

Eriane Justo Luiz Savóia

Potencial de *Tradescantia pallida* cv. Purpurea para biomonitoramento da poluição aérea de Santo André – São Paulo, por meio do bioensaio Trad - MCN e do acúmulo foliar de elementos tóxicos

Dissertação apresentada à Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Mestre em Ciências

Área de Concentração: Fisiopatologia Experimental
Orientadora: Profa. Dra. Marisa Domingos

**São Paulo
2007**

DEDICATÓRIA

Ao meu marido Fabrício, cuja presença, companheirismo e cumplicidade fizeram a minha vida ainda mais bonita.

Aos meus pais, exemplos de simplicidade, dedicação, persistência e amor, a quem devo tudo que sou e conquistei até hoje.

AGRADECIMENTOS

À Professora Dra. Marisa Domingos, orientadora sempre muito presente e dedicada, cuja conduta profissional e conhecimento científico são exemplos a serem seguidos por muitos aprendizes. Agradeço imensamente os momentos em que, com sua calma, humildade e grande sabedoria, soube me tranquilizar e guiar o trabalho da melhor maneira possível. Obrigada por me proporcionar a oportunidade de crescimento profissional e, sobretudo, por ser este grande exemplo para o mundo científico. Tive o privilégio de realmente ser orientada por alguém especial. A ela, minha mais sincera gratidão.

Ao Professor Dr. Paulo Hilário Nascimento Saldiva, pelo imenso auxílio em todas as etapas do projeto e por me receber tão carinhosamente no Laboratório de Poluição Atmosférica Experimental. Seus grandes conhecimentos na área e sua mente brilhante permitiram o nascimento do trabalho, que ganhou vida e gerou muitos frutos. Agradeço pela confiança que depositou na pesquisa e principalmente em mim. Muito obrigada pelo carinho que sempre teve comigo e também com o município de Santo André, auxiliando não somente esta pesquisa, mas muitos eventos ocorridos na minha cidade. Sou eternamente grata por seu incentivo, que proporcionou o início da minha carreira científica.

À Profa. Dra. Eliane Tigre Guimarães Sant'Anna, grande amiga e companheira, que esteve comigo em todos os momentos do trabalho. Um obrigado seria muito pouco por tudo que fez por mim. Brilhante pesquisadora e um ser humano especial, que me recebeu com muito carinho no laboratório e me ensinou todas as técnicas e metodologias para os trabalhos com plantas. Tive sua presença em momentos de alegria, nervosismo, tensão, seriedade, descontração e também meu exame de qualificação, o que me proporcionou muita segurança. Sou realmente muito grata a você, minha grande amiga, que com seu exemplo, me deu a oportunidade de conhecer um pouco mais sobre a pesquisa científica.

Ao Fabiano Brumati, na época meu estagiário de biologia, e hoje meu companheiro de profissão. Meus agradecimentos pelo auxílio nas infinitas leituras de micronúcleos e idas à faculdade. Seu auxílio foi fundamental para a execução e conclusão do trabalho.

À Profa. Dra. Mitiko Saiki, por permitir e realizar as análises de folhas por ativação de nêutrons no IPEN. Seu profissionalismo, rigor científico e grande simpatia é um exemplo para muitos.

Aos doutores Alféio Braga e Edenise Segala Alves, por valiosas contribuições durante o exame de qualificação.

Ao amigo Fernando Annes, por seu companheirismo durante as disciplinas cursadas, por seus conselhos, momentos de descontração, apoio durante todo o trabalho e também nas etapas finais, e principalmente por sua amizade.

Ao Dr. Luiz Alberto Amador Pereira, pelo grande incentivo logo que cheguei ao laboratório.

À bióloga Débora Jã de Araújo Lobo, por ter me recebido no laboratório e me ensinado as técnicas para leitura de micronúcleos.

Ao Diretor Superintendente do Serviço Municipal de Saneamento Ambiental (SEMASA), Sebastião Ney Vaz, por acreditar no trabalho e tornar possível a sua realização, permitindo a minha liberação, além de aprovar o investimento e a aplicação no município de Santo André.

À Diretora do Departamento de Gestão Ambiental, Izabel Maura de Farias Lavendowski, pelo incentivo, apoio e permissão para o desenvolvimento do trabalho. Muito obrigada pelo seu carinho e sua grande compreensão, principalmente nos momentos mais difíceis para um pós-graduando.

À Gabriela Priolli de Oliveira, diretora do Departamento de Gestão Ambiental no período de 2001 a 2004, por aceitar a proposta inicial da pesquisa e permitir que eu realizasse o trabalho dentro das minhas funções no Departamento.

À amiga Helga Vicentini Rangel, na época minha gerente, por todo seu apoio, amizade, incentivo e compreensão. Passamos por muitos momentos, desde alegrias até enormes dificuldades, mas você sempre me apoiou e acreditou na minha capacidade. Nos momentos em que eu quis desistir, tive sempre seu apoio. Muito obrigada.

Ao amigo Ivan Corrêa, pelo apoio, carinho e compreensão. Sou grata pelas inúmeras vezes que tive que me ausentar do trabalho e você assumiu meu lugar, demonstrando lealdade e competência.

Ao Magno Ulisses pela confecção de figuras e mapas, que enriqueceram o trabalho.

Ao meu amigo Aluisio Donizete Pereira (Mukito), por cuidar das plantas com tanto carinho e realizar as medições de temperatura e umidade relativa do ar. Esta árdua tarefa foi fundamental para o sucesso da pesquisa.

À Telma Urbano da Cunha, pela digitação de dados para a confecção de tabelas e gráficos, assim como pelo grande apoio.

Ao André Madeira, técnico da estação de tratamento de água (ETA-Guarará) por fornecer os dados relativos a pluviosidade, assim como pelo auxílio na secagem de folhas na estufa.

Aos motoristas do SEMASA, Toninho, Márcio e Adélio, por me levar inúmeras vezes para realizar experimentos, plantar, colher inflorescências e muitas outras atividades relativas ao projeto. Sem vocês, com certeza tudo teria sido mais difícil.

À ex-estagiária de biologia e hoje companheira de profissão Andréa Martins pelo auxílio na etapa final do trabalho.

Aos demais funcionários do Departamento de Gestão Ambiental e da Gerência de Educação e Mobilização Ambiental do SEMASA, por todo o apoio, auxílio e principalmente pela compreensão em alguns momentos de ausência.

À CETESB, por fornecer dados sobre poluentes e permitir o uso o espaço das estações de monitoramento de Santo André, para a exposição das floreiras.

À EE Professor José Henrique de Paula e Silva, por ceder o local para a exposição das plantas.

Aos funcionários da biblioteca da FMUSP, pela elaboração da ficha catalográfica.

Ao meu marido Fabrício Savóia, pelo grande apoio durante todas as etapas do projeto, pela revisão e formatação final do trabalho e, principalmente, por suas valiosas orientações na área de informática.

Apoio Financeiro: Governo do Estado de São Paulo, pela concessão de bolsa de mestrado; Serviço Municipal de Saneamento Ambiental de Santo André; LIM 05- HCFMUSP.

Sumário

SUMÁRIO

1. Introdução.....	2
1.1. Poluição atmosférica.....	2
1.2. Principais poluentes da atmosfera urbana.....	7
1.3. Efeitos da poluição sobre organismos vivos.....	9
1.4. Biomonitoramento.....	11
1.5. Objetivos.....	19
2. Material e Métodos.....	21
2.1. Descrição da planta bioindicadora.....	21
2.2. A cidade de Santo André.....	23
2.2.1. Monitoramento da qualidade do ar em Santo André.....	28
2.3. Locais de exposição das plantas.....	31
2.4. Exposição das plantas e coleta das amostras.....	35
2.5. Procedimentos analíticos.....	40
2.5.1. Bioensaio de micronúcleos em células-mãe de grãos de pólen Trad-MCN.....	40
2.5.2. Análise de metais por ativação de nêutrons em folhas de <i>T. pallida</i>	44
2.6. Análise estatística.....	45
3. Resultados.....	48
3.1. Condições ambientais durante o período de amostragem.....	48
3.2. Bioensaio Trad-MCN.....	51
3.3. Concentrações foliares de elementos químicos.....	58
4. Discussão.....	74
5. Conclusões.....	90
6. Referências Bibliográficas.....	92

Resumo

RESUMO

SAVÓIA, E.J.L. Potencial de *Tradescantia pallida* cv. Purpurea para biomonitoramento da poluição aérea de Santo André – São Paulo, por meio do bioensaio Trad-MCN e do acúmulo foliar de elementos tóxicos. São Paulo, 2007. Dissertação de Mestrado-Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo.

O presente estudo foi desenvolvido para verificar se o bioensaio Trad-MCN, desenvolvido com inflorescências de *Tradescantia pallida* cv. Purpurea pode discriminar riscos clastogênicos em diferentes locais e épocas na cidade de Santo André-SP, contaminada por diferentes tipos de poluentes, determinar se as variações da frequência de micronúcleos podem ser explicadas por fatores ambientais característicos da região e verificar se o potencial acumulador de elementos químicos de *T. pallida* pode ser usado para mapeamento de fontes emissoras de poluentes contendo metais e outros compostos tóxicos.

Vasos com a planta foram expostos em locais com alta contaminação por ozônio (Capuava e Escola), em locais com maior emissão veicular (Centro e Parque Celso Daniel) e em uma área supostamente pouco contaminada (Parque do Pedroso). Durante o período de setembro de 2003 a setembro de 2004, vinte inflorescências jovens foram colhidas quinzenalmente e a frequência de micronúcleos (MCN) foi estimada. Durante o período de maio a junho de 2004, folhas em diferentes posições nas inflorescências da planta foram colhidas para determinação da concentração de elementos químicos, entre os quais metais pesados, pelo método da ativação de nêutrons. As condições ambientais observadas foram suficientemente estressantes para promover o aumento da frequência de micronúcleos. O bioensaio Trad-MCN identificou forte risco clastogênico em áreas com maior emissão veicular. Entretanto, a frequência de micronúcleos em Capuava e no Centro não foram preditas somente por poluentes atmosféricos da região. Condições climáticas extremas, como temperaturas mínima e máxima, baixa umidade

relativa do ar e baixa precipitação contribuíram para a intensificação da formação de MCN. Para um sistema eficiente de biomonitoramento é recomendável minimizar os efeitos dos fatores climáticos.

A análise por ativação de nêutrons identificou um evidente acúmulo foliar de elementos importantes para biomonitoramento da poluição aérea, tais como: Ba, Ce, Co, Cr, Cs, La, Rb, Sb, Sc e Zn. Verificou-se que a concentração dos metais nas folhas inseridas nas inflorescências não teve relação com a formação de micronúcleos, porém, eles foram marcadores de locais específicos, auxiliando no mapeamento das fontes poluidoras de cada região estudada. A concentração de Ba foi mais elevada nas folhas provenientes das áreas centrais, podendo ser considerado marcador de emissão veicular e La e Zn destacaram-se na área industrial da cidade, sendo considerados marcadores da emissão do pólo petroquímico.

Considerando as condições em que foi desenvolvido o presente estudo, a análise das concentrações foliares de elementos tóxicos, foi mais adequada para mapear fontes de emissão de poluentes na atmosfera de Santo André.

Abstract

ABSTRACT

SAVÓIA, E.J.L. Potential of *Tradescantia pallida* cv. Purpurea for biomonitoring air pollution in Santo André-SP, by means of Trad-MCN assay and leaf accumulation of toxic elements. São Paulo, 2007. Dissertação de Mestrado-Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo.

The present study aimed at verifying if the Trad-MCN assay, developed with inflorescences of *Tradescantia pallida* cv. Purpurea might discriminate clastogenic risks among sites and periods at the Santo André city, contaminated by different air pollutants, determining if the variations in the frequency of micronuclei can be explained by environmental factors that characterize the stress situation in each site and verify if the accumulator potential of chemical elements of *T. pallida* may be used to indicate pollutant sources containing metals or other toxic compounds.

Potted plants were exposed in sites characterized by high air contamination by ozone (Capuava and School) and in sites reached by high vehicular emissions (Downtown and C. Daniel Park). From September/2003 to September/2004, twenty young inflorescences were be-weekly collected from each site and the frequencies of micronuclei (MCN) were estimated.

From May/2004 to June/2004, leaves of *T. pallida* inserted in different positions on the inflorescences were collected to determine the concentrations of chemical elements, by instrumental neutron activation analysis, among them heavy metals.

The environmental conditions were stressing enough to promote an increase of chromosomal breakages in pollen mother cells of inflorescences of *T. Pallida*. The Trad-MCN assay identified strong clastogenic risks at the sites reached by vehicular emissions. However, the frequency of micronuclei at Capuava and Downtown could not be only predicted by pollutants that characterized the air contamination in both sites.

More extreme climatic conditions, mainly low and high temperatures, low relative humidity and low rainfall, intensified the formation of MCN. Therefore, the biomonitoring system should be improved in order to minimize this negative influence of climatic factors.

The neutron activation analysis identified an evident leaf accumulation of important elements for biomonitoring air pollution, such as: Ba, Ce, Co, Cr, Cs, La, Rb, Sb, Sc and Zn.

There was no relation between the concentrations of metals in the leaves inserted in the inflorescences and the frequency of micronuclei, however, the metal accumulation could discriminate specific sites, contributing to the mapping of polluted sources in each region studied.

Leaf concentrations of Ba were higher in central areas, so that they can be considered markers of vehicular emissions. La and Zn were evidently accumulated in leaves from the industrial areas of the city, being considered indicators of emissions from the petrochemical pole.

Taking in account the conditions in which the present study was developed, the analysis of leaf concentrations leaves of toxic elements was more adequate to map emission sources of air pollutants in Santo André.

Introdução

1. INTRODUÇÃO

1.1. Poluição atmosférica

O crescimento populacional e o conforto gerado pelo progresso têm contribuído amplamente para o aumento da poluição aérea, fazendo com que o ar dos grandes centros urbanos apresente cada vez mais substâncias nocivas aos seres vivos. Os poluentes são inúmeros, provenientes das mais diversas fontes, sendo a queima de combustíveis fósseis a principal causa geradora destes elementos na atmosfera. Muitos poluentes podem ser originados de fontes naturais, acumulando-se ao longo do tempo, porém, os poluentes de origem antrópica estão presentes na atmosfera em grandes quantidades (CETESB, 1996). Apesar dos ventos e correntes de ar dificultarem o acúmulo das partículas poluidoras, a frequência de lançamentos acarreta problemas de poluição, principalmente em áreas industrializadas e com intenso tráfego de automóveis.

A industrialização é um fator relevante para a degradação ambiental sob vários aspectos, incluindo-se a poluição atmosférica. A avaliação dos problemas da contaminação do ar teve início nas proximidades das fontes industriais, evoluindo para os centros urbanos e sistemas de transporte, chegando até a uma análise de contaminação global, já que não há fronteiras para a disseminação de poluentes (CARNEIRO, 2004).

As fontes emissoras de poluentes podem ser classificadas em móveis, que englobam principalmente os veículos automotores, e estacionárias, onde se enquadram as atividades industriais (CETESB, 2002).

Os poluentes atmosféricos podem ser classificados em poluentes primários, aqueles emitidos diretamente da fonte e em secundários, os que são formados na atmosfera, como o ozônio, devido às reações químicas entre os próprios poluentes primários e os constituintes naturais atmosféricos.

Vale salientar que, em termos de poluição atmosférica, os fatores climáticos e meteorológicos são fundamentais para a dispersão dos poluentes. Pode haver episódios de baixa emissão, porém se a dispersão não for adequada, a qualidade do ar não será boa (CETESB, 2006).

O Instituto Brasileiro de Apoio ao Meio Ambiente (IBAMA), por meio da portaria normativa número 348 de 14 de março de 1990, estabeleceu os padrões nacionais de qualidade do ar. Estes padrões foram submetidos ao Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), que elaborou a resolução que estabelece os padrões de qualidade do ar. Estes padrões, adotados em São Paulo pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), são regulamentados segundo a Resolução CONAMA 03 de 28 de junho de 1990, e constam na tabela 1. De acordo com esta resolução,

poluente atmosférico é definido como toda e qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos em legislação, e que tornem ou possam tornar o ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde.

Tabela 1- Padrões de qualidade do ar estabelecidos pela Resolução CONAMA 3/90 (CETESB 2006).

Poluente	Tempo de Amostragem	Padrão Primário µg/m³	Padrão Secundário µg/m³
Partículas totais em suspensão	24 horas ¹	240	150
	MGA ²	80	60
Partículas inaláveis	24 horas ¹	150	150
	MAA ³	50	50
Fumaça	24 horas ¹	150	100
	MAA ³	60	40
Dióxido de enxofre	24 horas ¹	365	100
	MAA ³	80	40
Dióxido de nitrogênio	1 hora ¹	320	190
	MAA ³	100	100
Monóxido de carbono	1 hora ¹	40.000 35 ppm	40.000 35 ppm
	8 horas ¹	10.000 9 ppm	10.000 9 ppm
ozônio	1 hora ¹	160	160

1- Não deve ser excedido mais do que uma vez no ano

2- Média Geométrica Anual

3- Média Aritmética Anual

Os padrões primários de qualidade do ar referem-se às concentrações máximas toleráveis de poluentes atmosféricos, cuja ultrapassagem pode acarretar danos à saúde. Os padrões secundários são os níveis desejados de concentração de poluentes, de modo que, uma vez

não ultrapassados, mínimo efeito adverso ocorrerá à saúde (CETESB, 2006).

Há também, padrões de qualidade para episódios agudos de poluição atmosférica, estabelecidos por legislação estadual (DE 8468 de 08/09/1976), porém estes abrangem um número menor de parâmetros. Fumaça, partículas inaláveis e dióxido de nitrogênio não apresentam padrões estabelecidos por legislação estadual. Os parâmetros comuns às legislações federal e estadual têm os mesmos critérios e padrões, exceto para episódios com ozônio ($200\mu\text{g}/\text{m}^3$), onde a legislação estadual é um pouco mais rigorosa para o nível de atenção (CETESB 2006).

Tabela 2- Critérios para episódios agudos de poluição do ar, segundo Resolução CONAMA nº 03/90 (CETESB 2006).

Parâmetros	Atenção	Alerta	Emergência
Partículas totais em suspensão ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24h	375	625	875
Partículas inaláveis ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24h	250	420	500
Fumaça ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24h	250	420	500
Dióxido de enxofre ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24h	800	1.600	2.100
SO₂ X PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24h	65.000	261.000	393.000
Dióxido de nitrogênio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 1h	1.130	2.260	3.000
Monóxido de carbono (ppm) - 8h	15	30	40
Ozônio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 1h	400*	800	1.000

** O nível de atenção é declarado pela CETESB com base na Legislação Estadual que é mais restritiva ($200\mu\text{g}/\text{m}^3$).*

Com o propósito de facilitar a divulgação dos dados da qualidade do ar, a CETESB, desde de 1981, utiliza uma ferramenta matemática denominada índice de qualidade do ar. Cada poluente medido apresenta um cálculo, onde o valor encontrado recebe uma qualificação, realizada de acordo com a tabela 3.

Tabela 3 – índices de qualidade do ar (CETESB 2006)

Qualidade	Índice	MP ₁₀ (µg/m ³)	O ₃ (µg/m ³)	CO (ppm)	NO ₂ (µg/m ³)	SO ₂ (µg/m ³)
Boa	0 - 50	0 - 50	0 - 80	0 - 4,5	0 - 100	0 - 80
Regular	51 - 100	50 - 150	80 - 160	4,5 - 9	100 - 320	80 - 365
Inadequada	101 - 199	150 - 250	160 - 200	9 - 15	320 - 1130	365 - 800
Má	200 - 299	250 - 420	200 - 800	15 - 30	1130 - 2260	800 - 1600
Péssima	>299	>420	>800	>30	>2260	>1600

Em cada estação de monitoramento, o índice de qualidade do ar é determinado pelo pior caso. Esta quantificação se relaciona com os efeitos sobre a saúde humana (tabela 4).

A cidade de Santo André utiliza os índices de qualidade do ar, identificados pela CETESB, para realizar planejamentos e implementar ações para a melhoria da qualidade do ar.

Tabela 4 - Índices da qualidade do ar e os efeitos à saúde humana (CETESB 2006)

Qualidade	Índice	Significado
Boa	0 - 50	Praticamente não há riscos à saúde.
Regular	51 - 100	Não afeta a população geral, porém, grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com problemas respiratórios prévios) podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço.
Inadequada	101 - 199	Toda a população pode apresentar sintomas como tosse seca e cansaço e as pessoas dos grupos sensíveis podem apresentar efeitos mais sérios.
Má	200 - 299	Toda a população pode apresentar agravamento dos sintomas de tosse seca, ardência nos olhos, cansaço entre outros. Os grupos sensíveis podem agravar ainda mais os problemas
Péssima	>299	População pode apresentar sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras em pessoas de grupos sensíveis.

1.2. Principais poluentes da atmosfera urbana

A atmosfera de um ambiente urbano apresenta os mais variáveis tipos de poluentes, encontrando-se entre os principais, de acordo com a CETESB (2006), os regulamentados pela resolução CONAMA número 3, discriminados a seguir:

- Partículas totais em suspensão (PTS): partículas sólidas ou líquidas, que ficam suspensas no ar, na forma de poeira, fuligem e fumaça e apresentam tamanho inferior a 100 μm . É proveniente de processos industriais, exaustão de veículos motorizados, poeira ressuspensa e queima de biomassa.
- Partículas inaláveis (MP_{10}): partículas sólidas ou líquidas, que ficam suspensas no ar, na forma de poeira, fuligem e fumaça e apresentam tamanho inferior ou igual a 10 μm . São originadas nos processos de combustão, seja em veículos automotores ou em indústrias.
- Dióxido de enxofre (SO_2): gás incolor e com odor bastante forte. É um importante precursor dos sulfatos. Proveniente da queima de óleo combustível, refinaria de petróleo e veículos movidos a diesel.
- Dióxido de nitrogênio (NO_2): gás irritante, de forte odor e coloração avermelhada. Também é originado nos processos de combustão em veículos e em indústrias e, ainda, a partir de incinerações ou processos que utilizam gás ou óleo.
- Monóxido de carbono (CO): gás incolor, inodoro e insípido. Origina-se da combustão incompleta dos veículos automotores.

- Ozônio (O₃): gás incolor e irritante. Não é emitido diretamente para a atmosfera; é produzido por reações fotoquímicas com os óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis. Não se trata do ozônio estratosférico, pois este é benéfico e protege os seres vivos, impedindo a ação dos raios ultravioleta sobre a saúde.

