

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

Interação da vegetação arbórea e poluição atmosférica na cidade de São Paulo

Tiana Carla Lopes Moreira

Dissertação apresentada para a obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de concentração: Recursos Florestais com opção em Conservação de Ecossistemas Florestais

**Piracicaba
2010**

Tiana Carla Lopes Moreira
Engenheiro Agrônomo

Interação da poluição atmosférica e a vegetação arbórea na cidade de São Paulo

Orientador:
Prof. Dr. **DEMÓSTENES FERREIRA DA SILVA FILHO**

Dissertação apresentada para a obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de concentração: Recursos Florestais com opção em Conservação de Ecossistemas Florestais

**Piracicaba
2010**

Ofereço ao meu avô (*in memoriam*)
que sempre acreditou em mim

Dedico a minha mãe,
a minha avó, ao meu pai e a minha irmã

AGRADECIMENTOS

- Ao meu orientador, Prof^o Dr^o Demóstenes Ferreira da Silva Filho pelo apoio, ensinamentos e confiança
- Ao funcionário do CMQ, Jefferson Lordelo Polizel, por toda sua ajuda
- Ao Prof^o Dr^o Antonio Gonçalves Natal pelas valiosas explicações sobre as plantas
- Ao Prof^o Dr^o Hilton Thadeu Zarate Couto pela análise estatística
- A Prof^a Dr^a Mitiko Saiki, do IPEN, por todo seu auxílio e participação na pesquisa
- Ao Prof^o Dr^o Paulo Hilário Saldiva, da FMUSP, por seu apoio e auxílio
- A minha tia Estela, por todo seu carinho
- A amiga Ana Paula Garcia pela sua ajuda e empenho
- A Karen Piedade (Santa), sua mãe Angela e ao Alfredo que me receberam em Piracicaba e por sua amizade
- A Jananda por todo seu auxílio na parte gráfica
- Ao Prof^o Dr^o Paulo Kageyama por permitir o uso das instalações do LARGEA
- A equipe do LARGEA, Elza, Andreia, Carol e Luana, pela ajuda, atenção e amizade
- Ao departamento de nutrição e agroindústria pelo empréstimo de equipamentos
- Ao IPEN pelo uso de suas instalações e equipamentos
- Ao Heraldo Guiaro, administração do Parque Ibirapuera, por permitir a realização da pesquisa no local
- A Bibliotecária Eliana pela sua ajuda na formatação e correções do texto
- Ao Prof^o Dr^o Marcos Scapin, IPEN, pelas análises químicas
- A minha prima Juliana pela ajuda na coleta
- A prof^o Regina Monteiro, CENA, pelas dicas e discussões sobre o tema
- Ao CNPQ pelo auxílio financeiro
- Ao Edgar do CMQ pelo auxílio da análise estatística
- A todos os colegas do CMQ, pelas conversas divertidas, amizade, discussões do tema e sugestões para o trabalho
- Ao Toddy e a Dara por seu amor e companheirismo

A vida começa todos os dias
Érico Veríssimo

SUMÁRIO

RESUMO.....	13
ABSTRACT.....	15
LISTA DE FIGURAS.....	17
LISTA DE TABELAS.....	19
1 INTRODUÇÃO.....	21
2 FLORESTA URBANA.....	23
2.1 Estudo e interpretação da floresta urbana.....	24
3 ECOFISIOLOGIA DAS ÁRVORES URBANAS.....	27
3.1 Interações dos poluentes gerados pela tráfego veicular e as árvores.....	33
4 EFEITOS DA POLUIÇÃO DO AR À SAÚDE HUMANA.....	35
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	37
5.1 Área de estudo.....	37
5.2 Censo das árvores do Parque Ibirapuera.....	38
5.3 Fatores para escolha das espécies.....	39
5.4 Amostragem.....	41
5.5 Preparo.....	42
5.6 Análises da folhas: fluorescência de raio x por dispersão de energia.....	44
5.7 Análises de dados.....	45
5.8 Análises de material certificado.....	47
6 RESULTADOS.....	49
7 DISCUSSÃO.....	69
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	73
REFERÊNCIAS.....	75

RESUMO

Interação da vegetação arbórea e a poluição atmosférica na cidade de São Paulo

A compreensão de como a floresta urbana interage com a poluição atmosférica é importante tanto para o planejamento urbano quanto para a saúde pública. A floresta urbana é capaz de reter e absorver os poluentes atmosféricos além de poder ser utilizada como biomonitor de baixo custo em localizações privilegiadas. O Parque Ibirapuera localizado em uma região central da cidade de São Paulo tem uma floresta urbana heterogênea e dentro dele há as principais árvores encontradas nas ruas da cidade. Esse aspecto facilitou o estudo da interação dessas árvores com a poluição atmosférica. Para a realização do estudo foi necessária a coleta das folhas das árvores e sua moagem para a análise dos componentes inorgânicos. Houve a partir desse estudo a determinação dos elementos presentes nas folhas de árvores através da técnica de fluorescência de raio X. Dos componentes encontrados a partir da moagem foram estudados aqueles que possuíam emissão de fontes veiculares para que se fizesse uma relação desses com a interação da vegetação e como essa pode ser utilizada para amenizar os ambientes poluídos e para o biomonitoramento.

Palavras-chave: Floresta urbana; Poluição atmosférica; Fluorescência de Rx

ABSTRACT

Interaction between trees and air pollution in the city of São Paulo

The comprehension of the urban forest interaction with atmospheric pollution is important to urban planning and public health. The urban forest is able to held back and absorb the air pollution besides the use as low coast biomonitor and privileges location. The Ibirapuera Park located in a central area of the city of São Paulo has an heterogeneous urban forest and inside of this park there are the mains trees founded in the streets of São Paulo. This aspect has made easier the study of the interaction of those trees with the air pollution. For the realization of this study was need the collection of the foils of the trees and theirs grind for the analyses of the inorganic components. The determination of the elements presents in the leaf of the trees with the technique of x-ray fluorescence allows understand the interaction of these elements with the tree and give the tree the function of ambient biomonitor.

Keywords: Urban forest; Atmospheric pollution; X-ray fluorescence

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Interação dos fatores de estresse.....	28
Figura 2 – Fatores envolvidos na absorção foliar.....	30
Figura 3 - Mapa de localização das áreas estudada gerada no programa Arcgis 9.3.....	37
Figura 4 - Mapa da população de estudo encontrada no censo da arborização e georreferenciada gerada no programa Arcgis 9.3.....	39
Figura 5 - Exemplo de folha de ipê roxo. Ilustração da autora.....	40
Figura 6 - Exemplo de folha de jacarandá mimoso. Ilustração da autora.....	41
Figura 7 - Exemplo de folha de paineira. Ilustração da autora.....	41
Figura 8 - Método de moagem com nitrogênio líquido.....	43
Figura 9 - Pastilha prensada de dupla camada.....	43
Figura 10 - Equipamento espectrômetro de fluorescência de raio X, da marca Shimadzu Co., modelo EDX-720.....	44
Figura 11 - Método de extração das árvores inseridas nos polígonos de circulares de 150m de raio.....	46
Figura 12 - Imagem de satélite do Parque Ibirapuera com a visualização das árvores amostradas (verde) e fontes potenciais de poluentes (azul).	49
Figura 13 - Mapa de contorno de isolinhas, no sistema UTM, datum Sade 69, latitude 23, gerados a partir da concentração média do elemento Ba encontrado nas folhas das árvores do Parque Ibirapuera.....	51
Figura 14 - Mapa de contorno de isolinhas, no sistema UTM, datum Sade 69, latitude 23, gerados a partir da concentração média do elemento Cd encontrado nas folhas das árvores do Parque Ibirapuera.....	53
Figura 15 - Mapa de contorno de isolinhas, no sistema UTM, datum Sade 69, latitude 23, gerados a partir da concentração média do elemento Cr encontrado nas folhas das árvores do Parque Ibirapuera.....	55
Figura 16 - Mapa de contorno de isolinhas, no sistema UTM, datum Sade 69, latitude 23, gerados a partir da concentração média do elemento Cu encontrado nas folhas das árvores do Parque Ibirapuera.....	57
Figura 17 - Mapa de contorno de isolinhas, no sistema UTM, datum Sade 69, latitude 23, gerados a partir da concentração média do elemento Fe encontrado nas folhas das árvores do Parque Ibirapuera.....	59

Figura 18 - Mapa de contorno de isolinhas, no sistema UTM, datum Sade 69, latitude 23, gerados a partir da concentração média do elemento Mn encontrado nas folhas das árvores do Parque Ibirapuera.....	61
Figura 19 - Mapa de contorno de isolinhas, no sistema UTM, datum Sade 69, latitude 23, gerados a partir da concentração média do elemento Pb encontrado nas folhas das árvores do Parque Ibirapuera.....	63
Figura 20 - Mapa de contorno de isolinhas, no sistema UTM, datum Sade 69, latitude 23, gerados a partir da concentração média do elemento S encontrado nas folhas das árvores do Parque Ibirapuera.....	65
Figura 21 - Mapa de contorno de isolinhas, no sistema UTM, datum Sade 69, latitude 23, gerados a partir da concentração média do elemento Zn encontrado nas folhas das árvores do Parque Ibirapuera.....	67
Figura 22 - Gráfico de dispersão da concentração do elemento Fe e área de copa dos indivíduos localizados dentro do polígono circular de 150m de raio.....	68
Figura 23 - Gráfico de dispersão da concentração do elemento S e área de copa dos indivíduos localizados dentro do polígono circular de 150m de raio.....	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Concentração média de Ba em amostras de folhas de ipê, jacarandá e paineira em diferentes locais	50
Tabela 2 - Concentração média do elemento Ba em amostras de folhas de diferentes espécies arbóreas.....	50
Tabela 3 - Concentração média de Cd em amostras de folhas de ipê, jacarandá e paineira em diferentes locais.....	52
Tabela 4 - Concentração média do elemento Cd em amostras de folhas de diferentes espécies arbóreas.....	52
Tabela 5 - Concentração média de Cr em amostras de folhas de ipê, jacarandá e paineira em diferentes locais.....	54
Tabela 6 - Concentração média do elemento Cr em amostras de folhas de diferentes espécies arbóreas.....	54
Tabela 7 - Concentração média de Cu em amostras de folhas de ipê, jacarandá e paineira em diferentes locais.....	56
Tabela 8 - Concentração média do elemento Cu em amostras de folhas de diferentes espécies arbóreas.....	56
Tabela 9 - Concentração média de Fe em amostras de folhas de ipê, jacarandá e paineira em diferentes locais.....	58
Tabela 10 - Concentração média do elemento Fe em amostras de folhas de diferentes espécies arbóreas.....	58
Tabela 11 - Concentração média de Mn em amostras de folhas de ipê, jacarandá e paineira em diferentes locais.....	60
Tabela 12 - Concentração média do elemento Mn em amostras de folhas de diferentes espécies arbóreas.....	60
Tabela 13 - Concentração média de Pb em amostras de folhas de ipê, jacarandá e paineira em diferentes locais.....	62
Tabela 14 - Concentração média do elemento Pb em amostras de folhas de diferentes espécies arbóreas.....	62
Tabela 15 - Concentração média de S em amostras de folhas de ipê, jacarandá e paineira em diferentes locais.....	64
Tabela 16 - Concentração média do elemento S em amostras de folhas de diferentes espécies arbóreas.....	64

Tabela 17 - Concentração média de Zn em amostras de folhas de ipê, jacarandá e ineira em diferentes locais.....	66
Tabela 18 - Concentração média do elemento Zn em amostras de folhas de diferentes espécies arbóreas.....	66
Tabela 19 - Comparação da concentração média encontrada no Parque Ibirapuera e em outras áreas utilizando folha.....	70

1 INTRODUÇÃO

A poluição atmosférica nos grandes centros urbanos tornou-se um problema de saúde pública. Outros problemas relacionados à poluição atmosférica além da saúde humana também preocupam e geram gastos financeiros, como por exemplo a degradação da vegetação e de construções.

A floresta urbana pode e deve ser usada como instrumento de descontaminação atmosférica, e devido a isto é preciso entender essa floresta, sua interação com a poluição, e o comportamento com as diversas espécies que a formam.

Estima-se que a população da cidade de São Paulo seja de aproximadamente 11.000.000 de habitantes (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2009) e possui uma frota veicular registrada no município de 6.673.882 (SÃO PAULO, 2009a) além dos veículos que circulam pela cidade, mas possuem registro em outros locais. Esses veículos são potenciais fontes poluidoras, e em áreas mais centrais; o chamado centro expandido são as principais fontes de poluição, já que as indústrias se encontram afastadas do centro da cidade.

O Parque Ibirapuera está localizado em uma área central da cidade e é um dos parques mais freqüentados pela população de São Paulo, é circundado por avenidas com grande fluxo veicular. Sua vegetação é composta por diversas espécies e entre elas estão as mais freqüentes nas ruas da cidade.

As espécies arbóreas encontradas no Parque Ibirapuera permitem a compreensão do comportamento dessas espécies no contexto urbano com forte influência da poluição atmosférica. A presença das diversas espécies encontradas no parque facilitou o seu estudo e amostragem, já que estavam localizadas em um mesmo ambiente.

O estudo da concentração dos elementos provenientes da poluição atmosférica encontrados nas folhas das árvores do parque permite uma mínima compreensão da interação da vegetação com a poluição atmosférica.

A análise da concentração dos elementos traços encontrados foi feita através da técnica de fluorescência de raio X (EDX-RF), que tem um baixo custo de análise e facilidade na preparação das amostras.

2 FLORESTA URBANA

Arborização urbana é o termo utilizado para caracterizar o conjunto de elementos de porte arbóreo- arbustivo encontrado nas cidades. Esse conjunto é formado por áreas públicas e privadas, sendo compostas por árvores na calçada, praças e parques e jardins particulares.

Segundo Lima et al. (1994), a arborização urbana diz respeito aos elementos de porte arbóreo, dentro da urbe, tais como árvores e outras.

O termo Arborização Urbana é conceituado por Grey e Deneke (1978) como conjunto de terras públicas e particulares, com cobertura arbórea, que uma cidade apresenta. Milano (1992) define Arborização Urbana como o “conjunto de terras públicas e privadas com vegetação predominantemente arbórea ou em estado natural que uma cidade apresenta”

Em aproximadamente 500 a.C já é possível detectar a presença, e a importância das árvores em ambientes mais urbanizados, (como no bosque de Akademos, próximo a Atenas onde Platão e outros sábios ministravam suas aulas) (HOEHNE, 1944). Esses bosques eram protegidos pelo senado romano devido ao reconhecimento de que as árvores contribuíam para a qualidade do ar.

A arborização urbana no Brasil iniciou-se quando D. João VI foi presenteado com exemplares vindos do Jardim de Gabrielle, na França para composição das cidades e com a função de fazer sombra e proteger as especiarias vindas das Índias Orientais (LOBELLO, 1989).

O arquiteto bolonhês Antonio Landi foi o responsável por trazer plantas e árvores frutíferas do Oriente para Belém, uma das primeiras cidades a traçar um projeto de arborização urbana (LOBELLO, 1989).

Conforme o Atlas ambiental da cidade de São Paulo (2002), a vegetação urbana da cidade é constituída por diversos tipos de vegetação: fragmentos da vegetação natural secundária (floresta ombrófila densa, floresta ombrófila densa alto montana, floresta ombrófila densa sobre turfeira e campos naturais e por ambientes implantados, em áreas urbanizadas, restringindo-se aos parques e praças municipais e a escassa arborização viária e por conjuntos ou espécimes isolados em terrenos particulares.

Magalhães (2006) sugere que independente da terminologia que estará consagrada para designar o conjunto arbóreo urbano, a arboricultura e a silvicultura, onde silvicultura é a arte, ciência e a tecnologia de manejo de árvores e de recursos da floresta no ecossistema urbano para promover os benefícios fisiológicos, sociológicos, econômicos e estéticos para a comunidade estarão atuando em estruturas distintas, sendo necessário que estas disciplinas e suas diferenças sejam incorporadas à pesquisa, à formação de profissionais e às políticas de administração destes componentes, nas cidades.

Considerando todas as diferenças citadas, seria interessante manter conceitos diferenciados para os componentes florestais e para as árvores isoladas ou em pequenos grupos: O primeiro poderia ser incluído no conceito de Floresta Urbana, ligado à atividade de Silvicultura Urbana; o segundo deveria ser definido no grupo de Arborização Urbana e estaria ligado às atividades de Arboricultura.

Tipuanas, sibipirunas, paineiras, ipês, paus-ferro, jacarandás-mimosos, quaresmeiras, manacás-da serra, cássias, entre outras, são algumas das espécies encontradas com maior frequência nas ruas de São Paulo, conforme relatado pela publicação “Vegetação significativa do Município de São Paulo” (SÃO PAULO, 1988).

