versus precipitação em Picinguaba.....	39
Figura 10	Concentração de DIC versus precipitação em Santa Virgínia.....	39
Figura 11	Concentração de DOC versus precipitação em Picinguaba.....	39
Figura 12	Concentração de DOC versus precipitação em Santa Virgínia.....	39
Figura 13	Concentração de TN versus precipitação em Picinguaba.....	40
Figura 14	Concentração de TN versus precipitação em Santa Virgínia.....	40
Tabela 1	Médias ponderada de volume (VWM), valores mínimos e máximos das variáveis analisadas na água de chuva.....	41
Tabela 2	Média ponderada de volume, dividida entre período seco e úmido, das variáveis analisadas na água de chuva.....	42
Tabela 3	Comparação dos valores de pH e concentração (VWM) de DIC e DOC em diferentes regiões do estado de São Paulo.....	44
Tabela 4	Deposição média de C e N, através de chuva, nos núcleos Picinguaba e Santa Virgínia.....	45

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SIMBOLOS

Ca – Cálcio, elemento químico de número atômico 20

CENA – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, USP

Cl – Cloro, elemento químico de número atômico 17

CO<sub>2</sub> – Dióxido de carbono, gás carbônico

DIC – Carbono inorgânico dissolvido, do inglês “Dissolved Inorganic Carbon”

DOC – Carbono orgânico dissolvido, do inglês “Dissolved Organic Carbons”

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FAPESP – Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo

FIA – Sistema de injeção de fluxo, do inglês “Flow Injection Analyses”

GLM – Modelo linear generalizado, do inglês “General Linear Model”

HgCl<sub>2</sub> – Cloreto de mercúrio

HNO<sub>3</sub> – Ácido nítrico

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

K – Potássio, elemento químico de número atômico 19

Mg – Magnésio, elemento químico de número atômico 12

N – Nitrogênio, elemento químico de número atômico 7

NCN – Núcleo de Condensação de Nuvens

NH<sub>3</sub> – Amônia

NO<sub>2</sub> – Óxido nítrico

Na – Sódio, elemento químico de número atômico 11

O<sub>2</sub> – Oxigênio molecular, oxigênio

ONG – Organização Não Governamental

ONU – Organização das Nações Unidas

P – Fósforo, elemento químico de número atômico 15

PESM – Parque Estadual da Serra do Mar

RMBS – Região Metropolitana da Baixada Santista

S – Enxofre, elemento químico de número atômico 16

SO<sub>2</sub> – Dióxido de enxofre

TN – Nitrogênio total, do inglês “Total Nitrogen”

UNESCO – Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

USP – Universidade de São Paulo

VWM – média ponderado de volume, do inglês “Volume Weighted Mean”

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>17</b>
<b>2 JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>25</b>
<b>3 OBJETIVO.....</b>	<b>27</b>
<b>4 ÁREAS DE ESTUDO.....</b>	<b>29</b>
<b>4.1 Núcleo Santa Virginia.....</b>	<b>29</b>
<b>4.2 Núcleo Picinguaba.....</b>	<b>30</b>
<b>5 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>33</b>
<b>5.1 Amostragem.....</b>	<b>33</b>
<b>5.2 Análise Físico-Química das Amostras.....</b>	<b>34</b>
<b>5.3 Análise Estatística dos Resultados.....</b>	<b>35</b>
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>37</b>
<b>6.1 Pluviometria.....</b>	<b>37</b>
<b>6.2 Análise das amostras.....</b>	<b>38</b>
<b>6.3 Deposição média anual de C e N.....</b>	<b>44</b>
<b>7 CONCLUSÃO.....</b>	<b>47</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>49</b>
<b>APÊNDICE A.....</b>	<b>55</b>
<b>APÊNDICE B.....</b>	<b>56</b>
<b>APÊNDICE C.....</b>	<b>57</b>





## 1 INTRODUÇÃO

O bioma denominado Mata Atlântica já se estendeu quase que continuamente desde o estado do Rio Grande do Norte até o estado do Rio Grande do Sul, ocupando uma área estimada de 1.200.000 km<sup>2</sup> e agregando uma série única de ecossistemas de florestas tropicais, além de uma grande riqueza de espécies e endemismos. A região de domínio da Mata Atlântica foi a primeira a ser colonizada no Brasil e, atualmente, abriga cerca de 60% da população brasileira e os principais centros agroindustriais do país. Devido a esse histórico de colonização hoje restam somente cerca de 99.966 km<sup>2</sup> da Mata Atlântica, aproximadamente 8,1%, distribuídos em fragmentos com tamanhos e estados de conservação muito variados (CONSERVATION INTERNATIONAL, 2005). Segundo Garlindo-Leal e Câmara (2005), “a Mata Atlântica é, provavelmente, o ecossistema mais ameaçado do planeta”. O apêndice A<sup>1</sup> ilustra o domínio original da Mata Atlântica e seus atuais remanescentes.

A preservação da Mata Atlântica tem sua importância reconhecida nacional e internacionalmente por diversas instituições, entre elas a ONG Conservation International, que classifica a Mata Atlântica como um dos cinco principais *hotspots* do mundo. Os *hotspots* são regiões do globo prioritárias para a conservação, ao todo são 25 *hotspots*, áreas que já perderam pelo menos 70% de sua cobertura vegetal original, mas que juntas abrigam mais de 60% de todas as espécies terrestres (GARLINDO-LEAL; CÂMARA, 2005). A ONU reconhece algumas regiões da Mata Atlântica como Patrimônio Mundial e a UNESCO reconhece nesse bioma alguns Sítios Naturais do Patrimônio Mundial e a Reserva da Biosfera da Mata Atlântica. Por sua vez, a constituição brasileira de 1988 considera a Mata Atlântica como Patrimônio Nacional.

---

<sup>1</sup> Apêndice A - Domínio original do bioma Mata Atlântica e seus atuais remanescentes.

O estado de São Paulo tem um papel crucial na preservação desse bioma uma vez que possui grande parte dos remanescentes contínuos em seu território, totalizando cerca de 29.960 km<sup>2</sup> (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INPE, 2002). Protegidos por lei, grande parte destes remanescentes (apêndice B<sup>2</sup>) localizam-se no interior de parques estaduais, estações ecológicas e estações experimentais que abrangem mais de 3% do território paulista administrados pela Secretaria de Meio Ambiente do Estado (SÃO PAULO, 1998a).

A região da Serra do Mar, totalmente inserida no Bioma Mata Atlântica, devido a sua topografia, foi poupada pela atividade agrícola e pelo desenvolvimento das cidades, o que garantiu sua integridade até a criação do Parque Estadual da Serra do Mar – PESM – em 1977.

Ao estabelecer prioridades de conservação para a Mata Atlântica ao longo da última década, os conservacionistas identificaram dois macro-corredores de biodiversidade: o Central e o da Serra do Mar. Este último é uma das áreas mais ricas em biodiversidade da Mata Atlântica e também uma das mais protegidas, devido ao grande número de unidades de conservação em seu interior, dentre as quais o PESM (AGUIAR *et al.*, 2005). Além disso, a grande barreira formada pelo relevo serrano faz com que o PESM detenha a maior parte das nascentes dos rios que deságuam no Oceano Atlântico, responsáveis pelo abastecimento de água das populações litorâneas. O Parque Estadual da Serra do Mar é a maior unidade de conservação paulista, seus 3.154 km<sup>2</sup> englobam escarpas e promontórios, porções do planalto atlântico e segmentos de planícies costeiras. Dada sua grande extensão, o PESM é convenientemente dividido em núcleos administrativos (SÃO PAULO, 1998b).

---

<sup>2</sup> Apêndice B - Domínio original do bioma Mata Atlântica em São Paulo e seus atuais remanescentes.

Devida a sua grande amplitude altitudinal o PESH abriga fisionomias variadas da Floresta Ombrófila Densa. Segundo Veloso, Rangel Filho e Lima (1991) elas são divididas da seguinte maneira:

- a) Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas – 5 a 50 m de altitude ainda sobre solo de restinga;
- b) Floresta Ombrófila Densa Submontana – no sopé da Serra do Mar, com cotas de altitude variando entre 50 e 500 m;
- c) Floresta Ombrófila Densa Montana – recobrimdo a encosta da Serra do Mar propriamente dita, em altitudes que variam de 500 a 1.500 m;
- d) Floresta Ombrófila Densa Altimontana – ocorrendo no topo da Serra do Mar, acima dos limites estabelecidos para a formação montana, onde a vegetação praticamente deixa de ser arbórea e predominam os campos de altitude (VELOSO; RAMGEL FILHO; LIMA,1991).

Essa divisão segundo a hierarquia topográfica também pode ser relevante quando se trata do funcionamento do ecossistema, florestas de altitude geralmente têm uma produtividade menor se comparadas a florestas de terras baixas, em decorrência, as quantidades de nitrogênio (N) e fósforo (P) também são geralmente menores em florestas de altitude, principalmente, devida à menor quantidade de serapilheira produzida (TANNER; VITOUSEK; CUEVAS, 1998).

A idade geológica também é outro fator que tem se mostrado decisivo nos processos que levam à limitação de nutrientes em florestas tropicais. Com base em estudos realizados no Havaí, Tanner; Vitousek e Cuevas (1998) propuseram que em ecossistemas jovens a principal limitação é por nitrogênio, uma vez que este elemento, geralmente, não é fornecido pelo intemperismo das rochas. Conforme o sistema evolui e a rocha fica mais distante das camadas

superficiais do solo, também a reserva de fósforo vai se exaurindo. Simultaneamente o número de leguminosas fixadoras de nitrogênio aumenta, e os ecossistemas, ao envelhecerem, tornam-se gradativamente limitados por fósforo e não mais por nitrogênio. A Floresta Ombrófila Densa Montana, que recobre a encosta da Serra do Mar, é considerada a formação florestal mais antiga do Brasil, remontando sua origem ao Cretáceo. A Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas é muito mais recente e, em grande parte, derivada da floresta de encosta adjacente (RIZZINI, 1997).