Conforme será mostrado a seguir, a atmosfera da cidade de Santo André, localizada na região metropolitana de São Paulo e alvo do presente estudo, não está livre da contaminação.

1.3. Efeitos da poluição sobre organismos vivos

Os poluentes atmosféricos são muito nocivos aos seres vivos. Muitos estudos já descreveram os efeitos de diferentes poluentes sobre plantas e seres humanos.

Há muito tempo já se sabe que, nas plantas, ação tóxica de poluentes causam desarranjo de organelas e de paredes celulares, quebras cromossômicas e mutações gênicas, efeitos fisiológicos e bioquímicos, tais como alterações nas trocas gasosas, bem como em outras etapas do processo fotossintético e nas atividades enzimáticas. As interferências acima relacionadas podem resultar em alterações na cutícula, nas ceras epicuticulares, na proporção e arranjo das células e espaços do mesofilo, ou

em necroses e cloroses em folhas, além da queda de folhas e diminuição no seu crescimento (CONSTANTIN 1982; DÄSSLER & BORTITZ 1988; KRUPA & MANNING 1988; RODRIGUES et al., 1996; BRAY et al., 2000; LARCHER 2000; FERDINAND et al., 2000; ZHENG et al., 2002; entre outros).

Os efeitos deletérios da poluição sobre a saúde humana já são conhecidos de longa data. Na década de 50, por exemplo, na cidade de Londres, devido à ação combinada de partículas em suspensão e dióxido de enxofre, formou-se uma grande névoa que, em cinco dias, ocasionou na população muitas moléstias, principalmente nas pessoas com problemas pulmonares ou circulatórios prévios. Nesse período, a curva de mortalidade na cidade aumentou em 4 mil mortes, voltando à normalidade somente depois de dois meses (BRANCO & MURGEL, 2004).

Vários estudos já demonstraram que os poluentes atmosféricos têm gerado problemas à saúde humana, como por exemplo, decréscimo da função pulmonar, alterações no sistema imunológico de pessoas normais, danos no trato respiratório, desde pequena irritação até câncer, principalmente em crianças, idosos e pessoas com problemas respiratórios prévios, como asma e bronquite, além de provocar o aumento de mortes intra-uterinas e neonatais (ROBBINS et al., 1992; PEREIRA et al., 1998; MARTINS et al., 2002; BAKONY et al., 2004; LIN, et al., 2004; CANÇADO, et al., 2006). Verifica-se também que, em algumas cidades brasileiras, há uma significativa relação entre os níveis de poluição e o aumento de morbidade e

mortalidade por problemas respiratórios, mesmo quando os níveis de poluentes estão de acordo com os padrões de qualidade estabelecidos pelos órgãos de controle (SALDIVA et al., 1995; RIBEIRO et al., 2003; DAUMAS, et al.,2004).

Estudos comprovam que o material particulado, um dos principais poluentes das áreas urbanas, tem sido associado ao aumento de mortes em idosos e crianças, internações e mortes por doenças cardiovasculares e respiratórias (SCHWARTZ, 1995; SALDIVA et al., 1994 e 1995; BRAGA, 1998). Já foram encontradas correlações positivas significativas entre o número de atendimentos de crianças menores de 12 anos por infecções das vias aéreas superiores e as taxas anuais de sulfatos, assim como casos de bronquite asmática e os níveis de poeira sedimentável, na cidade de Santo André-São Paulo (RIBEIRO, 1971).

1.4. Biomonitoramento

Os efeitos negativos causados pela contaminação do ar sobre determinadas espécies animais e vegetais, denominadas bioindicadoras ou biomonitoras, podem ser utilizados para avaliação qualitativa e quantitativa da contaminação atmosférica, delimitando-se, com isso, os riscos impostos aos sistemas biológicos. Essa abordagem metodológica denomina-se monitoramento biológico, biomonitoramento ou bioindicação. Vale salientar que alguns autores afirmam que há diferenças conceituais entre

bioindicação e biomonitoramento. Para LIMA (2001), a indicação é um mecanismo espontâneo e ativo, enquanto o monitoramento é contínuo e passivo. MULLER (1980) afirma que a bioindicação envolve a decodificação de informações de biosistemas para avaliar uma área, excluindo-se a possibilidade de usar organismos-teste. Já STEUBING (1982,1985) afirma que não há diferenças entre bioindicador e biomonitor. Segundo ARNDT e SCHWEIZER (1991), os bioindicadores são organismos ou um conjunto de organismos que reagem às variações ambientais por meio de alterações em suas funções vitais ou composição química, podendo ser utilizados para a avaliação da extensão das mudanças em seu ambiente. Apesar de algumas divergências, existe algo em comum entre muitos autores, que é considerar o uso de organismos naturalmente existentes em uma área para biomonitoramento passivo e a exposição de organismos em determinada área a ser avaliada e sob condições padronizadas, para biomonitoramento ativo (LIMA, 2001). Ao se fazer uma análise dos termos do ponto de vista semântico, a palavra “indicador” fornece a idéia de algo espontâneo e ativo e o termo “monitor” nos dá a idéia de algo contínuo e passivo (SUMITA, 2002).

Muitos autores europeus afirmam que o monitoramento refere-se à observação contínua de um determinado ser vivo e um organismo indicador tem a função de mostrar uma situação estática (WITTIG, 1993).

O efeito biológico provocado pelos poluentes encontra-se no final de uma cadeia de eventos, que se inicia pela emissão do poluente, seguida por

sua dispersão determinada por fatores climáticos, e culmina com os efeitos provocados nos seres vivos. Atualmente, os bioindicadores ou os biomonitores têm sido utilizados para muitas finalidades, como, por exemplo, para indicação e monitoramento de fontes de emissões singulares, controle da eficiência de medidas técnicas tomadas para reduzir as emissões, redes de monitoramento, estudos de impacto ambiental (EIA), controle da qualidade do ar dentro de moradias e instalações industriais, entre outras (KLUMPP, 2001a).

São diversos os tipos de organismos que podem ser usados para indicar uma situação fora dos padrões de normalidade, relativa à qualidade ambiental. Muitos pesquisadores já realizaram trabalhos com animais, identificando os danos provocados pelos poluentes (SALDIVA et al., 1985; SALDIVA et al., 1992; LEMOS et al., 1994). Em trabalhos com animais, alguns fatores que confundem o estudo podem ser controlados, como alimentação, idade e características genéticas, porém, manter animais em campo para realizar biomonitoramento *in situ*, principalmente por longos períodos pode ser tarefa bastante difícil (SANT'ANNA, 2003).

Para o biomonitoramento de qualidade do ar, as plantas são muito úteis, já que estas são geralmente de fácil manuseio, cultivo e cuidados, a custos relativamente baixos e mostram respostas indicadoras conservativas e de fácil avaliação. Elas podem ser indicadoras sensíveis e acumuladoras de poluentes atmosféricos e suas reações podem servir como alarmes para

a possível ocorrência de efeitos danosos da poluição em outros seres, objetos e materiais (RODRIGUES et al., 2000).

As plantas são mais sensíveis à poluição do que os animais, incluindo o ser humano e, por isso, estudos sobre os efeitos de poluentes em vegetais podem fornecer bases precoces para os programas de controle de qualidade do ar, com vistas à proteção das populações humanas nos centros urbanos (ALVES et al., 2001).

Para utilizar plantas como bioindicadoras, é necessário padronizar técnicas, desde o cultivo e exposição, até a verificação dos efeitos e avaliação dos resultados, para que os dados possam ser validados (KLUMPP, 2001b).

Muitas espécies vegetais são usadas em trabalhos de biomonitoramento, cada qual com sua especificidade para reagir a determinados poluentes. A escolha da planta e o conhecimento do seu metabolismo também são requisitos importantes para o sucesso de uma pesquisa.

Na Europa, por exemplo, usa-se o tabaco (*Nicotiana Tabacum* Bel-W3), feijão (*Phaseolus vulgaris*) e o trevo (*Trifolium repens*) para indicar ozônio, líquens (*Hypogymnia physodes*) para poluição em geral, musgos (*Sphagnum sp*) para metais, entre outros (KLUMPP, 2001 a). Em cidades

brasileiras, uma espécie de bromélia (*Tillandsia usneoides*) já foi utilizada em monitoramento ambiental, sendo uma ferramenta bastante adequada na avaliação da poluição atmosférica por metais, dado seu alto poder de acúmulo destes em seus tecidos (AMADO FILHO et al., 2001; NOGUEIRA, 2006, FIGUEIREDO et al., 2007).

Muitos testes envolvendo diferentes clones de *Tradescantia*, como por exemplo, os clones 4430 e KU-20, já comprovaram a eficiência do gênero para avaliar o potencial genotóxico dos poluentes aéreos (MA et al., 1994 e RODRIGUES et al., 1997).

Entre os bioensaios padronizados, propostos para serem desenvolvidos com inflorescências desses clones de *Tradescantia*, encontra-se o bioensaio Trad-MCN. Este consiste na estimativa da frequência de micronúcleos em células-mãe de grãos de pólen. Os micronúcleos são pequenos fragmentos de cromossomo, resultantes de quebras cromossômicas induzidas por qualquer agente genotóxico, quando as células precursoras de grãos de pólen estão na fase inicial da meiose. Embora o efeito genotóxico aconteça no início do processo de meiose (prófase I), este é visualizado quando as células-mãe de grãos de pólen já estiverem na fase de tétrades, conforme figura 1.

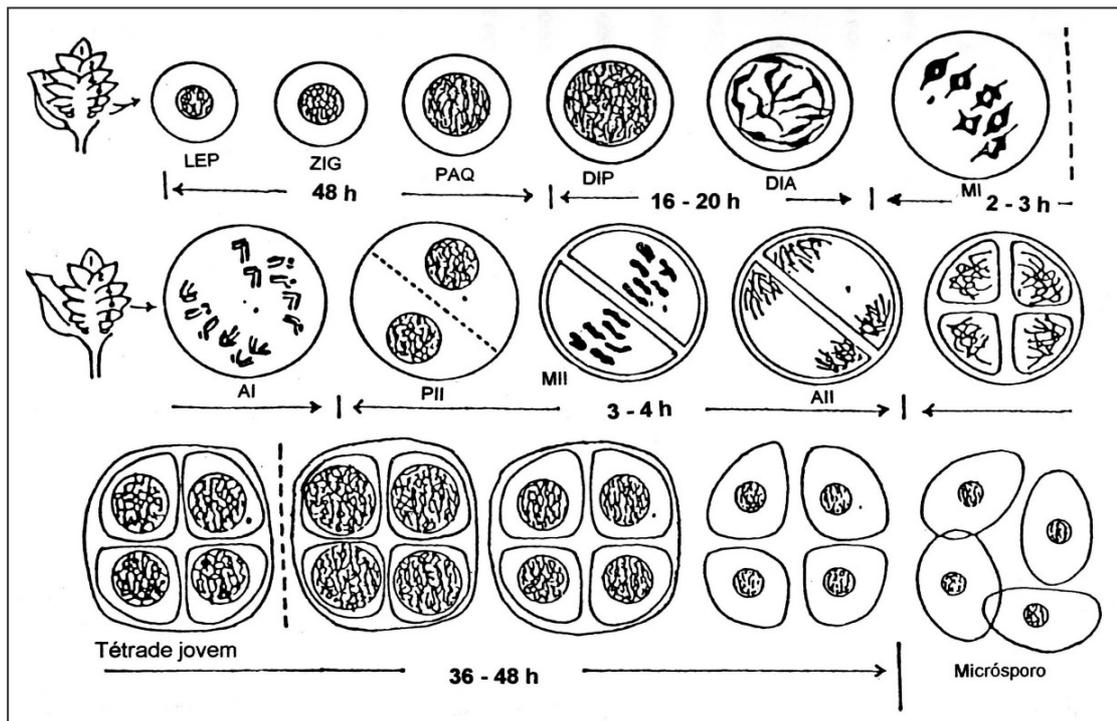


Figura 1 - esquema da duração de cada estágio da meiose das células-mãe de grão de pólen de *Tradescantia* (MA, 1983).

Especificamente o potencial clastogênico dos poluentes atmosféricos, na cidade de São Paulo também foi avaliado com inflorescências de *Tradescantia pallida* (Rose) D.R. Hunt. cv. Purpurea Boom, através da realização do bioensaio de micronúcleos em células-mãe de grãos de pólen - Trad-MCN, demonstrando sua eficiência como bioindicadora dos poluentes atmosféricos (BATALHA et al., 1999; GUIMARÃES et al., 2000; SUYAMA et al., 2002, SANT'ANNA, 2003). O mesmo bioensaio se mostrou bastante eficiente também em trabalhos de biomonitoramento *indoor* (ALVES et al., 2003). SUMITA (2002) e SUMITA et al. (2003) revelaram, ainda, o potencial desta planta como acumuladora de metais, sendo capaz de discriminar áreas mais e menos afetadas por esses elementos tóxicos.

Vale salientar que, apesar da eficiência do bioensaio de micronúcleos em células-mãe de grãos de pólen em plantas de *T. pallida*, não é possível detectar somente com esta técnica quais os agentes poluentes causadores da formação de micronúcleos. As fontes poluidoras devem ser mapeadas, dados climáticos e meteorológicos devem ser monitorados e outros procedimentos analíticos podem ser realizados, como é o caso da análise elementar das plantas por ativação de nêutrons SUMITA (2002) e SUMITA et al. (2003).

A vantagem regional de se empregar tal cultivar ornamental, para biomonitoramento nas cidades brasileiras, reside no fato desta ter, apesar da origem exótica, perfeita adaptação aos fatores ambientais em todo o país, desenvolvendo-se e produzindo flores o ano todo nos campos, canteiros, vasos e quintais (SANT'ANNA, 2003).

Em função da eficácia dessa cultivar, do referido bioensaio para biomonitoramento em São Paulo, demonstrada nos estudos já citados, e outras possibilidades de análises da planta, decidiu-se igualmente utilizar estes mesmos recursos para estabelecimento da qualidade do ar, sob ponto de vista biológico, na cidade de Santo André. Esta proposta soma-se às atividades já realizadas para o controle e monitoramento da qualidade do ar do município.

As políticas públicas ambientais de Santo André ressaltam a importância da busca da sustentabilidade, prevenção, melhoria do meio ambiente e a gestão ambiental integrada, permitindo trabalhos de fiscalização, controle, monitoramento e educação ambiental. Assim, com esta preocupação e aplicação de ações a favor do meio ambiente, a qualidade de vida hoje e futuramente poderá ser garantida (Lei nº 7733/98).

1.5. Objetivos

- Verificar se é possível determinar o potencial clastogênico da poluição do ar em Santo André com plantas de *Tradescantia pallida* cv. Purpurea, por meio do bioensaio de micronúcleos em células-mãe de grãos de pólen (Trad-MCN) e do mapeamento de áreas e de épocas do ano com maior potencial poluidor;
- Identificar possíveis causas para tais reações clastogênicas, procurando associá-las a dados dos boletins de qualidade do ar emitidos pela CETESB para a região de Santo André e de clima;
- Verificar se o potencial acumulador ou marcador de *T. pallida* pode ser usado para mapeamento de fontes emissoras de poluentes contendo metais e outros compostos tóxicos;
- Colaborar com o órgão gestor da qualidade ambiental da cidade para elaboração de programa de biomonitoramento de qualidade do ar e de propostas que possam mitigar ou prevenir os impactos causados pelas fontes poluidoras identificadas.

Material e Métodos

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Descrição da planta bioindicadora

Foram utilizadas para este experimento plantas de *Tradescantia pallida* (Rose) D.R. Hunt. cv. Purpurea Boom. Trata-se de uma planta da família Commelinaceae, tendo como sinônimos os nomes *Setcreasea purpurea* Boom, *Treleasea purpurea* Rose, *Setcreasea pallida* Rose. É conhecida popularmente como Trapoerabão, Trapoeraba Roxa ou Coração Roxo.

Esta planta é de fácil cultivo e propagação, alta resistência aos fatores climáticos e ambientais, assim como pode ser facilmente propagada vegetativamente. É muito utilizada em ornamentação por todo o País, sendo inclusive muito marcante no paisagismo da cidade de Santo André.

Trata-se de uma planta herbácea de pequeno porte (atinge no máximo 25 centímetros de altura), com folhas lanceoladas e suculentas, nativa da América do Norte e América Central (México e Honduras) (LORENZI & SOUZA, 2001).

Tradescantia pallida cv. Purpurea apresenta na epiderme das folhas uma grande quantidade de pigmento antociana, o que lhe confere a

coloração roxa, que se manifesta mais facilmente na presença de intensidade luminosa (JOLY , 1998).

A folhas apresentam uma larga bainha e a inflorescência é protegida por duas grandes brácteas em forma de canoa. As flores são vistosas e de coloração rósea, contrastando com as folhas roxas, causando um bonito efeito para ornamentação (figuras 2, 3).



Figura 2- *Tradescantia pallida* (Rose) D.R. Hunt. cv. Purpurea Boom



Figura 3- *T.pallida* em canteiro da cidade de Santo André

2.2. A cidade de Santo André

A região metropolitana de São Paulo apresenta um dos maiores conglomerados de metrópoles do mundo, cujo crescimento acentuado fez com que muitas indústrias migrassem para regiões vizinhas (CASTANHO 1999). Santo André, cidade situada no grande ABC paulista, na latitude de 23°39'50"S e longitude 46°32'18"W, faz parte desta região metropolitana e, assim como São Paulo, é um importante centro urbano (figura 4).



Figura 4 - Mapa de localização do Município de Santo André no Estado de São Paulo, Brasil. (Mapa: Raphael Lorenzeto de Abreu, 2006).

Localizada em área de clima tropical de altitude, sua temperatura média anual é de 20,3°C, com médias máximas de 25,4°C e mínimas de 16°C. Os índices de precipitação pluviométrica variam de 1100 a 1300 mm ao ano, e chegou a atingir 1424 mm em 1990.

A cidade de Santo André é composta pelo distrito sede e os distritos de Utinga, Capuava e Paranapiacaba, totalizando 174,840 Km² de área. Deste total, 39,1% corresponde à área urbana e 55,1% estão incluídos em região de proteção aos mananciais, com áreas preservadas e outras que obedecem a medidas de ocupação e uso de solo.

O município de Santo André localiza-se entre 750 a 800 metros acima do nível do mar, sendo o ponto mais alto situado na região de Paranapiacaba, a 1.174 metros de altitude, e dista 18 Km do centro da cidade de São Paulo (considerando-se o marco zero da cidade de Santo André, localizado na agência central dos correios). A cidade tem limites territoriais com os municípios de São Paulo, Mauá, Ribeirão Pires, Rio Grande da Serra, Suzano, Mogi das Cruzes, Santos, Cubatão, São Bernardo do Campo e São Caetano do Sul (figura 5).



Figura 5 - Município de Santo André e divisas com municípios vizinhos

Santo André comporta atualmente uma população de aproximadamente 670 mil habitantes, intensa atividade industrial, significativa frota automotiva e grande número de prédios e edificações, principalmente na área central (figura 6).

O tráfego de veículos e as indústrias são as principais fontes dos poluentes que contaminam a atmosfera da cidade, entre os quais material particulado, óxidos de enxofre, nitrogênio e carbono e hidrocarbonetos. Os óxidos de nitrogênio e hidrocarbonetos contribuem amplamente para a formação do ozônio na região, ameaçando a saúde humana.



Figura 6 - Paço Municipal e região central de Santo André
(fonte: www.santoandre.sp.gov.br)

Estão instaladas no município mais de 1000 indústrias, destacando-se as do ramo metalúrgico e mecânico. Há ainda muitos estabelecimentos comerciais e de prestação de serviços. Santo André hoje é conhecida como o maior centro comercial do grande ABC.

Os resíduos industriais despejados no ambiente de Santo André transformaram a região, antigamente chamada de “Cidade da Borda do Campo”, num depósito de produtos deletérios que se acumulam perigosamente. Na década de 50, os poderes públicos começaram a agir, incentivando estudos, publicando trabalhos e elaborando leis específicas para a melhoria das condições ambientais da cidade (GAIARSA, 1991).

O município possui importantes indústrias em seu território, como a PqU (Petroquímica União), RECAP (Refinaria de Capuava), Rhodia Têxtil, Rhodia Química, Firestone, ICI Paints (antiga tintas Coral), Pirelli Pneus, entre outras. Somente a Petroquímica União (PqU), central produtora de matérias primas do Pólo Petroquímico de São Paulo, é responsável pela produção de mais de meio milhão de toneladas de etileno e mais de um milhão de toneladas de produtos petroquímicos e resinas de petróleo, assim como por grande quantidade de poluentes despejados na atmosfera.

2.2.1. Monitoramento da qualidade do ar em Santo André

A rede automática de avaliação da qualidade do ar da CETESB traz em seus registros as mudanças significativas que ocorreram ao longo dos anos nas regiões monitoradas.

Na RMSP, tais mudanças incluem, principalmente, os efeitos do crescimento da área urbana, em grande parte desordenado, que trouxe variações nas emissões atmosféricas, devido principalmente ao aumento do tráfego de veículos e à redução do número de indústrias nas áreas mais próximas das regiões centrais.

Apesar do alto risco de contaminação atmosférica existente, a cidade possui apenas duas estações da rede automática de monitoramento da qualidade do ar, gerenciadas pela Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental de São Paulo (CETESB), uma localizada na região central (Parque Prefeito Celso Daniel - figura 7) e outra no distrito de Capuava (figura 8). Material particulado (MP_{10}) e monóxido de carbono (CO) são continuamente monitorados na estação Centro e MP_{10} e ozônio (O_3) na estação de Capuava.

Uma avaliação realizada pela CETESB na estação Santo André - Centro, mostra que o perfil das fontes de emissão de poluentes atmosféricos

no entorno da estação modificou-se muito desde a sua instalação. Este fato ocorreu devido ao crescimento da área urbana e ao conseqüente aumento de tráfego de veículos, e à redução do número de indústrias, que migraram para regiões mais distantes. A estação que havia sido instalada neste local para monitorar tanto poluentes de origem industrial quanto veicular passou a medir, sobretudo, a influência do tráfego na qualidade do ar. Isto, porém, não ocorre mais de maneira representativa, uma vez que os critérios técnicos de localização não são mais atendidos. O entorno está obstruído por vegetação e edificações, tornando-a inadequada para medir os parâmetros meteorológicos e a poluição do ar na escala de abrangência apropriada. Desta forma, a localização atual não atende mais à necessidade da rede em termos de representatividade dos dados, não sendo possível estabelecer uma relação direta entre as emissões e as concentrações medidas.