A ocorrência e adensamento de algumas destas espécies ocorre devido a fatores culturais dos habitantes, por seus usos e costumes e principalmente pela sua maneira de pensar e agir diante da natureza. Algumas das espécies exóticas como o eucalipto, o ligustro, ciprestes, fícus e os diversos tipos de pinheiros também compõem a arborização urbana da cidade, representando a influência cultural dos imigrantes (SÃO PAULO, 1988).

2.1 Estudo e interpretação da floresta urbana

O conceito de floresta urbana (Urban forestry) é utilizado com frequência na América do Norte, mas no Brasil e na Europa ainda não é muito utilizado. Ele designa toda a área verde no ambiente urbano, de porte arbóreo ou não.

Grey e Deneke (1986) explicam que esta definição surgiu inicialmente no Canadá, comentada por Erik Jorgensen (1970), o qual já descrevia Floresta Urbana como o conjunto de

todas as árvores da cidade presentes nas ruas, bacias hidrográficas, áreas de recreação, suas interfaces e espaços de influências. Miller (2007) sintetiza esta definição: “é o conjunto de toda a vegetação arbórea e suas associações dentro e ao redor das cidades, desde pequenos núcleos urbanos até as grandes regiões metropolitanas”

Segundo Crestana (2007), a floresta urbana é definida como sendo toda cobertura arbórea-arbustiva contida dentro do perímetro das cidades, próxima das aglomerações urbanas.

O ecossistema urbano geralmente sofre grandes pressões e encontram diversos problemas, desde adversidades climáticas, espaços restritos, poluição atmosférica, solos inadequados e disputa da área com pessoas e construções, é um ambiente em constante e rápida transformação. E é nesse ambiente que é preciso buscar um convívio harmônico entre a vegetação e a infra estrutura urbana.

Os benefícios da floresta urbana na cidade são inúmeros e seus malefícios são em número tão restrito e de opinião pessoal que o plantio é extremamente benéfico. As árvores têm efeito estético, captação de água, retenção e filtragem de poluentes atmosféricos, controle de temperatura. Existem outros benefícios menos citados mas não menos importantes como o efeito de sombra que conserva materiais como asfalto, fontes de alimentos e lenha para a população mais carente, fonte de biodiversidade no espaço urbano e diminuição da poluição sonora. Os problemas causados pelas árvores estão geralmente relacionados com erros na técnica de plantio, a falta de manejo adequado, utilização de espécies inadequadas ao local que pode causar a queda destes elementos. Para algumas pessoas, a sujeira causada pelas folhas e flores também se torna um inconveniente.

A floresta urbana é capaz de melhorar a qualidade do ar interceptando o material particulado e absorvendo poluentes gasosos pelos estômatos. Também podemos citar a redução da temperatura e aumento de umidade, evitando as ilhas de calor (HARRIS et al, 1999).

Velasco (2007) observou que quanto maior a cobertura arbórea menor a utilização de refrigeração artificial diminuindo assim o consumo de eletricidade.

Segundo Miller (2007), a floresta urbana, as árvores e a vegetação têm muitos usos e funções no ambiente urbano, desde as mais óbvias e outras nem tanto. As funções arquitetônicas e estéticas são óbvias, mas algumas funções de engenharia nem tanto.

Estas funções de engenharia podem ser descritas como:

- Redução da poluição do ar;

- Redução de ruídos indesejáveis;
- Diminuição do impacto da chuva em solos e construções.

Em Cook Dupage Counties (região de Chicago), a floresta urbana removeu 1,2t/dia de CO, 3,7t/dia de SO₂, 4,2t/dia de NO₂, 10,8t/dia de O₃ e 8,9t/dia de MP₁₀ (MCPHERSON et al., 1994).

Estudos demonstraram que a transferência hipotética de material particulado pelas árvores foi de 340 toneladas, em um local onde existiam 440 árvores, com altura média de 6 metros e área média de 36.8m² e o fluxo estimado de particulado de 2-5 x 10⁻³ µg/h (SMITH, 1990).

A contribuição da vegetação na atenuação da poluição atmosférica também pode ocorrer de forma indireta como exemplo do O₃, devido a redução da temperatura. Durante a transpiração da vegetação ocorre a diminuição da temperatura e aumento da umidade relativa do ar, diminuindo a emissão de hidrocarbonetos. Além das formas diretas como absorção do próprio O₃ e do NO₂ (MCPHERSON et al., 1998).

A discussão referente a estrutura ou vegetação envolvem diversos aspectos. A vegetação localizada na área urbana compete por espaço com construções. Uma forma de interpretar a estrutura desta floresta urbana é através da utilização de índices, como o índice de floresta urbana descrito por Silva Filho et al. (2006). A utilização de índice se torna necessária para entender o contexto da vegetação urbana e sua relação com os outros elementos deste ambiente. O índice é responsável por determinar a valorização do espaço arborizado em relação aos outros constituintes do meio como ruas, calçadas, quadras, casas e edifícios através da utilização de imagens de satélite ou fotografias aéreas. O uso dessas fotografias é interessante porque mostra o conjunto de vegetação e não apenas os elementos, como cada árvore individualmente.

As análises da cobertura arbórea também fornecem informações básicas da estrutura da floresta, índices de área foliar e espaços livres, usadas para modelagens das funções da floresta urbana como a mitigação da poluição do ar e sequestro de dióxido de carbono, ou seja, os benefícios gerados por essa floresta (NOWAK, 1996).

3 ECOFISIOLOGIA DAS ÁRVORES URBANAS

As árvores no ambiente urbano realizam os mesmos processos que em uma floresta natural, respiração, transpiração, fotossíntese, ciclagem de nutrientes entre outros. O que as difere são os processos ambientais limitantes ou estressantes, relacionados ao desenvolvimento vegetal. Os elementos químicos inorgânicos encontrados na vegetação são os mesmos encontrados na crosta terrestre (LARCHER, 2004).

A poluição pode ser considerada um dos mais importantes fatores antropogênicos, mas ela também pode ser produzida pela natureza, como nas erupções vulcânicas, vegetação em áreas alagadas e descargas elétricas que são capazes de lançar elementos fitotóxicos no ar.

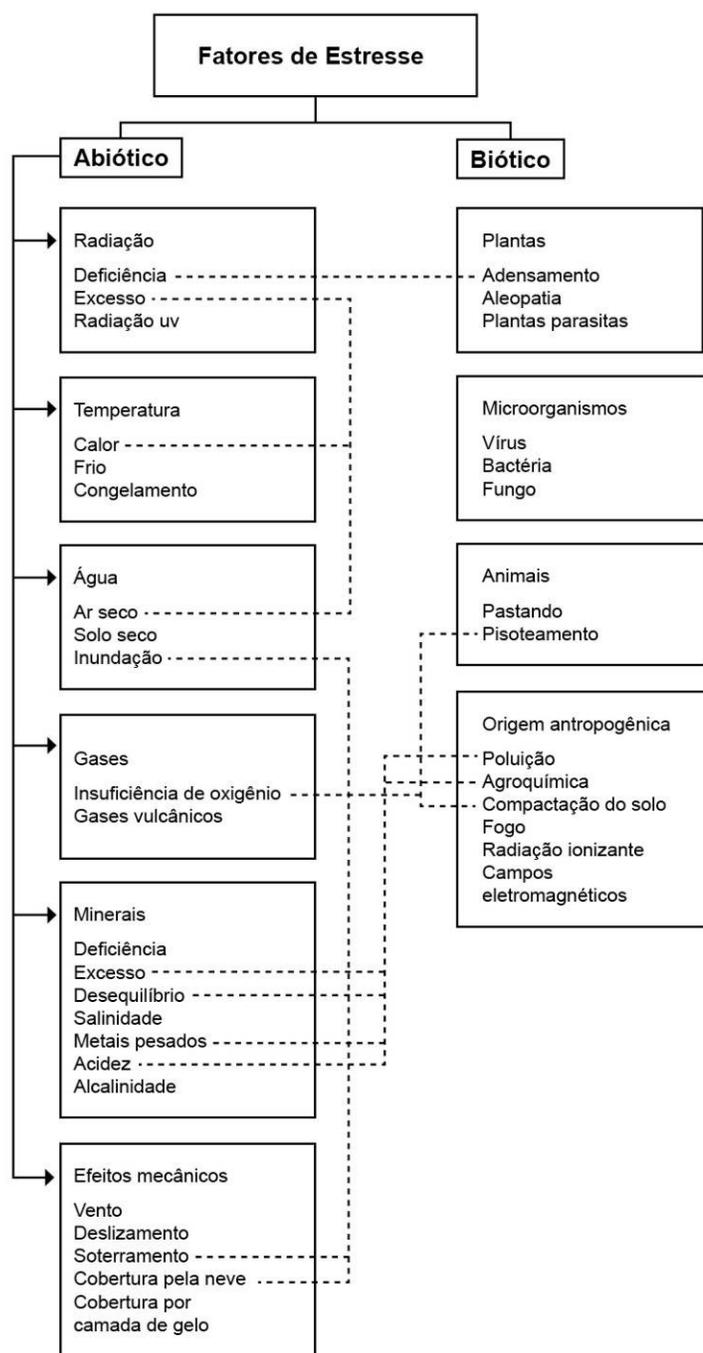
As interações dos poluentes com as plantas podem ser benéficas ao ambiente e ao homem. Essa vegetação pode acumular transformar e absorver poluentes. Mesmo quando sofre danos causados pela poluição pode ser benéfica ao homem, pois podem ser plantas bioindicadoras de poluição.

O desenvolvimento urbano certamente modifica o mesoclima. Vegetação reduzida, pavimentação, construções que ocupam o pouco espaço disponível. Como resultado temperatura, precipitação, ventos umidade e radiação diminuem (HARRIS et al., 1999).

Diversos fatores geram estresse na vegetação que pode ser definido quando ocorre um desvio significativo das condições ótimas para a vida em todos os níveis funcionais do indivíduo. O estresse pode ser abiótico, biótico e antropogênico (LARCHER, 2004).

O estresse abiótico está relacionado a fatores climáticos, como radiação, temperatura, precipitação, seca, ventos. Os fatores bióticos estão relacionados com os animais e microorganismos. Os antropogênicos são físicos e mecânicos, representados por poluentes químicos, compactação de solo, impermeabilização do solo, redução de espaço de desenvolvimento, radiação ionizante e campos eletromagnéticos. (LARCHER 2004).

As interações entre os fatores de estresse que podem ocorrer na vegetação podem ser observados na Figura 1.



Figural - Interação dos fatores de estresse (LARCHER, 2004)

O primeiro poluente a ser estudado foi o dióxido de enxofre (SO_2) (OST, 1907; HEGGESTAD; HECK, 1971 apud FERREIRA, 2004) onde descreveram os danos causados pelo enxofre. Danos causados por oxidantes fotoquímicos foram observados pela primeira vez em 1944 em Los Angeles. O ozônio (O_3) foi considerado como poluente fitotóxico a partir de estudos com correntes elétricas a partir de 1914 (FERREIRA, 2004).

Segundo Baumbach (1996), os gases e particulados tem efeitos direto nas plantas principalmente nas folhas e acículas e posteriormente até nas raízes através da contaminação do solo.

Os danos da poluição são comumente classificados como aguda, crônica ou escondida (MUDD; KOZLOWSKI, 1975).

Cada poluente gera uma interação diferente com a vegetação, assim como a reação das plantas ao poluente também varia entre espécies e estágio de crescimento. (BAYCU et al., 2006)

Existem duas formas de entrada dos poluentes presentes na atmosfera nas folhas ou acículas: estomática, abertura e fechamento dos estômatos regulados pela necessidade de gás carbônico (CO_2) para a fotossíntese e evapotranspiração. E através da epiderme, pela cutícula. A via estomática é a mais frequente. Os poluentes são relocados nos espaços intracelulares e algumas são capazes de destruir estruturas celulares e outras interferem no metabolismo das plantas (BAUMBACK, 1996).

Os particulados sólidos e aerossóis são removidos através de três mecanismos: sedimentação devido ao efeito da gravidade, impacto com as massas de ar e deposição devido à precipitação. A velocidade do vento é reduzida pelas plantas, seguido do assentamento. O impacto das partículas nas plantas faz com que as partículas passem para a estrutura da planta (MILLER, 2007).

O tamanho das partículas influencia qual órgão será mais eficiente em sua captação. Os pecíolos são mais eficientes para partículas de $10\mu\text{m}$ ou mais. A chuva é responsável por lavar as partículas com $20\text{-}30\mu\text{m}$ e até maiores. As partículas de $1\text{-}5\mu\text{m}$ são retidas nos pêlos e os metais pesados estão mais associados com o particulado fino (SMITH, 1990).

Bernatzky (1978) apud Harris et al. (1999) observou que em Frankfurt as ruas principais possuíam 3000 particulados por litro de ar e ruas sem árvores possuíam 10000-12000 partículas por litro. As plantas diminuem a concentração de metais pesados no ar exemplos do níquel (Ni), chumbo (Pb), cádmio (Cd), cromo (Cr). A concentração de Pb cai rapidamente conforme aumenta a distância das avenidas que possuem árvores e arbustos.

Os gases são absorvidos pelo tecido ativo, primeiramente nas folhas e absorvidas pelas partes mais superficiais das árvores. O óxido de nitrogênio é removido pela superfície foliar e alguma utilização do nitrogênio (N) pela planta. O SO_2 é pouco removido, mas é muito danoso as folias (MILLER, 2007).

A absorção foliar depende de alguns fatores, tanto ligados a folha quanto a planta como um todo. Estes fatores podem ser observados na Figura 2.

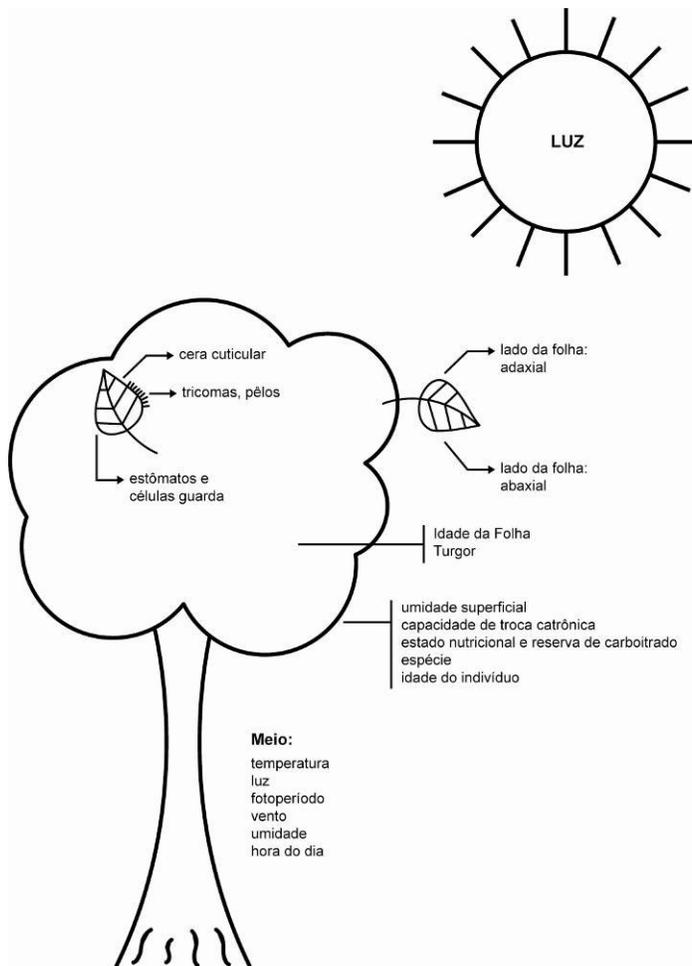


Figura 2 - Fatores envolvidos na absorção foliar (MALAVOLTA, 2006)

A remoção mais significativa é do CO_2 , gás utilizado no processo fotossintético. O monóxido de carbono (CO) tem alguma remoção (SMITH, 1978 apud MILLER, 2007). A remoção de outros gases é pouco significativa.

As áreas poluídas podem aumentar a condutividade estomática das plantas e em locais com alta concentração de (NO_2) pode ocorrer um aumento da absorção de N do ar, o qual pode ser utilizado como nutriente para os sistemas fotossintéticos aumentando assim as taxas de fotossíntese, compensando uma possível falta de luz em ambientes urbanos (LARCHER, 2004).

As áreas poluídas podem aumentar a condutividade estomática das plantas e em locais com alta concentração de (NO_2) pode ocorrer um aumento da absorção de N do ar, o qual pode ser utilizado como nutriente para os sistemas fotossintéticos aumentando assim as taxas de

fotossíntese, compensando uma possível falta de luz em ambientes urbanos (TAKAGI; GYOKUSEN, 2004).