É sabido que florestas respondem à entrada de nitrogênio e outros elementos através da atmosfera (deposição úmida e seca). Florestas situadas em locais com elevadas taxas de deposição de nitrogênio, devido à poluição atmosférica, alteraram completamente a dinâmica desse nutriente em função dessa entrada extra. Portanto, é de extremo interesse que as entradas atmosféricas, não só de nitrogênio, mas também de outros elementos sejam quantificadas na Floresta Ombrófila Densa. Além disso, pouco se sabe sobre a deposição atmosférica em ambientes tropicais. Estudos recentes comparando a deposição atmosférica em ambientes perturbados e não perturbados da região amazônica e do estado de São Paulo mostram que, devido às atividades antrópicas, a deposição de nitrogênio está aumentando significativamente (ARTAXO; LARA; PAULIQUEVIS, 2003; CASTANHO; ARTAXO, 2001; LARA *et al.*, 2001), sendo comparável aos níveis de deposição observados nos países mais desenvolvidos.

Muitos efeitos negativos da alteração do ciclo do nitrogênio já vêm se evidenciando em escala global, tais como a perda de nutrientes do solo – como cálcio e potássio – essenciais para a manutenção da fertilidade em longo prazo; acidificação de solos, rios e lagos em várias regiões; aceleração da perda de biodiversidade, principalmente das plantas adaptadas ao uso eficiente do nitrogênio e da fauna a elas associada; entre outros efeitos de menor relevância para esse estudo (VITOUSEK *et al.* 1997).

A composição química da precipitação pode ser, a exemplo do N, largamente alterada pela ação do homem; em regiões onde a atividade industrial é intensa os compostos mais comuns são nitrato e sulfato, naquelas onde predomina a atividade agrícola ocorre a presença de amônio devido ao uso de fertilizantes minerais nitrogenados ou às pastagens (MUNGER; EISENREICH, 1983; PUXBAUM; SIMEONOV; KALINA, 1998).

Ao serem emitidos para a atmosfera, gases e partículas podem estar dissolvidos ou suspensos na precipitação e serem depositados sobre a superfície terrestre ou aquática na forma de chuva. Algumas substâncias podem ainda, serem retiradas da atmosfera via deposição seca de gases e aerossóis. Estudos realizados em São Paulo enfatizaram que gases e partículas emitidos para a atmosfera podem sofrer processos de transformação química, podendo ainda serem transportados a curta ou longa distância antes de serem depositados (BISCHOFF-GAUSS; KALTHOFF; FIEDLER, 1998; LARA, 2000).

Acréscimos demasiados na deposição atmosférica de nutrientes podem ter efeitos deletérios na Floresta Ombrófila Densa (LEITÃO FILHO *et al.*, 1993; LOPES, 2001; MAYER, 2000a, 2000b), porém, pouco se sabe sobre a deposição de qualquer elemento na região do PESM. Contudo, muitos efeitos da poluição atmosférica sobre a Floresta Ombrófila Densa já foram largamente experimentados na região de Cubatão. Essa região assistiu a um acelerado processo de industrialização a partir de 1960 e a poluição atmosférica atingiu um patamar alarmante na década seguinte.

Um abrangente estudo publicado por Leitão Filho e colaboradores (1993) avaliando os efeitos da poluição atmosférica sobre a Floresta Ombrófila Densa em Cubatão mostrou que naquelas condições a estratificação da floresta foi largamente comprometida, sendo que em alguns pontos a vegetação se restringia as plantas herbáceas e pôde-se até mesmo encontrar locais com exposição direta do solo. Dessa forma, raramente formava-se um dossel florestal contínuo. A composição florística, de maneira similar, também foi profundamente

simplificada. No entanto, não foi apenas a estrutura da vegetação que sofreu com a poluição atmosférica, muitos processos ecológicos foram certamente afetados, a exemplo da ciclagem de nutrientes. Foram verificadas também alterações nas características dos solos da região.

O processo de transporte da poluição atmosférica gerada na cidade de Cubatão e em toda a Região Metropolitana da Baixada Santista – RMBS – ainda é pouco conhecido. Sabe-se, entretanto, que a poluição pode alcançar grandes altitudes na atmosfera e ser levada para locais distantes como a cidade de São Paulo ou para o oceano Atlântico (BISCHOFF-GAUSS; KALTHOFF; FIEDLER, 1998), desta forma, é admissível supor que o PESM está sob a influência da poluição atmosférica proveniente da RMBS em grande parte da sua extensão.

A entrada de elementos químicos através da atmosfera, ou deposição atmosférica, pode ocorrer por via úmida ou seca. Na deposição úmida os elementos de maior expressão são nitrogênio (N), enxofre (S) e cloro (Cl), ficando em segundo plano os elementos potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e sódio (Na) (ROSÉN, 1990). A chuva é tida como o principal componente da via úmida e também o mais estudado processo de deposição atmosférica, contudo, o papel da neblina não pode ser desconsiderado nos ecossistemas onde esse evento é freqüente, dado que a concentração de elementos químicos na neblina pode ser muitas vezes maior do que na chuva, o que a torna uma importante fonte de nutrientes. O fator de enriquecimento de elementos químicos na neblina em relação à água da chuva pode variar de 2,5 a 38 vezes (BURKARD; BUTZBERGER; EUGSTER, 2003; LANGE *et al.* 2003; ROSÉN, 1990). Dessa maneira, a neblina pode ser um importante componente da deposição atmosférica nas Florestas Ombrófilas Densas Montana e Altimontana, frequentemente sujeitas a esse tipo de evento.

Gases e partículas de aerossol também podem ser transferidos da atmosfera para os ecossistemas, esse processo é chamado deposição seca (HICKS, 1986; ROSÉN, 1990). A

transferência direta de gases da atmosfera para os ecossistemas se dá através da captura dos mesmos pela vegetação, os gases sujeitos a esses processos são NO<sub>2</sub>, HNO<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub> e NH<sub>3</sub> (FOWLER; CAPE; LEITH, 1990), além do CO<sub>2</sub> e do O<sub>2</sub> utilizados na fotossíntese e respiração respectivamente.

As partículas de aerossol ocupam local de destaque na deposição seca, pois através delas podem entrar no ecossistema nutrientes como N, K, Ca, P, S, Mg, Na e Cl. Em especial, nas regiões costeiras, pode-se destacar a contribuição dos aerossóis na deposição dos três últimos elementos (ARTAXO, 2001; de MELLO, 2001; ROSÉN, 1990). O aerossol também desempenha um importante papel na interceptação da radiação solar, interferindo no montante de radiação que atinge o ecossistema, além de atuar como Núcleo de Condensação de Nuvens (NCN), podendo interferir significativamente na precipitação (chuva) e na dinâmica da formação de nuvens (ARTAXO, 2001, 2005).

As deposições úmidas e secas são influenciadas umas pelas outras ainda na atmosfera. Gases traços e aerossóis podem ser incorporados às gotículas das nuvens, da chuva ou da neblina. Dessa maneira, os eventos de deposição úmida tendem a reduzir a quantidade de aerossóis e gases traços na atmosfera - diminuindo a magnitude da deposição seca - ao mesmo tempo em que têm grande parte das suas propriedades químicas determinadas por eles (ARTAXO, 2001; LANGE *et al.*, 2003; LARA *et al.* 2005).

A importância relativa de cada um dos processos de deposição descritos acima – úmida ou seca – varia de acordo com o elemento químico de interesse e com a localização da área de estudo. No geral, em áreas poluídas a deposição atmosférica é a principal fonte de N e S para os ecossistemas. Pode-se dizer também que a deposição seca tende a se tornar mais importante à medida que a poluição atmosférica aumenta (ROSÉN, 1990).





## **2 JUSTIFICATIVA**

A necessidade de conservação do bioma Mata Atlântica já foi claramente exposta no capítulo anterior, assim como o papel da Serra do Mar na conservação desse bioma, dada sua singularidade em relação à biodiversidade e ao estado de conservação. Também no último capítulo discorreu-se a respeito da importância da deposição atmosférica no funcionamento das florestas.

Assim, neste capítulo, será suficiente enfatizar que o conhecimento da deposição atmosférica na Floresta Ombrófila Densa se presta para o melhor entendimento dos ciclos biogeoquímicos na manutenção desta floresta e para o aprimoramento das estratégias de conservação. Além disso, este estudo foi planejado de modo a fornecer informações que se integram a um projeto temático no qual ele está inserido e que será melhor explicado no próximo capítulo.



### 3 OBJETIVO

Este trabalho está inserido no Projeto Temático Gradiente Funcional do programa Biota da Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP. O Projeto Temático Gradiente Funcional estuda a composição florística, estrutura e funcionamento da Floresta Ombrófila Densa da Serra do Mar ao longo de seu gradiente altitudinal testando a seguinte hipótese: *“são as características intrínsecas das espécies que determinam a composição florística, a estrutura e o funcionamento das diferentes fisionomias da Floresta Ombrófila”*.

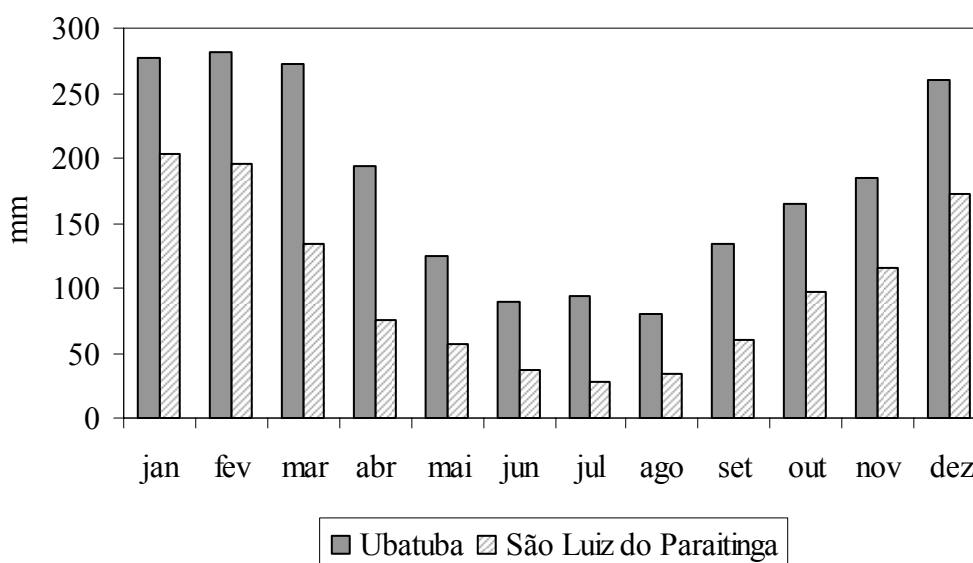
Dentro desse contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a deposição atmosférica úmida (chuva) através de alguns parâmetros físico-químicos em uma Floresta Ombrófila Densa, fornecendo informações essenciais para o entendimento dos ciclos biogeoquímicos, além de identificar a presença de prováveis fontes antrópicas que possivelmente interfiram no funcionamento do ecossistema em questão.