Há estudos que propuseram alternativas para a mudança de local da estação, visando à melhoria da qualidade do monitoramento na cidade (CETESB, 2006 a).



Figura 7 – Estação CETESB Centro (Parque Celso Daniel).



Figura 8 - Estação Cetesb Capuava.

Os dados obtidos sobre a concentração de poluentes nestes locais têm sido utilizados pelo órgão responsável pelo controle e saneamento ambiental da cidade (Serviço Municipal de Saneamento Ambiental - SEMASA), para adotar medidas preventivas e corretivas em relação à problemática da poluição do ar.

Para melhorar a qualidade do ar em Santo André, o Semasa, com o apoio da Prefeitura, desenvolveu o PROAR – Programa da Qualidade do Ar, que é composto por uma série de instrumentos estratégicos, como planejamento, desenvolvimento de projetos, edição de leis e normas, ações de fiscalização, programas de educação ambiental e parcerias firmadas para a implementação de ações para a melhoria da qualidade de vida (www.semasa.sp.gov.br).

2.3. Locais de exposição das plantas

Os locais para exposição de plantas de *T. pallida* na cidade de Santo André foram selecionados em regiões com características distintas de poluição atmosférica e incluindo, na medida do possível, locais próximos às estações de monitoramento da qualidade do ar da CETESB, para estabelecimento de parâmetros comparativos com medidas convencionais.

Os locais determinados para o estudo foram:

- Dois pontos no centro da cidade de Santo André (prédio do Serviço Municipal de Saneamento Ambiental-SEMASA e estação de monitoramento da qualidade do ar da CETESB, localizada dentro do Parque Urbano “Prefeito Celso Daniel”). Conforme está indicado na figura 9, esses pontos foram denominados Centro e Celso Daniel.

Estas áreas estão muito próximas a duas movimentadas avenidas - Avenida Perimetral e Avenida Dom Pedro II. A primeira avenida é a mais importante via de acesso dos bairros ao centro da cidade, havendo intenso fluxo de carros e transporte coletivo. A Avenida Dom Pedro II é responsável pelo intercâmbio entre os municípios de Santo André, São Caetano do Sul e São Paulo, possuindo pista dupla com grande movimento de veículos, ônibus e caminhões. Esta avenida é paralela à Avenida Industrial, que comporta pequenas indústrias e dá acesso à Avenida dos Estados, ligando Santo André a São Paulo.

- Dois pontos, denominados Escola e Capuava (figura 9), na região próxima ao Pólo Petroquímico (Escola Estadual Professor José Henrique de Paula e Silva e estação de monitoramento da qualidade do ar da CETESB localizada em Capuava). Estas áreas estão a aproximadamente 200 metros de distância do Pólo

Petroquímico, o maior complexo industrial da região do ABC e também estão muito próximos da Avenida dos Estados, importante via que liga Santo André ao município de Mauá no sentido Leste, e ao Norte, ao município de São Paulo. É uma movimentada avenida, cujo tráfego de caminhões e ônibus é bastante intenso. O objetivo desta escolha foi verificar se os poluentes emitidos pelo Pólo Petroquímico e pelo tráfego automotivo são significativos a ponto de prejudicar as plantas e, conseqüentemente, em um período de tempo maior, a saúde humana.

- Um ponto no Parque do Pedroso (área de manancial da cidade). Trata-se de um Parque Natural protegido, porém com grande parte de sua área perturbada por habitações irregulares. A área de manancial apresenta aproximadamente 56% do território total do município. O fluxo de veículos é local, não havendo tráfego intenso na área. A escolha da região permite a padronização de uma área supostamente de controle negativo, em relação à poluição. As plantas ficaram em uma área denominada Recanto Arco-Íris, que é de acesso restrito aos funcionários da administração pública local. A referência a este ponto será feita por meio do termo “Pedroso” (figura 9).

A localização geográfica dos pontos de monitoramento consta da tabela 5.

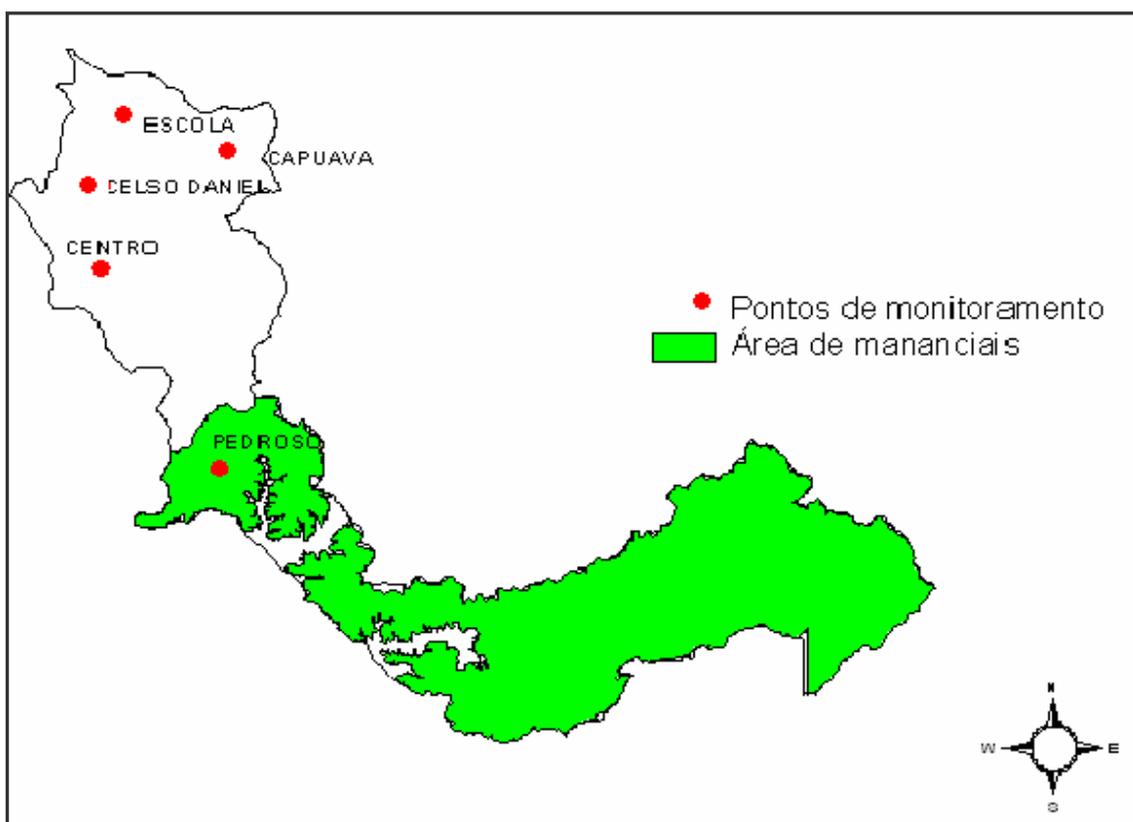


Figura 9- Mapa de Santo André com os pontos de biomonitoramento.

Tabela 5 – localização geográfica dos pontos de monitoramento

LOCAIS	LATITUDE	LONGITUDE
CENTRO	23° 39.515´	46° 31.969´
PQ.C. DANIEL	23° 38.737´	46° 32.165´
CAPUAVA	23° 38.3835´	46° 29.498´
ESCOLA	23° 38.035´	46° 30.455´
PQ.PEDROSO	23° 43.708´	46° 30.193´

2.4. Exposição das plantas e coletas de amostras

Foram expostas, em cada ponto mencionado (figuras 10 a 14), vinte floreiras plásticas com plantas de *Tradescantia pallida* cv. Purpurea, cultivadas em terra vegetal e adubadas trimestralmente com formulação de NPK (10:10:10). As floreiras foram mantidas a pleno sol e irrigadas periodicamente, a fim de manter as condições hídricas ideais para as plantas.

Quinzenalmente, de setembro de 2003 a setembro de 2004, foram coletadas aproximadamente vinte inflorescências jovens, preferencialmente no mesmo dia, em todos os pontos de exposição, para que as mesmas condições ambientais fossem avaliadas em cada amostragem. Após a coleta, as inflorescências foram imediatamente fixadas em solução de ácido acético e álcool (1:3), permanecendo na solução por 24 horas e, em seguida, armazenadas em etanol 70%, segundo o protocolo estabelecido por MA (1981).

Durante todo o período de amostragem foram coletados os seguintes dados do ambiente:

- Umidade relativa do ar: medição diária com termohigrômetro, a partir de leitura direta em cada local de estudo;
- Índice pluviométrico do município: fornecido pelo SEMASA;

- Temperaturas máxima e mínima: medidas diariamente com termômetro de máxima e mínima, localizado na área central do município;
- Dados disponíveis de qualidade do ar registrados nas duas estações de monitoramento da CETESB: disponíveis em <http://www.cetesb.sp.gov.br>.



Figura 10 – Floreiras expostas no Parque do Pedroso

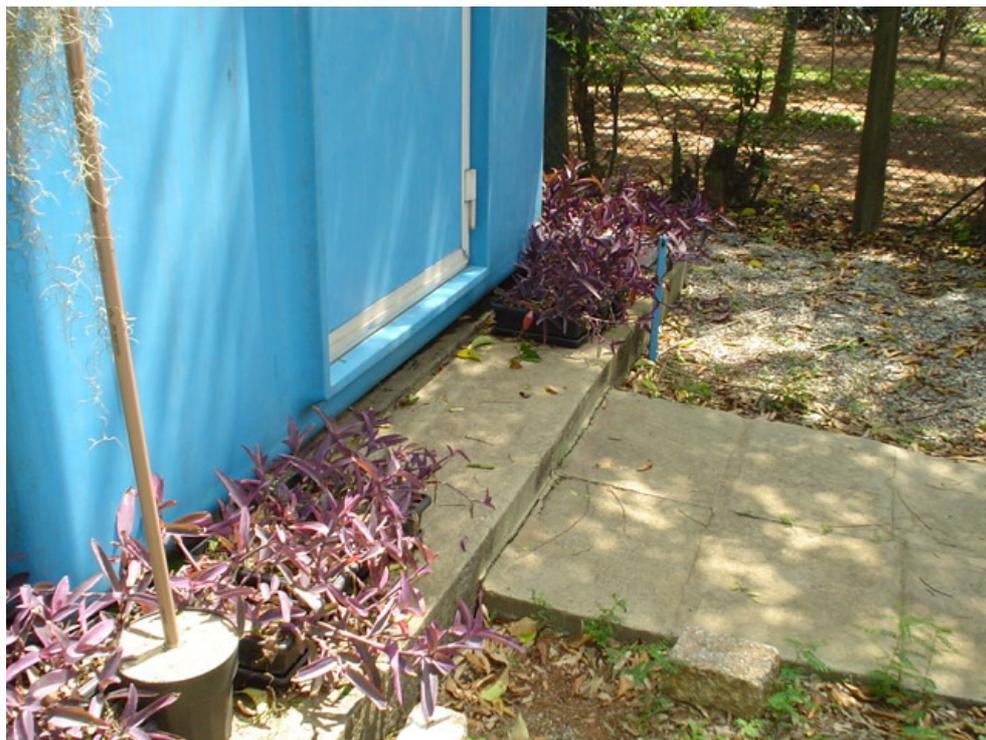


Figura 11 – Floreiras expostas na estação CETESB Centro (Parque Celso Daniel)



Figura 12 – Floreiras expostas no Prédio sede do SEMASA-Centro de Santo André



Figura 13 – Floreiras expostas na estação CETESB Capuava



Figura 14 – Floreiras expostas na EE Professor José Henrique de Paula e Silva

Com o propósito de avaliar o acúmulo de metais em folhas de *T. pallida* e mapear as fontes emissoras de tais elementos, durante os meses maio, junho e julho de 2004, foram coletadas folhas das plantas expostas em todos os locais.

Para não haver contaminação do material, as folhas foram coletadas com luvas plásticas e colocadas em recipiente também plástico lavado com água destilada. Foram coletadas folhas em diferentes posições na mesma inflorescência, e com idades crescentes para verificar se a capacidade de acúmulo de poluentes dependeria desse fator.

A folha 1 (um) correspondeu à bráctea, que é uma folha modificada que envolve e protege a inflorescência, a folha 2 (dois) estava localizada no primeiro nó, logo abaixo da bráctea e a folha 3 (três) no segundo nó, abaixo da folha 2, conforme figura 15. Em cada mês de amostragem e em cada local, retirou-se uma amostra mista de cada uma dessas folhas.

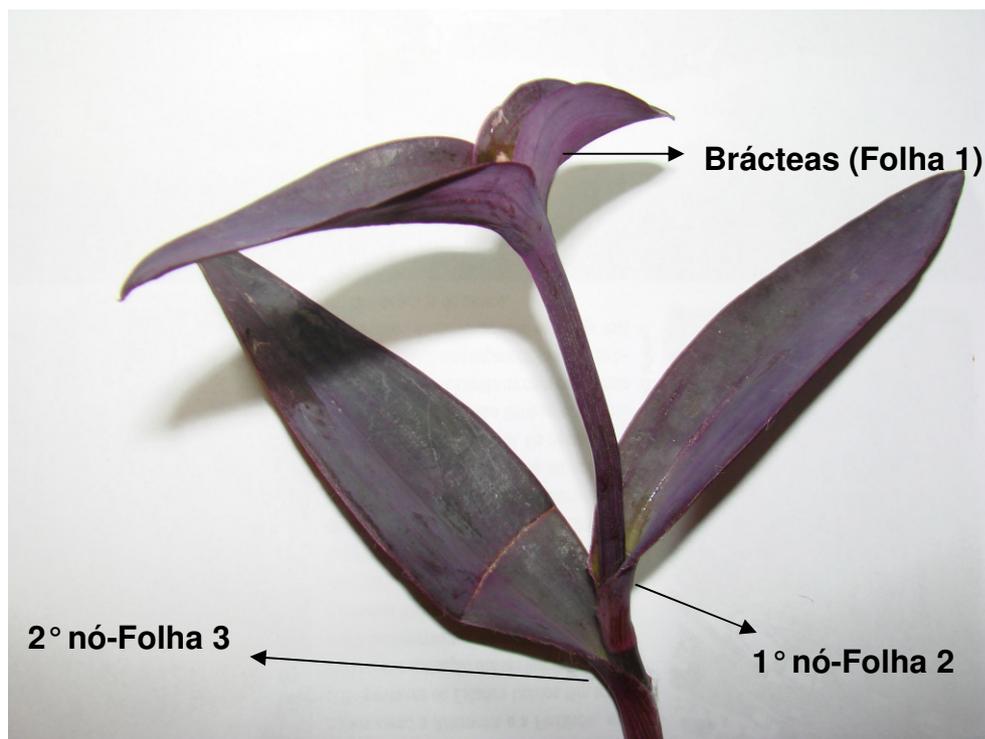


Figura 15 - Inflorescência de *T. pallida* cv. Purpurea com indicação das folhas coletadas.

2.5. Procedimentos analíticos

2.5.1. Bioensaio de micronúcleos em células-mãe de grãos de pólen (Trad-MCN)

Ao longo do período de exposição das plantas nos locais de estudo, foram colhidas somente inflorescências jovens (figura 16), pois estas possuem botões cujas células estão em fase de tétrade (quatro células envoltas pela mesma membrana). Nessa fase de tétrade, é possível identificar os micronúcleos.



Figura 16- Inflorescência jovem ideal para a coleta

Seguiu-se rigorosamente o protocolo do bioensaio estabelecido por Ma (1981), conforme figura 17.

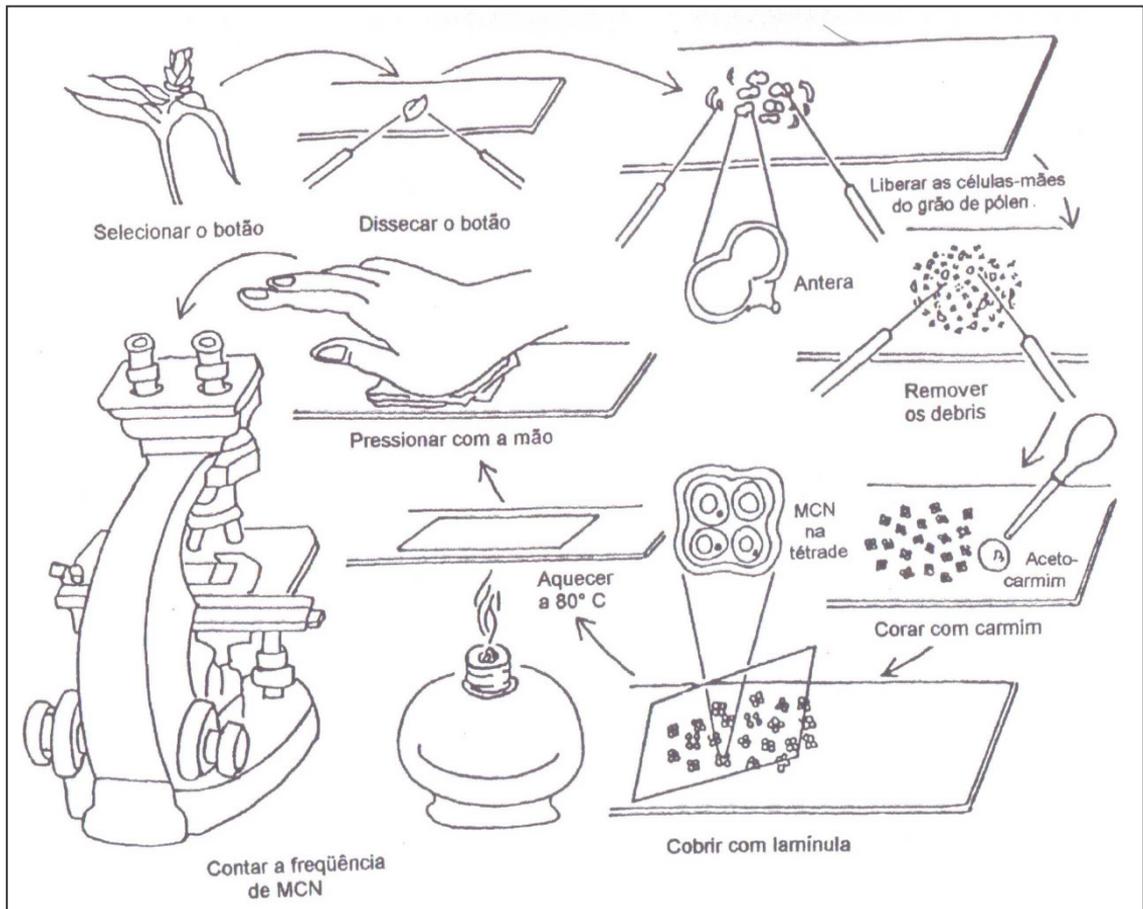


Figura 17- Esquema da técnica de preparo da lâmina (MA, 1981).

Botões jovens conservados em etanol 70% foram dissecados e esmagados em lâmina de vidro, adicionando-se uma gota de corante aceto-camin. Após este procedimento os fragmentos foram retirados e foi colocada a lamínula, levando-se a lâmina ao aquecimento para que o corante seja fixado. A lâmina então foi pressionada levemente com papel absorvente para o achatamento das tetradas, onde foram consideradas apenas as lâminas

contendo tétrades jovens. Foram preparadas 10 lâminas por amostragem e por ponto de exposição, contando-se um grupo aleatório de 300 tétrades em cada lâmina, no aumento de 400 vezes do microscópio óptico, contando-se o número de tétrades normais e de tétrades com a presença de um ou mais micronúcleos (figura 18). A frequência de micronúcleos foi expressa em porcentagem (número total de micronúcleos em 100 tétrades) e os resultados foram apresentados em base mensal, visto que não houve diferenças significativas entre os resultados quinzenais de cada mês ($p > 0,05$; teste t). Os frascos com as inflorescências foram codificados para que a origem do material não fosse conhecida, garantindo uma contagem idônea (ALVES et al, 2003).

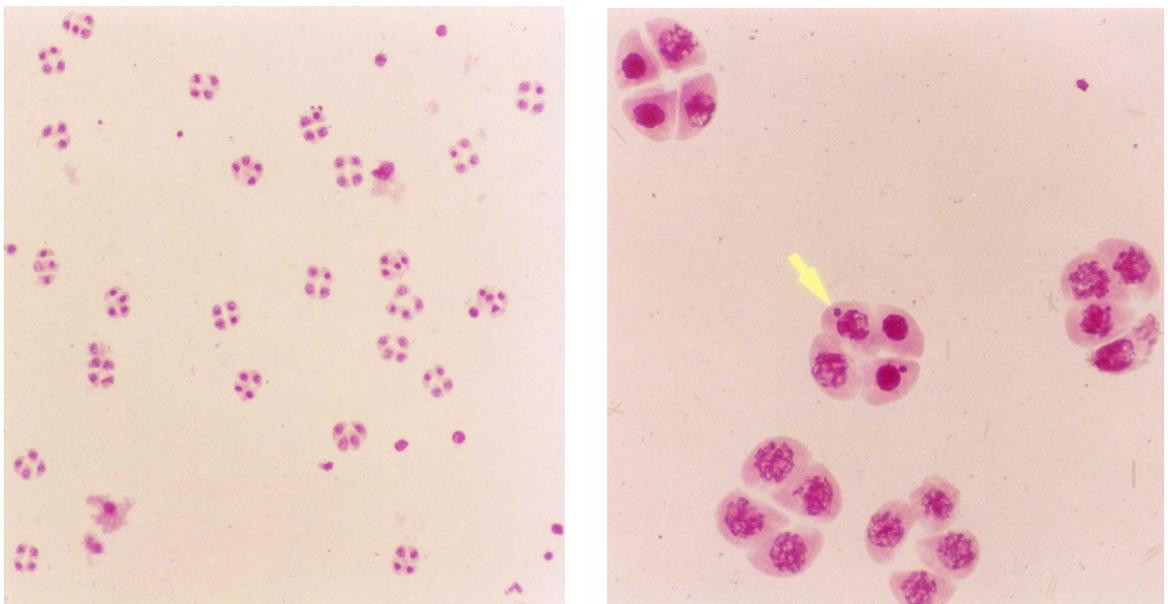


Figura 18 - Fotomicrografia de células-mãe de grãos de pólen, em fase de tétrades, em aumento de 100 X e 400X, com micronúcleo indicado por seta. Foto: Dra. Eliane Tigre G. Sant'Anna (FMUSP).