Smith (1978) apud Miller (2007) em uma revisão sobre a capacidade de remover metais pesados encontrou que o ideal para que as florestas e a vegetação arbórea removam a poluição atmosférica deve ser:

1. Para a remoção do MP, espécies com altas taxas de circunferência de folha, superfície e volume e com superfície rugosa;
2. Coníferas e decíduas com muitos ramos e galhos para que no inverno mantenham a remoção;
3. Para poluentes gasosos espécies arbóreas com alta tolerância ao ambiente urbano. Essas espécies têm altas taxas metabólicas e sendo assim abertura estomática alta. É importante também o uso de espécies com tolerância à seca.
4. Somente em áreas relativamente grandes tem eficiente redução da poluição do ar. O mínimo de cinturão verde eficiente é de aproximadamente 150m mas pode variar conforme o local.
5. A densidade e estrutura da floresta urbana influenciam na capacidade de remoção de poluentes.
6. Mistura de espécies. Coníferas e decíduas para dar máxima segurança de funções devido a condições ambientais.

Geralmente somente em áreas próximas as áreas de emissão é que a poluição tem concentração suficiente para causar grandes danos (BAUMBACK, 1996). Segundo Baycu et al. (2006) os tecidos das plantas refletem os elementos encontrados próximos a fonte emissora porque as plantas interagem com o ambiente local.

A interação entre metais pesados e a vegetação pode ser benéfica a vegetação, pois os metais pesados são considerados micronutrientes, devido a isto sua entrada é facilitada e alguns elementos tóxicos acabam entrando na planta também. Seu efeito tóxico ocorre principalmente no transporte eletrônico da respiração e da fotossíntese e na inativação de enzimas vitais (LARCHER, 2004).

A maioria das plantas é sensível aos metais pesados. A abertura estomática é prejudicada, a fotossíntese deprimida, a respiração perturbada e o crescimento perturbado. Como a toxidez

iônica dos metais depende sobretudo da inativação de enzimas vitais esses mecanismos oferecem proteção até bastante eficaz. (CASTRO; KLUGE; DECHEN, 2007)

Os metais pesados podem diminuir a biosíntese de clorofila, podem causar a peroxidação dos lipídios nas membranas fotossintéticas e quando presentes superfície foliar causam efeitos negativos na taxa fotossintética, fechando os estômatos e diminuindo a penetração da luz (BAYCU et al., 2006).

As plantas podem ser acumuladoras de metais pesados e sendo assim elas podem tanto mitigar os efeitos da poluição como servirem de bioindicadoras. Elas geralmente possuem mecanismos de resistência impedindo efeitos tóxicos. (CASTRO; KLUGE; DECHEN, 2007)

O critério de seleção para uma planta ser utilizada no biomonitoramento é que ela deve ser encontrada em grande número na área a ser monitorada e sua amostra deve ser fácil e barata. As plantas têm uma boa dispersão, permitindo uma alta densidade de pontos amostrais, possibilitando a construções de mapas de alta resolução (GRATANI, CRESCENTE, VARONE, 2008).

Segundo Castro, Kluge e Dechen (2007) as plantas acumuladoras podem ser observadas em áreas com altos níveis de metais no solo, como os solos de serpentina. Elas se tornam adaptadas geneticamente aos altos níveis de metais. São endêmicas de áreas com altos níveis de metais;

Os metais pesados como o Cu e o Zn são essenciais para o crescimento das plantas, entretanto concentrações elevadas de metais essenciais e não essenciais, como o Pb, podem resultar em inibição de crescimento e sintomas de toxicidade. Alguns metais pesados são constituintes de várias enzimas e proteínas (HALL, 2002).

A acumulação de Ni tem uma hipótese de que pode ocorrer como um mecanismo de defesa das plantas contra herbivoria e patógenos (MARTENS; BOYD, 2002).

Elementos como o Ni e o Zn possuem um acúmulo constante durante o ano, já o Al, Fe, Mn e Pb acumulam mais na primavera e início do verão.

3.1 Interações dos poluentes gerados pela tráfego veicular e as árvores

Os veículos são atualmente a principal fonte de emissão de poluentes para atmosfera, em especial nos grandes centros urbanos (ASSUNÇÃO, 2004).

Conforme o relatório elaborado pela agência de proteção ambiental americana (EPA), as emissões veiculares são responsáveis pela liberação de mais de 1000 compostos químicos na atmosfera (EUA, 2006).

A queima incompleta dos combustíveis é responsável pela liberação dos elementos citados neste relatório são liberados na atmosfera através de atritos dos componentes veiculares, dos pneus com o solo devido à movimentação e a frenagem. Todos os tipos de combustíveis (álcool, diesel e gasolina) geram alguma emissão.

Os elementos mais comumente estudados e que possuem alguma relação com o tráfego veicular são o bário (Ba), cádmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), níquel (Ni), chumbo (Pb), enxofre (S) e zinco (Zn) (SAMARA; VOUTSA, 2004; LASCHOBBER et al., 2003; MARTINS, 2009; MAHER; MOORE; MATZA, 2007, entre outros).

O Ba não é um elemento essencial a vida vegetal, sua concentração é maior nas raízes. Foi sugerido que só seria tóxico quando as concentrações de cálcio (Ca) fossem baixas. Existem poucos estudos sobre a absorção de bário pelas plantas, principalmente via aérea e também sobre sua toxicidade (LIMA, 2009).

A fabricação de tintas e esmaltes, velas de ignição, foguetes pirotécnicos e lâmpadas fluorescentes são fontes de liberação de Ba na atmosfera.

A provável fonte de Cd é do atrito dos pneus, assim como o Zn que é componente dos produtos utilizados na vulcanização dos pneus. (MORTVEDT, 1972)

O estudo de acumulação do Cd e Zn conjuntamente é muito comum, já que plantas que acumulam um acabam acumulando o outro. O Zn é importante para as plantas, pois está presente em enzimas relacionadas com a síntese de DNA e RNA, porém em altos níveis pode bloquear elementos do xilema. (BROOKS, 1998)

A provável fonte de Cu na atmosfera provinda de emissão veicular esta relacionada ao desgaste de peças.

O Fe está relacionado com a poeira e ressuspensão do material particulado. Ele está presente tanto na composição química da terra como pode ser gerado no desgaste de peças metálicas dos veículos.

Na vegetação, o Fe não tem grande mobilidade e seu acúmulo preferencial é nas folhas. É responsável pelo metabolismo basal, reações de óxido redução, metabolismo de N e síntese de clorofila (LARCHER, 2004).

Manganês também é componente da gasolina, ele é um aditivo e aumenta a octanagem da gasolina assim como Pb. O MMT (metilciclopentadienilmanganêstricarbonila), começou a ser utilizado em substituição aos compostos com chumbo, proibidos pelas agencias ambientais (PONTES, 2002).

Na vegetação ele atua na fotossíntese e transferência de fosfato, estabilização da estrutura do cloroplasto e síntese de ácidos nucléicos.

O elemento Pb já foi componente da gasolina, porém desde 1991 não é mais utilizado porque pode estragar os catalisadores. Porém ainda pode ser encontrado em alguns tipos de gasolina aditivada.

Os combustíveis de aeronaves ainda utilizam o chumbo em sua composição e existe uma pequena concentração em pneus reciclados, ligas metálicas e baterias.

Seu acúmulo pode ocorrer na endoderme que se transforma em uma barreira para seu transporte na planta, tornando sua mobilidade pequena (MALAVOLTA, 2006).

Estudos realizados em Roma analisaram o acúmulo dos poluentes durante um longo período e foi observado que as concentrações de Pb e Zn nas folhas das árvores eram mais altas quando os combustíveis utilizados possuíam altos valores de Pb. Desde o começo da utilização de catalisadores e combustíveis “verdes” seus teores decresceram. (GRATANI et al., 2008)

O Pb não é um elemento essencial à vida vegetal e é o elemento menos móvel na planta. Grande parte do Pb encontrado nas plantas está na parte aérea devido a sua baixa mobilidade e sua provável fonte de absorção foi atmosférica (MAYER, 1983).

O S é componente do diesel, 16 % do S encontrado na atmosfera e proveniente do escapamento veicular (MALAVOLTA, 2006).

Na região metropolitana de São Paulo, o diesel utilizado deve ter até 50 ppm de enxofre, enquanto no restante do país até 500 ppm. Em outros países como EUA e alguns países europeus a concentração máxima de enxofre permitida é de 10 a 15ppm (PONTES, 2002).

As plantas absorvem o enxofre na forma de SO_2 e o SO_4^{-2} porém não costumam absorver mais do que necessitam, é pouco móvel na planta. Ele é componente do protoplasma e enzimas. Seu acúmulo ocorre geralmente nas folhas e sementes (LARCHER, 2004).

Não existem evidências que as plantas possam acumular o Cr e o Ti, podendo adotá-los como índice de contaminação (BROOKS, 1998).

4 EFEITOS DA POLUIÇÃO DO AR À SAÚDE HUMANA

O ar limpo é considerado um requisito básico a saúde humana. A poluição do ar é responsável por várias doenças e mais de dois milhões de pessoas morrem a cada ano devido a mortes prematuras que podem ter alguma ligação a poluição do ar e mais da metade destas mortes ocorre em países em desenvolvimento. (WHO, 2005).

Segundo World Health Organization (WHO, 2005) o material particulado (MP), no qual estão contidos diversos elementos químicos, gera diversos impactos na saúde humana e variedade destes efeitos depende de fatores como tempo de exposição, idade e doenças pré-existentes. A gama dos efeitos é grande, porém os mais frequentes e comuns estão relacionados a doenças pulmonares e cardíacas.

O MP se deposita no trato respiratório e alguns mecanismos de defesa, como espirros são desencadeados pelas grandes partículas, não passando das narinas. A tosse quando as partículas atingem o trato respiratório inferior onde são depositadas nas células do trato respiratório ativando o aparelho muco-ciliar para fora do organismo. As partículas menores podem alcançar os pulmões onde se depositam e causam irritações e inflamações (FREITAS et al., 2004).

O ozônio, outro poluente, é um potente oxidante, citotóxico e atinge as porções mais distais das vias aéreas. Longas exposições ao ozônio diminuem as funções pulmonares e causam inflamações nas vias aéreas.

O ozônio e o MP causam danos à saúde mesmo em baixas concentrações. (FISCHLOWITZ-ROBERTS, 2009).

Na região metropolitana de Barcelona, Espanha, um estudo estimou a melhora da saúde e a economia com a redução das taxas de poluição. Para uma população estimada de 4 milhões de habitantes obteve-se os seguintes resultados: 3500 mortes são causadas anualmente pelos altos índices de poluição atmosférica, com a redução da poluição aos níveis recomendados pela WHO de $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP_{10} , 12% dessas mortes seriam evitadas e ainda um aumento de 14 meses na expectativa de vida, 1800 menos internações devido a problemas cardiorrespiratórios, 5000 casos a menos de bronquite aguda em crianças e uma redução aproximada de 54000 ataques de asma em adultos e crianças (PÉREZ; SUNYER; KÜNZLI, 2009).

O estudo ainda mostrou que a economia obtida com estas reduções de mortes e internações seria da ordem de 6400 milhões de euros se alcançados os valores recomendados pela WHO.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Área de estudo

O estudo foi realizado no Parque Ibirapuera, localizado no polígono composto pelas avenidas Pedro Álvares Cabral, Quarto Centenário e República do Líbano, na cidade de São Paulo, clima Cwa, segundo a classificação de Köppen-Geiger e coordenadas geográficas 23° 35' S, 46° 39' W (Figura 3) com ventos predominantes vindos do SE (predominante), SO e NO (MACHADO; AZEVEDO, 2006)

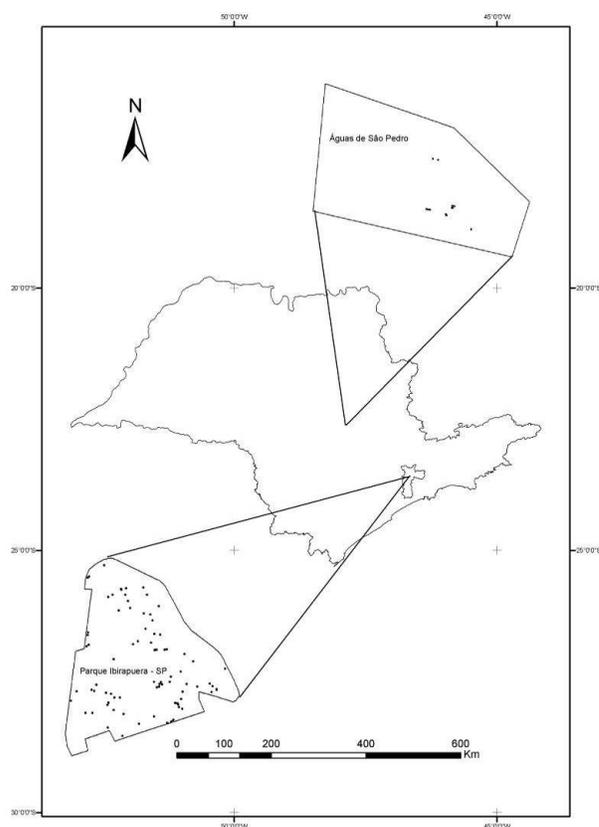


Figura 3 - Mapa de localização das áreas estudada gerada no programa Arcgis 9.3

O Parque está em uma região de várzea, praticamente centralizado na cidade, no bairro de Moema. Possui uma área de 1.585.000m² e sua fundação oficial ocorreu no quarto centenário da cidade de São Paulo em 1954. (MACEDO, 2003). Está inserido na bacia hidrográfica do Rio Tamanduateí.

O Ibirapuera foi concebido então como parque em 1954 por arquitetos como Oscar Niemeyer, Ulhôa Cavalcanti, Zenon Lotufo, Eduardo Knesse de Mello, Ícaro de Castro Mello,

além do paisagista Augusto Teixeira Mendes. É um dos parques mais procurados pela população (SÃO PAULO, 2007).

O parque possui três lagos artificiais interligados, totalizando uma área de 157 mil m². Existem ciclovias e treze quadras iluminadas, além de pistas destinadas a cooper, passeios e descanso.

A área controle foi a cidade de Águas de São Pedro no estado de São Paulo.

5.2 Censo das árvores do Parque Ibirapuera

Foi realizado o levantamento e o georeferenciamento da vegetação arbórea do parque.

O cadastro foi realizado com vários itens, escolhidos conforme a necessidade do parque. Uma planilha no programa Microsoft ACCESS foi gerada e os dados inseridos de cada árvore individualmente.

Para a realização do georreferenciamento foi utilizada a Estação Total e Global Position System (GPS).

O cadastro gerou diversos dados quantitativos e qualitativos relativos à vegetação e sua localização. Para o presente trabalho foram utilizados os dados de localização, perímetro a altura do peito (PAP) e espécie.

O levantamento identificou cinquenta e uma (51) famílias diferentes e trezentos e trinta e seis (336) espécies diferentes. Sendo que algumas não foram identificadas no nível de espécie e sim de gênero.

A Figura 4 foi gerada por meio dos dados obtidos no levantamento e ele constitui assim a população de estudo.



Figura 4 - Mapa da população de estudo de todas as espécies arbóreas encontrada no censo da arborização e georreferenciada gerada no programa Arcgis 9.3

5.3 Fatores para escolha das espécies

As espécies selecionadas precisavam ter um tempo de exposição aos poluentes semelhantes e por este motivo foram selecionadas espécies decíduas e que existem de forma abundante no parque.

A altura da árvore também foi utilizada na escolha do indivíduo para facilitar a coleta, estabelecendo a altura máxima da primeira ramificação até 3 metros e mínima de 1,5 metros evitando o efeito de ressuspensão.

A utilização frequente em arborização urbana também influenciou na escolha das espécies, foram selecionadas espécies nativas do Brasil.

As espécies estudadas foram:

Nome comum: Ipê Roxo

Nome científico: *Tabebuia heptaphylla*

Família: Bignoniaceae

Descrição botânica da folhas, conforme observado na Figura 5: folhas compostas digitadas possuindo de 5-7 folíolos glabros (desprovidos de pelos) e membranáceos.

Floresce de julho a setembro, época que perdem suas folhas.



Figura 5 - Exemplo de folha de ipê roxo. Ilustração da autora

Nome comum: Jacarandá mimoso

Nome científico: *Jacaranda mimosifolia*

Família: Bignoniaceae

Descrição botânica da folha conforme observado na Figura 6: folhas opostas, compostas bipinadas, com folíolos pequenos ovalados, opostos.

Floresce no final da primavera e começo do verão, época que perde suas folhas.