## 4 ÁREAS DE ESTUDO

### 4.1 Núcleo Santa Virgínia

Os cerca de 160 km<sup>2</sup> do núcleo Santa Virgínia se distribuem ente os municípios de São Luiz do Paraitinga, Natividade da Serra, Cunha e Ubatuba. Seus limites vão de 23°17' a 23°24'S e de 45°03' a 45°11'W. Seu relevo é fortemente escarpado e apresenta declividades acentuadas que variam de 24° a 37° (SÃO PAULO, 1998a). O clima regional é tropical temperado, sem estação seca (SETZER, 1966), com uma precipitação média anual igual a 1.200 mm. Mesmo nos meses mais secos, junho a agosto, a precipitação média mensal nunca é inferior a 30 mm (Figura 1).



Fonte: Cepagri, Clima dos municípios paulistas.

Figura 1 – Precipitação média anual dos municípios de Ubatuba (núcleo Picinguaba) e São Luiz do Paraitinga (núcleo Santa Virgínia).

A vegetação predominante no núcleo Santa Virgínia é a Floresta Ombrófila Densa Montana, dado que a altitude do núcleo varia de 860 a 1.500 m. Também pode-se encontrar áreas de Floresta Ombrófila Densa Altimontana, além de manchas descontínuas de floresta em regeneração e áreas de silvicultura de eucalipto abandonadas. O núcleo abriga várias

espécies importantes da fauna silvestre, algumas delas ameaçadas de extinção, em especial a pirapitinga (*Brycon* sp), peixe endêmico da bacia do rio Paraibuna, dentre outras, tal qual o mono-carvoeiro (*Brachyteles arachnoides*), a onça-parda (*Panthera onça*), o sabiá-cica (*Triclaria malachitacea*), etc. (SÃO PAULO, 1998a).

Localizado a 16 km de Ubatuba, a 40 km de São Luiz do Paraitinga e a 78 km de Taubaté, o núcleo Santa Virgínia está sujeito aos impactos relacionados à presença da rodovia Oswaldo Cruz, que atravessa o PESH ligando a região do Vale do Paraíba ao litoral norte do estado. A extração ilegal de palmito, bromélias e orquídeas; a pesca e a caça predatórias; assim como a deposição de lixo às margens da rodovia, figuram entre as principais agressões sofridas pelo núcleo.

#### **4.2 Núcleo Picinguaba**

Inserido no município de Ubatuba, o núcleo Picinguaba se estende ao longo de 475 km<sup>2</sup>, limitando-se ao norte com o estado do Rio de Janeiro, seus extremos vão de 23° 31' a 23°34'S e 45°02' a 45°05'W. O núcleo Picinguaba abriga o único trecho do PESH que atinge o nível do mar, sendo assim a única região do parque onde os ambientes costeiros estão protegidos. As altitudes no núcleo Picinguaba variam de 0 a 1.670 m, na pedra do espelho (SÃO PAULO, 1998b). O clima regional é tropical úmido, sem estação seca (SETZER, 1966), com uma precipitação média anual igual a 2.200 mm. Mesmo nos meses mais secos, junho a agosto, a precipitação média mensal nunca é inferior a 80 mm (Figura 1). O relevo da região inicia-se ao nível do mar com a Planície Litorânea e alcança no seu interior o Planalto Atlântico caracterizado pelas escarpas e cristas nessa região da Serra do Mar (ROSS; MOROZ, 1997).

O núcleo apresenta um mosaico vegetacional que inclui formações pioneiras com influência marinha (vegetação de ante-dunas e dunas); com influência fluvial (caxetal); e com

Influência flúvio-marinha (mangue), além de campos brejosos de planície costeira, Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas (mata de restinga), Floresta Ombrófila Densa Submontana e Floresta Ombrófila Densa Montana (ASSIS, 1999; SÃO PAULO, 1998b). Essa grande variedade de ecossistemas abriga uma também grande diversidade de espécies da fauna, algumas endêmicas, como os peixes *Deuterodon iguape Eigenmann* e *Hollandichthys multifasciatus*; outras delas ameaçadas, como as aves anambezinho (*Iodopleura pipra*) e sabiá-cica (*Triclaria malachitacea*), a jaguatirica (*Felis pardalis*), e o bugio (*Allouta fusca*) (SÃO PAULO, 1998b).

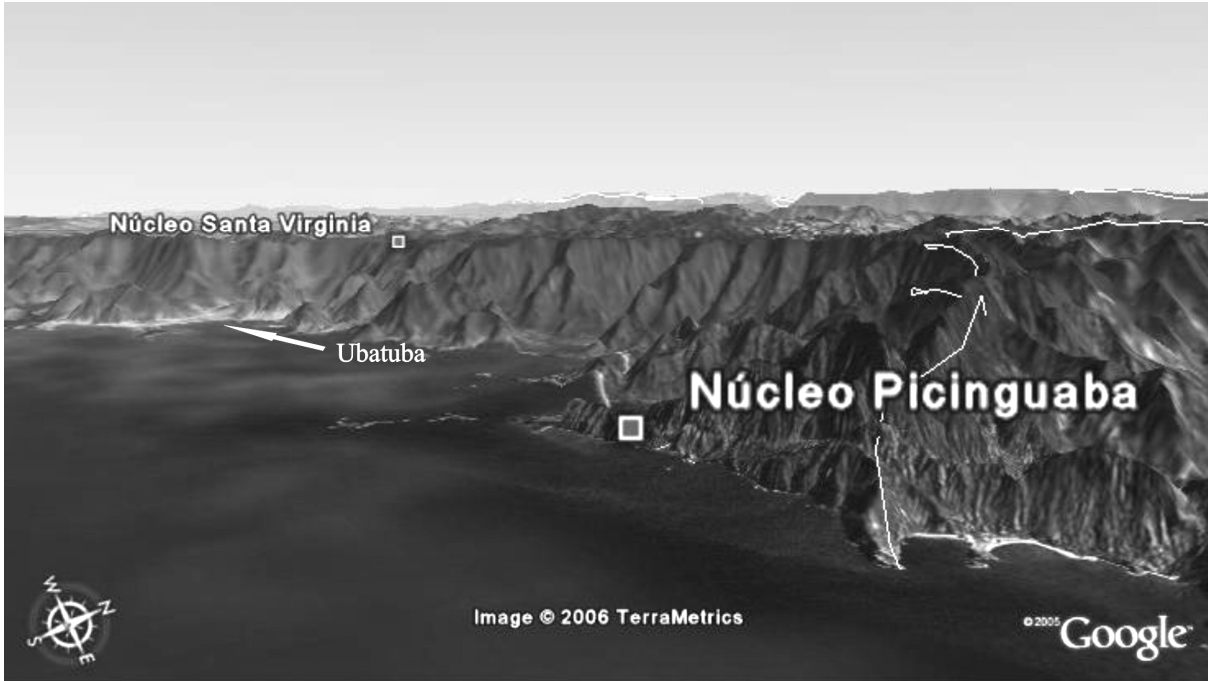
A rodovia Rio-Santos (BR 101) atravessa, por um trecho de 13 km, o núcleo Picinguaba. A situação de proximidade desta rodovia em relação à orla marinha torna a região bastante suscetível à especulação imobiliária e ao turismo descontrolado, além de outros problemas relacionados à presença de uma rodovia já mencionados para o núcleo Santa Virgínia. Algumas das conseqüências da construção da rodovia podem ser observadas até hoje, seja sobre a fauna (livre circulação e excesso de ruído) ou sobre a composição e estrutura da vegetação, dada pela alteração do movimento da água no solo (SÃO PAULO, 1998b). Contudo, a presença da rodovia também oferece ao núcleo uma ótima oportunidade para o desenvolvimento das suas potencialidades turísticas e educacionais.

A localização geográfica aproximada dos núcleos Picinguaba e Santa Virgínia pode ser observada no Apêndice C<sup>1</sup>, enquanto que na Figura 2 pode-se observar o gradiente altitudinal entre os dois núcleos. Na Figura 3 observa-se a localização dos núcleos em relação às principais regiões metropolitanas vizinhas.