2.5.2. Análise de metais por ativação de nêutrons em folhas de *T.*

pallida

Após a coleta das amostras mistas das folhas 1 a 3, estas foram levadas ao laboratório e lavadas individualmente com água destilada e colocadas sobre papel absorvente para retirada do excedente de água. Por se tratar de material orgânico, a limpeza das folhas foi realizada no máximo um dia após a coleta para evitar decomposição do material (SUMITA, 2002). Depois de secas, as amostras foram colocadas em sacos de papel e levadas à estufa para desidratação, onde permaneceram por 48 horas, aquecidas a 45° C. Após a secagem as amostras foram encaminhadas ao Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), Divisão de Radioquímica, para trituração e análise. A trituração ocorreu em um micro-moinho vibratório de bola confeccionada em ágata (Vibratory micro-mill Pulverisette – Fritsch), onde todo material transformou-se em um pó muito fino.

As concentrações de bário (Ba), bromo (Br), cálcio (Ca), cério (Ce) cobalto (Co), cromo (Cr), césio (Cs), ferro (Fe), potássio (K), lantânio (La), rubídio (Rb), antimônio (Sb), escândio (Sc), zinco (Zn) e tório (Th) nas amostras secas e pulverizadas foram determinadas por ativação com nêutrons. Este método é baseado na medida da radiação gama induzida na amostra pela irradiação com nêutrons. Quando um nêutron interage com um núcleo alvo por meio de uma colisão inelástica, forma-se um núcleo composto em um estado altamente excitado; este núcleo pode perder sua

energia por vários processos de desintegração, que duram da ordem de 10^{-16} a 10^{-14} (s). Esses processos normalmente envolvem emissão de partículas ou os chamados raios gama prontos, na maioria dos casos, o novo núcleo formado é radioativo e irá decair emitindo raios gama. O método consiste na medida desses raios gama característicos para identificação dos elementos e determinação dos seus teores.

2.6. Análise estatística

Análises de variância não paramétrica (teste de Kruskal Wallis) seguidas de análises de comparações múltiplas (teste de Dunnet) identificaram os valores máximos nas freqüências mensais de micronúcleos em cada local.

Foi usado o teste Mann-Whitney para comparar a freqüência estimada de micronúcleos em cada mês nas inflorescências coletadas de cada local de exposição com a freqüência encontrada no local de referência (Parque do Pedroso).

Análises de regressão multivariada foram usadas para verificar se as variações mensais na freqüência de MCN nas inflorescências das amostras de Capuava e do Centro de Santo André, durante o período de exposição, poderiam ser explicadas por variáveis climáticas (temperatura, umidade relativa, precipitação) e/ou pelas concentrações de poluentes presentes na atmosfera (material particulado e monóxido de carbono no Parque Celso Daniel e material particulado e ozônio em Capuava).

Os dados foram analisados pelo método passo a passo (*stepwise*), adotando a frequência de micronúcleos, após transformação em \log_{10} , como variável dependente e as condições ambientais em determinado dia, entre zero a sete dias antes da coleta de inflorescências, como variáveis independentes. A escolha dos dados diários das variáveis ambientais, obtidos em um determinado dia anterior à amostragem e utilizados no modelo de regressão, foi baseada em matrizes de correlação de Pearson elaboradas previamente.

O procedimento de ajuste da regressão para cada local iniciou com um modelo saturado, com todas as variáveis presentes, removendo aquelas de menor participação para explicar as variações na frequência de micronúcleos e novos ajustes foram feitos. Ao final, permaneceram somente as variáveis que contribuíram significativamente para explicar as variações em micronúcleos encontradas.

Resultados

3. RESULTADOS

3.1. Condições ambientais durante o período de amostragem

As condições climáticas durante o período de amostragens de inflorescências e de folhas foram típicas para a cidade de Santo André. A umidade relativa do ar oscilou entre 40 e 90% (figura 19A). Os valores médios de temperaturas máximas e mínimas mensais foram 25 e 18°C respectivamente. As temperaturas mais elevadas foram registradas entre os meses de setembro, outubro e novembro de 2003, chegando a atingir valores entre 30 e 34,5°C. Como esperado, no inverno, foram observadas as menores temperaturas, variando, em média, entre 11 e 16°C, não havendo muitos dias em que as temperaturas mínimas eram severas. A menor temperatura diária (9°C) foi em setembro de 2003 (figura 19B). A precipitação mensal variou de 20 a 250 mm durante o período do experimento, sendo os meses de janeiro, fevereiro e março os mais chuvosos e agosto e setembro de 2004, um período bastante seco. Nos meses mais quentes do verão (janeiro a março), houve maior precipitação. Nos meses mais frios, que coincidiram com o final do inverno e início da primavera (junho a setembro), houve menor intensidade de chuvas conforme indica figura 19 C.

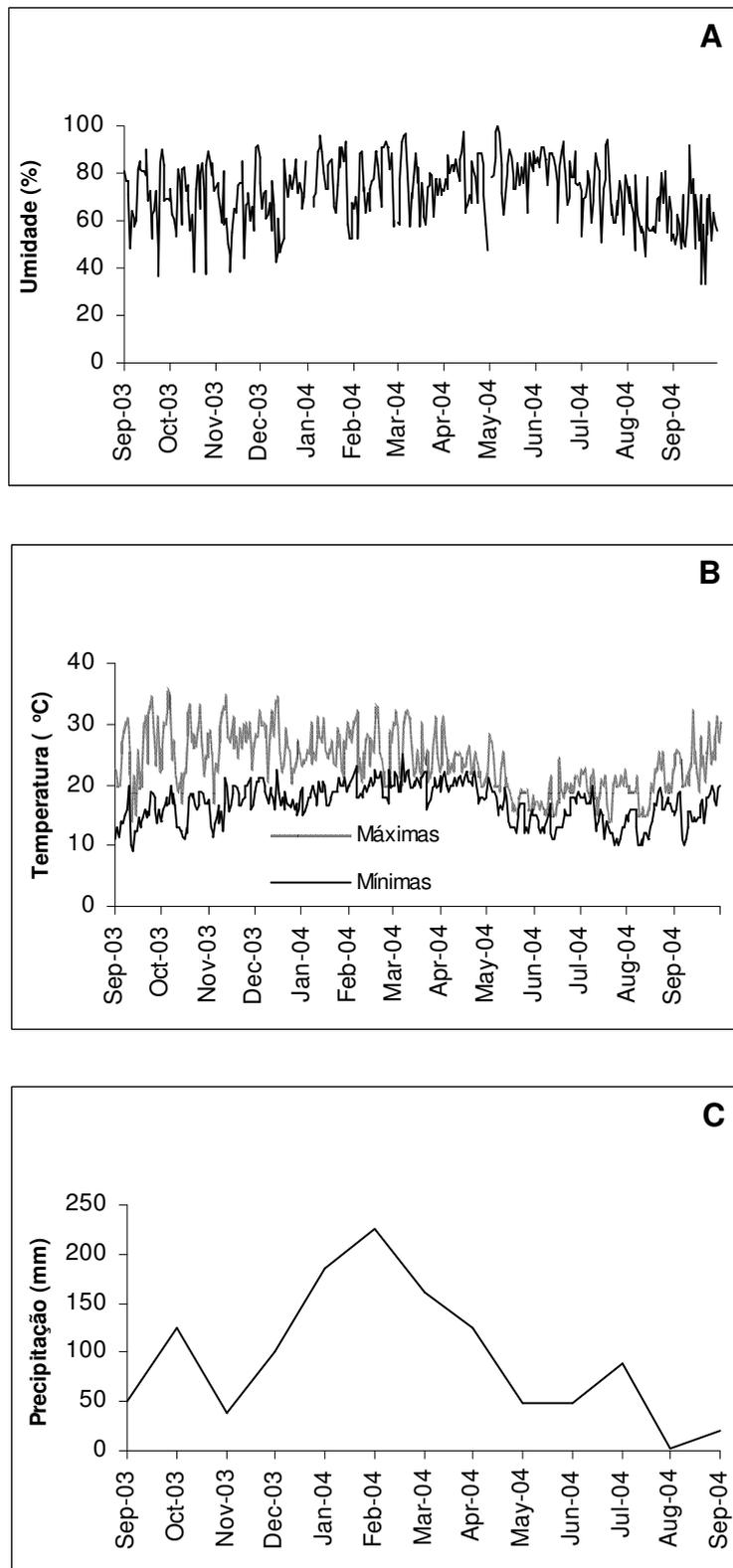


Figura 19- Umidade relativa diária (A), temperatura máxima e mínima diária (B), e pluviosidade mensal (C) em Santo André, São Paulo, durante setembro de 2003 a setembro de 2004.

A qualidade do ar durante o período de exposição também seguiu um padrão geral observado em Santo André. Concentrações mensais de MP_{10} foram similares na região do centro da cidade e em torno do Pólo Petroquímico de Capuava, exceto no inverno quando picos diários de concentração foram mais pronunciados no Centro. Concentrações mais altas de MP_{10} em ambos os locais, assim como de CO no centro da cidade, foram observadas durante os meses de inverno de 2004, especialmente em julho e agosto, coincidindo com o período em que há maiores dificuldades para dispersão de poluentes. A concentração de ozônio em Capuava, por sua vez, foi mais elevada durante o período da primavera, conforme indica a figura 20 A a D.

Enquanto o padrão primário de qualidade do ar para material particulado, durante o período de setembro de 2003 a setembro de 2004, não foi ultrapassado, o de monóxido de carbono (35 ppm em uma hora de amostragem) foi superado apenas uma vez, em junho de 2004. Por outro lado, o padrão primário de qualidade do ar, estabelecido para o ozônio ($160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durante amostragens de uma hora), foi ultrapassado algumas vezes nos meses de setembro, outubro e novembro de 2003 e também em agosto e setembro de 2004, não havendo ultrapassagens nos demais meses durante todo o período de experimento.

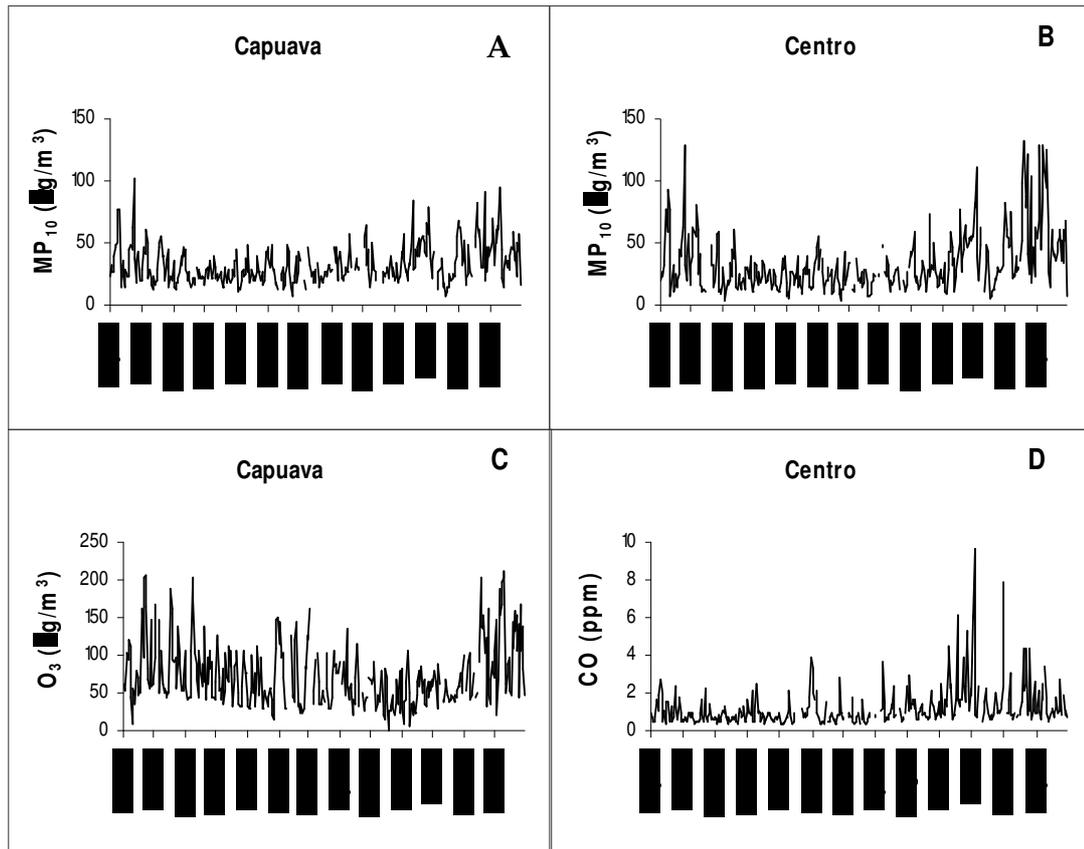


Figura 20 - Concentrações diárias de material particulado (MP_{10}) e de ozônio (O_3) na região de Capuava (A, C) e concentrações diárias de MP_{10} e de monóxido de carbono (CO) no Centro (B, D), em Santo André, durante o período de setembro de 2003 a setembro de 2004.

3.2. Bioensaio Trad-MCN

A tabela 5 mostra a frequência mensal de micronúcleos e os respectivos erros-padrão em inflorescências de *Tradescantia pallida* cv. Purpurea, durante todo o período e em cada local de exposição. Para melhor visualização, a frequência de micronúcleos por local de estudo também foi representada graficamente na figura 21.

Tabela 5 - Frequência mensal de micronúcleos e respectivos erros-padrão (E.P.) em inflorescências amostradas em cada local de estudo de Santo André, durante o período de setembro de 2003 a setembro de 2004.

MESES	Pedroso		Capuava		Escola		Centro		Pq.Celso Daniel	
	Média	E.P.	Média	E.P.	Média	E.P.	Média	E.P.	Média	E.P.
Set/03	1,0	0,3	3,8	0,8	1,3	0,1	4,6	1,1	2,9	1,1
Out.	1,0	0,2	2,9*	0,1	3,1*	0,2	4,4*	0,5	4,0	0,9
Nov.	0,5	0,1	2,9	0,3	3,5*	0,3	3,4*	0,4	2,8	0,3
Dez.	0,7	0,1	2,2	0,2	2,0	0,2	2,7	0,3	2,5	0,3
Jan/04	0,7	0,1	2,2	0,2	1,8	0,2	2,1	0,2	2,5	0,3
Fev.	1,4*	0,2	1,6	0,2	1,3	0,1	2,8	0,3	2,1	0,1
Mar.	0,9	0,1	1,3	0,1	0,8	0,1	1,2	0,1	1,9	0,2
Abr.	0,8	0,1	1,5	0,1	2,0	0,2	2,1	0,2	2,2	0,2
Mai	0,8	0,1	1,3	0,1	1,4	0,1	2,4	0,2	1,6	0,1
Jun.	0,8	0,1	2,4	0,2	2,4	0,2	2,6	0,1	2,9*	0,2
Jul.	0,9	0,1	2,0	0,1	1,5	0,1	1,9	0,1	2,1	0,2
Ago.	0,8	0,1	2,1	0,1	1,2	0,1	2,5	0,1	2,1	0,2
Set.	0,8	0,1	2,3	0,2	1,6	0,1	2,3	0,2	1,7	0,2

* Frequência de micronúcleos significativamente maior do que a estimada nos demais meses, em um mesmo local (Mann-Whitney rank sum test - $p < 0,05$).

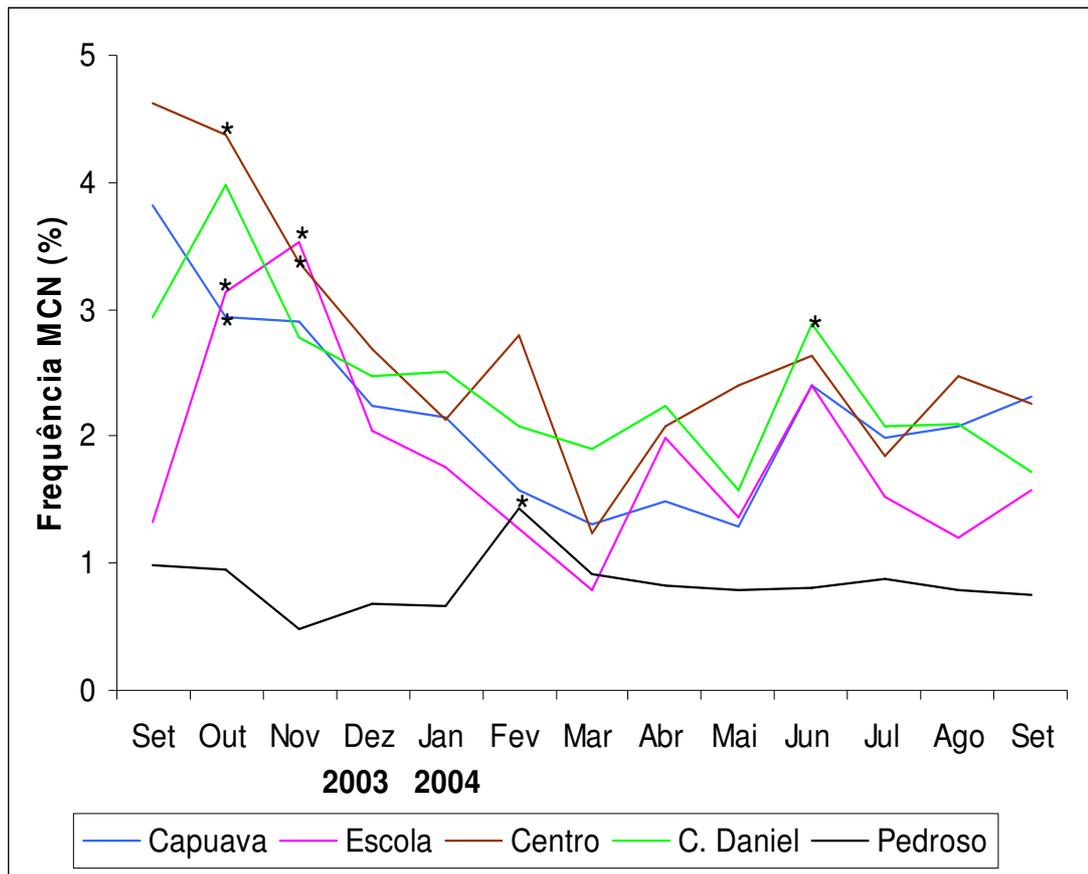


Figura 21 - Frequência mensal de micronúcleos em inflorescências amostradas em cada local de estudo de Santo André, durante o período de setembro de 2003 a setembro de 2004.

* Frequência de micronúcleos significativamente maior do que a estimada nos demais meses, em um mesmo local (Mann-Whitney rank sum test - $p < 0,05$).

A máxima freqüência de micronúcleos no Parque do Pedroso foi observada no mês de fevereiro, no centro e na escola em outubro e novembro, em Capuava também em outubro e no Parque Celso Daniel em junho.

As freqüências de micronúcleos, na maioria dos meses, foram significativamente mais baixas nas amostras do Parque do Pedroso do que nos outros locais. Desta forma, o Pedroso pode ser considerado como área de referência para o estudo.

Foi possível, assim, calcular as porcentagens de aumento (na maioria das amostragens mensais) ou de redução (em poucos meses de retirada de inflorescências das plantas mantidas na Escola) na freqüência mensal de micronúcleos nas inflorescências dos demais locais em relação à encontrada nesse local de referência (tabela 6). As maiores alterações no número de micronúcleos nas inflorescências coletadas nos locais poluídos foram verificadas no mês de novembro de 2003, quando também foram registrados baixos índices pluviométricos. Maiores aumentos de micronúcleos foram observados no centro da cidade, o qual foi seguido por Capuava e pela Escola (tabela 6).

Tabela 6 – Porcentagem de alterações na freqüência de micronúcleos em inflorescências amostradas nos locais poluídos de Santo André, em relação à observada no Parque do Pedroso (local de referência), durante o período de setembro de 2003 a setembro de 2004.

Meses	Capuava	Escola	Centro	C. Daniel
Set./03	288*	35*	370*	198
Out.	209*	231*	361*	318*
Nov.	512*	642*	611*	485*
Dez.	230*	199*	295*	265*
Jan./04	224*	164*	220*	278*
Fev.	11	-11	96*	46*
Mar.	43*	-14	36*	109*
Abr.	80*	139*	151*	170*
Mai	62*	72*	201*	98*
Jun.	194*	194*	223*	254*
Jul.	127*	74*	111*	137*
Ago.	164*	53*	214*	168*
Set.	203*	108*	198*	126*
Aumento médio	181	145	237	204

* Aumento significativo (Mann-Whitney rank sum test - $p < 0.05$)

Perfis médios também indicaram que a freqüência de micronúcleos nas inflorescências dos locais centrais (Centro e Parque Celso Daniel) e da região industrial (Capuava e Escola) de Santo André foi mais alta do que naquelas coletadas no local de referência (Parque do Pedroso), situado em área de manancial (figura 22).

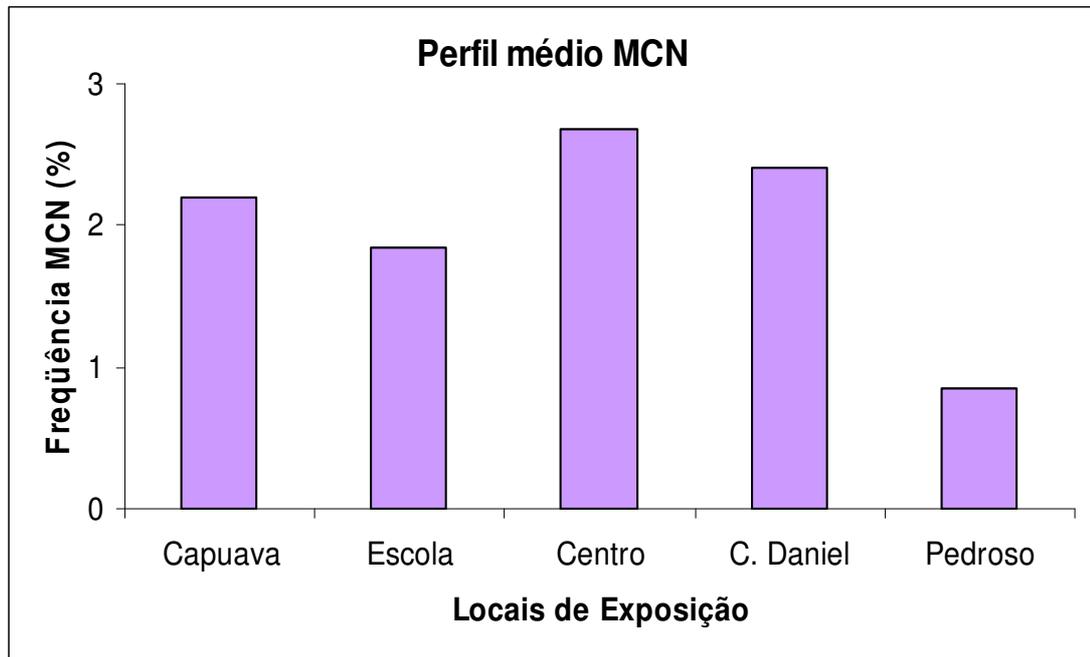


Figura 22- Perfil médio da frequência de micronúcleos em inflorescências amostradas em cada local de estudo de Santo André, durante o período de setembro de 2003 a setembro de 2004.