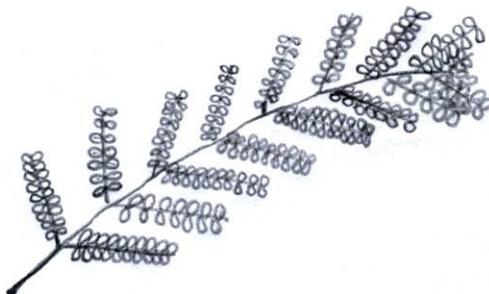


Figura 6 - Exemplo de folha de jacarandá mimoso. Ilustração da autora

Nome Comum: Paineira

Nome científico: *Ceiba speciosa*

Família: Bombacaceae

Descrição botânica da folhas conforme observado na Figura 7: Folhas compostas digitadas e longo pecioladas com 5-7 folíolos glabros e membranáceos.

Frutifica nos meses de agosto e setembro quando perde todas suas folhas.

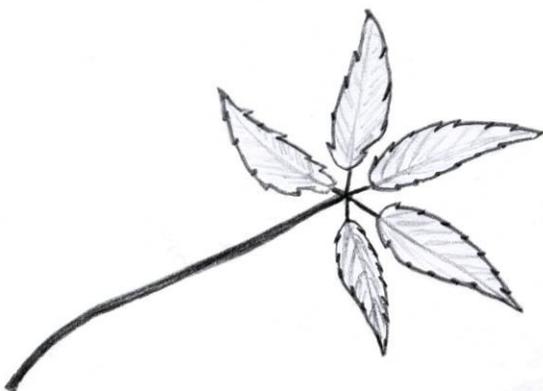


Figura 7 - Exemplo de folha de paineira. Ilustração da autora

5.4 Amostragem

Foram coletadas folhas de 30 árvores de cada espécie durante o mês de fevereiro e março de 2009.

Em cada árvore foi retirada 50g de folhas nos sentido norte, sul, leste e oeste;

As árvores foram selecionadas aleatoriamente da vegetação de estudo existente durante a caminhada no parque, buscando percorrer todas as áreas e checando o mapa e seu número identificado;

Após a coleta foi feita a verificação no banco de dados.

5.5 Preparo

As folhas foram lavadas em água corrente para retirar o excesso de poeira. França, 2006 indica que se deve lavar com EDTA evitando contaminações de superfície, porém poderia ocorrer o risco de lixiviação de algum elemento.

Conforme descrito por Araujo (2009) as folhas de espécies perenifólias são mais escleromórficas do que as decíduas e portanto necessitam de uma lavagem com detergentes específicos. Na presente pesquisa as espécies são decíduas e portanto a necessidade de detergentes é menor.

As folhas foram então secas em uma estufa de circulação forçada a temperatura máxima de 40° C, temperatura essa que poderia evitar possíveis volatilizações de elementos. As folhas foram consideradas secas quando o peso ficou constante. Todo procedimento foi realizado no Centro de métodos quantitativos, no departamento de Ciências florestais (LCF) na Escola superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ) da Universidade de São Paulo (USP).

A etapa de moagem das folhas foi realizada com auxílio de um liquidificador comum marca Arno, adaptado com pás de titânio evitando contaminações com metais devido a dureza do titânio. Este procedimento foi realizado no Instituto de pesquisa e energia nuclear (IPEN), no centro do reator de pesquisas (CRPQ).

Após este procedimento as amostras ainda não se encontravam homogêneas suficientes, então foi realizada a liofilização por 72 horas no departamento de agroindústria e nutrição da ESALQ. Posteriormente as amostras foram maceradas em almofariz e pistilo de porcelana lavados com excran. Foi utilizado nitrogênio líquido durante a maceração, no laboratório de reprodução e genética arbórea (LARGEA) no LCF da ESALQ. (Figura 8)



Figura 8 - Método de moagem com nitrogênio líquido

Para a realização da análise das amostras pela técnica de fluorescência de raios-x por dispersão de energia (EDXRF) foram preparadas pastilhas prensadas de dupla camada ou *pellets*.

O pó obtido após a moagem foi compactado em uma prensa hidráulica (HERZOG), sob pressão de 100 MPa, durante 10 segundos. Foi colocado de 1 a 2g de ácido bórico (H_3BO_3) p.a Synth em uma matriz de aço inoxidável (acessório da prensa) e submetidos à pressão, obtendo-se a base da pastilha. Posteriormente adicionou-se de 1,5-2g de amostra e submetida à pressão novamente obteve-se uma pastilha de dupla camada de 20 mm de diâmetro por 10 mm de espessura (Figura 9). Essa etapa do trabalho foi realizada no centro de química e meio ambiente (CQMA) do IPEN.



Figura 9 - Pastilha prensada de dupla camada

5.6 Análise da folhas: fluorescência de raio x por dispersão de energia (EDXRF)

Em 1972 o Instituto de Física e técnicas nucleares na Cracóvia, Polônia iniciava a aplicação da técnica de EDXRF para controle de poluição ambiental. (VAN GRIEKEN et al., 1990, FATOKI, 1996; NASCIMENTO FILHO et al., 1991 apud LOPES, 2003)

A técnica consiste em medir a intensidade dos RX emitidos pelos elementos químicos devidamente excitados. Os elementos analisados foram Na, Mg, Al, P, S, Cl, K, Ca, Sc, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Br, Rb, Sr, Mo, Cd, Sb, Ba, Ce, Hg, Pb, Th e Ti.

As análises dos componentes inorgânicos foram feitas em um espectrômetro de fluorescência de raio X, da marca Shimadzu Co., modelo EDX-720 (Figura 10) nas condições de operação seguintes: tubo de raios X de Ródio, tensão de 5 KV; corrente ajustada automaticamente de no máximo 1 mA; colimador de 10 mm; detector Si(Li); resfriamento termoelétrico; tempo de medida de 300s por amostra.



Figura 10 - Equipamento espectrômetro de fluorescência de raio X, da marca Shimadzu Co., modelo EDX-720

Devido a incertezas que podem ser geradas no preparo das amostras, do procedimento de medida e do instrumento utilizado foi utilizado um método analítico denominado método dos Parâmetros Fundamentais (PF). O método permite a obtenção da curva de sensibilidade do

equipamento para cada elemento de interesse, quando uma amostra de composição química conhecida é submetida a parâmetros instrumentais bem definidos (SCAPIN, 2005).

A curva de sensibilidade do equipamento relaciona a intensidade fluorescente teórica calculada e a medida para cada elemento. Dessa forma é possível determinar a composição do material analisado.

A técnica foi escolhida por permitir uma análise multielementar, não necessitar de tratamentos químicos prévios da amostra, diminuindo assim a geração de resíduos, e por ser eficiente para o monitoramento ambiental de elementos traço, não destrutivo,

O procedimento de análise foi realizado no CQMA, IPEN.

5.7 Análises de dados

Os dados de concentração dos elementos e distância de fontes poluidoras foram analisados estatisticamente através da análise de variância e comparação das médias e teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Foi feito também o teste de normalidade e a correlação de Pearson no programa Statistical Analysis System (SAS 9.1).

Foi realizada uma análise de regressão, onde foi comparada a somatória do diâmetro de copa de cada árvore localizada num raio de 150 metros da amostra. Foi desenhado um polígono circular com raio de 150 m ao redor de cada indivíduo amostrado com o programa Arcgis 9.3 (Figura 11). Todas as copas dos indivíduos localizados no interior dos polígonos foram somadas e relacionadas com a concentração dos elementos do indivíduo amostrado.

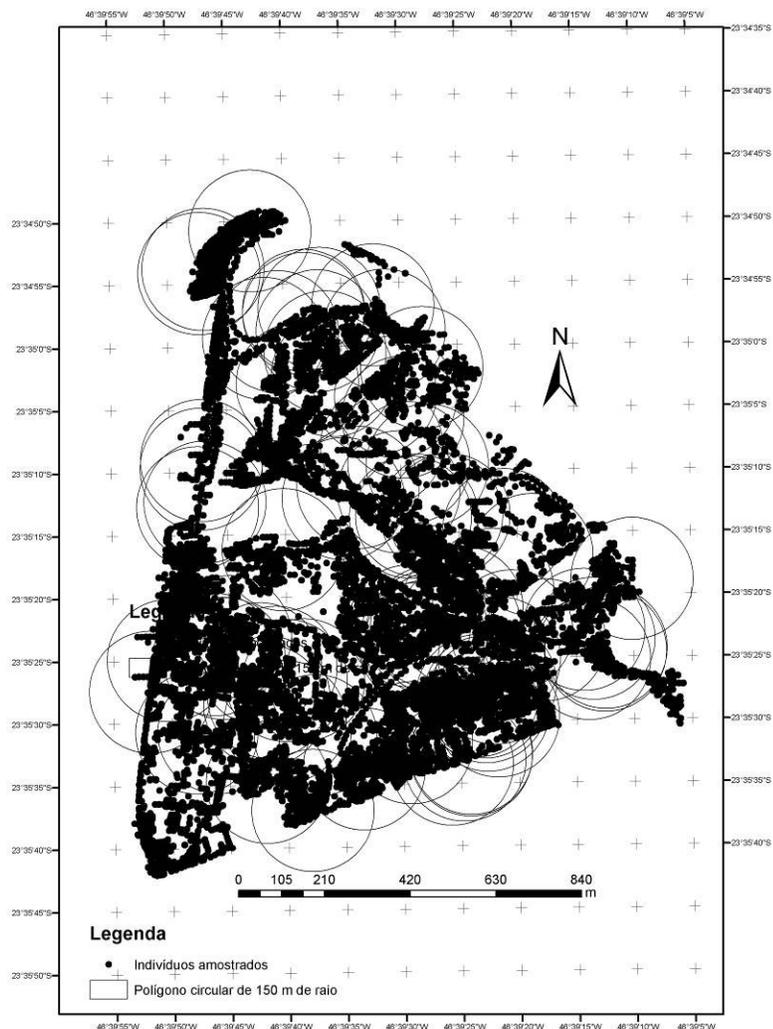


Figura 11 - Método de extração das árvores inseridas nos polígonos de circulares de 150m de raio

Também foi utilizado o programa Surfer 8 com o objetivo de fazer um mapa de contorno de isolinhas construído através da técnica de krigagem ordinária de cada elemento de interesse. A krigagem ordinária se baseia na estimativa das médias utilizando a análise de vizinhança. Desta forma o programa faz a interpolação dos dados e cria mapas de contorno de isolinhas.

5.8 Análise de material certificado

Um material certificados, ou seja, de valores constituintes conhecidos foi utilizado. O material analisado foi o Mixed Polish Herbs (INCTMPH- 2), sendo seis amostras deste material.

Este material foi analisado 11 vezes e o resultado foi confrontado com os valores certificados. A cada leitura das amostras da pesquisa também foi feita a leitura de uma amostra certificada.

A avaliação da precisão foi realizada por meio do cálculo do desvio padrão relativo.

A avaliação da exatidão foi realizada por meio do cálculo do erro relativo.

O limite de quantificação foi calculado de acordo com a Eq. 1 (ROUSSEAU, 2001).

$$2 * \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (C_i - \bar{C})^2}{N - 1}} \text{ (eq. 1) onde,}$$

C_i = valor determinado;

—

C = valor médio determinado;

N = número de repetições.

Todo o procedimento foi realizado seguindo as normas do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), Orientação sobre validação de métodos de ensaios químicos, DOQ-CGRE-008, do Inmetro que traz uma orientação sobre validação de métodos de ensaios químicos.

5 RESULTADOS

A Figura 12 mostra as árvores amostradas e as potenciais fontes locais de poluição, através dela é possível perceber a distribuição da amostragem, assim como a distribuição das fontes de poluição e fazer uma comparação com os mapas de distribuição dos elementos.

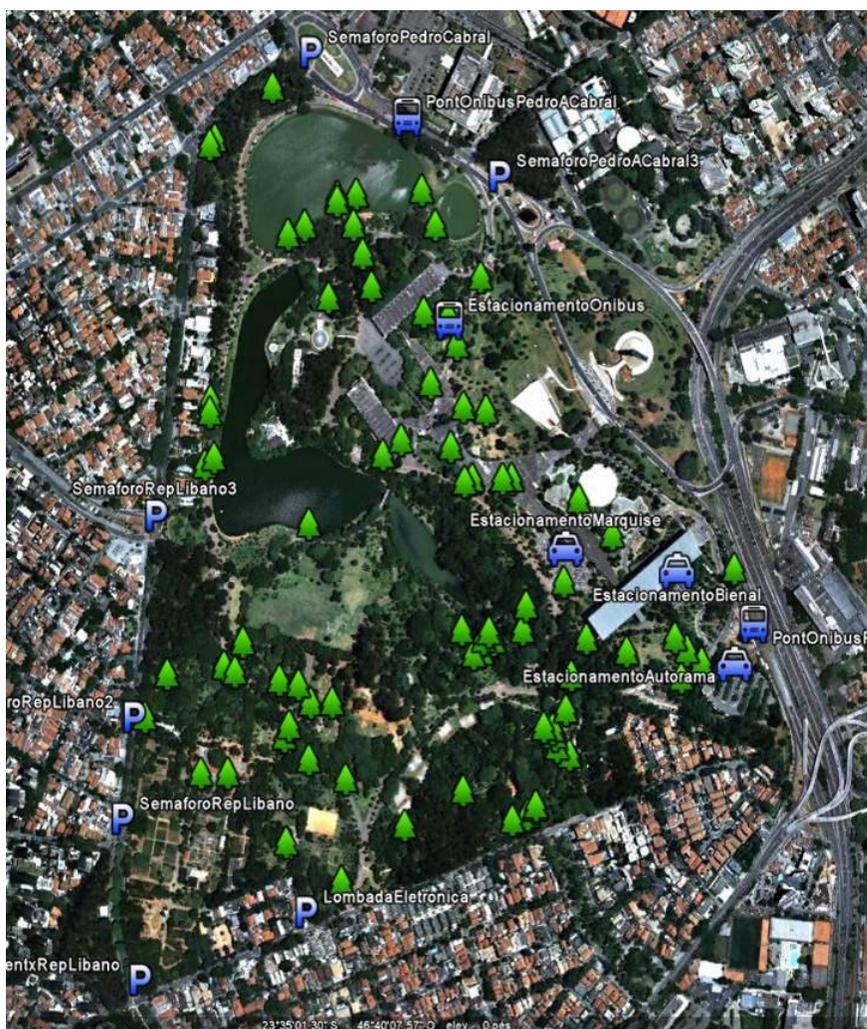


Figura 12 - Imagem de satélite do Parque Ibirapuera com a visualização das árvores amostradas (verde) e fontes potenciais de poluentes (azul). Fonte Google Earth (2009)

Não foi observada nenhuma diferença entre os locais de estudo, parque e controle (Tabelas 1).

Tabela 1 - Concentração média de Ba em amostras de folhas de ipê, jacarandá e paineira em diferentes locais

Local	Concentração Média (mg kg ⁻¹)	Teste F	
Ibirapuera	15,86a	F	0,72
Águas de São Pedro	13,49a	Pr>f	0,39
Média geral	15,86	CV%	

Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente pelo teste tukey a 5% de probabilidade.

O elemento Ba não apresentou nenhuma diferença significativa na sua absorção e não houve diferença observada entre as espécies (Tabela 2).

Tabela 2 - Concentração média do elemento Ba em amostras de folhas de diferentes espécies arbóreas

Espécie	Concentração Média (mg kg ⁻¹)	Teste F	
Ipê	18,20a	F	2,41
Jacarandá	14,90a	Pr>f	0,095
Paineira	13,43a		
Média geral	15,86	CV%	

Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente pelo teste tukey a 5% de probabilidade.

O mapa de contorno (Figura 13) mostrou uma alta concentração do elemento em áreas sem maciços arbóreos.