---

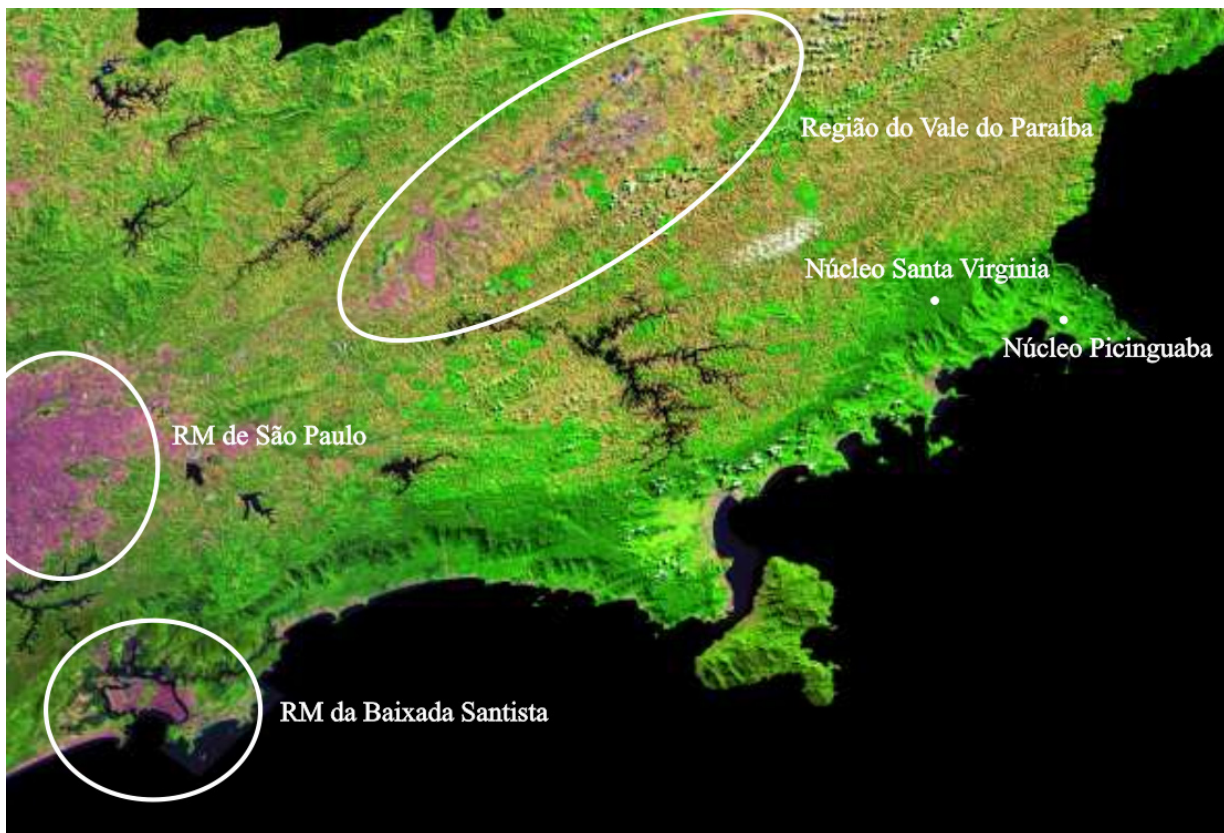
<sup>1</sup> Apêndice C – Localização geográfica aproximada dos núcleos Picinguaba e Santa Virgínia.





Adaptado de GOOGLE, 2005.

Figura 2 - Gradiente altitudinal entre o núcleo Picinguaba – ao nível do mar – e o núcleo Santa Virginia – no Planalto Atlântico.



Adaptado de EMBRAPA, 2002.

Figura 3 – Posição dos núcleos Santa Virgínia e Picinguaba em relação às principais áreas metropolitanas vizinhas no estado de São Paulo: Região do Vale do Paraíba, Região Metropolitana da Grande São Paulo e Região Metropolitana da Baixada Santista.

## 5 MATERIAIS E MÉTODOS

### 5.1 Amostragem

Foram estabelecidos dois pontos amostrais, sendo um no núcleo Santa Virgínia e o outro no núcleo Picinguaba. O núcleo Santa Virgínia possui estação meteorológica automática própria, já devidamente locada em campo aberto, o amostrador de chuva foi instalado junto a esta estação meteorológica. O núcleo Picinguaba não possui estação meteorológica, lá o amostrador foi instalado em campo aberto nas proximidades do prédio da administração do núcleo. A instalação dos amostradores ocorreu na segunda quinzena do mês de maio de 2006. Em Picinguaba também se instalou um pluviômetro em função da ausência de estação meteorológica nas proximidades, contudo essa instalação somente foi possível na última semana de agosto de 2006.

As amostras de chuva foram coletadas em amostradores automáticos do tipo “wet only”, este tipo de amostrador possui um sensor eletrônico sensível à umidade que abre a tampa do coletor quando acionado pelas primeiras gotas de chuva e a fecha ao final da mesma, evitando assim a contaminação indesejável por neblina ou aerossol. A amostragem da água de chuva se deu por evento, integrando um período máximo de 24 horas. A coleta ocorreu de 19 de maio de 2006 a 17 de junho de 2007. No núcleo Santa Virgínia os dados pluviométricos foram obtidos na estação meteorológica, em Picinguaba os dados foram obtidos através do pluviômetro instalado por este projeto.

As amostras coletadas pelo amostrador “wet only” foram armazenadas em garrafas de polietileno de 1 litro pré-lavadas oito vezes com água deionizada e duas vezes com água milli-Q. A condutividade elétrica foi checada a cada cinco garrafas lavadas. Não se utilizou nenhum tipo de ácido nas lavagens das garrafas para se evitar possíveis contaminações, às quais as amostras de água de chuva são muito sensíveis. O conteúdo da garrafa de 1 litro

obtido no coletor era dividido em outras duas garrafas de polietileno, uma delas, destinada à análise de carbono inorgânico dissolvido (DIC), com o conservante Thymol (GILLET; AYERS, 1991), e a outra, com  $\text{HgCl}_2$ , para análise de carbono orgânico dissolvido (DOC) e nitrogênio total (TN) (KAPLAN, 1994). Essas sub-amostras ficavam armazenadas em geladeira, no escuro e em temperatura inferior a 4 °C.

## 5.2 Análises Físico-Químicas das Amostras

As amostras de água da chuva tiveram o pH medido utilizando-se equipamento eletrônico Orion – modelo EA940 – ajustado para medição de pH de baixa força iônica, como é o caso da água de chuva. A condutividade elétrica foi medida com condutivímetro digital Amber Science - Modelo 2052. Essas medidas foram feitas tão logo as amostras chegavam do campo ao laboratório.

As análises de DIC e DOC foram realizadas em um aparelho TOC-5000A da Shimadzu através da combustão em alta temperatura onde o carbono é transformado em  $\text{CO}_2$ , que então é mensurado por um detector infravermelho (KAPLAN, 1992). Esse equipamento funciona através do método diferencial, onde primeiramente é determinado o carbono dissolvido total e, em um segundo momento, se determina o carbono orgânico dissolvido através da exclusão do carbono inorgânico pela acidificação da amostra. O carbono inorgânico dissolvido é, então, calculado pela diferença entre carbono total e carbono orgânico dissolvidos. (FUKUSHIMA, 1996).

Para a análise de DIC, as amostras foram filtradas em membrana de acetato de celulose (0,45  $\mu\text{m}$ ), separando-se um volume aproximado de 60 mL. Para a análise de DOC, um volume de aproximadamente 30 mL foi filtrado em membrana de fibra de vidro pré-calcinada a 500 °C por 5 horas.

As análises de TN foram realizadas em um aparelho tipo FIA. Para a realização dessas análises as amostras foram filtradas em membrana de acetato de celulose (0,45  $\mu\text{m}$ ).

### **5.3 Análise Estatística dos Resultados**

A variação sazonal e espacial da composição da água da chuva foi analisada com o uso do software SAS System (SAS INSTITUTE INC., 2001) através do procedimento GLM (modelo linear generalizado), cujo fundamento teórico permite a análise da variação de bancos de dados desbalanceados, como no caso deste trabalho. A hipótese nula adotada é a igualdade entre as médias comparadas, a probabilidade de erro na rejeição dessa hipótese é de 5% ou menor.



## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 Pluviometria

No núcleo Picinguaba os dados de pluviometria disponíveis iniciaram-se em setembro de 2006, já que esse foi o primeiro mês em que o pluviômetro funcionou adequadamente. Em Santa Virgínia, os dados disponíveis são de maio de 2006 – início das coletas – até fevereiro de 2007, último mês em que os dados da estação meteorológica automática do núcleo foram disponibilizados. A Figura 4 apresenta a precipitação mensal acumulada nos núcleos Picinguaba e Santa Virgínia durante os períodos supracitados.

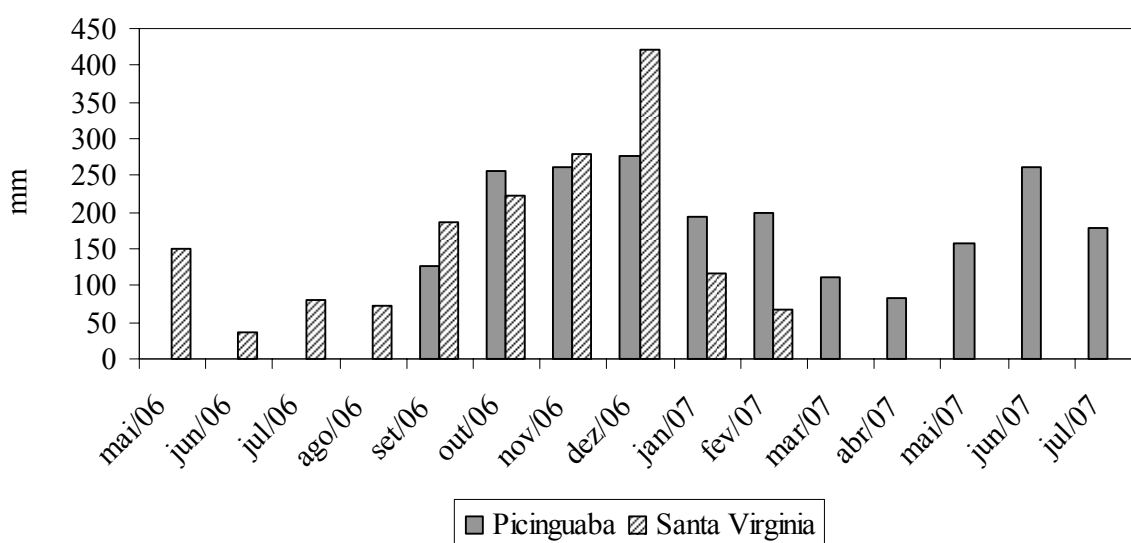


Figura 4 – Precipitação mensal acumulada nos núcleos Picinguaba e Santa Virgínia.

Nota-se que os meses de março e abril, historicamente úmidos no município de Ubatuba, apresentaram-se secos no período em questão no núcleo Picinguaba. Da mesma maneira, os meses de janeiro e fevereiro, tradicionalmente úmidos em São Luiz do Paraitinga, foram secos no período avaliado no núcleo Santa Virgínia. Entretanto, como faltam evidências para considerar o período observado como atípico, considerou-se as médias históricas para a definição dos períodos seco (maio a setembro) e úmido (outubro a abril).