A análise de regressão multivariada mostrou que as variações na frequência de micronúcleos em inflorescências provenientes de Capuava e do Centro foram explicadas linearmente pela ação conjunta de poluentes e de variáveis climáticas (tabela 7).

Cerca de 17% da variabilidade na frequência de micronúcleos registradas em Capuava foram significativamente explicadas respectivamente pelas concentrações de ozônio e pelas temperaturas mínimas um dia e três dias antes das amostragens. A influência da precipitação mensal também foi significativa. Enquanto a relação entre

número de micronúcleos e temperaturas mínimas e precipitação foi negativa a relação com ozônio foi positiva. Por outro lado, 26% da ocorrência de micronúcleos nas amostras provenientes do Centro foram explicadas por MP_{10} e umidade relativa do ar, sete dias antes da amostragem, assim como pela temperatura mínima cinco dias e temperatura máxima quatro dias antes da amostragem. MP_{10} e temperatura máxima afetaram positivamente e os outros dois fatores afetaram negativamente o número de micronúcleos.

Tabela 7- Regressão linear entre freqüência de micronúcleos (\log_{10}) durante o período de exposição da *T. pallida* cv. Purpúrea, em Capuava e no Centro, baseado na concentração diária de poluentes e condições climáticas, de zero a sete dias antes da coleta de inflorescências.

Locais de exposição	Variáveis explicativas significativas	Dias antes da amostragem	Coef.
Capuava	O_3 ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	1	0,002
	T Min ($^{\circ}\text{C}$)	3	-0,018
	P (mm)	-	-0,001
$C = 0,53$; $R^2 = 0,17$ ($p < 0,001$)			
Centro	MP_{10} ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	7	0,003
	T Min ($^{\circ}\text{C}$)	5	-0,028
	T Max ($^{\circ}\text{C}$)	4	0,005
	UR (%)	7	-0,005
$C = 0,94$; $R^2 = 0,26$ ($p < 0,001$)			

O_3 – Ozônio; MP_{10} – Material particulado ($10 \mu\text{m}$); P-Precipitação; T Min – Temperatura mínima; T Max – Temperatura Máxima; UR – Umidade Relativa. Coef. = Coeficiente de variável significativa na equação de regressão linear; C = constante da equação de regressão linear; R^2 – coeficiente de determinação (indica a porcentagem da freqüência de micronúcleos explicada pelo modelo linear ($p < 0.001$)).

3.3. Concentrações foliares de elementos químicos

As concentrações médias de bário, bromo, cromo, céσιο, cobalto, ferro, lantânio, rubídio, antimônio, escândio, zinco, cério, tório, cálcio e potássio, para as folhas secas amostradas nas diferentes posições da inflorescência de *T. pallida* cv. *Purpurea*, nos meses de maio a julho de 2004, são apresentadas, respectivamente, nas figuras 23 a 37. Na figura 38, encontram-se os perfis médios das concentrações desses elementos nas folhas amostradas nos diferentes locais, durante os referidos meses.

Quanto maior a idade da folha amostrada, maior foi o acúmulo dos elementos analisados. Contudo, considerando-se que esse padrão crescente de acúmulo foi muito semelhante nas folhas provenientes dos diferentes locais e ao longo dos meses de amostragens e com o intuito de facilitar comparações, optou-se por apresentar nas figuras somente os valores médios para os três tipos de folhas amostrados.

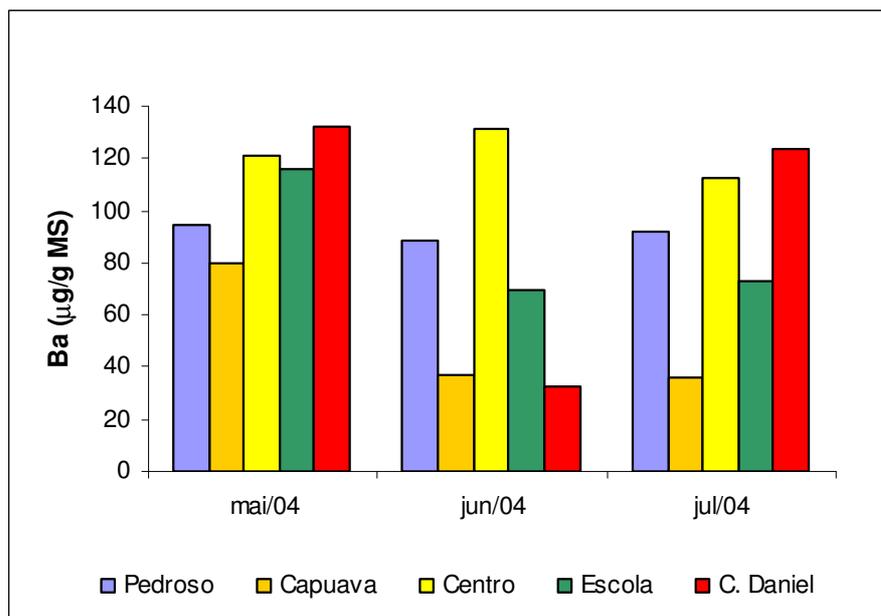


Figura 23 – Concentração média de Bário nas folhas 1, 2 e 3 amostradas em cada local de estudo de Santo André, durante o período de maio a julho de 2004.

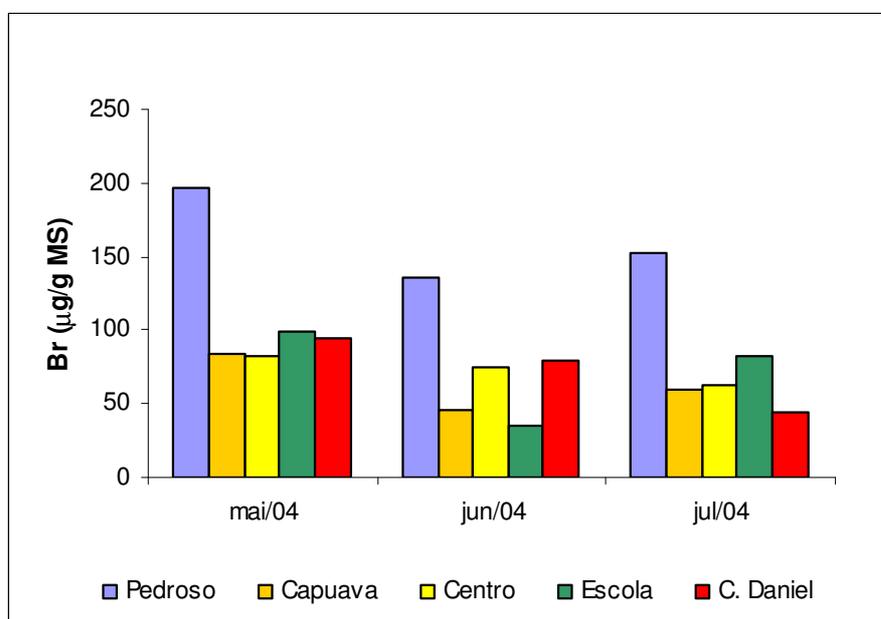


Figura 24 – Concentração média de Bromo nas folhas 1, 2 e 3 amostradas em cada local de estudo de Santo André, durante o período de maio a julho de 2004.

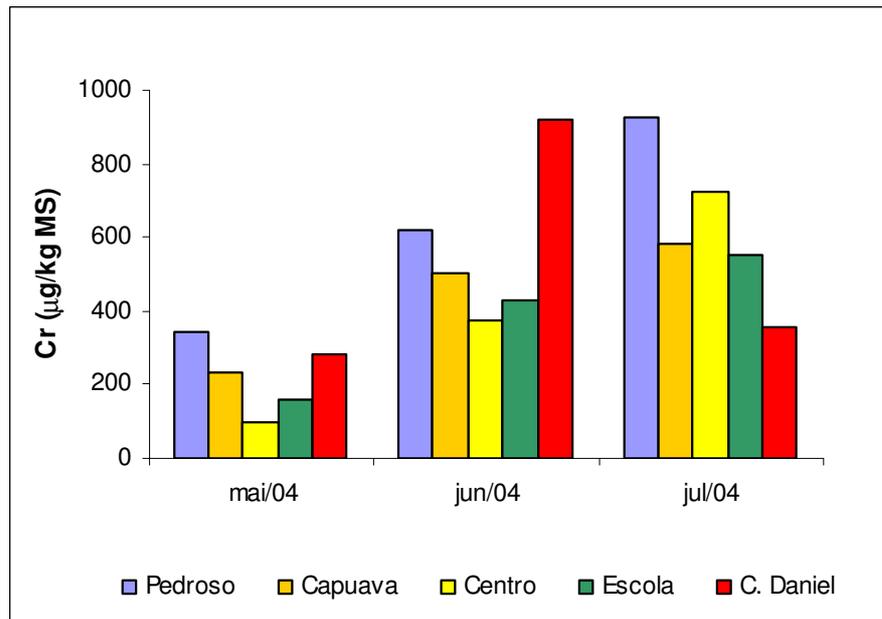


Figura 25 – Concentração média de Cromo nas folhas 1, 2 e 3 amostradas em cada local de estudo de Santo André, durante o período de maio a julho de 2004.

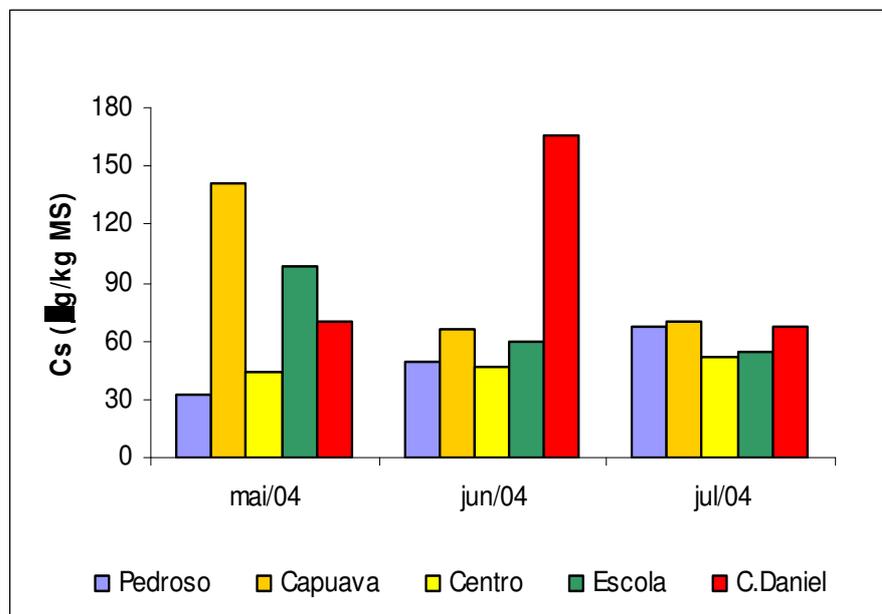


Figura 26 – Concentração média de Césio nas folhas 1, 2 e 3 amostradas em cada local de estudo de Santo André, durante o período de maio a julho de 2004.

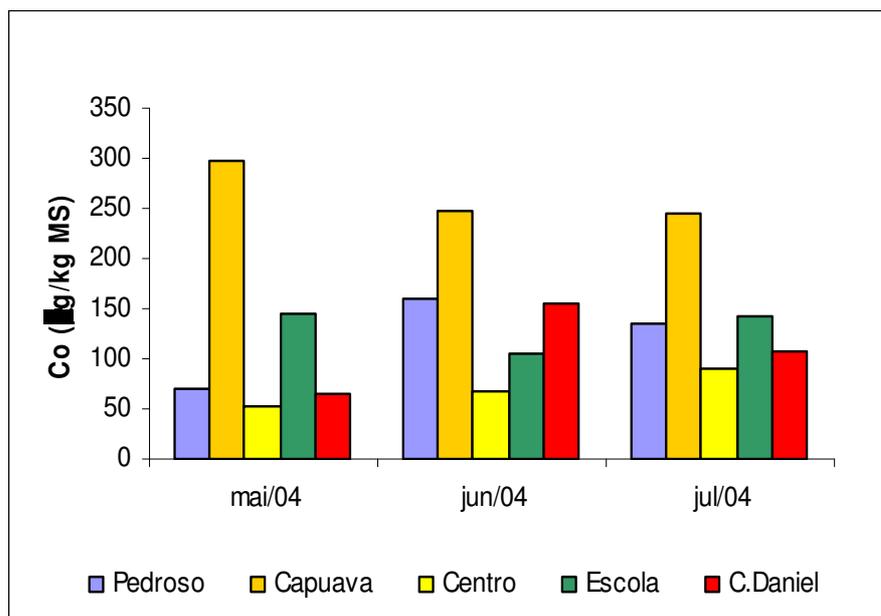


Figura 27 – Concentração média de Cobalto nas folhas 1, 2 e 3 amostradas em cada local de estudo de Santo André, durante o período de maio a julho de 2004.

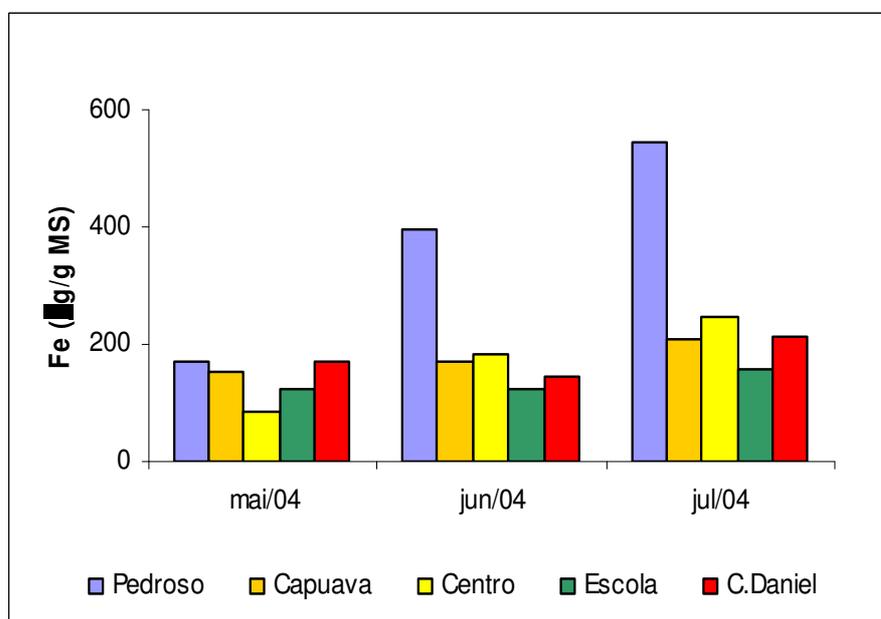


Figura 28 – Concentração média de Ferro nas folhas 1, 2 e 3 amostradas em cada local de estudo de Santo André, durante o período de maio a julho de 2004.

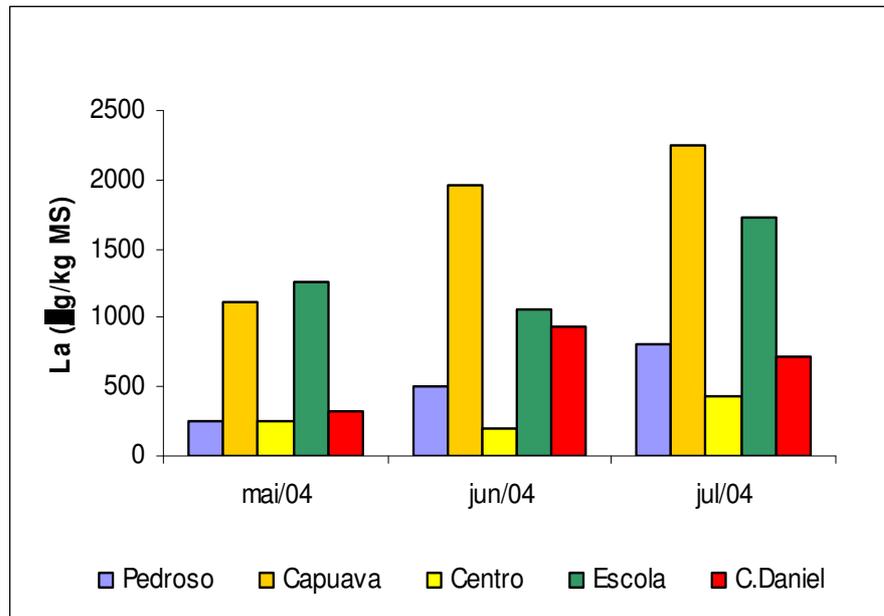


Figura 29 – Concentração média de Lantânio nas folhas 1, 2 e 3 amostradas em cada local de estudo de Santo André, durante o período de maio a julho de 2004.

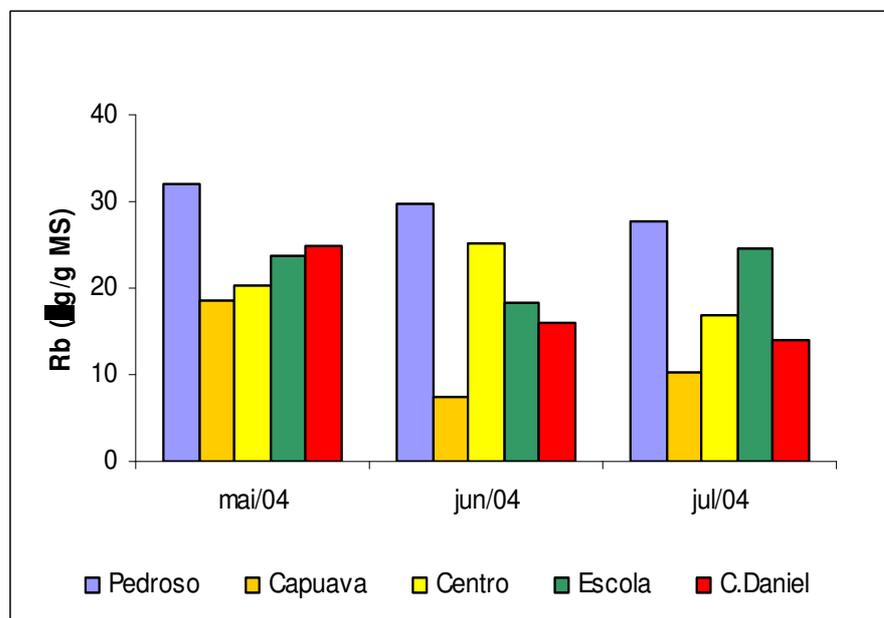


Figura 30 – Concentração média de Rubídio nas folhas 1, 2 e 3 amostradas em cada local de estudo de Santo André, durante o período de maio a julho de 2004.

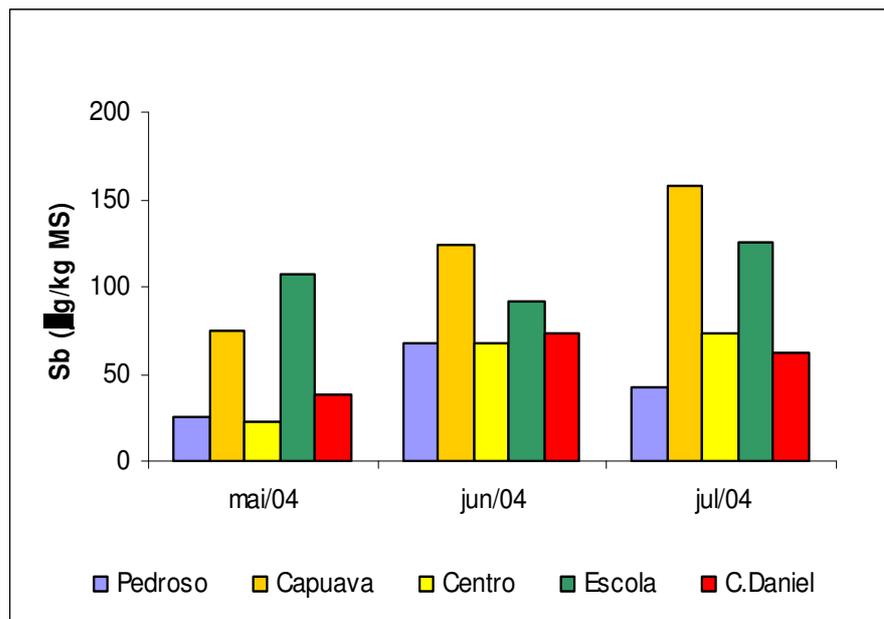


Figura 31 – Concentração média de Antimônio nas folhas 1, 2 e 3 amostradas em cada local de estudo de Santo André, durante o período de maio a julho de 2004.

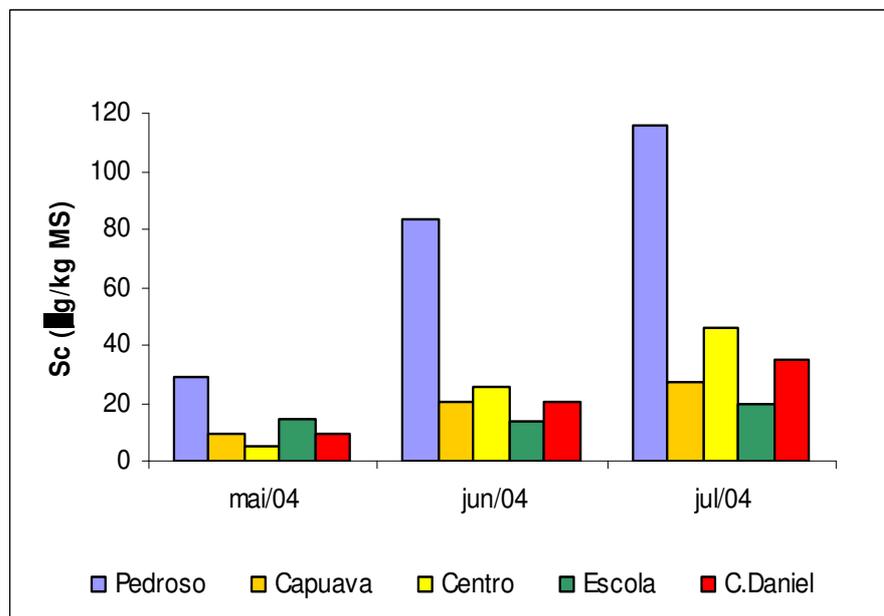


Figura 32 – Concentração média de Escândio nas folhas 1, 2 e 3 amostradas em cada local de estudo de Santo André, durante o período de maio a julho de 2004.