Ba

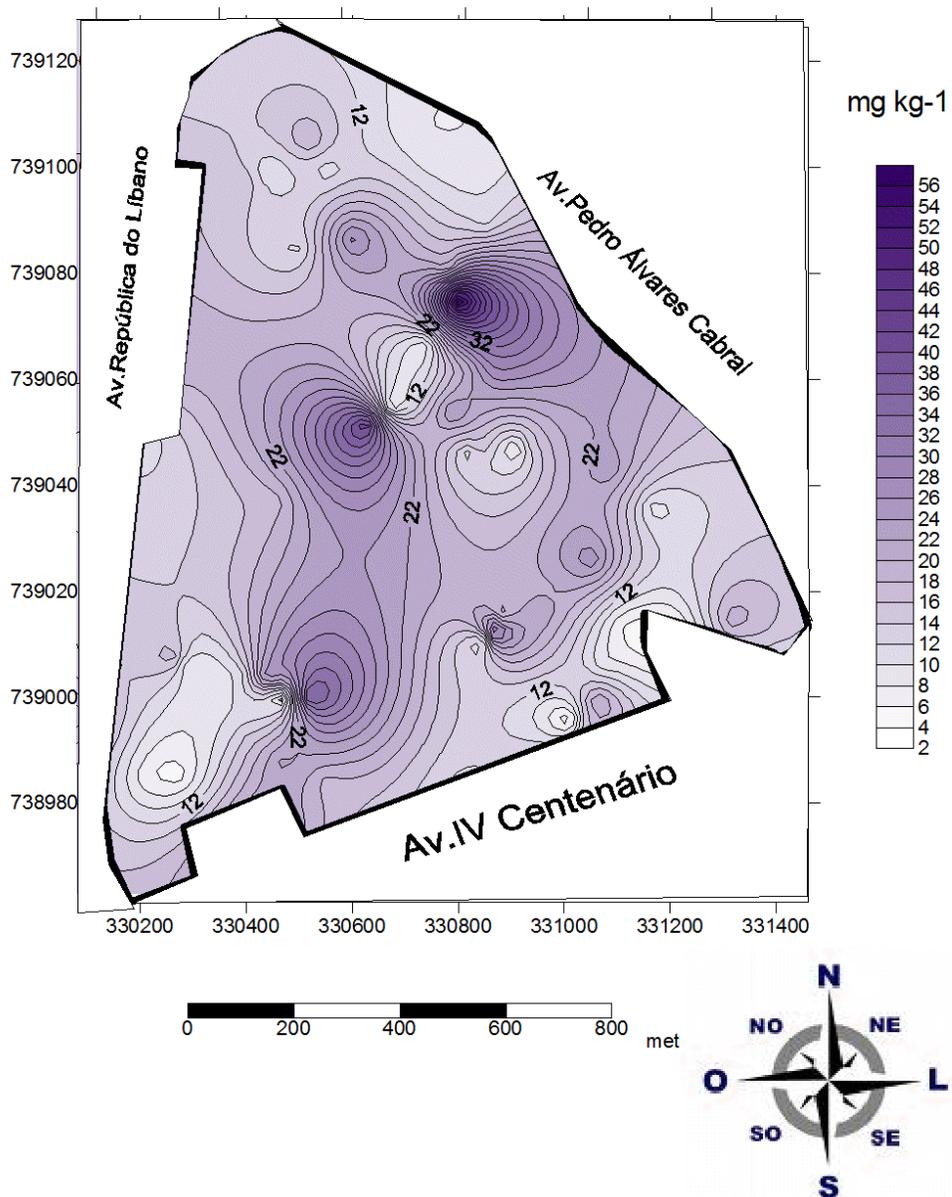


Figura 13 - Mapa de contorno de isolinhas, no sistema UTM, datum Sade 69, latitude 23, gerados a partir da concentração média do elemento Ba encontrado nas folhas das árvores do Parque Ibirapuera

Tabela 3 - Concentração média de Cd em amostras de folhas de ipê, jacarandá e paineira em diferentes locais

Local	Concentração Média (mg kg ⁻¹)	Teste F	
Ibirapuera	0,23a	F	2,19
Águas de São Pedro	0,19a	Pr>f	0,14
Média geral	0,23	CV%	0,35

Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente pelo teste tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 4 - Concentração média do elemento Cd em amostras de folhas de diferentes espécies arbóreas

Espécie	Concentração Média (mg kg ⁻¹)	Teste F	
Ipê	0,26a	F	17,9
Jacarandá	0,24a	Pr>f	<0,0001
Paineira	0,16a		
Média geral	0,23	CV%	0,35

Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente pelo teste tukey a 5% de probabilidade.

O Cd não mostrou diferenças significativas na absorção entre espécies diferentes e também entre os locais controle e parque (Tabelas 3 e 4). O mapa (Figura 14) também não mostrou nenhuma tendência na distribuição do elemento.

Cd

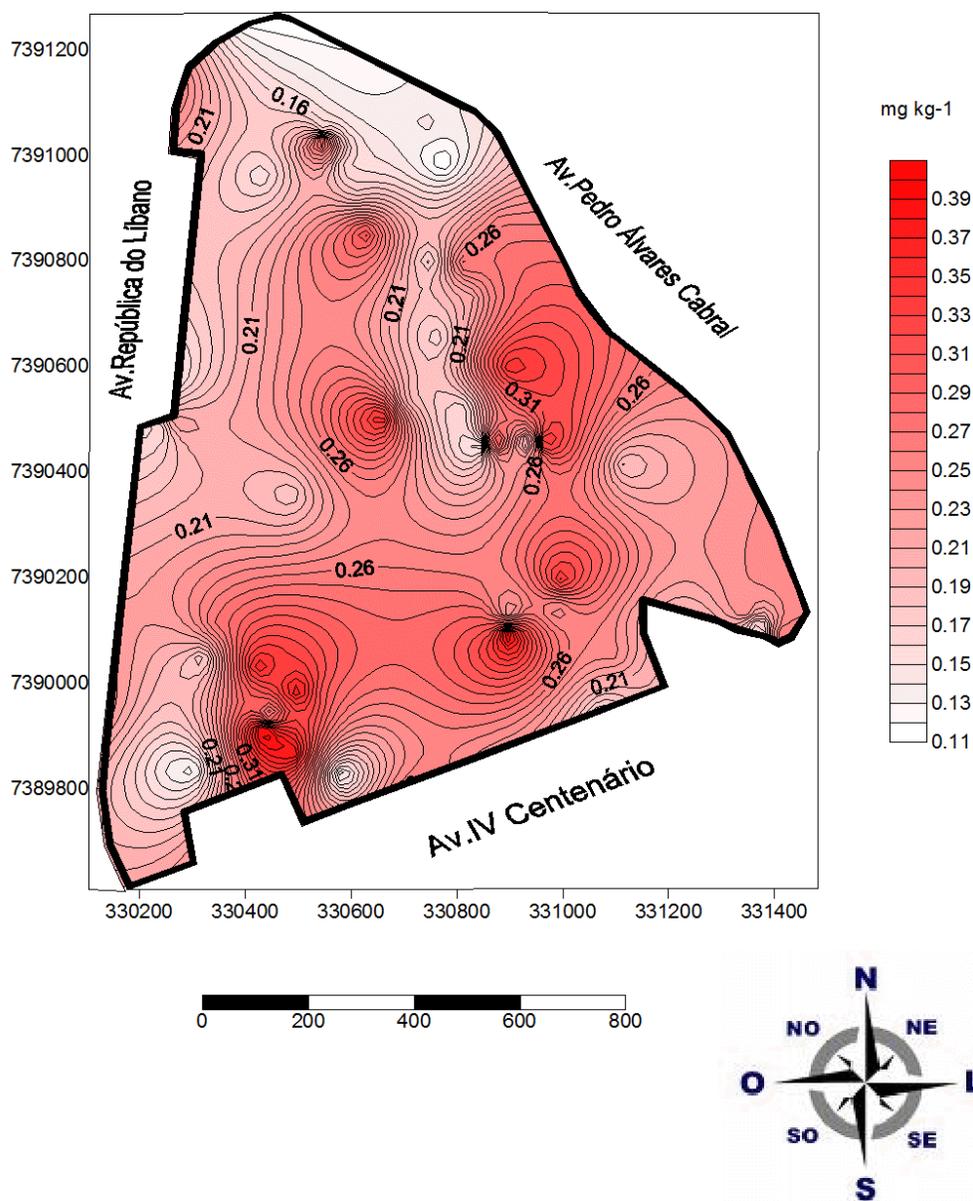


Figura 14 - Mapa de contorno de isolinhas, no sistema UTM, datum Sade 69, latitude 23, gerados a partir da concentração média do elemento Cd encontrado nas folhas das árvores do Parque Ibirapuera

Tabela 5 - Concentração média de Cr em amostras de folhas de ipê, jacarandá e paineira em diferentes locais

Local	Concentração Média (mg kg ⁻¹)	Teste F	
Ibirapuera	1,20a	F	1,03
Águas de São Pedro	0,85a	Pr>f	0,36
Média geral	1,2	CV%	0,90

Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente pelo teste tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 6 - Concentração média do elemento Cr em amostras de folhas de diferentes espécies arbóreas

Espécie	Concentração Média (mg kg ⁻¹)	Teste F	
Ipê	1,37a	F	0,92
Jacarandá	1,18a	Pr>f	0,34
Paineira	0,96a		
Média geral	1,2	CV%	0,90

Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente pelo teste tukey a 5% de probabilidade.

O elemento Cr não apresentou nenhuma diferença significativa em relação ao local de controle e o parque. Assim como as espécies também não absorveram de forma diferente (Tabelas 5 e 6).

O mapa de contorno (Figura 15) mostrou que o elemento estava menos concentrado nos locais aonde existiam maciços arbóreos.

Cr

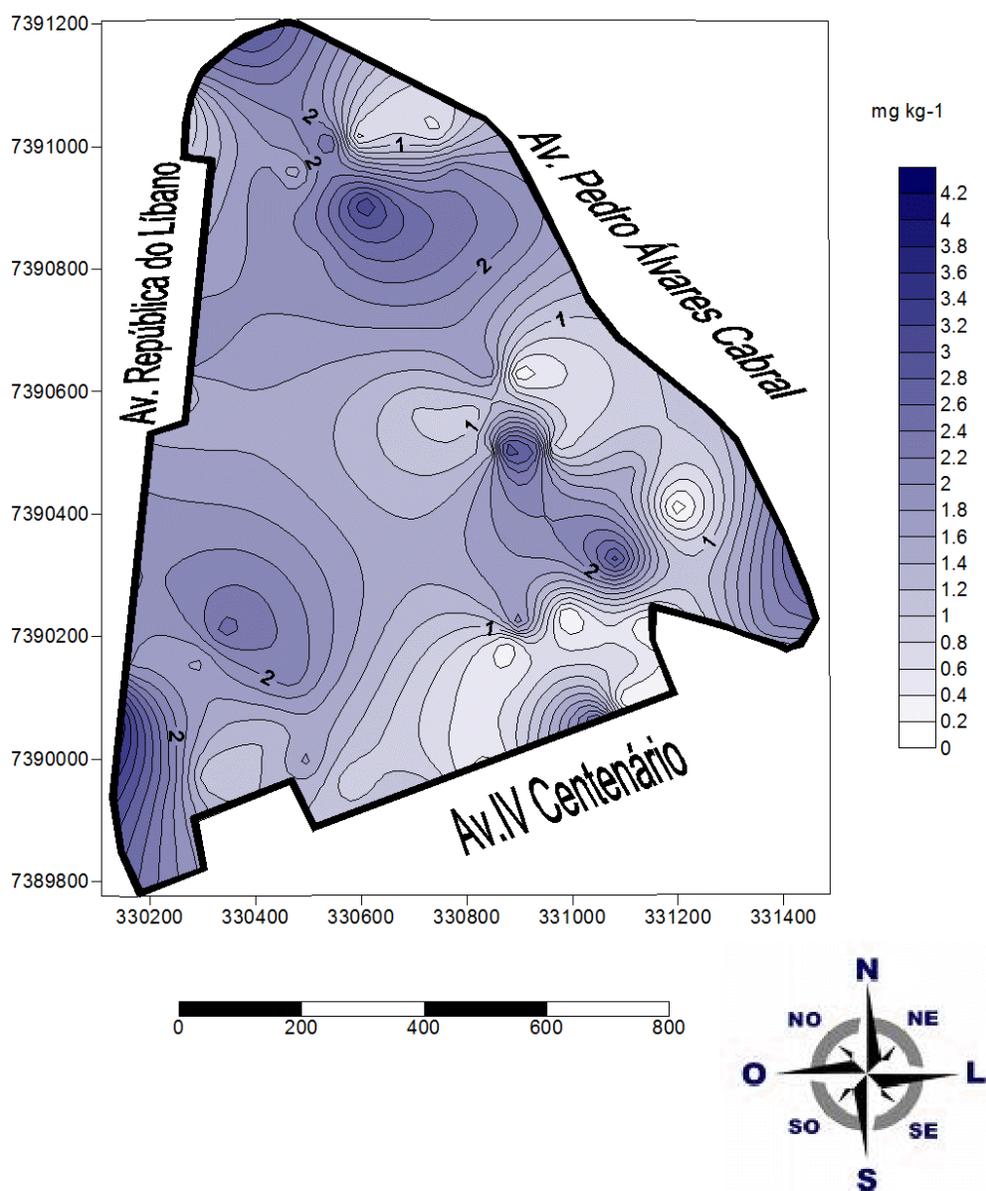


Figura 15 - Mapa de contorno de isolinhas, no sistema UTM, datum Sade 69, latitude 23, gerados a partir da concentração média do elemento Cr encontrados nas folhas das árvores do Parque Ibirapuera

Os locais de estudo, controle e parque, não mostraram diferenças significativas na retenção do elemento Cu conforme a Tabela(7)

Tabela 7 - Concentração média de Cu em amostras de folhas de ipê, jacarandá e paineira em diferentes locais

Local	Concentração Média (mg kg ⁻¹)	Teste F	
Ibirapuera	9,68a	F	0,41
Águas de São Pedro	9,38a	Pr>f	<0,0001
Média geral	9,38	CV%	0,17

Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente pelo teste tukey a 5% de probabilidade.

As três espécies retiveram o elemento diferente, mostrando que existe um fator responsável nas folhas por está retenção (Tabela 8).

Tabela 8 - Concentração média do elemento Cu em amostras de folhas de diferentes espécies arbóreas

Espécie	Concentração Média (mg kg ⁻¹)	Teste F	
Ipê	9,21b	F	27,01
Jacarandá	10,81a	Pr>f	0,52
Paineira	8,33c		
Média geral	9,38	CV%	0,17

Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente pelo teste tukey a 5% de probabilidade.

O mapa de contorno (Figura 16) mostrou uma maior concentração nas bordas do parque.

Cu

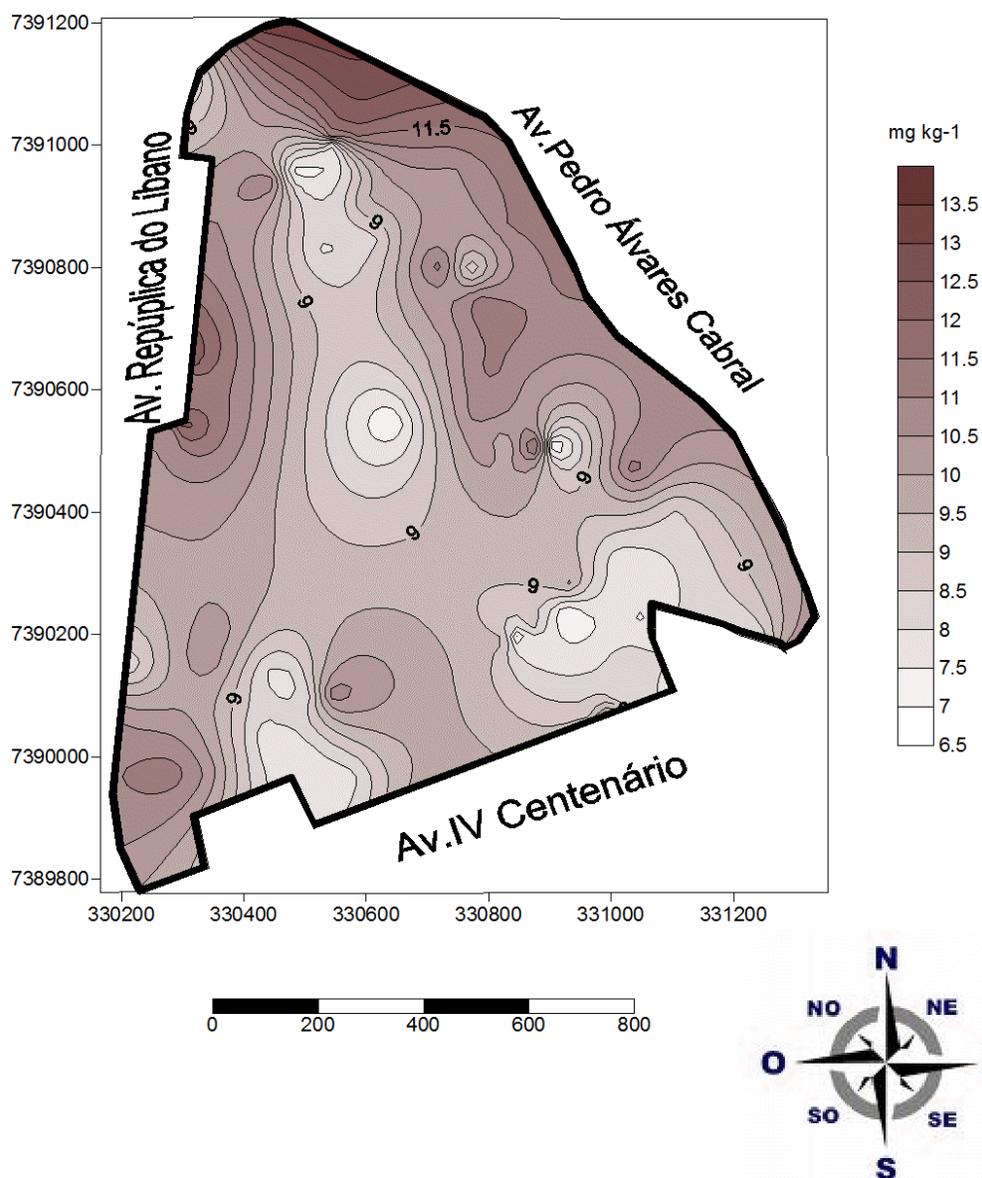


Figura 16 - Mapa de contorno de isolinhas, no sistema UTM, datum Sade 69, latitude 23, gerados a partir da concentração média do elemento Cu encontrado nas folhas das árvores do Parque Ibirapuera

Tabela 9 - Concentração média de Fe em amostras de folhas de ipê, jacarandá e paineira em diferentes locais

Local	Concentração Média (mg kg ⁻¹)	Teste F	
Ibirapuera	199,72a	F	12,12
Águas de São Pedro	120,23a	Pr>f	<0,0001
Média geral	199,72	CV%	0,44

Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente pelo teste tukey a 5% de probabilidade.