## 6.2 Análise das amostras

Neste item são apresentados os resultados das análises das amostras de água de chuva. Inicialmente as variáveis analisadas foram confrontadas com o volume dos eventos de chuva, buscando a presença do efeito de diluição. Posteriormente, foram apresentados os valores médios das variáveis e, então, a variação espacial e temporal das mesmas é analisada.

As Figuras 5 a 14 mostram a relação entre os volumes dos eventos de chuva amostrados e as concentrações de DIC, DOC, TN,  $H^+$  e condutividade elétrica. Na elaboração dos gráficos, assim como nas análises estatísticas, optou-se por substituir a variável pH pela concentração do íon  $H^+$ , já que essa última é representada em escala linear, ao passo que pH é representado em escala logarítmica. Essa substituição não implica em nenhuma perda de informação, uma vez que o valor de pH é função da concentração do íon  $H^+$ , de acordo com a equação 1.

$$pH = -\log_{10}[H^+] \quad (1)$$

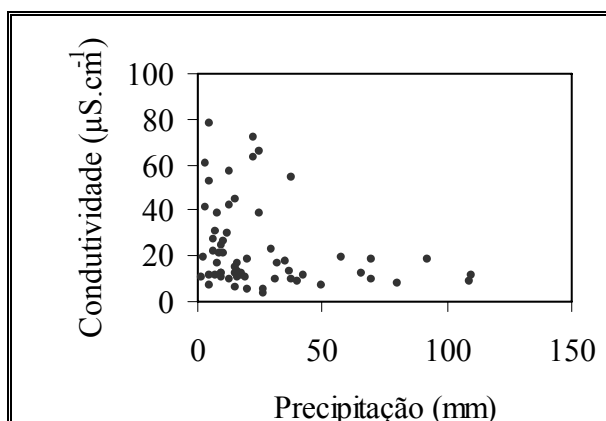


Figura 5 – Condutividade elétrica versus precipitação em Picinguaba.

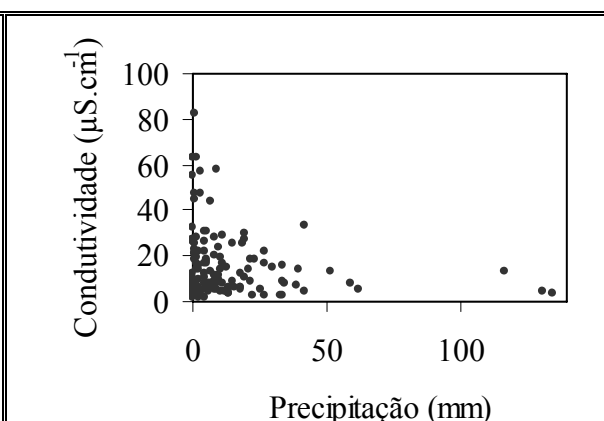


Figura 6 - Condutividade elétrica versus precipitação em Santa Virgínia.

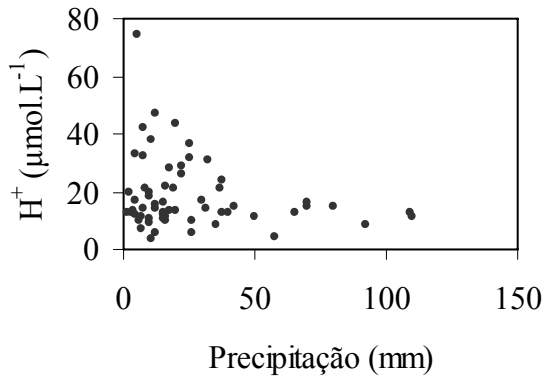


Figura 7 – Concentração do íon  $H^+$  versus precipitação em Picinguaba.

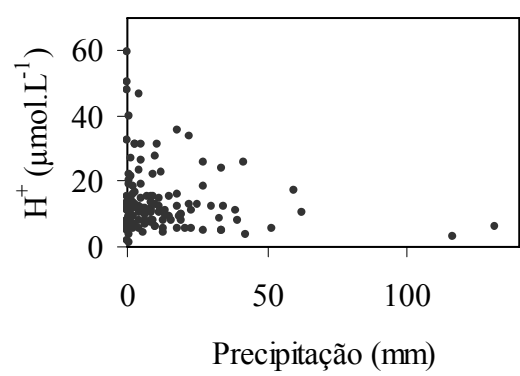


Figura 8 – Concentração do íon  $H^+$  versus precipitação em Santa Virgínia.

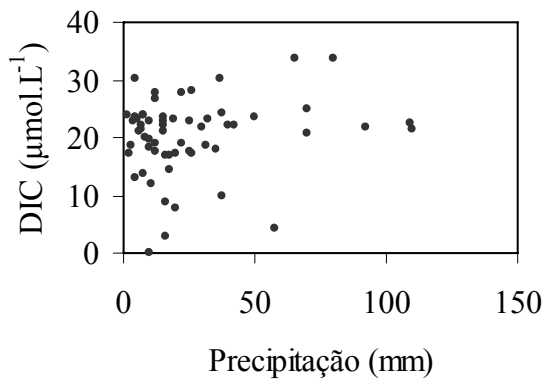


Figura 9 – Concentração de DIC versus precipitação em Picinguaba.

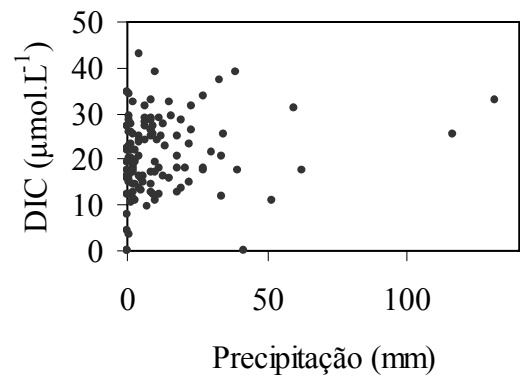


Figura 10 – Concentração de DIC versus precipitação em Santa Virgínia.

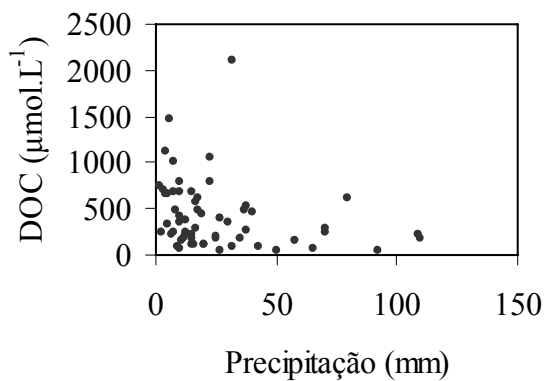


Figura 11 – Concentração de DOC versus precipitação em Picinguaba.

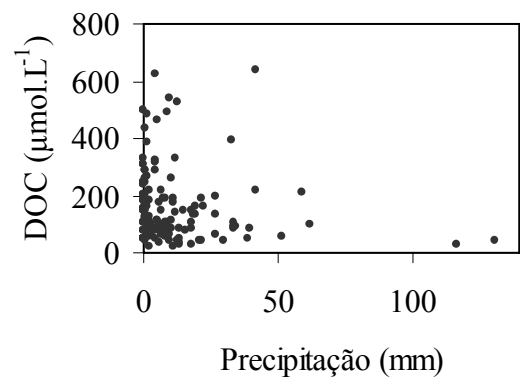
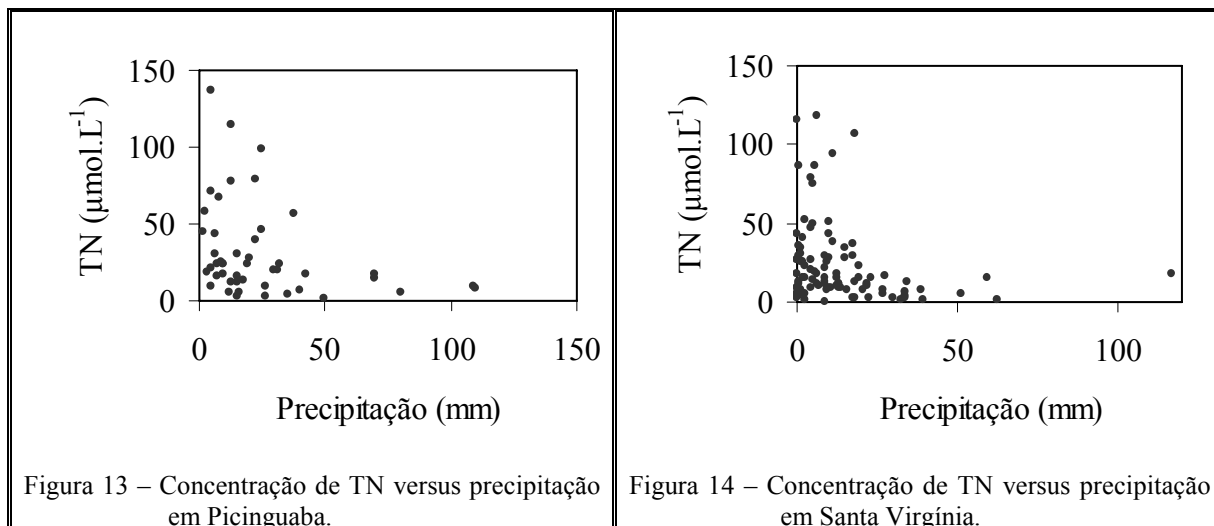


Figura 12 – Concentração de DOC versus precipitação em Santa Virgínia.





A condutividade elétrica e as concentrações de  $H^+$ , DOC e TN apresentaram uma correlação negativa com o volume dos eventos de chuva, portanto, essas variáveis sofrem efeito de diluição, ou seja, tendem a serem maiores quando o volume de chuva é menor e vice versa. Esse efeito de diluição é comumente observado em amostras de água de chuva e já era esperado. Para contornar esse efeito, no cálculo das médias das variáveis utilizou-se a média ponderada por volume (VWM), obtida segundo a equação 2, onde  $c$  são os valores medidos de concentração ou condutividade elétrica, e  $v$  é o volume de precipitação dos eventos medidos.

$$VWM = \frac{\sum_{i=1}^n c_i v_i}{\sum_{i=1}^n v_i} \quad (2)$$

Na Tabela 1 são apresentados os valores mínimos, máximos e a média ponderada por volume das variáveis analisadas considerando todo o período de amostragem.