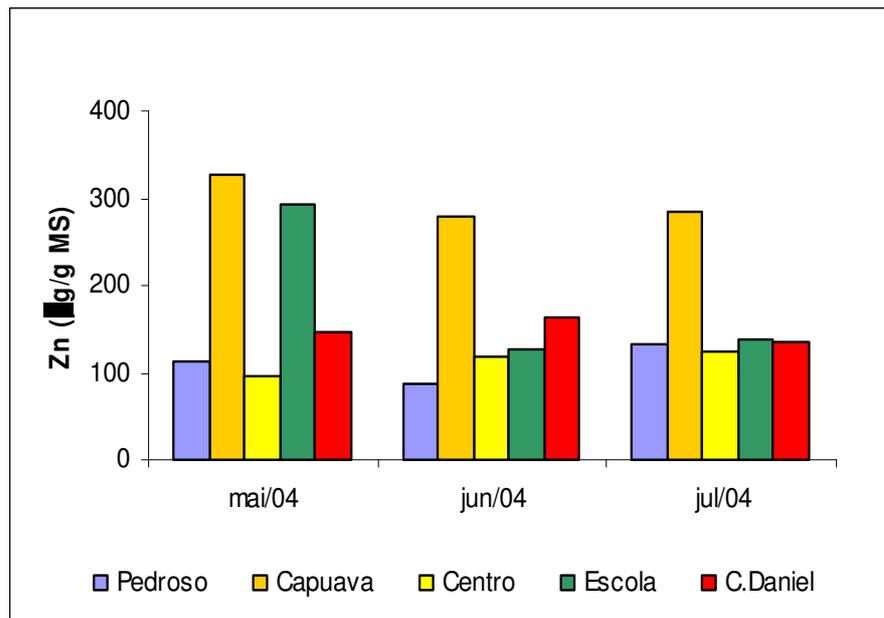


Figura 33 – Concentração média de Zinco nas folhas 1, 2 e 3 amostradas em cada local de estudo de Santo André, durante o período de maio a julho de 2004.

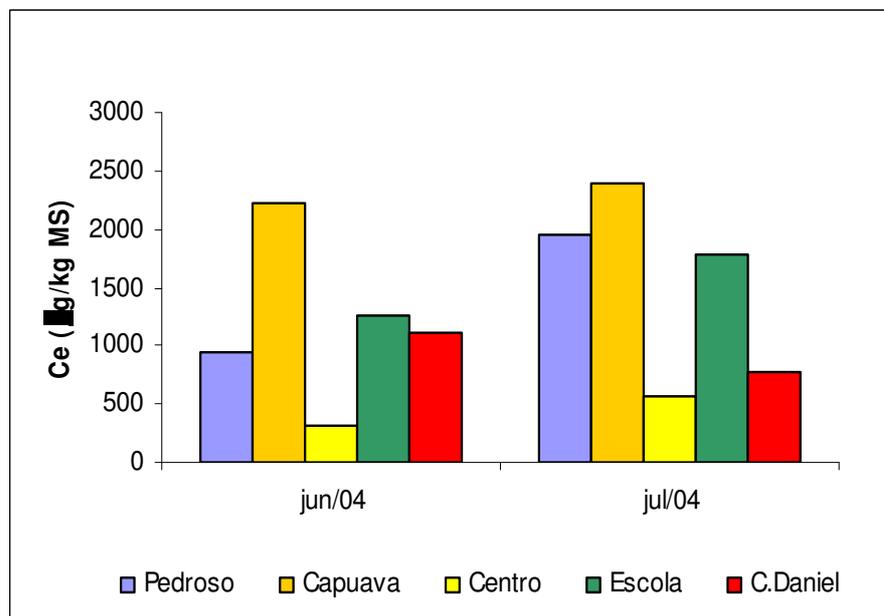


Figura 34 – Concentração média de Cério nas folhas 1, 2 e 3 amostradas em cada local de estudo de Santo André, durante o período de junho e julho de 2004.

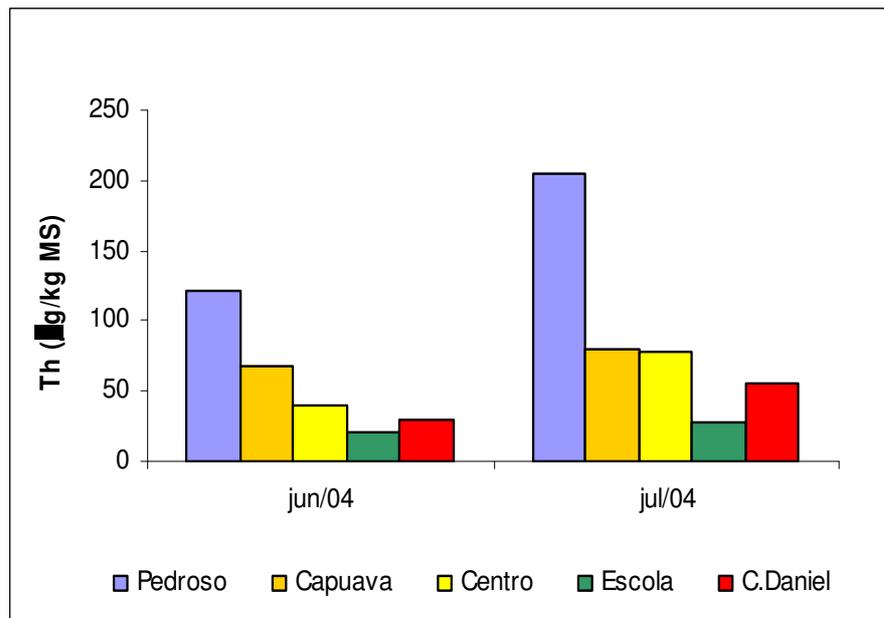


Figura 35 – Concentração média de Tório nas folhas 1, 2 e 3 amostradas em cada local de estudo de Santo André, durante o período de junho e julho de 2004.

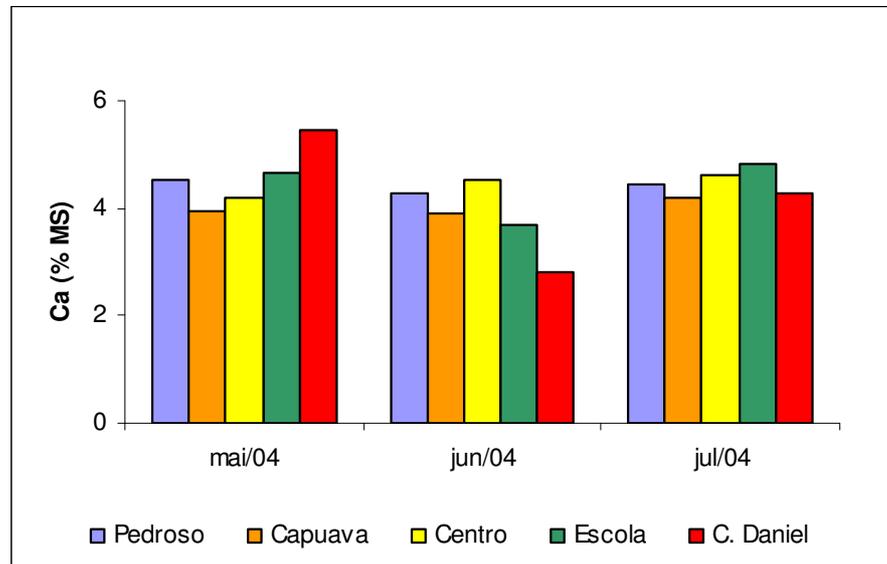


Figura 36 - Concentração média de Cálcio nas folhas 1, 2 e 3 amostradas em cada local de estudo de Santo André, durante o período de maio a julho de 2004.

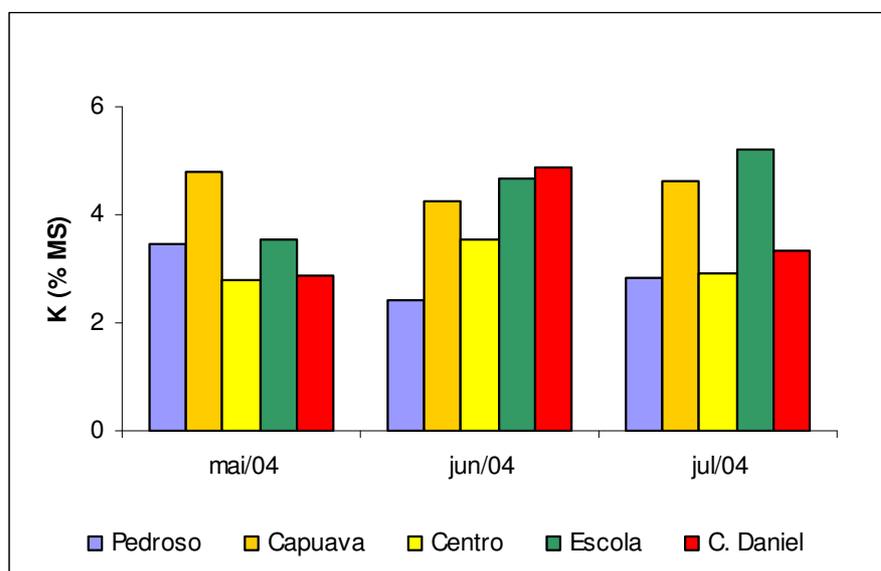


Figura 37 – Concentração média de Potássio nas folhas 1, 2 e 3 amostradas em cada local de estudo de Santo André, durante o período de maio a julho de 2004.

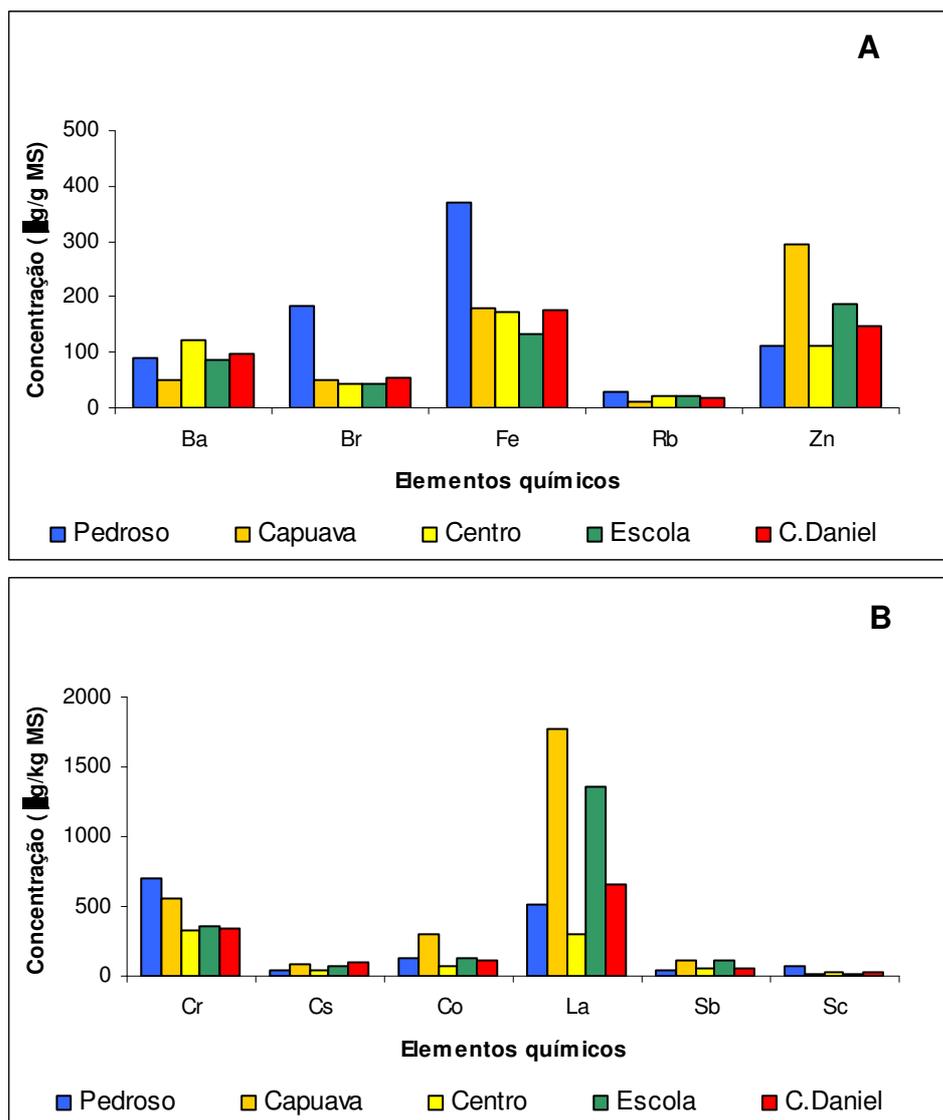


Figura 38 – Perfil médio da concentração de elementos químicos em folhas de *T. pallida* cv. *Purpurea* amostradas de maio a julho de 2004, em cada local de estudo de Santo André.

Acúmulos foliares distintos de determinados elementos químicos indicaram variabilidades temporal e espacial da contaminação do ambiente por partículas que os contêm, na cidade de Santo André.

As concentrações de bário, bromo, cério, cobalto, rubídio, zinco, cério, cálcio e potássio (figuras 23, 24, 26, 27, 30, 33, 34, 36 e 37,

respectivamente) foram similares nas amostras foliares obtidas nos três meses de amostragem. Por outro lado, acúmulo mais intenso de cromo, ferro, lantânio, antimônio, escândio e tório (figuras 25, 28, 29, 31, 32 e 35) foi observado em junho e julho de 2004.

Elementos químicos como bário, bromo, cromo, ferro, rubídio, escândio e tório (figuras 23, 24, 25, 28, 30, 32 e 35) estavam mais concentrados nas amostras do local de referência. As amostras retiradas das plantas expostas na região central (Centro ou Pq. Celso Daniel) também continham altos teores de bário, cério e rubídio, pelo menos em um dos meses de amostragem. Cobalto, lantânio, antimônio, zinco e cério (figuras 27, 29, 31, 33 e 34) estiveram em altas concentrações nas folhas retiradas dos dois locais do pólo petroquímico de Capuava (Capuava e Escola). Os perfis médios das concentrações desses elementos (figura 38) confirmam essas tendências.

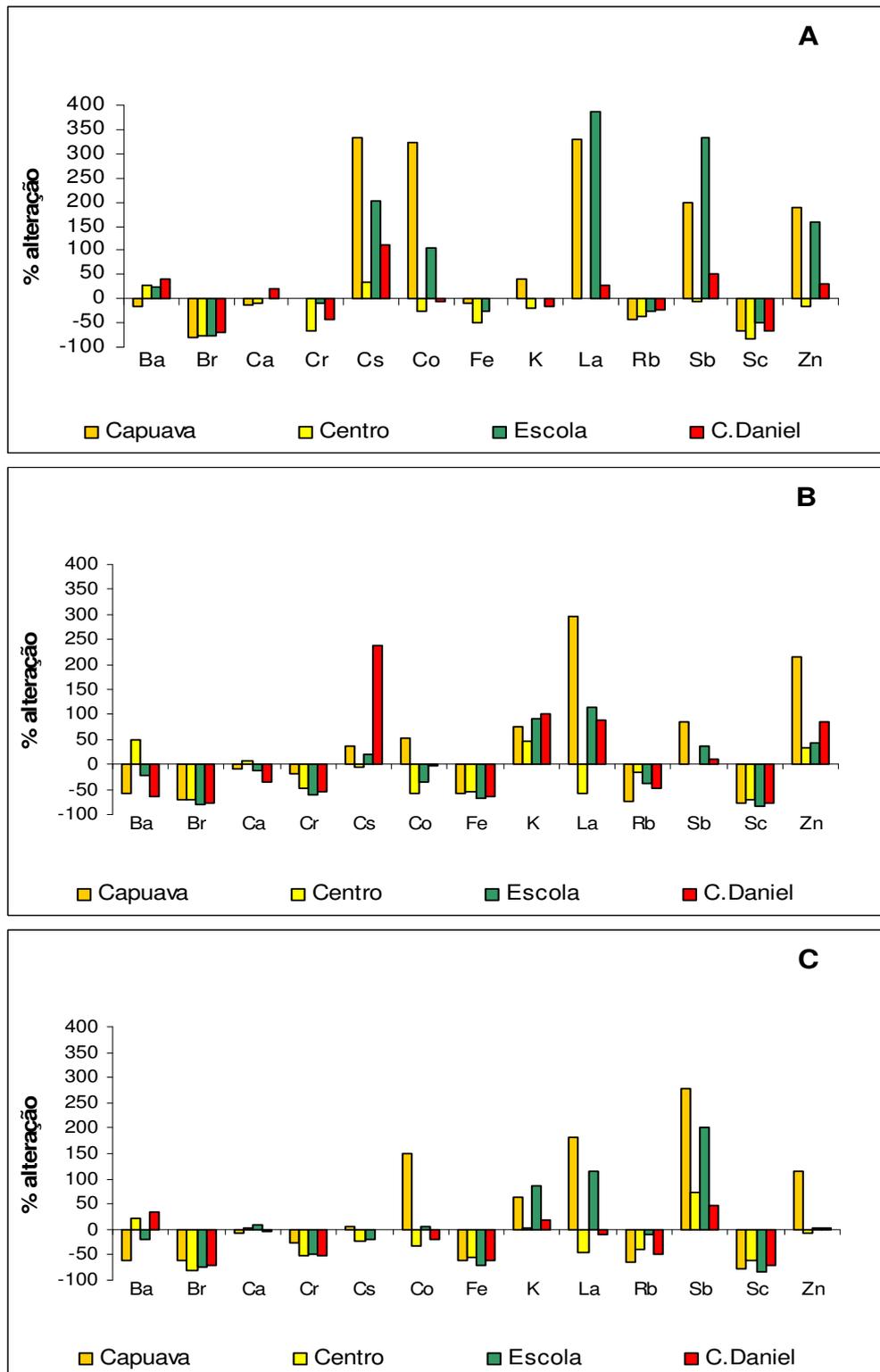


Figura 39 – Porcentagem de alteração nas concentrações de elementos químicos em folhas amostradas em maio (A), junho (B) e julho de 2004 (C), nos locais poluídos de Santo André, em relação às observadas no Parque do Pedroso (local de referência).

Calcularam-se as porcentagens de alteração na concentração de elementos químicos em folhas amostradas, durante o período de maio a julho de 2004, nos locais poluídos de Santo André em relação à encontrada no local considerado como referência (Parque do Pedroso) (figuras 39A a C). As porcentagens médias de alteração, considerando os três meses de amostragem, são apresentadas na figura 40.

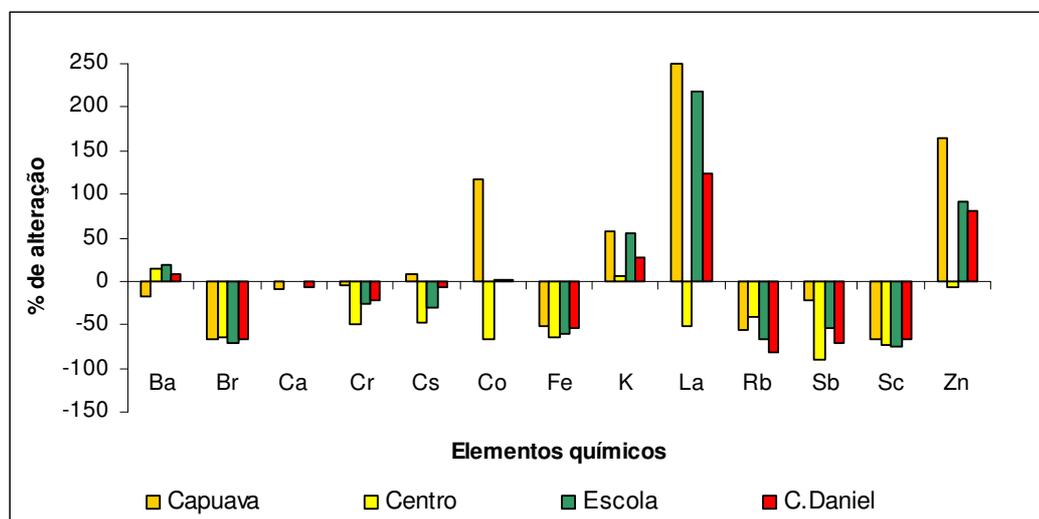


Figura 40 – Porcentagem média de alteração nas concentrações de elementos químicos em folhas amostradas durante o período de maio a julho de 2004, nos locais poluídos de Santo André, em relação às observadas no Parque do Pedroso (local de referência).

Os maiores enriquecimentos em elementos químicos nas folhas provenientes dos locais poluídos ocorreram em maio/2004 (figura 39A), alcançando valores acima de 300% para césio, cobalto, lantânio e antimônio nos locais do pólo petroquímico de Capuava.

As folhas amostradas nos locais poluídos apresentaram-se empobrecidas em bromo, cromo, ferro, rubídio, escândio e cálcio, em todos os meses de amostragem (figura 39). As folhas retiradas das plantas mantidas no Centro continham, em média, 20% a mais de bário do que as provenientes do local de referência. As amostras retiradas do Parque Celso Daniel continham, em média, mais 30% de potássio, 120% de lantânio e 80% de zinco. As folhas retiradas de ambos os locais do pólo petroquímico de Capuava mostraram-se especialmente muito enriquecidas (acima de 100%) de cobalto, lantânio e zinco (figura 40).

Por meio de análise de regressão linear, procurou-se verificar se a formação de micronúcleos em células-mãe de grãos de pólen em plantas de *T.pallida* poderiam ser associadas ao acúmulo foliar de alguns metais considerados tóxicos às plantas. Porém, conforme figura 41, isto não foi comprovado. Baixos coeficientes de regressão e não significativos foram encontrados na maioria dos casos (figuras 41 A a G). A relação negativa entre frequência de micronúcleos e rubídio (figura 41H) também não indica que esse metal seja clastogênico para *T. pallida*.

