

Avaliação dos parâmetros de crescimento em plantas jovens de *Phaseolus vulgaris* L. (Feijão) expostas à poluição aérea da cidade de São Paulo

Evaluation of growth parameters in young Phaseolus vulgaris L. plants (Beans) exposed to air pollution in Sao Paulo

Paulo Henrique Apro

Bacharel em Ciências Biológicas –
Universidade Nove de Julho (Uninove).
São Paulo, SP – Brasil.

Viviane Santos Pereira

Bacharel em Ciências Biológicas –
Universidade Nove de Julho (Uninove).
São Paulo, SP – Brasil.

Camila Rosal

Bacharel em Ciências Biológicas –
Universidade Nove de Julho (Uninove).
São Paulo, SP – Brasil.

Lucíola Fátima Muller Souza

Bacharel em Ciências Biológicas –
Universidade Nove de Julho (Uninove).
São Paulo, SP – Brasil.

Ana Paula Nascimento Lamano-Ferreira

Professora de Ecologia na Universidade
Nove de Julho e Pós-Doutora pela Esalq/USP.
São Paulo, SP – Brasil.
apbnasci@yahoo.com.br

Maurício Lamano Ferreira

Professor de Botânica e Ecologia na Universidade Nove
de Julho e Doutorando no Centro de Energia Nuclear na
Agricultura da Universidade de São Paulo (CENA/USP).
São Paulo, SP – Brasil.
mauriciolamano@uninove.br

Resumo

Neste estudo, objetivou-se avaliar o crescimento de plantas jovens de *Phaseolus vulgaris* (L.) expostas à poluição atmosférica na cidade de São Paulo. Foram expostas 40 plantas jovens a diversos agentes poluentes em dois locais (Congonhas e Ibirapuera) com diferentes perfis de poluição – situados ao lado das estações de monitoramento da qualidade do ar da Cetesb –, durante 43 dias, entre janeiro e fevereiro de 2010. Posteriormente, analisou-se a biometria dos órgãos aéreos das plantas. Para análise estatística, realizou-se o teste “t”, a fim de comparar o crescimento dos órgãos aéreos em ambos os sítios. As plantas expostas no Ibirapuera cresceram mais do que as que se expôs em Congonhas, fato que pode ser explicado pela baixa formação de ozônio (principal poluente local), na primeira região, além da variedade de contaminantes atmosféricos que existem na estação Congonhas. Observou-se que as plantas de feijão apresentaram alterações no parâmetro de crescimento conforme as condições ambientais de poluição.

Palavras-chave: Crescimento vegetal. *Phaseolus vulgaris*. Poluição atmosférica.

Abstract

This study aimed to evaluate the growth of young *Phaseolus vulgaris* (L.) plants exposed to air pollution in Sao Paulo. Between January and February 2010, for a period of 43 days, 40 young plants were exposed to several pollutants at two sites (Congonhas and Ibirapuera) – located next to Cetesb air-quality monitoring stations – having different pollution profiles. Subsequently, biometric readings of the plants’ aerial organs were analyzed. A t-test statistical analysis was carried out in order to compare their growth between sites. Plants exposed at Ibirapuera grew more than those exposed at Congonhas, which can be explained by the reduced formation of ozone (the main local pollutant) in the former region, in addition to the range of other air contaminants that exist at the Congonhas station. The bean plants exhibited growth parameter alterations under conditions of environmental pollution.

Key words: Plant growth. *Phaseolus vulgaris*. Air pollution.

1 Introdução

Nos últimos anos, a preocupação com o meio ambiente tem recebido maior atenção da mídia e das pessoas, em geral. Fato que motiva centros de pesquisa a desenvolver e publicar trabalhos importantes devido aos sérios impactos causados por ações antropogênicas. O aumento da população e, conseqüentemente, o progresso tecnológico trazem efeitos positivos para a economia (FREEDMAN, 1995); entretanto, esses benefícios provocam uma série de conseqüências ambientais desfavoráveis, que resultam, por exemplo, na contaminação do ar por uma variedade de poluentes (PEDROSO, 2007). Tal fato contribui para impactos negativos à saúde humana e ambiental (MARTINS et al., 2002).