Tabela 1 – Médias ponderadas por volume (VWM), valores mínimos e máximos das variáveis analisadas na água de chuva

	Picinguaba			Santa Virgínia		
	mínimo	VWM	máximo	mínimo	VWM	máximo
Condutividade ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ )	3,5	16,9	106,0	1,6	10,6	82,5
pH	3,9	4,9	5,4	3,5	5,0	6,3
DIC ( $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ )	0,0	21,2	49,9	0,0	23,5	42,9
DOC ( $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ )	45,0	326,3	2098,3	0,0	119,4	672,4
TN ( $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ )	1,7	20,7	136,6	0,4	15,9	117,7

A água da chuva é naturalmente ácida devida à dissociação do  $\text{CO}_2$  arrastado da atmosfera, sendo consideradas normais chuvas com pH 5,6. Chuvas com pH inferiores a 4,5 são consideradas ácidas. Observa-se que a chuva nos dois núcleos, em geral, não apresenta acidez excessiva, contudo, em algumas ocasiões a chuva foi ácida, chegando a apresentar pH 3,9 em Picinguaba e 3,5 em Santa Virgínia.

Os valores médios de pH foram similares aos encontrados em regiões pouco industrializadas da Amazônia, onde o pH médio variou entre 5,0 e 5,1 durante o período úmido (ARTAXO; LARA; PAULIQUEVIS, 2003), ou ainda aos encontrados em outros parques do estado de São Paulo, como no Parque Estadual de Intervales, com pH médio anual variando de 4,9 a 5,1, e no Parque Estadual do Morro do Diabo, com pH médio anual variando de 4,8 a 4,9 (ALMEIDA, 2006). Eklund e colaboradores (1997), em estudo conduzido na estação biológica *La Selva*, Costa Rica, encontraram pH médio anual de 5,3<sup>1</sup>.

Todavia, as médias de pH no PESM foram superiores aos valores encontrados na bacia do rio Piracicaba, região com intensa atividade humana e altamente industrializada do

<sup>1</sup> Valor calculado a partir de VWM anual da concentração do ion  $\text{H}^+$ .

estado de São Paulo, onde a média anual do pH variou de 4,4 a 4,5 (LARA *et al.*, 2001). Na região metropolitana do Rio de Janeiro, segundo Mello (2001), a média anual do pH variou de 4,7 a 4,8.

A Tabela 2 apresenta a média (VWM) das variáveis, separadas em período seco e úmido. A comparação estatística entre as médias avaliou diferença entre os períodos dentro de um mesmo núcleo e, também, entre os núcleos dentro de um mesmo período.

Tabela 2 – Média ponderada por volume (VWM), dividida entre período seco e úmido, das variáveis analisadas na água de chuva.

	Picinguaba		Santa Virgínia	
	Seco	Úmido	Seco	Úmido
Condutividade ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ )	52,1 <sup>AB</sup>	13,6 <sup>aC</sup>	14,8 <sup>Db</sup>	9,7 <sup>Dc</sup>
H <sup>+</sup> ( $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ )	28,6 <sup>AB</sup>	14,0 <sup>aC</sup>	15,1 <sup>Db</sup>	9,5 <sup>dc</sup>
DIC ( $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ )	22,2 <sup>AB</sup>	19,3 <sup>aC</sup>	28,0 <sup>DB</sup>	20,2 <sup>dC</sup>
DOC ( $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ )	559,3 <sup>AB</sup>	306,9 <sup>AC</sup>	223,9 <sup>DB</sup>	99,9 <sup>Dc</sup>
TN ( $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ )	58,2 <sup>AB</sup>	16,3 <sup>aC</sup>	26,4 <sup>Db</sup>	9,2 <sup>dC</sup>

Nota: Médias de uma mesma variável seguidas da mesma letra foram comparadas entre si. Duas letras maiúsculas indicam que as médias são iguais, caso contrário são diferentes. Estão sendo comparadas as médias entre os períodos de uma mesma localidade e entre as localidades em um mesmo período.

A concentração do íon H<sup>+</sup>, inversamente relacionada com pH, apresentou diferença entre os períodos seco e úmido nos dois núcleos avaliados e, ao mesmo tempo, foi diferente entre os núcleos. O núcleo Picinguaba apresentou concentração média maior do que a encontrada no núcleo Santa Virgínia, da mesma forma, o período seco também apresentou concentração superior ao período úmido. As diferenças encontradas na concentração do íon H<sup>+</sup> implicam nas mesmas diferenças para o pH.

A média da condutividade elétrica foi maior no núcleo Picinguaba do que no núcleo Santa Virgínia, tanto no período seco quanto no período úmido. Este fato é associado à maior proximidade do núcleo Picinguaba ao oceano, sendo este a fonte provável de sais carregados através de aerossóis que, então, são arrastados pela chuva. Os prováveis elementos de origem marinha responsáveis pela condutividade elétrica são Cl, Na e, em menor proporção, Mg (ARTAXO, 2001; de MELLO, 2001; ROSÉN, 1990). Outros elementos podem, contudo, também estar influenciando os valores de condutividade.

As entradas de DIC não sofreram variação entre os núcleos, sofreram, porém, variação sazonal entre período seco e úmido, sendo maiores no período úmido. A presença de DIC na água da chuva é associada ao arraste do CO<sub>2</sub> atmosférico, em parte derivado da respiração da própria floresta, podendo também estar associado à ocorrência de queimadas.

Os valores encontrados de DIC na região do PESM foram menores do que os encontrados nos Parques Estaduais de Intervales e do Morro do Diabo, da mesma maneira foram, em geral, menores dos que os encontrados na bacia do rio Piracicaba (Tabela 3).

Tratando-se de DOC, não houve variação sazonal em nenhum dos dois núcleos, mas a concentração foi menor, durante o período úmido, no núcleo Picinguaba, quando comparada à concentração do mesmo período no núcleo Santa Virgínia. A origem de DOC está possivelmente associada a aerossóis orgânicos emitidos pela própria vegetação (ALMEIDA, 2006; ARTAXO; LARA; PAULIQUEVIS, 2003; LARA *et al.*, 2001).

A concentração de DOC na água da chuva foi muito superior às concentrações encontradas na bacia do rio Piracicaba, nos Parques Estaduais de Intervales e Morro do Diabo (Tabela 3) e também na Amazônia Central, onde a concentração de DOC foi de 154  $\mu\text{mol.L}^{-1}$  (LARA *et al.*, 2001; ALMEIDA, 2006; WILLIAMS; FISHER; MELACK, 1997)

Tabela 3 – Comparação dos valores de pH e concentração (VWM) de DIC e DOC em diferentes regiões do estado de São Paulo.

		pH	DIC ( $\mu\text{mol.L}^{-1}$ )		DOC ( $\mu\text{mol.L}^{-1}$ )	
		anual	Seco	Úmido	Seco	Úmido
PESM	Picinguaba	4,9	22,2	19,3	559,3	306,9
	Santa Virgínia	5,0	28,0	20,2	223,9	99,9
P.E. Intervales <sup>1</sup>		5,0	31,6	37,4	71,1	80,5
P.E. Morro do Diabo <sup>1</sup>		4,9	43,9	51,2	111,3	76,6
Bacia do rio Piracicaba <sup>2</sup>	Bragança	4,4	55,7	48,4	84,9	51,7
	Campinas	4,5	23,7	33,5	80,4	47,1
	Piracicaba	4,5	34,2	43,5	134,5	78,8
	Santa Maria	4,4	81,8	62,4	100,5	43,9

<sup>1</sup> ALMEIDA, 2006, valores obtidos através da média simples de dois períodos de amostragem

<sup>2</sup> LARA *et al.*, 2001

A concentração de nitrogênio total foi maior durante o período seco, tanto no núcleo Picinguaba, quanto no núcleo Santa Virgínia. Foi, também, unicamente neste período que a deposição de N apresentou variação espacial, sendo maior em Picinguaba. As fontes do N presente na água da chuva podem ser muitas, tais como queima de biomassa e combustíveis fósseis, emissões industriais ou volatilização de fertilizantes (LARA *et al.*, 2001; MUNGER; EISENREICH, 1983).

### 6.3 Deposição média anual de C e N

A estimativa da deposição média de C e N para cada período, seco ou úmido, foi feita através da multiplicação da média ponderada por volume do período pela somatória das médias históricas de precipitação acumulada mensal do mesmo, segundo equação 3, onde  $D$  é a deposição média do período,  $VWM_p$  é a média ponderada de volume do período e  $v$  é o

volume histórico mensal, inserido no período  $p$ . A deposição média anual foi obtida pela soma das deposições médias dos dois períodos.

$$D = VWM_p * \sum_{i=1}^n v_p \quad (3)$$

Os valores de deposição úmida, através da chuva, para C e N, nos núcleos Picinguaba e Santa Virgínia podem ser observados na Tabela 4.

Tabela 4 – Deposição média de C e N, através de chuva, nos núcleos Picinguaba e Santa Virgínia.

	Deposição média de C (g.m <sup>-2</sup> )			Deposição média de N (g.m <sup>-2</sup> )		
	Anual	Seco	Úmido	Anual	Seco	Úmido
Picinguaba	10,03	3,63	6,40	0,80	0,42	0,37
Santa Virgínia	2,09	0,65	1,43	0,21	0,08	0,13

A deposição média anual de N nos núcleos Picinguaba e Santa Virgínia (0,8 e 0,2 g.m<sup>-2</sup>) foi substancialmente menor do que as encontradas em regiões florestais remotas na Amazônia Central (2,8 g.m<sup>-2</sup>) ou na Guiana Francesa (4,3 g.m<sup>-2</sup>) (ARTAXO; LARA; PAULIQUEVIS, 2003). Também foi muito menor do que a deposição observada nas florestas da serra do mar na região de Cubatão<sup>2</sup> (2,0 a 7,0 g.m<sup>-2</sup>)(MAYER, 2000b) ou na bacia do rio Piracicaba (4,3 a 6,0 g.m<sup>-2</sup>) (LARA *et al.*, 2001). Em regiões extremamente poluídas a deposição atmosférica anual de N pode chegar a 9,0 g.m<sup>-2</sup> (VITOUSEK *et al.* 1997).