O jacarandá absorveu mais o elemento Fe (Tabela 10). Os locais não apresentaram diferenças significativas (Tabela 9).

Tabela 10 - Concentração média do elemento Fe em amostras de folhas de diferentes espécies arbóreas

Espécie	Concentração Média (mg kg ⁻¹)	Teste F	
Ipê	176,52b	F	13,68
Jacarandá	246,47a	Pr>f	0,0008
Paineira	149,29b		
Média geral	199,72	CV%	0,44

Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente pelo teste tukey a 5% de probabilidade.

Também podemos observar a concentração do elemento é maior nas áreas de borda do parque conforme ilustrado pelo mapa de contorno (Figura 17).

Fe

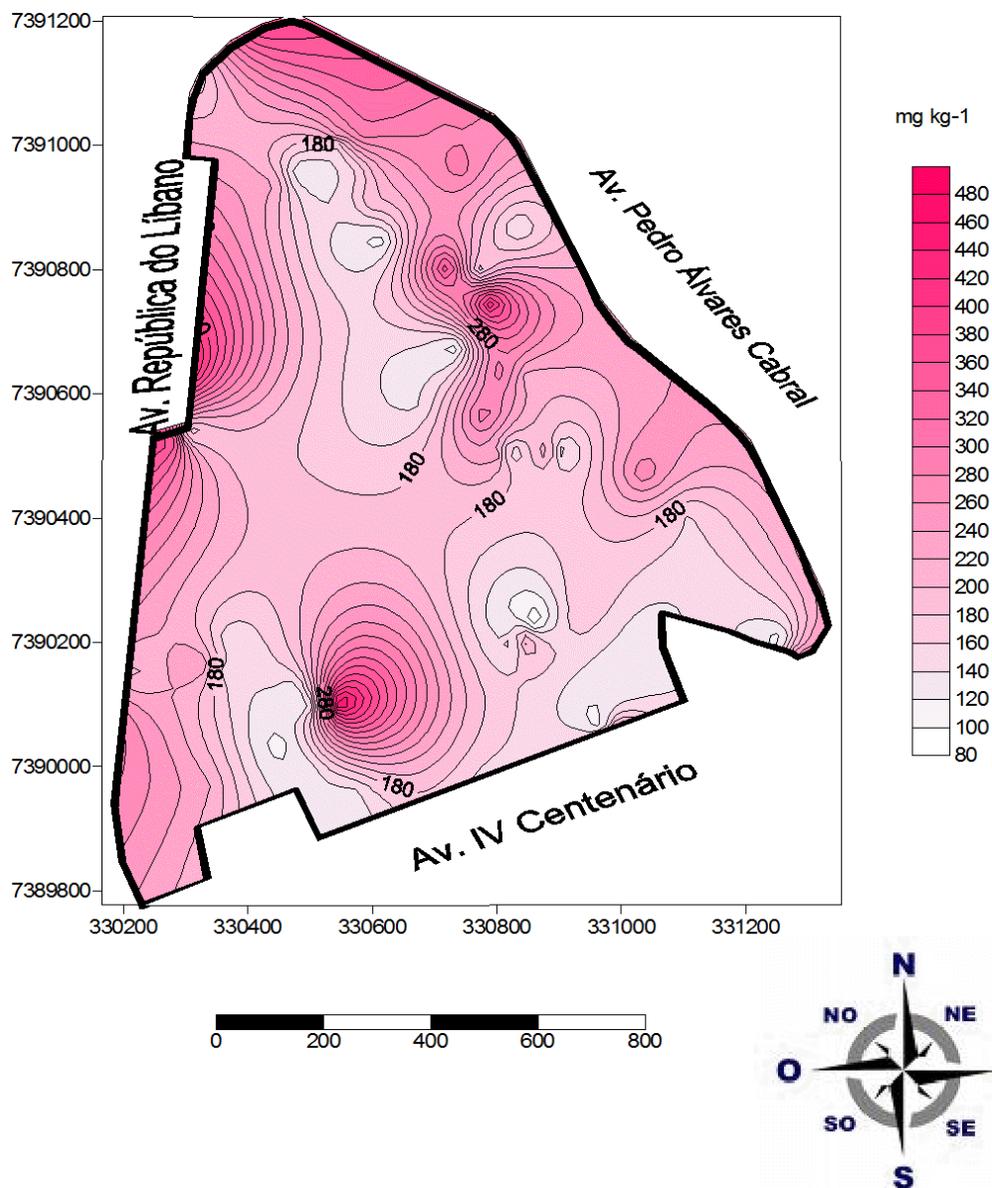


Figura 17 - Mapa de contorno de isolinhas, no sistema UTM, datum Sade 69, latitude 23, gerados a partir da concentração média do elemento Fe encontrado nas folhas das árvores do Parque Ibirapuera

O Mn apareceu em maiores concentrações na área controle (Tabela 10).

Tabela 11 - Concentração média de Mn em amostras de folhas de ipê, jacarandá e paineira em diferentes locais

Local	Concentração Média (mg kg ⁻¹)	Teste F	
Ibirapuera	30,34b	F	14,90
Águas de São Pedro	94,52a	Pr>f	0,0002
Média geral	30,33	CV%	0,64

Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente pelo teste tukey a 5% de probabilidade.

Não foi observada nenhuma diferença significativa na retenção pelas espécies estudadas (Tabela 11).

Tabela 12 - Concentração média do elemento Mn em amostras de folhas de diferentes espécies arbóreas

Espécie	Concentração Média (mg kg ⁻¹)	Teste F	
Ipê	52,34a	F	1,59
Jacarandá	31,76a	Pr>f	0,2090
Paineira	31,06a		
Média geral	30,33	CV%	0,64

Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente pelo teste tukey a 5% de probabilidade.

A observação do mapa de contorno (Figura 18) mostra que as áreas próximas a paradas, farol e lombada eletrônica, apresentaram maiores concentrações.

Mn

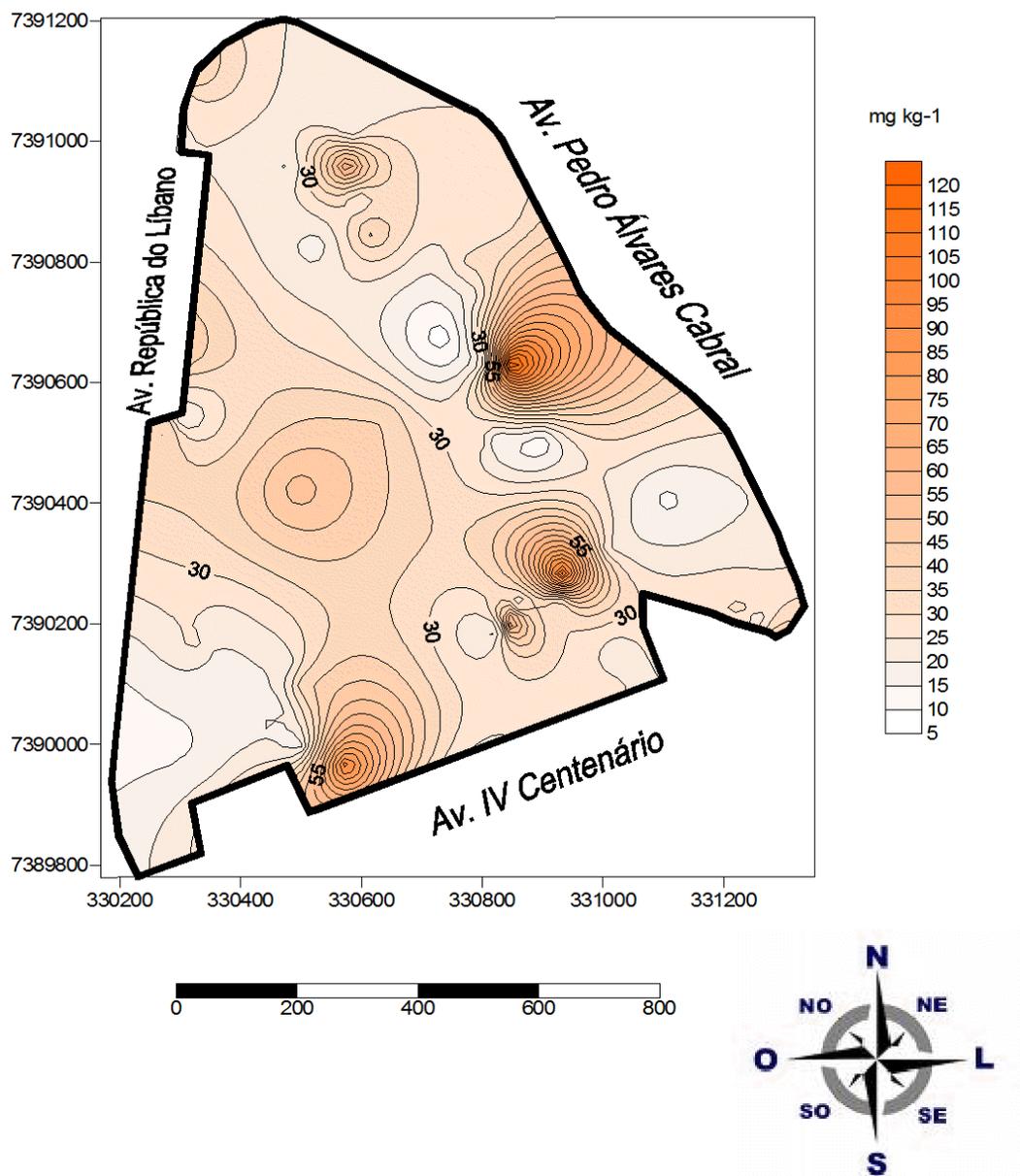


Figura 18 - Mapa de contorno de isolinhas, no sistema UTM, datum Sade 69, latitude 23, gerados a partir da concentração média do elemento Mn encontrado nas folhas das árvores do Parque Ibirapuera

Tabela 13 - Concentração média de Pb em amostras de folhas de ipê, jacarandá e paineira em diferentes locais

Local	Concentração Média (mg kg ⁻¹)	Teste F	
Ibirapuera	2,04a	F	0,00
Águas de São Pedro	2,03a	Pr>f	0,98
Média geral	2,03	CV%	0,27

Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente pelo teste tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 14 - Concentração média do elemento Pb em amostras de folhas de diferentes espécies arbóreas

Espécie	Concentração Média (mg kg ⁻¹)	Teste F	
Ipê	1,99a	F	1,94
Jacarandá	2,19a	Pr>f	0,1498
Paineira	1,93a		
Média geral	2,03	CV%	0,27

Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente pelo teste tukey a 5% de probabilidade.

Não foi observada nenhuma diferença significativa no elemento Pb, nem nos locais e nem nas espécies (Tabelas 13 e 14). O mapa de contorno (Figura 19) apresentou uma distribuição homogeneia no parque.

Pb

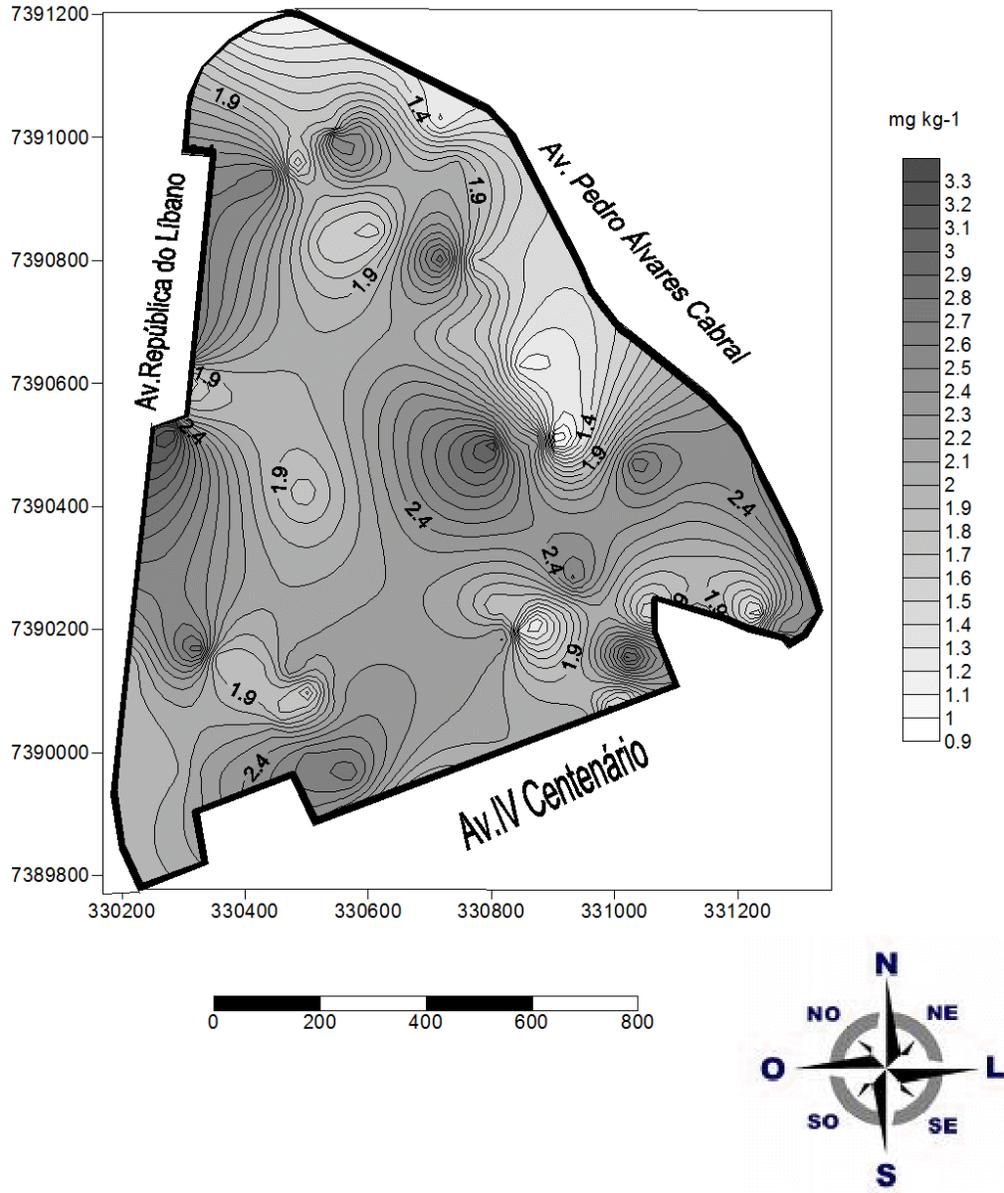


Figura 19 - Mapa de contorno de isolinhas, no sistema UTM, datum Sade 69, latitude 23, gerados a partir da concentração média do elemento Pb encontrado nas folhas das árvores do Parque Ibirapuera

Tabela 15 - Concentração média de S em amostras de folhas de ipê, jacarandá e paineira em diferentes locais

Local	Concentração Média (mg kg ⁻¹)	Teste F	
Ibirapuera	0,20a	F	0,02
Águas de São Pedro	0,20a	Pr>f	0,8909
Média geral	0,20	CV%	0,24

Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente pelo teste tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 16 - Concentração média do elemento S em amostras de folhas de diferentes espécies arbóreas

Espécie	Concentração Média (mg kg ⁻¹)	Teste F	
Ipê	0,17b	F	9,23
Jacarandá	0,19b	Pr>f	0,0002
Paineira	0,22a		
Média geral	0,20	CV%	0,24

Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente pelo teste tukey a 5% de probabilidade.

O S não apresentou diferença significativa entre os locais amostrados (Tabela 15). As espécies absorveram de forma diferente o S (Tabela 15).

O mapa de contorno (Figura 20) mostrou a concentração do elemento próximo as bordas e a área interior um pouco menos concentrada.