A exposição das plantas a concentrações elevadas de poluentes atmosféricos pode causar, ao longo do tempo, danos agudos, com sintomas visíveis (BULBOVAS et al., 2007). Esses poluentes provêm de várias fontes, algumas emitidas diretamente de veículos automotores, outras formadas indiretamente por meio de reações fotoquímicas no ar. Dentre uma diversidade muito grande de poluentes, o dióxido de enxofre (SO₂), o monóxido de carbono (CO), o ozônio (O₃) e o dióxido de nitrogênio (NO₂) são os principais parâmetros utilizados em medidas rotineiras de controle da qualidade do ar devido a sua maior frequência e aos efeitos adversos que causam ao meio ambiente (CETESB, 2007). Alguns desses poluentes, mais especificamente o SO₂ e o NO₂, quando se difundem na atmosfera, podem reagir com a água e formar a chuva ácida, que causa corrosão aos materiais e danos à vegetação (PEDROSO, 2006). Há de considerar-se ainda a existência de hidrocarbonetos, compostos orgânicos voláteis (COVs), mercúrio (Hg) e material particulado (MP), este último corresponde às partículas em suspensão com diâmetro menor que 50 µm. Essas partícu-

las podem conter elementos tóxicos como o arsênio (As), o chumbo (Pb), o cobre (Cu) e o níquel (Ni) e também aerossóis emitidos pela combustão (PEDROSO, 2007).

O efeito da poluição aérea pode ser direto ou indireto sobre as plantas e depende de vários fatores, dentre eles, podem-se destacar a concentração e período de exposição ao contaminante, a eficiência do sistema de defesa antioxidativo do vegetal (FERREIRA, 2007; PINA; MORAES, 2006; ESPÓSITO et al., 2009; DAFRÉ, 2010), ou mesmo, das condições morfológicas e anatômicas dos órgãos afetados (PEDROSO, 2007; MOURA et al., 2011).

Uma espécie de grande importância econômica que tem sido foco dessa modalidade de estudo é *Phaseolus vulgaris*, conhecida popularmente no Brasil como feijão. Em experimento com essa planta, Sánchez et al. (2004) mostraram que o feijoeiro é uma planta sensível à poluição atmosférica. Em atmosfera contaminada por ozônio, foi observado por Burkey et al. (2005) injúrias foliares localizadas predominantemente na superfície adaxial das folhas mais velhas, as quais foram visíveis ao olho nu. Esse sintoma é normalmente acompanhado por queda de folhas, de frutos, redução no crescimento e perda da biomassa (FERREIRA, 2007). Segundo Cunha (2006), alguns graves efeitos induzidos por ozônio nas plantas são a redução na taxa fotossintética, no conteúdo de clorofila, na massa seca dos órgãos, antecipação da senescência, redução da biomassa de raiz e parte aérea e redução da área foliar (MORAES et al., 2000).

A Agência de Proteção Ambiental (*Environmental Protection Agency – EPA*) dos Estados Unidos estimou perdas agrícolas anuais da ordem de 500 milhões de dólares causadas pelo ozônio, sem incluir os danos a folhagens de árvores e outras plantas que afetam a paisagem das cidades, as áreas de recreação, os parques urbanos e as áreas de vegetação natural (US

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2006). O Brasil é um país predominantemente agrícola e com diversos centros urbanos, principalmente na região Sudeste. Nesse contexto, faz-se necessário cada vez mais o estudo dos efeitos da poluição sobre organismos vivos.

Neste estudo, teve-se como objetivo avaliar o crescimento de plantas jovens de *Phaseolus Vulgaris* (L.) expostas à poluição atmosférica em dois ambientes distintos da cidade de São Paulo, cada um com um perfil de poluentes aéreos, para conhecer assim seu grau de suscetibilidade.