<sup>2</sup> Valores relativos a deposição atmosférica úmida e seca.



## 7 CONCLUSÃO

Os núcleos Picinguaba e Santa Virgínia estão sujeitos a diferentes taxas de deposição de elementos-chave (C e N) através da chuva. Da mesma forma, estão sujeitos a diferentes regimes pluviométricos.

Picinguaba recebe uma carga maior de carbono (DIC E DOC) e nitrogênio (TN) quando comparado ao núcleo Santa Virgínia. Os valores de condutividade elétrica também sugerem que outros elementos importantes, como cloro, sódio, magnésio, entre outros, estão sendo depositados em maior proporção em Picinguaba, provavelmente pela proximidade ao oceano. Dessa maneira, a variação das fisionomias florestais ao longo do gradiente de altitude da serra do mar pode estar, em parte, associada a essas diferenças verificadas na deposição atmosférica.

O pH da água da chuva nos dois núcleos é comparável ao pH de regiões de baixa interferência antrópica, sugerindo que não existam grandes influências humanas nesta variável.

Não há evidências de que os núcleos Picinguaba e Santa Virgínia sofram com a poluição atmosférica gerada nas zonas industrializadas circunvizinhas, pelo contrário a qualidade da água da chuva nesses dois núcleos foi satisfatória e pode ser comparada a aquela encontrada em outros parques do estado de São Paulo ou em regiões remotas da Amazônia.





## REFERÊNCIAS

ASSIS, M. A. 1999. **Florística e caracterização das comunidades vegetais da Planície Costeira de Picinguaba, Ubatuba/SP**. 1999. Tese (Doutorado) - Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.

AGUIAR, A. P. et al. Os corredores central e da serra do mar na mata atlântica brasileira. In: GARLINDO-LEAL, C.; CÂMARA, I. de G. (Ed.). **Mata atlântica: biodiversidade, ameaças e perspectivas**. São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica; Belo Horizonte: Conservação Internacional, 2005. cap. 11, p. 119-132.

ALMEIDA, V. P. S. **Acidez orgânica da precipitação e uso do solo nas regiões dos parques estaduais de Intervales e Morro do Diabo: estado de São Paulo**. 2006. 97 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

ARTAXO, P. The atmospheric component of biogeochemical cycles in the Amazon basin. In: McCLAIN, M. E.; VICTORIA, R. L.; RICHEY, J. E. (Ed.). **The biogeochemistry of the Amazon basin**. New York: Oxford University Press, 2001. chap. 3, p. 42-52.

ARTAXO, P. et al. Química atmosférica na Amazônia: A floresta e as emissões de queimadas controlando a composição da atmosfera amazônica. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 35, n. 2, p. 185-196, jun. 2005.

ARTAXO, P.; LARA, L. B. L. S.; PAULIQUEVIS, T. M. Dry and wet deposition in Amazonia: from natural biogenic aerosols to biomass burning impacts. **IGAC Newsletter Article**, Seattle, n. 27, p. 12-16, Jan. 2003. Science Features. Disponível em: <[http://www.igac.noaa.gov/newsletter/igac27/Jan\\_2003\\_IGAC\\_27.pdf](http://www.igac.noaa.gov/newsletter/igac27/Jan_2003_IGAC_27.pdf)>. Acesso em: 11 mar. 2006.

BISCHOFF-GAUSS, I.; KALTHOFF, N.; FIEDLER, F. The impact of secondary flow systems on air pollution in the area of Sao Paulo. **Journal of Applied Meteorology**, Boston, v. 37, n. 3, p. 269-287, Mar. 1998.

BURKARD, R.; BUTZBERGER, P.; EUGSTER, W. Vertical fogwater flux measurements above an elevated forest canopy at the Lageren research site, Switzerland. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 37, n. 21, p. 2979-2990, Jul. 2003.

CASTANHO, A. D. A; ARTAXO, P. Wintertime and summertime São Paulo aerosol source apportionment study. **Atmospheric Environment**, Oxford, v 35, n. 29, p. 4889-4902, Oct. 2001.

CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS À AGRICULTURA - CEPAGRI. **Clima dos municípios paulistas**. Campinas: Unicamp. Disponível em: <<http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima-dos-municipios-paulistas.html>>. Acesso em: 15 ago. 2007.

CONSERVATION INTERNATIONAL. **Hotspots revisitados**: as regiões biologicamente mais ricas e ameaçadas do planeta. Belo Horizonte, 2005. 18 p. Disponível em: <http://www.conservation.org.br/publicacoes/files/HotspotsRevisitados.pdf>. Acesso em: 05 de outubro de 2005.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Coleção Brasil visto do espaço**: São Paulo. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2002. 1 CD-ROM.

EKLUND, T. J.; McDOWELL, W. H.; PRINGLE, C. M. Seasonal variation of tropical precipitation chemistry: La Selva, Costa Rica. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 31, n. 23, p. 3903-3010, Sep. 1997.

FOWLER, D.; CAPE, J. N.; LEITH, I. D. Field methods for determining the atmospheric inputs of major plant nutrients. In: HARRISON, A. F.; INESON, P.; HEAL, O. W. (Ed.). **Nutrient cycling in terrestrial ecosystems**: field methods application and interpretation. Barking: Elsevier Science Publishers, 1990. chap. 4. p. 36-45.

FUKUSHIMA, T. Freshwater DOC measurements by high-temperature combustion: comparison of differential (DTC – DIC) and DIC purging methods. **Water Research**, New York, v. 30, n. 11, p. 2717-2722, Jun. 1996.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA. **Atlas dos remanescentes florestais da mata atlântica**: período 1995-2000. Relatório final. São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica; INPE, 2002. 43 p.

GARLINDO-LEAL, C.; CÂMARA, I. de G. Status do hotspot mata atlântica: uma síntese. In: \_\_\_\_\_. **Mata atlântica**: biodiversidade, ameaças e perspectivas. São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica; Belo Horizonte: Conservação Internacional, 2005, cap. 1, p. 3-11.

GILLET, R. W.; AYERS, G. P. The Use of Thymol as a Biocide in Rainwater Samples. **Atmospheric Environment. Part A - General Topics**, Oxford, v. 25, n. 12, p. 2677-2681, 1991.

GOOGLE. **Google earth 3.0.0762**. 2005. Disponível em: <<http://earth.google.com/>>. Acesso em: 23 mar. 2006.

HICKS, B. B. Measuring dry deposition - a Reassessment of the State-of-the-Art. **Water Air and Soil Pollution**, Dordrecht, v. 30, n. 1-2, p. 75-90, Sep. 1986.

INSTITUTO FLORESTAL. **Santa Virgínia**. Disponível em <<http://www.iflorestsp.br/santavirginia.htm>> Acesso em: 24 mar. 2006.

KAPLAN, L. A. Comparison of high-temperature and persulfate oxidation methods for determination of dissolved organic carbon in freshwaters. **Limnology and Oceanography**, Grafton, v. 37, n. 5, p. 1119-1125, Jul. 1992.

KAPLAN, L. A. A field and laboratory procedure to collect, process, and preserve fresh-water samples for dissolved organic-carbon analysis. **Limnology and Oceanography**, Grafton, v.39, n.6, p.1470-1476, Sep. 1994.

LANGE, C. A. et al. Fog frequency and chemical composition of fog water - a relevant contribution to atmospheric deposition in the eastern Erzgebirge, Germany. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 37, n. 26, p. 3731-3739, Aug. 2003.

LARA, L. L. et al. Properties of aerosols from sugar-cane burning emissions in Southeastern Brazil. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 39, n. 26, p. 4627-4637, Aug. 2005.

LARA, L. B. S. L. **Composição química atmosférica na bacia do rio Piracicaba: Variabilidade espacial e temporal**. 2000. 80 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

LARA, L. B. L. S. et al. Chemical composition of rainwater and anthropogenic influences in the Piracicaba basin, southeast Brazil. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 35, n. 29, p. 4937-4945, Oct. 2001.

LEITÃO FILHO, H. F. et al. **Ecologia da Mata Atlântica em Cubatão (SP)**. São Paulo: Editora UNESP; Campinas: Editora da UNICAMP, 1993. 184 p.

LOPES, M. I. M. S. **Fluxo de água, balanço químico e alterações no solo da Floresta Atlântica atingida pela poluição aérea de Cubatão, SP, Brasil**. 2001. 188 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <<http://www.saber.usp.br>>. Acesso em: 27 out. 2005.

MAYER, R. et al. Atmospheric pollution in a tropical rain forest: Effects of deposition upon biosphere and hydrosphere I. Concentrations of chemicals. **Water, Air and Soil Pollution**, Dordrecht, v. 121, n. 1-4, p. 59-78, Jul. 2000a.

MAYER, R. et al. Atmospheric pollution in a tropical rain forest: Effects of deposition upon biosphere and hydrosphere II. Fluxes of chemicals and element budgets. **Water Air and Soil Pollution**, Dordrecht, v. 121, n. 1-4, p. 79-92, Jul. 2000b.

MELLO, W. Z. Precipitation chemistry in the coast of the metropolitan region of Rio de Janeiro, Brazil. **Environmental Pollution**, London, v. 114, p. 235-242, 2001.

MUNGER, J. W.; EISENREICH, S. J. Continental-Scale Variations in Precipitation Chemistry. **Environmental Science & Technology**, Easton, v. 17, n. 1, p. A32-A42, 1983.

PUXBAUM, H.; SIMEONOV, V.; KALINA, M. F. Ten years trends (1984-1993) in the precipitation chemistry in central Austria. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 32, n. 2, p. 193-202, Jan. 1998.

RIZZINI, C. T. **Tratado de fitogeografia do Brasil: aspectos ecológicos, sociológicos e florísticos**. São Paulo: Âmbito Cultural, 1997. 747 p.