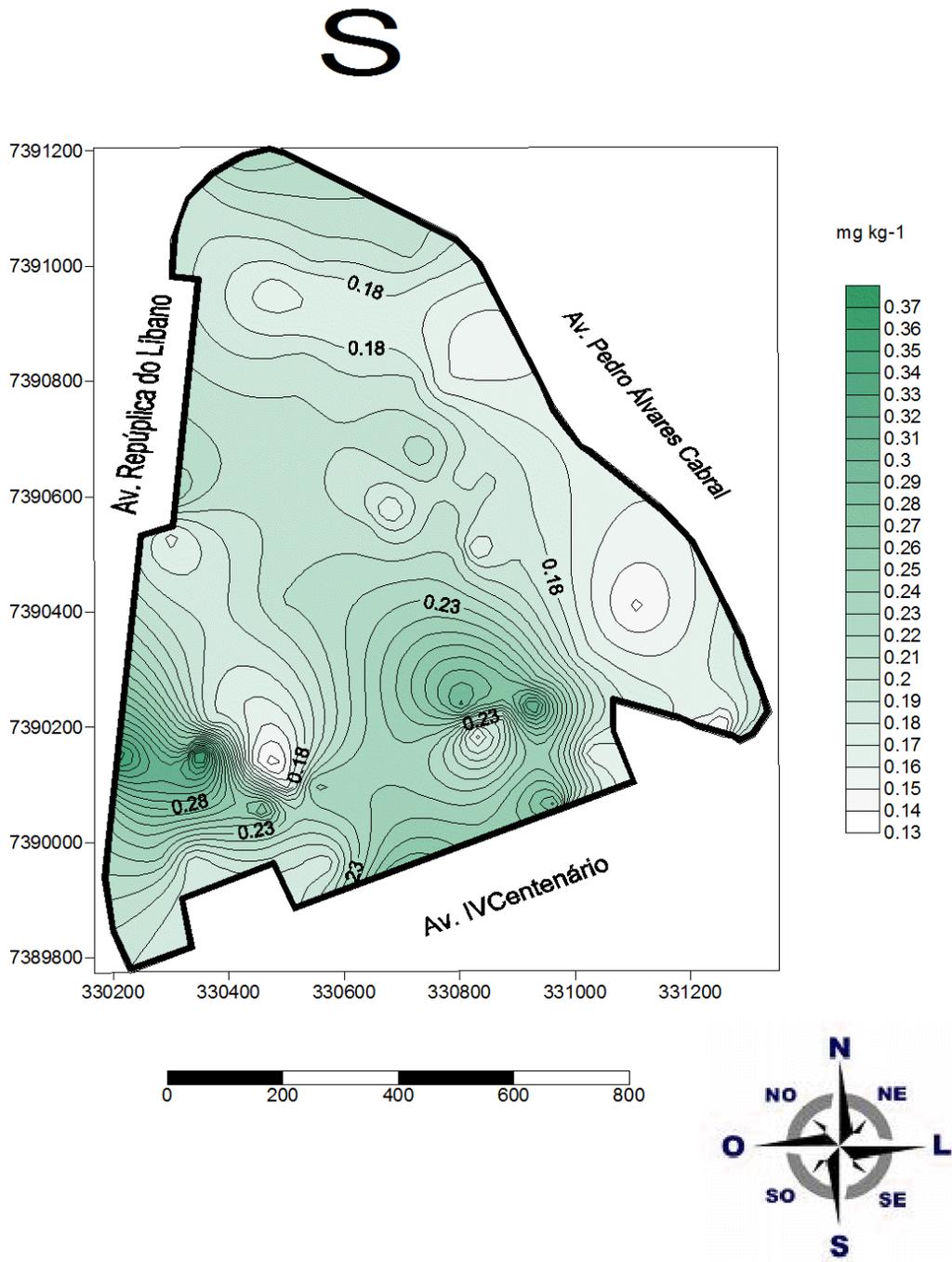


Figura 20 - Mapa de contorno de isolinhas, no sistema UTM, datum Sade 69, latitude 23, gerados a partir da concentração média do elemento S encontrado nas folhas das árvores do Parque Ibirapuera

Tabela 17 - Concentração média de Zn em amostras de folhas de ipê, jacarandá e paineira em diferentes locais

Local	Concentração Média (mg kg ⁻¹)	Teste F	
Ibirapuera	45,54a	F	8,03
Águas de São Pedro	28,64b	Pr>f	0,0057
Média geral	42,54	CV%	0,40

Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente pelo teste tukey a 5% de probabilidade.

A retenção foi diferente nos dois locais amostrados (Tabela 17), provavelmente porque o parque tem um maior fluxo de veículos nas avenidas próximas e as áreas localizadas próxima a circulação de veículos no interior do parque também apresentou concentrações elevadas conforme observado no mapa de contorno (Figura 21).

Tabela 18 - Concentração média do elemento Zn em amostras de folhas de diferentes espécies arbóreas

Espécie	Concentração Média (mg kg ⁻¹)	Teste F	
Ipê	37,689a	F	2,17
Jacarandá	45,713a	Pr>f	0,1202
Paineira	39,229a		
Média geral	42,54	CV%	0,40

Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente pelo teste tukey a 5% de probabilidade.

O Zn não foi retido de forma diferente pelas espécies (Tabela18).

Zn

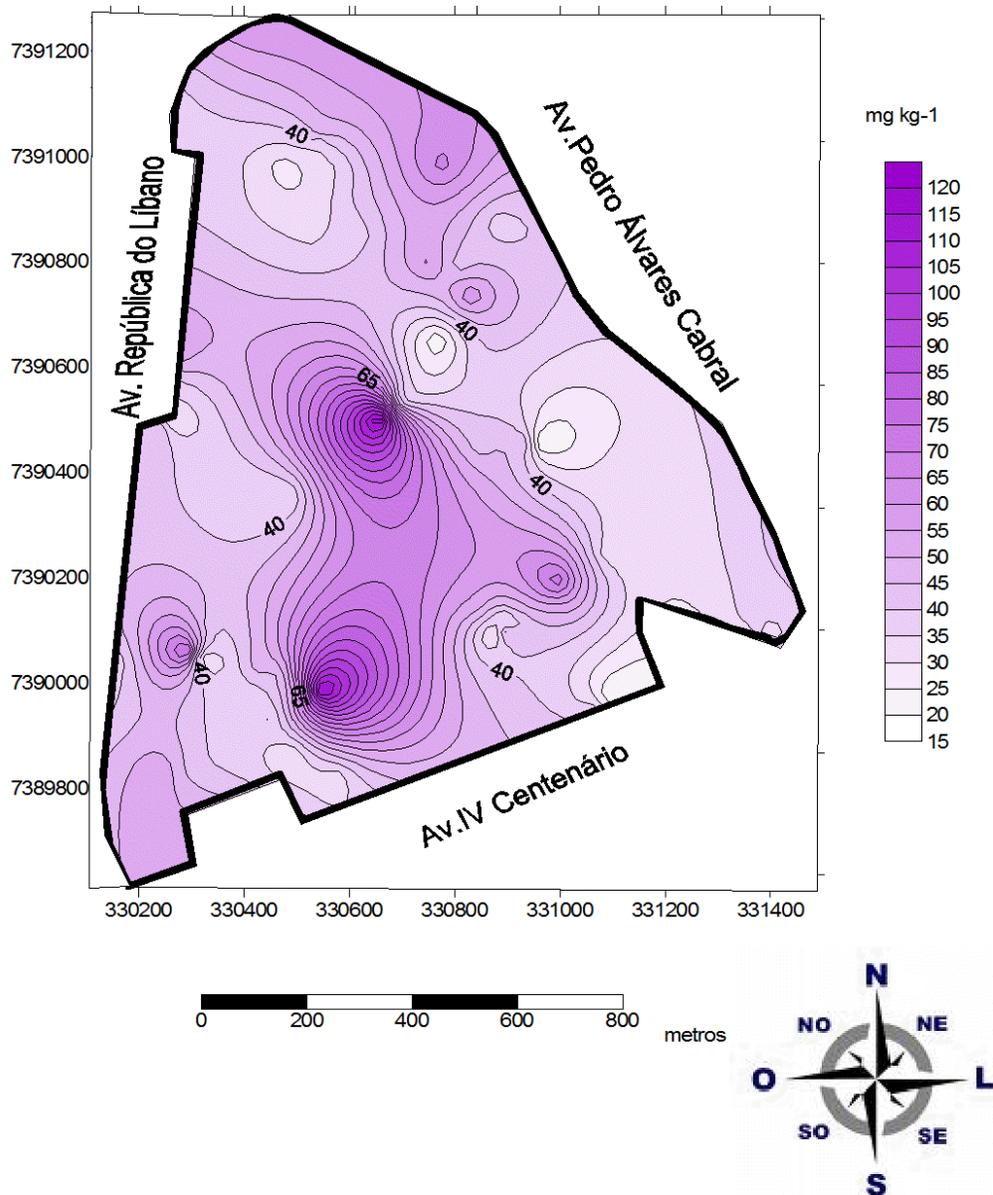


Figura 21 - Mapa de contorno de isolinhas, no sistema UTM, datum Sade 69, latitude 23, gerados a partir da concentração média do elemento Zn encontrado nas folhas das árvores do Parque Ibirapuera

Relação entre a vegetação arbórea ao redor da árvore amostrada e a concentração de poluentes.

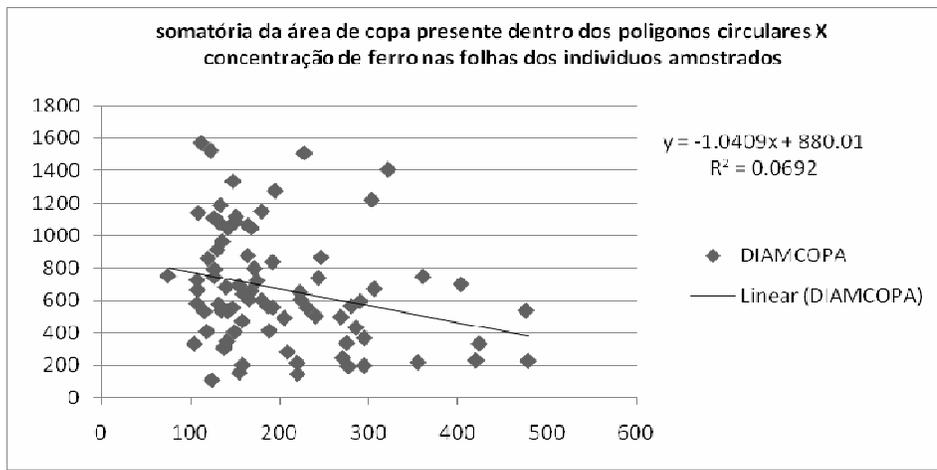


Figura 22 - Gráfico de dispersão da concentração do elemento Fe e área de copa dos indivíduos localizados dentro do polígono circular de 100m de raio

Não foi encontrada nenhuma relação entre a concentração média de nenhum elemento e a vegetação existente em um raio de 150 metros dos indivíduos amostrados. Os gráficos (Figura 22 e 23) exemplificam esta observação.

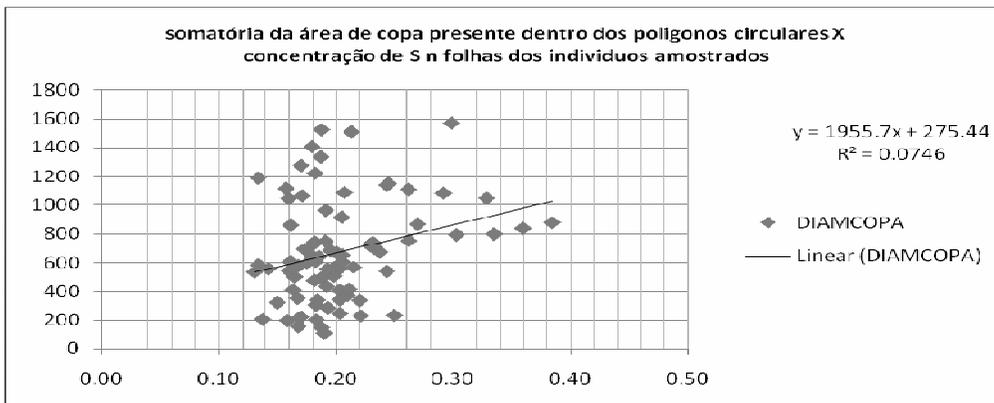


Figura 23 - Gráfico de dispersão da concentração do elemento S e área de copa dos indivíduos localizados dentro do polígono circular de 100m de raio

7 DISCUSSÃO

O estudo no Parque Ibirapuera pode demonstrar que áreas circundadas de avenidas ou mesmo localizações nas próprias avenidas possuem altos níveis de poluição atmosférica de fontes veiculares e nas grandes cidades como São Paulo é muito complicado não estar e nem passar por esses locais.

A vegetação pode apresentar funções de filtros amenizando os altos índices de poluição, mas para que possa ter um efeito protetor é preciso analisar a composição e densidade dessa vegetação. O estudo não avaliou a densidade, mas através de observações visuais foi possível perceber que a área do parque não possui uma alta densidade e portanto não serviria de barreira de poluentes atmosféricos apenas de filtro destes.

O Parque Ibirapuera não foi desenhado para desenvolver funções de proteção de poluentes, mas as regiões mais próximas as avenidas, periferia do parque e com maiores concentrações de poluentes poderiam ter sua densidade de vegetação aumentada sem interferir no desenho paisagístico. Exemplos dos locais onde não foi feito um projeto paisagístico ou já possui áreas de maciços arbóreos que possam ser adensados.

A dificuldade em encontrar as espécies estudadas em uma região controle, aquela que deveria ser livre de poluentes, se deve ao fato de as espécies serem utilizadas em arborização urbana e muito raramente se encontra todas na mesma área que não seja urbana. Os valores encontrados não foram tão baixos quanto se esperava, mesmo assim a média geral dos elementos encontrados na região controle, o menor município do Brasil, foi menor do que os encontrados no Parque.

As concentrações encontradas neste estudo foram ligeiramente maiores do que as encontradas em outro estudo com folhas de árvores, na Itália, (MONACI, 2000) conforme pode ser observado na tabela 19 o que se explica provavelmente pelas diferenças entre as cidades de São Paulo e Florença.

Alguns elementos, Fe, Cu e Cr, apareceram mais nas bordas do parque, provavelmente porque suas partículas são maiores e talvez a mesma fonte de emissão já que possuíam uma alta correlação, conforme mostrado pela correlação de Pearson. Estes elementos se concentraram nas bordas porque suas partículas maiores não dispersam com facilidade e encontram na vegetação barreiras.

É possível observar que a concentração mais altas do elemento S está nas regiões onde ocorrem predominâncias na circulação do vento, mostrando a relação do S com a dispersão pelo vento.

Tabela 19 - Comparação da concentração média encontrada no Parque Ibirapuera e em outras áreas utilizando folhas

Elemento	Folhas Itália (MONACI et al. 2000) 6 meses- 2 locais	Folhas
Ba (mg.Kg⁻¹)	11,7 e 6,93	15,86
Cr (mg.Kg⁻¹)	0,66 e 0,66	1,2
Cu (mg.Kg⁻¹)	8,62 e 6,68	9,38
Mn (mg.Kg⁻¹)	50,2 e 44,3	30,33
Pb (mg.Kg⁻¹)	0,90 e 1,15	2,03
Zn (mg.Kg⁻¹)	22,6 e 20,4	42,54

O efeito de proteção da vegetação não foi observado no estudo provavelmente porque o tamanho e a densidade da floresta urbana estudada, o Parque Ibirapuera, foi insuficiente (150m). O tempo de exposição das folhas deveria ser maior também, utilizando espécies não decíduas e diversas leituras durante o ano.

Os elementos de fonte dos escapamentos deveriam ter suas concentrações mais altas nas bordas dos parques, mas uma das hipóteses levantadas é que a vegetação do Parque Ibirapuera é capaz de filtrar os poluentes, mas eles podem se dispersar dentro do parque, mais devagar do que fora, porém esta vegetação é permeável.

Esta permeabilidade está ligada a estratificação da floresta urbana, ou seja, a composição desta floresta precisa de todos os elementos, herbáceas, arbustos, trepadeiras para exercer um papel de proteção efetivo.

Este efeito pode ser observado no trabalho de Martins (2009) no Parque Trianon onde o elemento S ficou restrito a Avenida Paulista na localização do ponto de ônibus e não entrou na área do parque. Comparando a densidade da vegetação do Parque Ibirapuera e a do Parque Trianon, observamos que a vegetação do Trianon é bem mais densa, fechada com vários estratos de vegetação e diversas alturas formando verdadeiras barreiras a poluição.