2 Material e métodos

2.1 Área de estudo

A cidade de São Paulo está localizada a 770 metros acima do nível do mar, nas coordenadas 23° 30`S e 46° 40`W, região sudeste do Brasil. Nessa cidade, o clima é caracterizado por apresentar inverno seco, durante os meses de junho a agosto, e verão úmido, de dezembro a março. Os locais de exposição das plantas foram estabelecidos de acordo com a distribuição da concentração dos principais poluentes aéreos. Algumas áreas apresentam maiores concentrações de poluentes do que outras devido a sua proximidade a fontes de emissão ou, até mesmo, de áreas verdes, lugares onde geralmente ocorre acúmulo de ozônio. Outro fator decisivo na escolha dos locais foi à presença de uma estação de monitoramento da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), para que os dados biológicos medidos pudessem ser correlacionados com os dados físicos e os de poluição, tais como temperatura, radiação e concentração de poluentes. A Cetesb disponibiliza, em sua página da internet, os dados horários sobre poluição e algumas condições climáticas.

Em relação aos poluentes, a estação do Ibirapuera monitora material particulado (MP₁₀), dióxido de nitrogênio (NO₂) e ozônio. Dentre as variáveis climáticas, ocorre a medição de velocidade de vento, pressão atmosférica e radiação. O ozônio é um poluente que frequentemente excede os níveis de atenção na estação de monitoramento do parque.

A estação de monitoramento da Cetesb, localizada em Congonhas, mede como parâmetros de poluição o material particulado (MP₁₀), dióxido de enxofre (SO₂) e o dióxido de nitrogênio (NO₂).

2.2 Cultivo e exposição das plantas

Para execução deste projeto, sementes de plantas de *Phaseolus vulgaris* foram adquiridas de um mesmo fornecedor e de um único lote. Elas foram germinadas em caixa de papelão até o desenvolvimento das folhas cotiledonares. As plantas foram então transplantadas para vasos plásticos com a mesma mistura de substrato utilizada na germinação das sementes e receberam irrigação adequada garantida por capilaridade, por intermédio de cordões de náilon inseridos na base dos vasos e em água de torneira contida na caixa plástica cobertas com tela de arame galvanizado, seguindo parcialmente o modelo proposto para *Nicotiana tabacum*, pela *Verein Deutscher Ingenieure* (VDI, 2003).

O substrato utilizado para a germinação foi composto por uma mistura de produto comercial produzido a base de casca de *Pinus* (Plantimax-Eucatex) e de vermiculita fina, na proporção de 3:1, respectivamente.

A partir da quarta semana após o transplante, todas as plantas receberam semanalmente 100 ml de solução nutritiva *hoagland*, descrita em Epstein (1975) apud Ferreira (2007). Foram assim expostas concomitantemente nos dois locais pré-estabelecidos próximos às estações de monitora-

mento da Cetesb. Foi realizada uma campanha experimental, com duração de 43 dias, na estação de verão. Iniciou-se o experimento em janeiro de 2010, com 40 plantas produzidas conforme descrição acima, sendo 20 delas distribuídas nos dois em cada local escolhido. Somente 18 plantas permaneceram até o fim do experimento em cada sítio experimental.

2.3 Medidas de crescimento e análise estatística

Foram realizadas medidas iniciais de altura, desde o colo até a gema apical, de diâmetro do caule à altura do solo e da largura e comprimento das folhas para futuro cálculo de índice de área foliar. Semanalmente, foram feitas as coletas de dados com régua, do índice de área foliar; com fita métrica, da altura do caule e com paquímetro, do diâmetro do caule. Foi realizada uma comparação de médias entre as medidas obtidas nas estações Congonhas e Ibirapuera por meio do teste “t” (Sigma Stat 3,5).

3 Resultados e discussão

Durante o período de experimento, o clima foi típico da estação de verão, com altos índices de pluviosidade. NO_2 e MP_{10} apresentaram maiores índices na estação de Congonhas, conforme Tabela 1, o que caracteriza um potencial risco à vegetação que se encontra neste local (Tabela 1).

Segundo o relatório da Cetesb (2004), o ozônio não é medido na estação Congonhas por apresentar baixa concentração devido à sua reatividade com outros contaminantes atmosféricos.