ROSÉN, K. Keynote paper: Measuring nutrient input to terrestrial ecosystems. In: HARRISON, A. F.; INESON, P.; HEAL, O.W. (Ed.). **Nutrient cycling in terrestrial ecosystems: field methods application and interpretation**. Barking: Elsevier Science Publishers, 1990. chap. 1. p. 1-10.

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. **Mapa geomorfológico do estado de São Paulo**, São Paulo: Laboratório de Geomorfologia, Departamento de Geografia, FFLCH/USP; Laboratório de Cartografia Geotécnica IPT; FAPESP, 1997. 64 p. + 1 mapa.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente. **Planos de manejos das unidades de conservação: parque estadual da serra do mar – núcleo Santa Virgínia – plano de gestão ambiental – fase 1**. São Paulo: SMA, 1998a. 127 p.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente. **Planos de manejos das unidades de conservação: parque estadual da serra do mar – núcleo Picinguaba – plano de gestão ambiental – fase 1**. São Paulo: SMA, 1998b. 183 p.

SAS INSTITUTE INC. **SAS system for windows**. Cary: SAS Inc., 2001.

SETZER, J. 1966. **Atlas climatológico do estado de São Paulo**. São Paulo: Comissão Interestadual da Bacia do Paraná-Paraguai, CESP, 1966. 61 p.

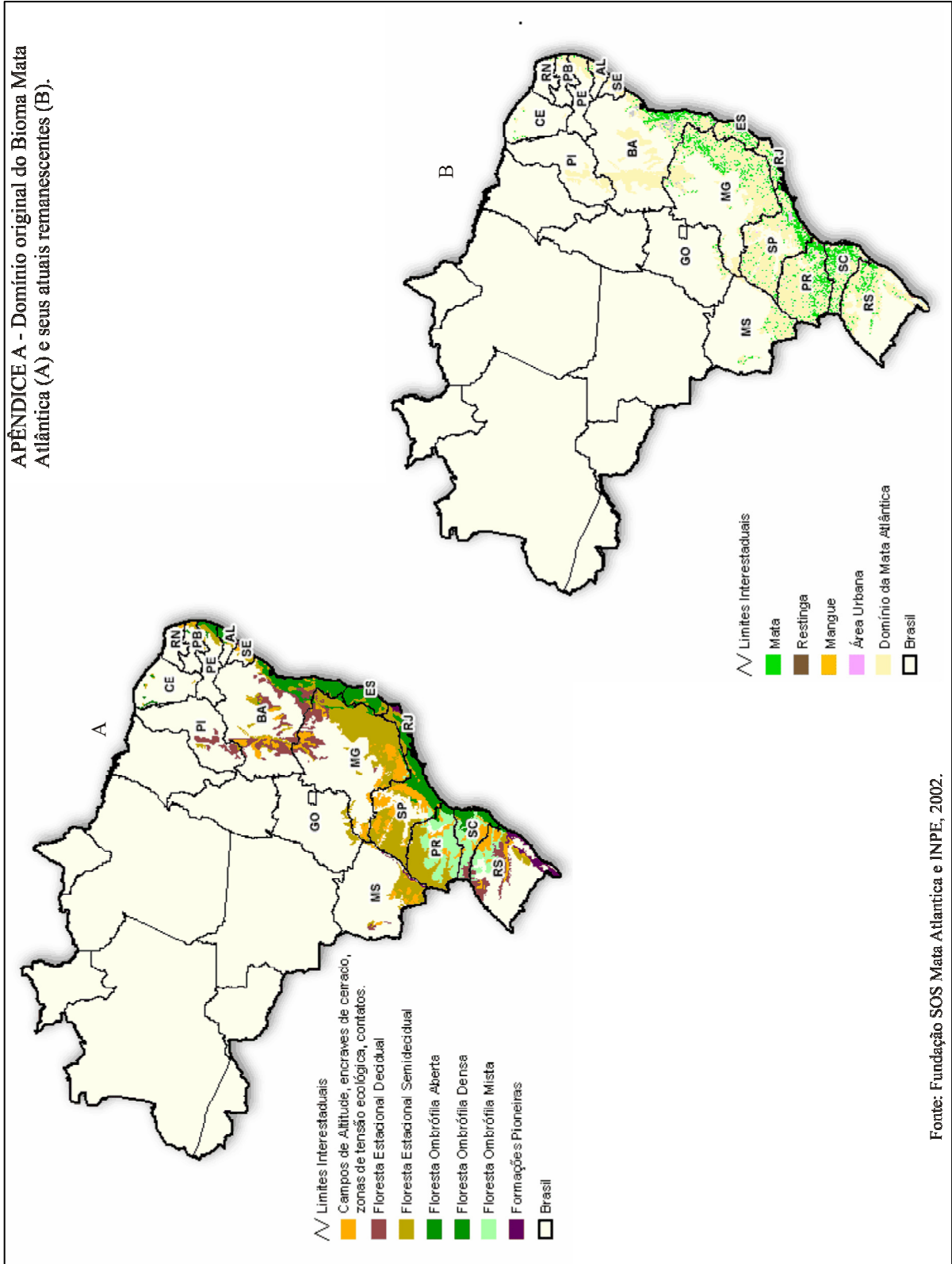
TANNER E. V. J.; VITOUSEK, P. M.; CUEVAS, E. Experimental investigation of nutrient limitation of forest growth on wet tropical mountains. **Ecology**, Washington, n. 1, v. 79, p.10-22, Jan, 1998.

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1991. 124 p.

VITOUSEK, P. M. et al. Human alteration of the global nitrogen cycle: Sources and consequences. **Ecological Applications**, Washington, v. 7, n. 3, p. 737-750, Aug. 1997.

WILLIAMS, M. R.; FISHER, T. R.; MELACK, J. M. Chemical composition and deposition of rain in the central Amazon, Brazil. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 31, n. 2, p. 207-217, Jan. 1997.

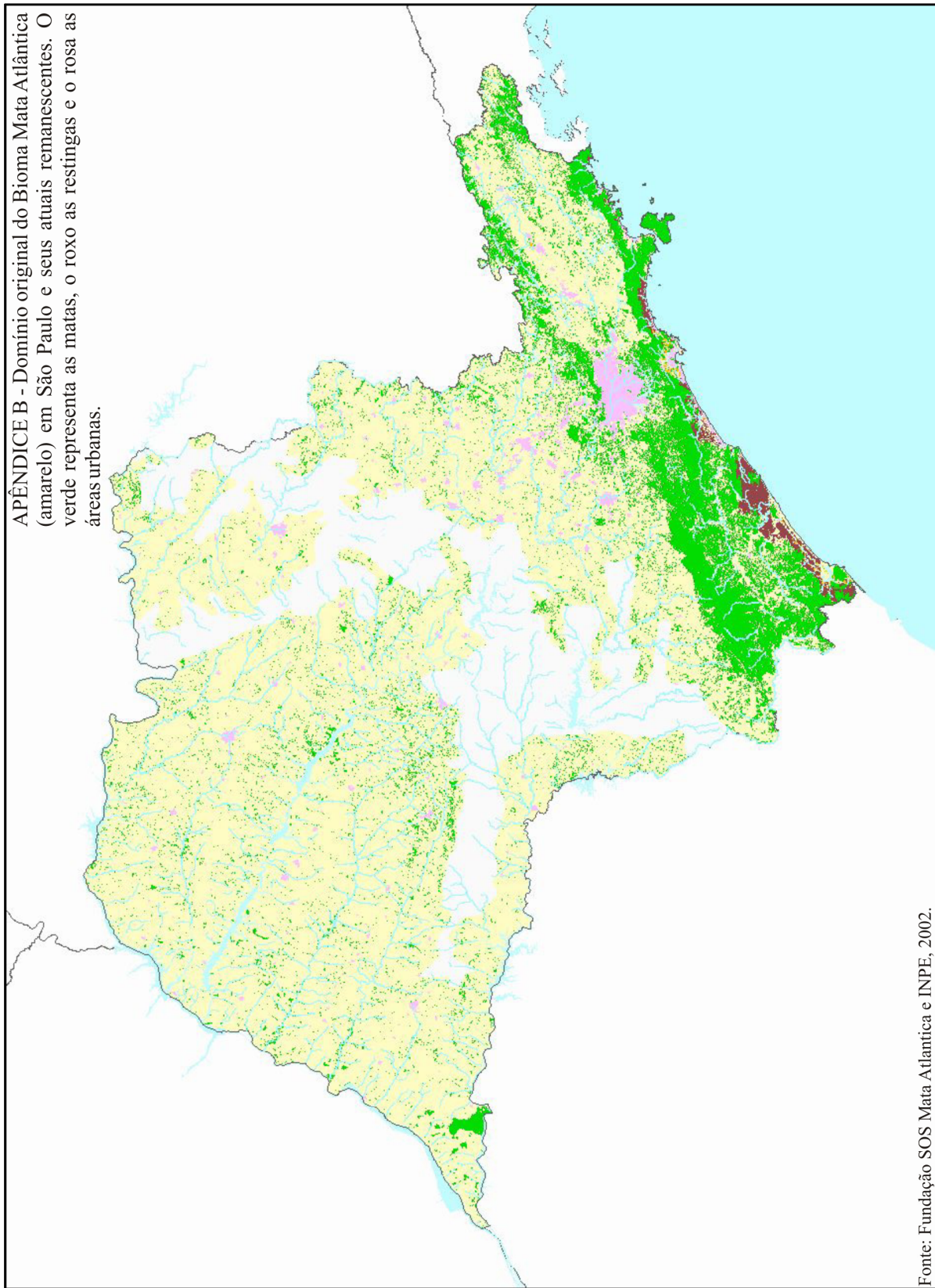
APÊNDICE A - Domínio original do Bioma Mata Atlântica (A) e seus atuais remanescentes (B).



Fonte: Fundação SOS Mata Atlântica e INPE, 2002.



APÊNDICE B - Domínio original do Bioma Mata Atlântica (amarelo) em São Paulo e seus atuais remanescentes. O verde representa as matas, o roxo as restingas e o rosa as áreas urbanas.



Fonte: Fundação SOS Mata Atlântica e INPE, 2002.



APÊNDICE C - Localização aproximada dos núcleos Picinguaba e Santa Virginia do Parque Estadual da Serra do Mar.