Um exemplo prático é que não é possível enxergar de fora para dentro do parque e o mesmo efeito não é observado no Ibirapuera, onde mesmo nas áreas mais densas do parque podemos enxergar o há do outro lado da vegetação.

Chroopoulos et al. (1997) em um estudo comparando dois parques em Atenas observou que a diminuição da concentração dos elementos em um dos parques, O National Garden, provavelmente ocorreu porque a vegetação da periferia do parque era mais densa e alta e a ausência de grandes aberturas diferentemente do outro parque, Areos Park.

O fluxo veicular ao redor do parque é em sua grande maioria de veículos leves que é grande emissor de Cu, conforme demonstrado em diversos estudos (STERNBECK; SJÖDIN; ANDREASSON, 2002).

O Mn teve uma concentração muito maior na área controle do no parque o que provavelmente possa indicar a rocha de origem do solo no local ser rica no elemento. As áreas localizadas ao redor da área de controle são áreas agrícolas e este manganês pode indicar contaminação de fertilizações e pulverizações.

Todos os elementos mostraram altas concentrações próximas à área da lombada eletrônica, indicando que o desgaste de peças do sistema de frenagem é um dos maiores contribuintes para a contaminação do ar, além da ressuspensão de partículas.

A circulação de veículos no interior do parque não é restrita e pelos mapas foi possível observar que muitos elementos apresentaram altas concentrações nestes locais.

As concentrações encontradas nas folhas não mostraram que a vegetação pode estar sofrendo de deficiências nutricionais, o que pode indicar que a vegetação absorve o suficiente via foliar ou via raízes.

As cascas de árvores e líquens são mais adequadas ao biomonitoramento, porém nem sempre estão disponíveis, nem todas as árvores possuem cascas facilmente destacáveis e líquens, portanto a utilização de folhas pode ser uma alternativa desde que observados alguns detalhes.

A utilização de folhas para o biomonitoramento pode ser utilizada para elementos pouco móveis na planta, ou através da imobilização dos nutrientes do solo já que os metais pesados, por exemplo, estão mais disponíveis em solos ácidos.

Também devemos observar que as folhas das espécies estudadas, todas decíduas, possuíam aproximadamente seis meses de exposição (setembro até fevereiro) e o trabalho de Monaci et al.(2000) concluiu que as folhas mais adequadas para o estudo de biomonitoramento com folhas possuíam uma idade de 1 ano.

Através dos mapas de contorno também foi possível observar que a dispersão dos elementos está associada à circulação dos ventos. Existe uma alta concentração dos elementos nas direções onde há predominância de ventos. Este fato deve ser observado e devemos lembrar que os prédios construídos ao redor do parque podem modificar esta distribuição dos ventos, já que eles formam barreiras a circulação do ar.

O jacarandá absorveu mais o elemento Fe e o Cu, que possuem uma alta correlação e provavelmente partículas maiores e a mesma fonte de emissão, o que pode indicar que folhas como a do jacarandá são mais eficientes na retenção e absorção de partículas grandes devido ao tamanho de seu pecíolo e a sua área foliar talvez fatores que possam ser mais importantes que a genética.

A espécie paineira apresentou maiores concentrações do elemento S, esta observação pode ser explicada pela maior suscetibilidade de fungos nas amostras, que podem ser decompositores.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

- As espécies absorvem os elementos químicos de formas diferentes. Nas espécies analisadas essas variações ocorreram principalmente devido a fatores genéticos.
- As folhas de espécies arbóreas podem ser utilizadas para biomonitoramento de elementos químicos dependendo de sua mobilidade nas plantas. Quanto menor a mobilidade melhor será sua utilização para biomonitoramento de poluentes atmosféricos.
- A concentração de poluentes diminui conforme diminui a distancia da fonte poluidora.
- Para que a vegetação possa exercer função de barreira protetora de poluentes atmosféricos ela deve possuir uma alta densidade e diversas alturas de árvores.
- A vegetação é capaz de absorver os poluentes atmosféricos e utilizá-los como nutrientes.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, A.L.L. **Complexidade da acumulação de elementos químicos por árvores nativas da mata atlântica**. 2009. 112 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada)- Centro de Energia Nuclear na Agricultura e Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.
- ASSUNÇÃO, J.V. Controle ambiental do ar. In: PHILIPPI JR. A.; ROMÉRO, M.A.; BRUNA, G.C. (Ed.). **Curso de gestão ambiental**. Barueri: Manole, 2004. cap. 4, p. 101-154.
- BAUMBACK, G. **Air quality control, formation and sources, dispersion, characteristics and impact of air pollutants**: measuring methods, techniques for reduction of emission and regulation for air quality control. Berlin: Springer, 1996. 490 p.
- BAYCU, G.; TOLUNAY, D.; ÖZDEN, H.; GÜNEBAKAN, S. Ecophysiological and seasonal variations in Cd, Pb, Zn and Ni concentration in the leaves of urban deciduous trees in Istanbul. **Environmental Pollution**, London, v. 143, p. 545-554, 2006
- BROOKS, R.R. **Plants that hyperaccumulate heavy metals, their role in phytoremediation, microbiology, archaeology, mineral exploration and phytomining**. Cambridge: CAB International, 1998. 380 p.
- CASTRO, P.R.C.; KLUGE, R.A.; DECHEN, A.R. **Introdução a ecofisiologia vegetal**. Piracicaba: FEALQ, 2007. 227 p.
- CRESTANA, M.S.M. (Org.). **Arvores & Cia**. Campinas: CATI, 2007. 131 p.
- CHRONOPOULOS, J.; HAIDOUTI, C.; CHRONOPOULOU-SERELI, A.; MASSAS, I. Variation in plants and soil lead and cadmium content in urban parks in Athens, Greece. **The Science of Total Environment**, Amsterdam, v. 196, n. 1, p. 91-98, 1997.
- ESTADO UNIDOS. Environmental Protection Agency. **Master list of compounds emitted by mobile source**. Washington, 2006. 5 p.
- FERREIRA, M.I. **Avaliação do potencial genotóxico da poluição atmosférica no Parque Ibirapuera, São Paulo, com o bioensaio TRAD-STH de clones da tradescantia**. 2004. 99 p. Dissertação (Mestrado em Saúde Ambiental) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.
- FISHLOWITZ-ROBERTS, B. Poluição atmosférica mata três vezes mais que o trânsito. **Revista Eco 21**, Rio de Janeiro, n. 75, fev. 2003. Disponível em: <<http://www.eco21.com.br/textos/textos.asp?ID=446>>. Acesso em: 30 jan. 2009.

- FREITAS, C.; BREMNER, S.A.; GOUVEIA, N.; PEREIRA, L.A.A.; SALDIVA, P.H.N. Interações e óbitos e sua relação com a poluição atmosférica em São Paulo, 1993 a 1997. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 38, n. 6, p. 751-757, 2004.
- GRATANI, L.; CRESCENTE, M.F.; VARONE, L. Long-term monitoring of metals pollution by urban trees. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 42, p. 8273-8277, 2008.
- GREY, W.G.; DENEKE, F.J. **Urban forestry**. New York: John Wiley, 1986. 279 p.
- GRIESHOP, A.P.; LIPSKY, E.M.; PEKNEY, N.J.; TAKAHAMA S.; ROBINSON A. L. Fine particle emission factors from a high way tunnel: effects of fleet composition and seasonal. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 40, n. 2, p. 287-298, 2006.
- HALL, J.L. Celular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 53, n. 366, p. 1-11, Jan. 2002.
- HARRIS, R.W.; CLARK, J.R.; MATHENY, N.P.; **Arboriculture**: integrated management of landscape trees, shrubs and vines. 3th ed. New Jersey: Prentice Hall, 1999. 687 p
- HOEHNE, F.C. **Arborização urbana**. São Paulo: Secretaria de Agricultura, Indústria e Comércio, 1944. 215 p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades@**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/link.php?uf=sp>>. Acesso em: 22 nov. 2009.
- INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **DOQ-CGRE-008**: orientação sobre validação de Métodos de ensaios químicos. Rio de Janeiro, 2007. 25 p.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. Trad. de C.H.B.A. Prado. São Carlos: RiMa, 2004. 531 p.
- LASCHOBBER C.; ANDREAS LIMBECK, A.; RENDL, J.; PUXBAUM, H. Particulate emissions from on road vehicles in the Kaisermihlen tunnel. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 38, p. 2187-2195, Jan. 2004.
- LIMA, A.L. **Bário no sistema solo-planta**. Jaboticabal: UNESP, 2009. 19 p.
- LIMA, A.M.L.P.; CAVALHEIRO, F.; NUCCI, J.C.; SOUSA, M.A.L.B.; FIALHO, N.O.; PICCHIA, P.C.D. Problemas de utilização na conceituação de termos como espaços livres, áreas

verdes e correlatos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARBORIZAÇÃO URBANA, 2., 1994, São Luís. **Anais...** São Luís, 1994. p. 539-553.

LOBELLO, M. (Ed.). **Árvores do Brasil**. São Paulo: Duratex, 1989. 119 p.

LOPES, F. **Caracterização química do material particulado suspenso na atmosfera empregando a fluorescência de raios X dispersivo em energia (EDXRF)**. 2003. 106 p. Dissertação (Mestrado em Energia Nuclear na Agricultura)- Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

MACEDO, S.S.; SAKATA, F.M.G. **Parques urbanos no Brasil**. São Paulo: EDUSP; Imprensa Oficial, 2002. v. 1, 208 p.

MACHADO, A.J., AZEVEDO, T.R. Parâmetros meteorológicos observados na rede telemétrica da CETESB. In: WORKSHOP REGIONAL DE GEOGRAFIA E MUDANÇAS AMBIENTAIS, 1., 2007, Guarapuava. **Anais...** Guarapuava: Ed. Unicentro, 2007. p. 23-31.

MAGALHÃES, L.M.S. Arborização e florestas urbanas - terminologia adotada para a Cobertura arbórea das cidades brasileiras. **Série Técnica Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 1, n. 1, p. 23-26, jan. 2006.

MAHER, B.A.; MOORE, C.; MATZKA, J. Spatial variation in vehicle-derived metal pollution identified by magnetic and elemental analysis of roadside tree leaves. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 42, p. 364-373, Sept. 2007.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 639 p.

MARTENS, S.N.; BOYD, R. The defensive role of Ni hyperaccumulation by plants: a field experimental. **American Journal of Botany**, St. Louis, v. 86, n. 6, p. 998-1003, 2002.

MARTINS, A.P.G. **Cascas de árvores como biomonitorios da poluição atmosférica de origem veicular em parques urbanos da cidade de São Paulo**. 2009. 110 p. Tese (Doutorado em Patologia) – Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

MAYER, R. Interaction of forest canopy with atmospheric constituents aluminum and heavy metals in: effects of accumulation of air pollutants in forest ecosystems. In: ULRICH, B.; PANKRATH, J. (Ed.). **Effects of accumulation of air pollutants in forest ecosystems**. Dordrecht: D. Reidel Publ., 1983. p. 47-55.

MCPHERSON, E.G.; NOWAK, D. J.; ROWNTREE, R. A. (Ed.). **Chicago Urban Forest Climate Project**. Radnor: USDA, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, 1994. 201 p. (Gen. Tech. Rep. NE-186).

MCPHERSON, E.G., SCOTT, K.I.; SIMPSON, J.R. Estimating cost effectiveness of residential yard trees improvement air quality in Sacramento, California using existing models. **Atmospheric Environment**: Oxford, v. 32, n. 1, p. 75-84, 1998.

MILANO, M.S. A cidade, os espaços abertos e a vegetação. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE ARBORIZAÇÃO URBANA, 1., 1992, Vitória. **Anais...** Vitória: Sociedade Brasileira Arborização Urbana. 1992. v. 1, p. 3-14.

MILLER, R.W. **Urban forestry: planning and managing urban greenspaces**. 2nd ed. New Jersey: Prentice Hall, 2007. 502 p.

MONACI, F.; MONI, F.; LANCIOTTI, E.; GRECHI, D.; BARGAGLI, R. Biomonitoring of airborne metals in urban environments: new tracers of vehicle emission, in place of lead. **Environmental Pollution**, London, v. 107, p. 321-327 2000.

MORTVEDT, J.J. (Ed.). **Micronutrients in agriculture: proceedings of a symposium held at Muscle Shoals**. Alabama: Science Society of America, 1972. 666 p.

MOVIMENTO NOSSA SÃO PAULO. **A redução do enxofre no diesel brasileiro**- Editorial. São Paulo, 06/01/2009. Disponível em: <<http://www.nossasaopaulo.org.br/portal/node/2291>>. Acesso em: 27 nov. 2009.

MUDD, B.; KOZLOWSKI, T.T. (Ed.). **Responses of plants to air pollution**. New York: Academic Press, 1974. 383 p.

NOWAK, D.J.; ROWNTREE, R.A.; MCPHERSON, E.G.; SISINNI, S.M.; KERKMANN, E.R.; STEVENS, J.C. Measuring and analyzing urban tree cover. **Landscape and Urban Planning**, Amsterdam, v. 36, p. 49-57, Apr. 1996.

PAIVA, H.N.; GOLÇALVES, W. **Florestas urbanas: planejamento para a melhoria da qualidade de vida**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2002. 180 p. (Série Arborização Urbana, 2).

PÉREZ, L., SUNYER, J., KÜNZLI, N. Estimating the health and economic benefits associated with reducing air pollution in the Barcelona metropolitan area (Spain). **Gaceta Sanitaria**, Barcelona, v. 23, n. 4, p. 287-294, 2009.

PONTES, L. **O combustível automotivo no Brasil: qualidade e preço. Porque tanta confusão?** 2002. SBPC/labjor. Disponível em: <<http://www.comciencia.br/reportagens/.../pet18.shtml>> Acesso em: 23 nov. 2009.

ROUSSEAU, R. Detection limit and estimate of uncertainty of analytical XRF results. **The Rigaku Journal**, Tokyo, v. 18, p. 33-47, 2001.

SAMARA, C.; VOUTSA, D. Size distribution of airborne particulate matter and associated heavy metals in the roadside environment. **Chemosphere**, Oxford, v. 59, p. 1197-1206, 2005.

SÃO PAULO. Secretaria Estadual do Meio Ambiente. Secretaria Municipal do Planejamento. **Vegetação significativa do Município de São Paulo**. 1988. Disponível em

<http://atlasambiental.prefeitura.sp.gov.br/conteudo/cobertura_vegetal/vegetacao_significativa.htm>. Acesso em: 22 nov. 2009.

SÃO PAULO (Cidade). Secretaria do Verde e Meio Ambiente da Cidade de São Paulo **Atlas ambiental da cidade de São Paulo**. São Paulo, 2002. Disponível em: <<http://www.capital.sp.gov.br>>. Acesso em: 21 jun. 2008.

_____. **Parque Ibirapuera 2009**. Disponível em: <http://www9.prefeitura.sp.gov.br/sitesvma/100_parques/regiao/sul/index.php?p=46>. Acesso em: 25 out. 2007.

SÃO PAULO (Estado). Departamento Estadual de Trânsito de São Paulo. **Frota de veículos**. Disponível em: <<http://www.detran.sp.gov.br/frota/frota.asp>>. Acesso em: 04 dez. 2009.

SCAPIN, M.A.; SATO, I.M.; SALVADOR, V.L.R.; SCAPIN, V.O. Validação do método e avaliação da incerteza na determinação de maiores e menores constituintes em solos e sedimentos por WDXRF. In: INTERNATIONAL NUCLEAR ATLANTIC CONFERENCE; ENCONTRO NACIONAL DE APLICAÇÕES NUCLEARES, 7., 2005, Santos. **Anais...** São Paulo: ABEN, 2005. 1 CD-ROM.

SILVA FILHO, D.F.; PIVETTA, K.F.L.; COUTO, H.T.Z.; POLIZEL, J.L. Indicadores de floresta urbana a partir de imagens aéreas multiespectrais de alta resolução. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 67, p. 88-100, 2005.

SMITH, W.H. **Air pollution and forests: interaction between air contaminants and ecosystems**. 2nd ed. New York: Springer-Verlag, 1990. 618p.

STERNBECK, J., SJÖDIN, A., ANDREASSON, K. Metal emissions from road traffic and the influence of resuspension – results from two tunnel studies. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 36, n. 1, p. 4735-4744, 2002.

VELASCO, G.D.N. **Potencial da arborização viária na redução do consumo de energia elétrica: definição de três áreas na cidade de São Paulo-SP, aplicação de questionários, levantamento de fatores ambientais e estimativa de graus-hora de calor**. 2007. 123 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

TAKAGI, M.; GYOKUSEN, K. Light and atmospheric pollution affect photosynthesis of streets trees in urban environments. **Urban Forest and Urban Greening**, Jena, v. 2, p. 167-171, 2004.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Air quality guidelines: global update 2005**. Disponível em: <<http://www.who.int/en/>>. Acesso em: 10 out. 2008.