As temperaturas entre Congonhas e Ibirapuera não tiveram diferenças significativas. De acordo com os dados horários disponibilizados pelas estações de monitoramento da Cetesb,

Tabela 1: Concentração média, máxima e mínima dos poluentes medidos nas estações de Congonhas e Ibirapuera, no período de exposição das plantas

	MP_{10} $\mu\text{g}/\text{m}^3$	NO_2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	O_3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	SO_2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Ibirapuera	28,22 (19 - 44)	18,09 (11 - 24)	33,38 (21 - 48)	#
Congonhas	29,98 (20 - 44)	31,02 (19 - 45)	#	4,47 (2 - 6)

Dados não mostrados.

por meio do *site* (<http://www.cetesb.sp.gov.br/>), a umidade relativa apresentou média inferior na estação do Ibirapuera; porém, os valores máximos de umidade relativa do ar foram os mesmos em ambas as estações. Entre as velocidades médias do vento de Congonhas, observaram-se os maiores valores, alcançando até 7 m/s. A radiação solar nos arredores da estação do Ibirapuera teve valores ligeiramente maiores que os apurados no mesmo período no ano anterior (dados não mostrados) (Tabela 2).

Tabela 2: Valores médios, máximos e mínimos das variáveis meteorológicas, no local de experimento

	Temperatura	Umidade relativa	Velocidade de vento	Radiação
Ibirapuera	24,75 (22-27)	68,09 (56-89)	1,2 (1-1)	205,85 (80-289)
Congonhas	(24,15) (22-26)	76,96 (66-89)	5,2 (3-7)	# #

Temperatura em $^{\circ}\text{C}$, Umidade Relativa em %, Velocidade de Vento em m/s e Radiação em W/s^2 .

Dados não mostrados.

Nos resultados biométricos, observou-se uma diferença nos parâmetros de crescimento em altura do caule entre as plantas expostas nos diferentes locais de estudo. Entretanto, o diâmetro do caule das plantas expostas nos dois lugares não teve variações significativas no perfil de crescimento; notou-se, ao contrário, uma consequente estabilização nesse parâmetro avaliado.

Durante o período de exposição, observou-se um crescimento diferenciado em altura do caule nas plantas expostas na estação do Ibirapuera ($P < 0,001$). As plantas expostas na estação de Congonhas mostraram que, a partir da segunda semana de exposição, houve uma estabilidade em seu crescimento em altura (Figura 1). A região do parque do Ibirapuera é afetada principalmente pelo ozônio, pois não há fontes de poluentes potencialmente tóxicas dentro do parque. Entretanto, não foram observados altos índices de radiação global nessa região, quando comparados aos dados de Ferreira (2007) na mesma área e estação do ano, fato que, provavelmente, impediu a formação do gás, além de lavar a atmosfera, não permitindo assim o acúmulo desse elemento tóxico nas plantas. Já na estação de monitoramento de Congonhas pode-se encontrar uma maior gama de poluentes atmosféricos (medidos e não medidos pela Cetesb) em razão da proximidade da Avenida dos Bandeirantes, na qual transitam caminhões, carros e motos, além de ter um aeroporto e indústrias nos seus arredores. Assim, como foi apresentado na Tabela 1, observaram-se altos índices de NO_2 e MP_{10} na estação de Congonhas, o que pode ter influenciado negativamente o crescimento das plantas. Segundo Legge e Krupa (2003), óxidos de nitrogênio, quando presentes na atmosfera em concentrações baixas, podem ser utilizados como nutrientes e promover o crescimento vegetal; contudo, quando a entrada desses compostos excede um determinado limiar, esse efeito benéfico é anulado e, conseqüentemente, ocorrem danos às plantas expostas. Moraes et al. (2000) encontraram variações no padrão de crescimento em altura e diâmetro de caule em estudos com *Tibouchina pulchra* em diferentes perfis de contaminação atmosférica na cidade de Cubatão (SP). Domingos (1998) também observou redução do crescimento em altura em plantas jovens de *T. pulchra* expostas às condições ambientais do Caminho do Mar,

na cidade de Cubatão (SP). Pandey e Agrawal (1994) observaram o mesmo em plantas utilizadas na arborização de áreas poluídas, na Índia.