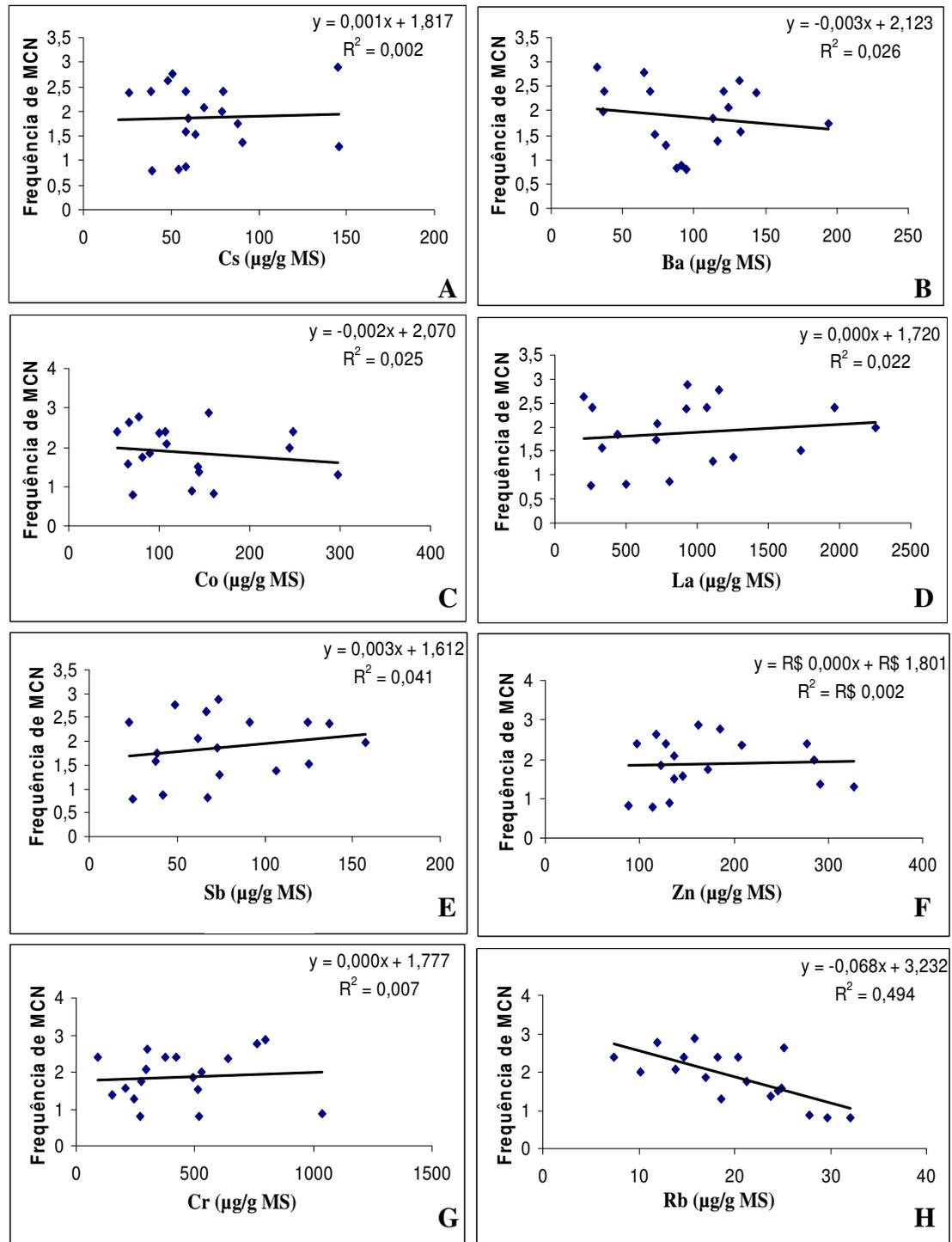


Figura 41 - Relação entre frequência de micronúcleos e concentração de elementos químicos em folhas de *T. pallida*

Discussão

4. DISCUSSÃO

Apesar da ampla variação na frequência de micronúcleos em inflorescências de *Tradescantia pallida* cv. Purpurea encontrada entre locais e épocas de amostragem, na cidade de Santo André, não houve padrões evidentes de variação que possam indicar fontes de contaminação ambiental, como a emissão veicular na região central e a emissão do pólo petroquímico de Capuava. Isto, possivelmente, é devido ao caráter generalista de indicação de riscos clastogênicos do bioensaio Trad-MCN, como apontado por MA et al. (1981, 1983, 1984 e 1996).

Apesar disto, valores encontrados em inflorescências coletadas no Parque do Pedroso, além de pouco variáveis ao longo do tempo, foram bastante similares aos valores basais observados em controles negativos em estudo experimentais, como os de MONARCA, et al. (1999), BATALHA et al. (1999) e SUYAMA et al. (2002). Esse resultado mostra que não havia fatores de estresse ambientais no local capazes de induzir à formação de micronúcleos e que o cultivo e procedimentos de exposição foram adequados às plantas.

Na maioria dos casos, o bioensaio Trad-MCN identificou um forte risco clastogênico nos locais próximos ao centro de Santo André e ao pólo petroquímico de Capuava. Na Europa, por exemplo, KLUMPP et al. (2006) também encontrou um aumento de micronúcleos em inflorescências do

clone 4430 de *Tradescantia* expostas a fortes emissões de tráfego de automóveis. Em São Paulo, muitos estudos confirmaram a grande sensibilidade de plantas de *Tradescantia* para os poluentes atmosféricos provenientes da emissão veicular (BATALHA et al., 1999; GUIMARÃES et al., 2000; FERREIRA et al., 2003; GUIMARÃES et al., 2004). MA et al. (1996) e FOMIN & HAFNER (1998) mostraram que o referido bioensaio também foi eficiente para identificar riscos clastogênicos no entorno de indústrias incineradoras de lixo.

Os resultados obtidos no local de referência revelaram que o cultivo e procedimentos de exposição não devem ter sido a fonte de estresse para as plantas mantidas nos locais poluídos da cidade, uma vez que estes foram os mesmos em todos os locais. Assim, as condições ambientais de cada local de exposição nas áreas urbanizada e industrializada de Santo André devem ter sido responsáveis pela ocorrência de quebras cromossômicas em células-mãe de grãos de pólen. Dado o alto índice de contaminação atmosférica nessas áreas, esperar-se-ia que o bioensaio indicasse pelo menos qualitativamente os efeitos danosos dos poluentes nos seres vivos que estão próximos às áreas poluídas de Santo André.

Entretanto, a análise multivariada indicou que os poluentes atmosféricos não foram os únicos fatores que causaram danos clastogênicos nas plantas de *T. pallida*. Fatores climáticos, como umidade relativa do ar, temperaturas máximas e mínimas e índice pluviométrico foram condições

relevantes para a formação de micronúcleos. De fato, respostas integradas de plantas bioindicadoras com diferentes fatores abióticos, e não somente poluição atmosférica, são um dos preceitos do biomonitoramento (FERREIRA et al., 2006). Devido a isto, o uso de bioindicadores não é capaz de substituir métodos físico-químicos para a medição da qualidade do ar. Em contrapartida, eles oferecem informações dos efeitos danosos do ambiente como um todo, que geralmente é alterado não somente sob o aspecto da poluição, mas também sob o aspecto climático, aos organismos vivos (ARNDT & SCHWEIZER, 1991, KLUMPP et al., 2001 a). Mas, idealmente, os métodos para biomonitoramento da qualidade do ar são mais eficientes na medida em que indicam mais a presença de fatores de risco relacionados à poluição atmosférica e menos aqueles relativos às mudanças climáticas nos centros urbanos e industriais. Sendo assim, aconselha-se padronizar métodos de cultivo e exposição, a fim de minimizar a influência dos fatores climáticos nas respostas bioindicadoras das plantas (KLUMPP et al., 2001a).

Além da clara influência negativa das variáveis climáticas, poluentes típicos nos dois locais foram identificados como significativos para a variação na formação de micronúcleos (Ozônio em Capuava e material particulado no Centro). Estes resultados sinalizam a conveniência do bioensaio Trad-MCN com *T. pallida* para o monitoramento de riscos clastogênicos em Santo André. No entanto, os procedimentos estatísticos quantitativos adotados propuseram modelos de regressão para a variação em micronúcleos, apesar de significativos, com baixa explicabilidade. Apenas 17% e 26% da

variabilidade nas taxas de micronúcleos, estimadas respectivamente nas regiões contaminadas por altas concentrações de ozônio (Capuava) e pela grande emissão veicular (Centro), foram explicados pelos fatores ambientais relacionados. Isto indica que outros fatores ambientais não monitorados parecem contribuir para a formação de micronúcleos nas plantas expostas nesses locais e deveriam ter sido considerados na análise multivariada.

O procedimento estatístico adotado também permitiu inferir a respeito do suposto intervalo de tempo ideal entre a ocorrência dos efeitos clastogênicos por fatores ambientais e a visualização do dano (formação de micronúcleos), definindo o quão eficiente é o bioensaio Trad-MCN para identificar riscos clastogênicos em um ambiente urbano. Este fato seria de grande interesse para a saúde pública. Em Capuava, a frequência de micronúcleos foi melhor explicada pela concentração de ozônio e temperaturas mínimas entre um e três dias antes da coleta das amostras de flores. Por outro lado, as taxas de micronúcleos nas inflorescências provenientes das regiões centrais marcaram melhor a condição ambiental registrada entre 4 e 7 dias antes da amostragem, mostrando que *T. pallida* reage mais lentamente, por meio da intensificação na formação de micronúcleos, quando exposta em local urbanizado. Observa-se, assim, aparente maior eficiência do bioensaio Trad-MCN com inflorescências de *T. pallida* no entorno de indústrias petroquímicas. No entanto, tal hipótese deverá ser testada minuciosamente no futuro.

A relação inversa entre frequência de micronúcleos e precipitação mensal e umidade relativa parece indicar que *T. pallida* cv. Purpurea foi afetada por estresse hídrico. Sabe-se que o fechamento de estômatos é controlado pela disponibilidade de água para as plantas em muitas espécies (LARCHER 2000). As plantas de *T. pallida* expostas nos ambientes poluídos de Santo André poderiam, assim, ter seus estômatos fechados nos momentos de menor disponibilidade de água. Se isto ocorreu, a absorção de poluentes gasosos, que acontece majoritariamente via estômatos, pode ter sido restringida nesses períodos. Por isso, menor influência de gases potencialmente clastogênicos nas folhas de *T. pallida* cv. Purpurea expostas nas regiões poluídas de Santo André pode ter ocorrido em épocas com baixa umidade relativa do ar e pluviosidade e isto poderia justificar a baixa explicabilidade encontrada nos modelos. Novos experimentos deverão ser realizados para entender melhor o efeito do estresse hídrico nessa cultivar.

De qualquer maneira, algumas recomendações podem ser feitas, visando a padronização de métodos de cultivo e exposição de plantas de *T. pallida*, se o biomonitoramento for realizado com as mesmas mantidas em vasos por um período longo, e a redução da influência de fatores climáticos em sua resposta bioindicadora (frequência de micronúcleos). É recomendável trocar freqüentemente as plantas de vasos (a cada três ou quatro meses, por exemplo), renovando o solo e colocando fertilizantes para evitar a exaustão de nutrientes que ocorre normalmente em solos desgastados e compactados, assim como garantir uma rega sistemática e

contínua para oferecer condições hídricas ideais. Em estudos experimentais, nos quais somente as inflorescências são submetidas ao agente clastogênico a ser testado, é recomendável que os vasos com plantas matrizes sejam grandes e com poucos indivíduos, pois as raízes destes crescem rapidamente e costumam formar “novelos”, que precisam expandir-se lateralmente. Caso isto ocorra, se as plantas não forem trocadas de vasos ou replantadas, a formação de inflorescências fica bastante comprometida, as folhas tornam-se mais finas e com a cor descaracterizada.

Essas matrizes devem ser, preferencialmente, mantidas em local onde não haja fatores de estresse suficientes para elevar a frequência de micronúcleos. No presente estudo, por exemplo, o Parque do Pedroso, mostrou-se adequado para tal finalidade.

Informações a respeito da umidade relativa, temperatura, precipitação, radiação solar, direção e velocidade dos ventos, além de dados da qualidade do ar, são igualmente muito importantes para estabelecer um modelo preciso e coerente para o biomonitoramento em escala regional.

O bioensaio de micronúcleos em células-mãe de grãos de pólen de inflorescências jovens de *T.pallida* mostrou-se eficiente para indicação geral de riscos clastogênicos em ambientes urbanos, mas não foi capaz de detectar com precisão tipos e fontes de poluentes atmosféricos em Santo André, já que a sensibilidade da planta a outros fatores ambientais é

bastante grande. Por outro lado, o acúmulo de elementos tóxicos nas folhas das inflorescências pareceu ser uma resposta indicadora mais adequada para tal finalidade. Aliás, tal propriedade das folhas dessa planta bioindicadora já havia sido demonstrada por SUMITA (2002) e SUMITA et al., (2003)

O método de análise por ativação de nêutrons tem se mostrado bastante eficaz para a detecção de elementos tóxicos em amostras vegetais. Além disso, é extremamente preciso, o que permite mapear fontes poluidoras e regiões com diferentes tipos e concentrações de poluentes, (AMADO FILHO et al., 2002; SUMITA, 2002; SUMITA et al., 2003; FIGUEIREDO et al. 2006; NOGUEIRA, 2006), compensando o maior investimento financeiro necessário para sua aplicação. Esse método tem permitido identificar elementos químicos potencialmente tóxicos e de interesse para os estudos de poluição ambiental e para mapeamento de riscos aos seres vivos.

No presente estudo, foi possível verificar as mesmas variações no acúmulo foliar de elementos ao longo do tempo e entre os locais de exposição, nas três categorias de folhas de *T. pallida* amostradas, de modo que as concentrações puderam ser apresentadas como médias mensais para as três folhas. Contudo, o fato de que o acúmulo dos elementos analisados tender a ser maior na medida em que a idade da folha amostrada aumenta deve ser considerado quando da definição dos objetivos do

biomonitoramento e, conseqüentemente, do método de amostragem. Se o objetivo for a investigação do nível de contaminação em períodos progressos ao redor da data de amostragem, recomenda-se a coleta da folha mais jovem da inflorescência, que, no caso deste trabalho, foram as brácteas. Se o biomonitoramento for mais abrangente no tempo, sugere-se amostrar as folhas mais velhas, porém não senescentes.

O acúmulo mais intenso de cromo, ferro, lantânio, antimônio, escândio e tório (figuras 25, 28, 29, 31, 32 e 35) em junho e julho de 2004, independente do local, indica maior contaminação do ar com partículas que os contenham, sejam elas de origem natural como o solo, ou de origem de emissão antrópica como as indústrias ou os veículos. Isso é provável, uma vez que, nesse período houve picos de concentração de MP_{10} em alguns dias e baixa precipitação. Para os demais elementos, esta maior disponibilidade parece não ter acontecido.

O período de inverno favorece o aumento das concentrações de poluentes, devido às dificuldades para dispersão dos mesmos. NOGUEIRA (2006) identificou situação semelhante no biomonitoramento que realizou na região metropolitana de São Paulo utilizando outra planta acumuladora (*Tillandsia usneoides*). Na maioria dos casos, o autor verificou que o maior aumento das concentrações dos elementos estudados nas plantas ocorreu no período de exposição de inverno, no caso, junho e julho de 2002. SUMITA (2002) também encontrou uma elevação na concentração dos

mesmos elementos em folhas de *T.pallida* entre os meses de abril e maio de 1999, em regiões com intenso fluxo automotivo na cidade de São Paulo (Congonhas). Assim, podemos considerar que *T. pallida* cv. *Purpurea* é tão marcadora de variação sazonal na contaminação atmosférica por cromo, ferro, lantânio, antimônio, escândio e tório, pelo menos, quanto *T. usneoides*, que já é reconhecida como uma espécie acumuladora, segundo FIGUEIREDO et al. 2006. A vantagem de utilização de *T. pallida* reside na facilidade de cultivá-la e em seu crescimento rápido, o que permite amostragens em intervalos de tempo mais curtos. Por outro lado, por não haver métodos de cultivo de *T. usneoides* disponíveis, sua utilização somente será possível se for retirada de remanescentes de floresta onde ocorre naturalmente. Isto restringe seriamente seu emprego em programas de biomonitoramento rotineiros.

No local de referência (Parque do Pedroso), também foi identificado acúmulo expressivo de elementos químicos como bromo, cromo, ferro, rubídio e escândio. Estes elementos estão fortemente relacionados com partículas de solo em suspensão. NOGUEIRA (2006), após análise de clusters para verificar o comportamento dos elementos analisados em plantas de *Tillandsia usneoides*, observou que estes mesmos elementos citados não são originados de ações antrópicas, mas sim de suspensão de solo. As plantas localizadas no Parque do Pedroso estavam cercadas por solo e grama, já que se trata de uma área natural, o que explica a presença destes elementos em maior quantidade.

O bário também foi encontrado nas folhas provenientes da área de referência em concentrações mais altas do que seria esperado para um local afastado das emissões antrópicas. Sabe-se que compostos organometálicos como o bário têm sido freqüentemente utilizados para a redução da fumaça do diesel. Por este fato, este elemento tem sido considerado como marcador de emissão veicular no lugar do chumbo, que está praticamente ausente na gasolina (MONACI et al., 2000).

Encontrar este elemento no local de referência, que está cercado por vegetação típica de mata atlântica, nascentes e pouco fluxo automotivo justifica-se pela presença de veículos movidos a diesel, que semanalmente trafegam pelo local. O abastecimento nas residências da área de manancial, onde estavam localizadas as plantas, é feito por caminhão pipa, fazendo com que uma vez por semana estes veículos trafeguem pelo local. Há, também, presença de tratores e retroescavadeiras para eventuais serviços de manutenção, o que pode ter colaborado para a contaminação nas plantas.

Vale salientar que a maior concentração de bário ocorreu na área central da cidade, o que indica a presença de poluentes de origem veicular, já que o tráfego de automóveis é bastante intenso nesta região. SUMITA (2002) e NOGUEIRA (2006) também identificaram altas concentrações desse elemento em plantas dispostas em áreas centrais do município de São Paulo, pelo método de ativação neutrônica, confirmando a presença

deste elemento em locais com altos índices de poluição atmosférica, principalmente emitidos por veículos automotores.

Na região industrial da cidade, nas proximidades Pólo Petroquímico, foram encontradas concentrações mais altas de cobalto, lantânio, antimônio, zinco e cério. Entre estes elementos quantificados, a concentração de lantânio (La) destacou-se nos dois locais próximos ao Pólo Petroquímico durante os meses avaliados (Capuava e Escola). O lantânio é bastante abundante na crosta terrestre, encontrado principalmente em minerais terras raras. Os lantanídeos, lantóides ou terras raras, de forma geral, estão presentes em ligas metálicas, materiais magnéticos e supercondutores, indicando que o aumento do seu uso nas atividades industriais colabora significativamente para a elevação destes elementos no ambiente (MACHADO, 1998).

NOGUEIRA (2006) e FIGUEIREDO et al (2007) encontraram altas concentrações de zinco na cidade de Santo André em estudos com *Tillandsia usneoides*, tanto na área central como na região industrial. *T. pallida* também foi capaz de discriminar a presença de zinco nestas áreas, principalmente na área industrial, o que indica que este elemento é proveniente tanto das fontes industriais como das fontes veiculares.

O elemento antimônio também foi muito marcante nas duas áreas localizadas na região industrial da cidade. Este elemento tem uma crescente

importância na indústria de semicondutores para a construção de diodos e detectores infravermelho. É também usado como liga em compostos que contém chumbo.

T. pallida se mostrou adequada para determinar regiões com contaminação por emissões da indústria petroquímica, destacadamente através do acúmulo de lantânio e zinco, assim como para indicação de poluentes veiculares, através do bário. Porém, a capacidade acumuladora da *Tradescantia pallida*, que seria demonstrada por altas concentrações foliares e/ou alto índice de enriquecimento do elemento nas folhas, quando comparado com os valores encontrados nas amostras do local de referência, não é tão alta quanto a mostrada por outros vegetais já estudados. Uma comparação entre a bromélia *Tillandsia usneoides* (resultados contidos em NOGUEIRA 2006, FIGUEIREDO 2007) e a *T. pallida* cv. *Purpurea* (resultados obtidos neste estudo e no de SUMITA 2002), em relação as concentração de metais na cidade de São Paulo e Santo André, confirmam esta hipótese (tabela 8).

Tabela 8 - Valores máximos e mínimos de concentração foliar encontrados em plantas de *T. pallida* e de *T. usneoides* nas cidades de São Paulo e Santo André.

	<i>T. usneoides</i>		<i>T pallida</i>	
	São Paulo	Santo André	Santo André	São Paulo
	(Nogueira 2006)		(Este estudo)	(Sumita 2002)
	(min-max)	(min-max)	(min-max)	(min-max)
Ba (µg/g)	12,0 - 51,0	12,0 - 28,0	23 - 210	10 - 320
Br (µg/g)	5,6 - 10,4	5,6 - 8,9	29 - 285	10 - 110
Cr (µg/kg)	480 - 3700	1810 - 2200	53 - 1289	0 - 2800
Co (µg/kg)	230 - 7600	580 - 1300	51 - 335	40 - 780
Fe (µg/g)	440 - 1222	964 - 1079	78 - 634	50 - 480
La (µg/kg)	400 - 1510	1050 - 1360	163 - 3143	50 - 1500
Rb (µg/g)	3,0 - 50,0	7,0 - 44,0	6,0 - 41,0	10 - 105
Sb (µg/kg)	70 - 990	350 - 560	20 - 216	0 - 300
Sc (µg/kg)	90 - 1410	130 - 1410	4 - 140	3 - 80
Zn (µg/g)	21 - 189	107 - 189	76 - 386	30 - 270
Ce (µg/kg)	160 - 2500	160 - 2100	233 - 3521	150 - 2500
Th (µg/kg)	----	----	----	0 - 210
Ca (% MS)	0,16 - 0,45	0,19 - 0,37	1,7 - 5,9	1,6 - 3,8
K (% MS)	0,12 - 0,89	0,3 - 0,80	1,9 - 5,6	2,5 - 8,9

A capacidade acumuladora de metais, de uma maneira geral, foi bem maior para a *Tillandsia usneoides* do que para a *Tradescantia pallida*. Alguns elementos como o bário e bromo foram melhor representados em folhas de *T.pallida*, além desta conter muito mais cálcio e potássio do que *T. usneoides*.