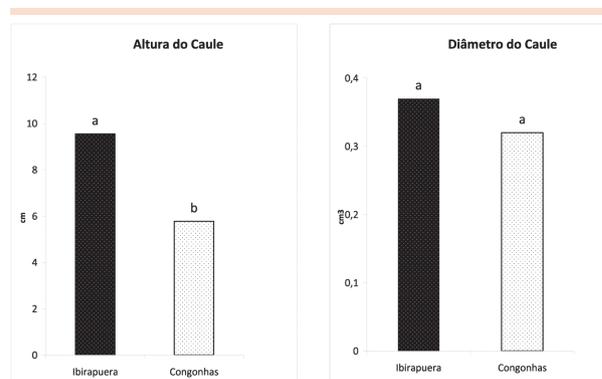


Figura 1: Representação gráfica do crescimento em diâmetro e em altura dos caules das plantas expostas no parque do Ibirapuera e na estação Congonhas

Os índices de área foliar das plantas expostas tanto em Congonhas quanto no Ibirapuera mostraram a partir da segunda semana de experimentação uma similaridade no padrão de crescimento entre as folhas mais velhas 6, 7, 8 e 9 (Figura 2).

Entretanto, no fim do experimento, os índices de área foliar das folhas mais novas 10, 11, 13 e 14 apresentaram diferenças significativas em seu desenvolvimento (Figura 3). Nas plantas expostas na estação do Ibirapuera, observou-se que as folhas mais novas apresentaram um crescimento maior do que as folhas das plantas expostas em Congonhas ($P < 0,025$; $P < 0,013$; $P < 0,042$ e $P < 0,009$, respectivamente), que, por sua vez, apresentam uma estabilidade em seu crescimento.

A circulação de veículos nos arredores da estação Congonhas é alta e por tratar-se de um corredor para o tráfego de caminhões que transitam nas rodovias que ligam o litoral ao interior as emissões de óxidos de enxofre são relativamente altas (ALVES et al., 2001). Segundo Szabo et al. (2003), os índices de SO_2 interferiram significativamente no crescimento de *T. pulchra*, na região do polo industrial de Cubatão (SP). Esse fato deve

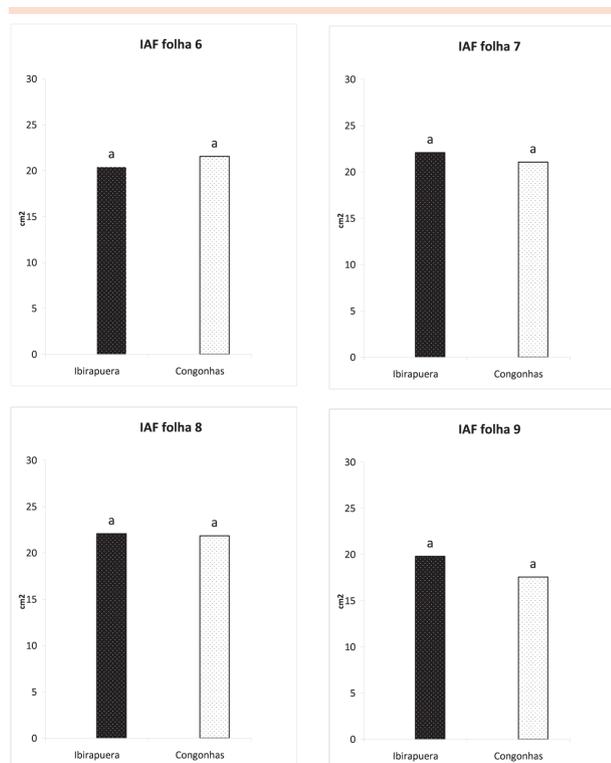


Figura 2: Índice de área foliar (IAF) das folhas mais velhas. Barras escuras representam IAF das plantas expostas no parque do Ibirapuera e barras claras indicam o IAF das plantas expostas na estação Congonhas