T. pallida, mesmo tendo uma menor capacidade acumuladora, foi capaz de proporcionar um mapeamento temporal e espacial da contaminação atmosférica por metais, não somente para se detectar elementos tóxicos, mas também a identificação de fontes emissoras. Desta

forma, fica comprovado que essa planta bioindicadora pode ser utilizada na avaliação da qualidade ambiental.

Nas últimas décadas, a contaminação ambiental por metais pesados tem aumentado fortemente (ALLOWAY & AYRES, 1993). Estes metais são capazes de entrar no metabolismo das plantas e causar efeitos danosos. STEINKELLNER et al (1998), testou os efeitos genotóxicos de metais pesados em diferentes tipos de plantas e encontrou elevada frequência de micronúcleos em clones 4430 de *Tradescantia*, confirmando o efeito genotóxico dos metais. Embora os metais sejam bastante tóxicos para algumas plantas, nenhum daqueles identificados no presente estudo foi capaz de induzir a formação de micronúcleos nas plantas de *T.pallida*, como mostrou a figura 41 (A-H).

Sendo assim, pode-se supor que a espécie pode ter mecanismos de tolerância capazes de diminuir a toxicidade dos metais, como a formação de complexos com compostos orgânicos, transporte para os vacúolos, etc. A ocorrência de danos aos cromossomos pode acontecer somente a partir de um certo nível de acúmulo. De qualquer forma, estudos direcionados ao estabelecimento de curvas dose x resposta são necessários para definição desses níveis críticos. A forte influência dos fatores climáticos sobre a formação dos micronúcleos pode ter mascarado os efeitos clastogênicos dos metais. Amostragens por períodos mais longos poderão auxiliar na definição desses níveis críticos .

No presente trabalho, *T. pallida* mostrou-se eficiente tanto para indicar riscos clastogênicos gerais, provocados em conjunto pela poluição e pelos fatores climáticos. Estes podem ser considerados fatores de confusão, quando se pretende delimitar riscos impostos por poluentes atmosféricos aos organismos vivos e sua influência na resposta bioindicadora deve ser minimizada ao máximo, principalmente quando o biomonitoramento for utilizado como ferramenta auxiliar ao controle da qualidade ambiental em áreas urbanas, como é o caso de Santo André. O potencial de acumular poluentes nas folhas também foi uma propriedade evidente neste vegetal. Esta metodologia foi muito importante para a identificação das fontes de poluição, já que o bioensaio Trad-MCN não tem esta capacidade.

Para uma cidade como Santo André, que tem grande atividade industrial e intenso fluxo automotivo, o biomonitoramento deve ser aperfeiçoado, para que sirva como ferramenta auxiliar aos poderes públicos, para a fornecer bases e metodologias seguras de controle ambiental. As variáveis climáticas devem ser totalmente controladas e os modelos experimentais atendem muito bem a estas necessidades.

Conclusões

5. CONCLUSÕES

O bioensaio de micronúcleos em células-mãe de grãos de pólen mostrou-se eficiente para detectar riscos clastogênicos inespecíficos na cidade de Santo André, provocados em conjunto pela poluição atmosférica e pelos fatores climáticos, mas não foi apropriado para identificar fontes emissoras de poluentes.

O acúmulo de elementos tóxicos nas folhas das inflorescências de *T. pallida* foi uma resposta indicadora adequada de tipos e fontes de poluentes atmosféricos. Essa espécie bioindicadora foi especialmente eficiente para discriminar regiões com alta contaminação de material particulado emitido pela indústria petroquímica, destacadamente através do acúmulo de lantânio e zinco. Por intermédio do acúmulo de bário, foi capaz de indicar riscos relacionados à emissão veicular.

No entanto, para que o biomonitoramento com essa planta, seja empregando o bioensaio Trad-MCN ou a análise das concentrações foliares de elementos tóxicos, sirva como ferramenta para controle da qualidade ambiental em Santo André, e medidas preventivas específicas sejam adotadas, deve-se propor um modelo padronizado, minimizando, entre outros aspectos, a influência de fatores climáticos sobre as respostas indicadoras da presença de poluentes na atmosfera.

Referências Bibliográficas

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLOWAY, B.J.; AYRES, D.C. **Chemical principles of environmental pollution**. London : Chapman and Hall, 1993.

ALVES, E.S.; GIUSTI, P.M.; DOMINGOS, M.; SALDIVA, P.H.N.; GUIMARÃES, E.T.; LOBO, D.J.A. **Estudo anatômico foliar do clone híbrido 4430 de *Tradescantia*: alterações decorrentes da poluição aérea urbana**. Rev. Brasil. Bot., São Paulo, V.24, 567-576, 2001.

ALVES, E.S.; PEDROSO, A.N.V.; DOMINGOS, M.; GUIMARÃES, E.T.; SALDIVA, P.H.N. **Biomonitoramento indoor do potencial mutagênico do ar em laboratórios e herbário do Instituto de Botânica por meio do bioensaio Trad-MCN**. Hoehnea 30(2):89-84, 2003.

AMADO FILHO, G.M.; ANDRADE, L.R.; FARINA, M.; MALM, O. **Hg localisation in *Tillandsia usneoides* L. (Bromeliaceae), na atmospheric biomonitor**. Atmos. Environ., v.36, p.881-887, 2002.

ARNDT, U.; SCHWEIGER, B. **The use of bioindicators of environmental monitoring in tropical and subtropical countries**. In: ELLENBERG, H., ed. Biological Monitoring. Signals from the environment. Vieweg, Eschborn, p.199-298. 1991.

BAKONYI, S.M.C.; DANNI-OLIVEIRA, I.M.; MARTINS, L.C.; BRAGA, A.L.F.; **Air Pollution and respiratory diseases among children in the city of Curitiba, Brazil**. Rev. Saúde Pública., São Paulo. 38(5):695-700, 2004.

- BATALHA, J.R.F.; GUIMARÃES, E.T.; LOBO, D.J.A.; LICHTENFELS, A.J.F.C.; DEUR, T.; CARVALHO, H.A.; ALVES, E.S.; DOMINGOS, M.; RODRIGUES, G.S.; SALDIVA, P.N.H. **Exploring the clastogenic effects of air pollution in São Paulo (Brazil) using the Tradescantia micronuclei assay.** Mutation Research 426:229-232, 1999.
- BRAGA ALF. **Quantificação dos efeitos da poluição do ar sobre a saúde da população pediátrica da cidade de São Paulo e proposta de monitorização.** Tese de Doutorado - Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.
- BRANCO, S.M.; MURGEL, E. **Poluição do ar.** Série Polêmica. 2.ed. Moderna, 2004.
- BRAY, E.A, BAILEY-SERRES, J. & WERETILNYK, E. 2000. **Responses to abiotic stresses.** In: **Biochemistry & Molecular Biology of Plants** (Buchanan BB, Gruissen W & Jones RL, eds.). American Society of Plant Physiologists (USA), New York, pp. 1158-1203.
- CARNEIRO, R.M.A. **Bioindicadores vegetais de poluição atmosférica: uma contribuição para a saúde da comunidade.** Dissertação de mestrado. Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.
- CANÇADO, J.E.D.; BRAGA,A.; PEREIRA, L.A.A.; ARBEX, M.A.; SALDIVA, P.H.N.;SANTOS, U.P.; **Repercussões clínicas da exposição à poluição atmosférica.** J Bras Pneumol. 32(Supl 1):S5-S11, 2006.
- CASTANHO, A.D.A. **A determinação quantitativa de fontes de material particulado na atmosfera da cidade de São Paulo.** Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

CETESB.**Relatório da Qualidade do Ar no Estado de São Paulo -1995.**
Série Relatórios, 1996.CETESB.**Relatório da Qualidade do Ar no
Estado de São Paulo -2001.** Série Relatórios, 2002.

CETESB.**Relatório da Qualidade do Ar no Estado de São Paulo -2005.**
Série Relatórios, 2006.

CETESB.**Caracterização das estações da rede automática de
monitoramento da qualidade do ar na RMSP, Estação Santo André-
Centro.** Série Relatórios. 2006

Conselho Nacional de Meio Ambiente, **Resolução CONAMA nº 3** de 28 de
junho de 1990. Padrões de qualidade do ar.

CONSTANTIN, M.J. **Plant genetic systems with potential for the
detection of atmospheric mutagens.** In: Tice, R.R.; Costa, D.L.;
Schaich, K.M., (Ed). Genotoxic Effects of Airborne Agents. New York:
Plenum Press, p. 159-177, 1982.

DÄSSLER, H.G. & BORTITZ, S. **Air pollution and its influence on
vegetation.** Dr W. Jung Publishers. Dordrecht. 1988.

DAUMAS, R.P.;MENDONÇA,G.A.;PONCE,D.L.**Air pollution and mortality
in the elderly in Rio de Janeiro:a time-series analysis.**Cad.Saúde
Pública, 20(1): 311-319,2004.

FERDINAND, J.A, FREDERICKESSEN, T.S, KOUTERICK, K.B & SKELLY,
J.M. **Leaf morphology and ozone sensitvity of two open pollinated
genotypes of black cherry (*Prunus serotina*) seedlings.**
Environmental Pollution 108: 297-302. 2000.

- FERREIRA, M. I.; RODRIGUES, G.S. ; DOMINGOS, M. ; SALDIVA, P.H.N.
In situ monitoring of mutagenicity of air pollutants in São Paulo city using Tradescantia-SHM bioassay. Brazilian Archives of Biology and Technology, Brasil, v. 46, n. 2, p. 253-258, 2003.
- FERREIRA, M. I.; DOMINGOS, M.; SALDIVA, P.H.N.; ASSUNÇÃO, J. V.
Evaluation of mutagenic potential of contaminated atmosphere at Ibirapuera Park, São Paulo SP, Brazil, using the Tradescantia stamen-hair assay. Environmental Pollution, v. 145, n. -, p. 219-224, 2006.
- FIGUEIREDO, A.M.F. ; C.A. NOGUEIRA ; SAIKI, M. ; MILIAN F. M. ; DOMINGOS, M. **Assessment of atmospheric metallic pollution in the metropolitan region of São Paulo, Brazil, employing Tillandsia usneoides L. as biomonitor.** Environmental Pollution v. 145, n. -, p. 279-292, 2007.
- FOMIN A, HAFNER C. **Evaluation of genotoxicity of emissions from municipal waste incinerators with Tradescantia micronucleus bioassay (Trad-MCN).** Mutat Res 414: 139-148. 1998.
- GAIARSA. O. **Santo André: Ontem, hoje, amanhã.** Prefeitura Municipal de Santo André.SP, 1991.
- GUIMARÃES, E.T.; DOMINGOS, M.; ALVES, E.S.; CALDINI JR, N.; LOBO, D.J.A.; LICHTENFELS, A.J.F.C.; SALDIVA, P.H.N. **Detection of the genotoxicity of air pollutants in and around the city of São Paulo (Brazil) with the Tradescantia-micronucleus (Tra- MCN) assay.** Environ.Exp.Bot. 44,1-8, 2000.

GUIMARÃES, E.T.; MACCHIONE, M.; LOBO, D.J.A.; DOMINGOS, M.; SALDIVA, P.H.N. **Evaluation of the mutagenic potential of urbana ir polluiton in São Paulo, Southeastern Brazil, using the *Tradescantia* Stamen- Hair Assay.** Environmental toxicology, Holanda, v. 19, n. 6, p. 578-584, 2004.

JOLY, A.B. **Botânica: introdução à taxonomia vegetal.** Ed. Nacional. 1998.

KLUMPP, A. **Utilização de bioindicadores de poluição em condições temperadas e tropicais.** In Indicadores ambientais-temas atuais (H.L. MART, N.B.MAIA & W. BARRELLA, W. PUC São Paulo , São Paulo, p.77-94, 2001 a.

KLUMPP,A.; ANSEL, W.; KLUMPP,G.;FOMIN,A. **Um novo conceito de monitoramento e comunicação ambiental: a rede européia para a avaliação da qualidade do ar usando plantas bioindicadoras.** (EuroBionet).Rev.Bras.Bot. v.24 n.4 p.511-518, São Paulo, 2001 b.

KLUMPP, A.; ANSEL, W.; KLUMPP, G.; CALATAYUD, V.; GARREC,J.P.; HE, S.; PEÑUELAS, J.; RIBAS, A.; RO-POULSEN, H.; RASMUSSEN, S.; SANZ, M.J.; VERGNE, P. **Tradescantia micronucleous test indicates genotoxic potential of traffic emissions in European cities.** Environ. Polluiton v.139 p.515-522, 2006.

KRUPA,S.V. & MANNING, W.J. **Atmospheric ozone: formation and effects on vegetation.** Environmental Pollution 50: 101-137. 1988.

LARCHER , W. **Ecofisiologia Vegetal.** Rima Artes e Textos, São Carlos. 2000.

LEMOS, M.; LICHTENFELS, A. J. F. C.; AMARO JR, E.; MACCHIONE, M.; MARTIN S, M. A.; KING, M.; BÖHM, G. M.; SALDIVA, P. H. N.; **Quantitative pathology of nasal passages in rats exposed to urban levels of air pollution.** Environ. Res. v.66, p.87-95, 1994.

LIMA, J.S. **Processos biológicos e o biomonitoramento: aspectos bioquímicos e morfológicos.** In Indicadores ambientais-temas atuais (H.L. MART, N.B.MAIA & W. BARRELLA, W. PUC São Paulo , São Paulo, p. 95-115, 2001.

LIN, C.A.; NISHIOKA, D.C.; CONCEIÇÃO, G.M.S.; BRAGA, A.L.F.; SALDIVA, P.H.N.; **Air pollution and neonatal deaths in São Paulo, Brazil.** Brazilian Journal of Medical and Biological Research 37: 765-770, 2004.

LORENZI, H., SOUZA, H.M. **Plantas ornamentais no Brasil: arbustivas, herbáceas e trepadeiras.** 3 ed. Nova Odessa, Instituto Plantarum, p.381, 2001.

MA, T.H. **Tradescantia micronucleus bioassay and polen tube chromatic aberration test for in situ monitoring and mutagens screening.** Environ. Health Perspect. 37, 85, 90, 1981.

MA, T.H. **Tradescantia micronuclei (Trad-MCN) test for environmental clastogens.** In: Kolber, A.R.; Wong, T.K.; Grant, L.D.; DeWoskin, R.S.; Hughe S, T.J., (Ed). In Vitro Toxicity Testing of Environmental Agents. Current and future possibilities. Part A: Survey of Test Systems. New Yprk: Plenum Press, p.191-214, 1983.

MA, T.H.; HARRIS, M.M.; ANDERSON, V.A.; AHMED, I.; MOHAMMAD. K.; BARE, J.L.; LIN, G. **Tradescantia-micronucleus (Trad-MCN) tests on 140 health-related agents.** Mutat Res 138: 157-167. 1984

MA, T.H.; CABRERA, G.L.; GILL, B.S.; SANDHU, S.S.; VANDERBEG, A.L.; SALAMONE, M.F. **Tradescantia micronucleus assay**. Mutation Research. 310:221-230, 1994.

MA, T.H.; XU, C.; LIAO, S.; MCCONNELL, H.; JEONG, B.S.; WON, C.D. **In situ monitoring with the Tradescantia bioassays on the genotoxicity of gaseous emissions from a closed landfill site and incinerator**. Mutat Res 359: 39-52. 1996

MACHADO J., C.N.; MARIA, S.P.; SAIKI, M.; FIGUEIREDO, A.M.G. **Determinations of rare earth elements in the biological reference material spine needles and spruce needles by neutron activation analysis**. J.Radioanal.Nucl.Chem., v.233, p.59-61, 1998.

MARTINS, L.C.; LATORRE, M.R.D.O.; CARDOSO, M.R.A.; GONÇALVES, F.L.T.; SALDIVA, P.N.H.; BRAGA, A.L.F. **Air pollution and emergency room visits due to pneumonia and influenza in São Paulo, Brazil**. Rev.Saúde Pública.36,88-24, 2002.

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

MONARCA, S.; FERETTI, D.;ZANARDINI, A.; FALISTOCCO, E.; NARDI, G. **Monitoring of mutagens in urban samples**. Mutat. Res., v.426, p189-192, 1999.

MÜLLER,P.**Biogeography**. Stuttgart, Ulmer, 1980.

- NOGUEIRA, C.A. **Avaliação da poluição atmosférica por metais na região metropolitana de São Paulo utilizando a bromélia *Tillandsia usneoides* L. como biomonitor.** Tese de Doutorado. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN). Universidade de São Paulo. 2006.
- PEREIRA, L.A.A., LOOMIS, D.; CONCEIÇÃO, G.M.S.; BRAGA, A.L.F.; ARCAS, R.M.; KISHI, H.S.; SINGER, J.M.; BÖHM, G.M.; SALDIVA, P.H.N. **Association between air pollution and intrauterine mortality in São Paulo, Brazil.** Environ.Health Perspec., v. 106 (06), p.325-29, 1998.
- RIBEIRO, H. **Estudo das correlações entre infecções das vias aéreas superiores, bronquite asmática e poluição do ar em menores de 12 anos em Santo André.** Pediatría práctica, 42:9, 1971.
- RIBEIRO, H.; CARDOSO, M.R. **Air pollution and children's health in São Paulo (1986-1998).** Soc.Sci.Med., 57(11):2013-2022, 2003.
- ROBBINS, S.L.; COTRAN, R.S.; KUMAR, V. **Patologia Básica.** Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, 1992.
- RODRIGUES, G.S.; MADKOUR, S.A.; WEINSTEIN, L.H. **Genotoxic activity of ozone in Tradescantia.** Env. Exp.Bot., v.36, p.45-50, 1996.
- RODRIGUES, G.S.; MA, T.H.; PIMENTEL, D.; WEINSTEIN, L.H. **Tradescantia bioassays as monitoring system for environmental mutagenesis: a critical review.** Critical Reviews in Plant Sciences 16 (4): 335-359, 1997.

RODRIGUES, M.T.R. In Anais: **A qualidade do ar em Porto Alegre**. Zurita, M.L.L.; Tolfo, A.M.; Secretaria Municipal de Meio Ambiente. Prefeitura Municipal de Porto Alegre. P. 68-73.2000.

SALDIVA,P.H.N.; MASSAD, E.; CALDEIRA, M.P.R.; CALHEIROS,D.F.; SALDIVA, C.D.; NICOLELIS, M.A.L.; BÖHM,G.M.; **Pulmonary function of rats exposed to ethanol and gasoline fumes**.Brazilian J.Med. Biol.Res., v 18, p 573-577, 1985.

SALDIVA, P.H.N.; KING, M.; DELMONTE, V.L.C.; MACCHIONE,M.; PARADA, M.A.C.; DALIBERTO, M.L.; SAKAE, R.S.; CRIADO,P.M.P.; SILVEIRA, P.L.P.; ZIN, W.A.; BÖHM, G.M.; **Respiratory alterations due to urbana ir pollution: na experimental study in rats**. Environ. Res., v.57, p.19-33, 1992.

SALDIVA, P.H.N., LICHTENFELS, A.J.F.C., PAIVA, P.S.O., BARONE, I.A., MARTINS, M.A., MASSAD, E., PEREIRA, J.C.R., XAVIER, V.P., SINGER, J.M., BÖHM, G.M. **Association between air pollution and mortality due to respiratory diseases in children in São Paulo, Brazil: a preliminary report**. Environ. Research, 65:218-225, 1994.

SALDIVA,P.H.N.,POPEIIC.A.;SCHWARTS,J.;DOCKERY,D.W.;LICHTENFELS,A.J.;SALGE,J.M.; BARONE,I.;BOM,G.M. **Air pollution and mortality in elderly people: a time-series study in São Paulo,Brazil**. Arch.Environ.Health,v.50,p159-163,1995.

SANT'ANNA, E.T.G. **Poluição atmosférica urbana na cidade de São Paulo e mutagênese: avaliação de riscos utilizando bioindicadores vegetais do gênero *Tradescantia***. Tese de Doutorado – Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SANTO ANDRÉ. **Lei nº 7733**, de 14 de outubro de 1998. Política municipal de gestão e saneamento ambiental. Diário do Grande ABC, Santo André, 15 de outubro de 1998. Cad. Class. p. 20.

SCHWARTZ J. & MORRIS R. **Air pollution and hospital admissions for cardiovascular diseases in Detroit, Michigan**. Am. J. Epidemiol., 142:23-35,1993.

STEINKELLNER, H.; MUN-SIK, K.; HELMA, C.;ECKER, S.; MA, T.H.; HORAK, O.; KUNDI, M.; KNASMÜLLER, S. **Genotoxic effects of heavy metals : comparative investigation with plant bioassays**. Environ. And molecular mutagenesis, v.31: 183-191, 1998.

STEUBING, L. **Problems of bioindication and the necessity of standadization**.IN: STEUBING,L. e JÄGER.A.(eds).Monitoring of air pollutants by plantas.Hague, Junk Publishers, 1982.

STEUBING, L. **Pflanzen als bioindikatoren für Luftverunreinigungen**. Chemie in unserer Zeit,n.15,pp 42-47, 1985.

SUMITA, N.M. **Avaliação da poluição ambiental da cidade de São Paulo pela análise elementar em plantas (*Tradescantia pallida*), por método de ativação com nêutrons**.Tese de doutoramento-Faculdade de Medicina. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

SUMITA,N.M.;MENDES,M.E.;MACCHIONE,M.;GUIMARÃES,E.T.;LICHTEN FELS,A.J.C.F.;LOBO,D.J.A.;SALDIVA,P.H.N.;SAIKI,M. **Tradescantia pallida cv.purpurea Boom in the characterization of air pollution by accumulation of trace elements**.J.Air & Waste Manage.Assoc. 53: 574-579, 2003.

SUYAMA,F.; GUIMARÃES, E.T.; LOBO, D.J.; RODRIGUES, G.S.; DOMINGOS,M.; ALVES, E.S.; CARVALHO, H.A.; SALDIVA, P.H.N. **Pollen mother cells of Tradescantia clone 4430 and Tradescantia pallida var. purpurea are equally sensitive to the clatogenic effects of X-rays.** Brazilian Journal of Medical and Biological Research 35: 127-129, 2002.

WITTIG, R. **General aspects of biomonitoring heavy metals by plants.** In: Markert. B., ed. **Plants as biomonitors.Indicators for heavy metals in the terrestrial environment.** Weinheim:VCH, Verlagsgesellschaft, p.3-23, 1993.

ZHENG, Y.; LYONS, T.; BARNES, J. 2002. **Effects of ozone on the production and utilization of assimilates in *Plantago major*.** Environ. Exp. Bot. 43, 171-180.