ter contribuído para um possível estresse oxidativo das plantas expostas em Congonhas, prejudicando assim seu desenvolvimento. Deepak e Agrawal (2001) também encontraram significativa redução no crescimento do trigo frente a altas concentrações de dióxido de enxofre. Entretanto, deve-se considerar que o enxofre em baixas concentrações pode servir como fertilizantes para as plantas, conforme o estudo de Fulford e Murray (1990) com *Eucalyptus gomphocephala*. Outro fator de importante relevância neste estudo foi a diferença nos índices de material particulado dentre os ambientes que, possivelmente, interferiram na tendência de crescimento das plantas expostas na estação Congonhas. Segundo Sharma e Tyree (1973), folhas de *Liquidambar styraciflua* L. apresentaram diminuição de comprimento, quando expostas a locais próximos a usina termoeletrica

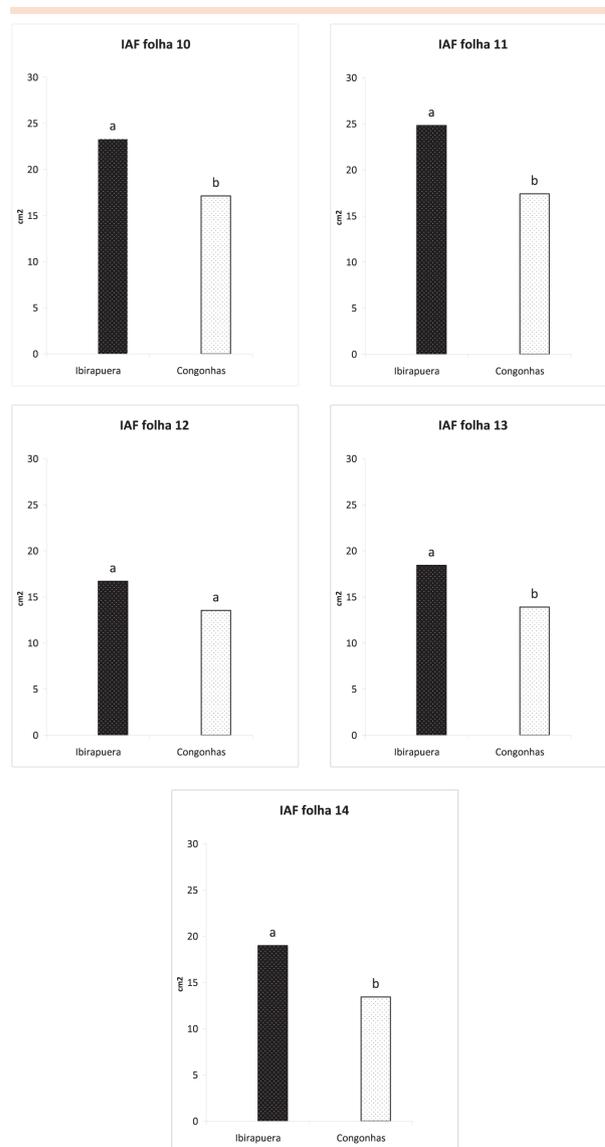


Figura 3: Índice de área foliar (IAF) das folhas mais novas. Barras escuras representam IAF das plantas expostas no parque do Ibirapuera, e barras claras indicam o IAF das plantas expostas na estação Congonhas

movida a carvão, local com elevados índices de poluentes primários, especialmente de material particulado. Alves et al. (2008) observaram alteração estrutural em folhas de *Eugenia uniflora* L. expostas na Avenida dos Bandeirantes, em São Paulo, bem próximo à estação de Congonhas e compararam com folhas expostas na zona rural, supostamente com menores índices de contaminação atmosférica. Os autores atribuíram tais va-

riações ao material particulado oriundo da frota veicular da região urbana.

O maior crescimento das plantas expostas na região do parque do Ibirapuera pode também ser explicado pelos altos índices de NO_2 , expressado na estação de Congonhas. Esse poluente penetra nas folhas através das aberturas estomáticas e se difunde rapidamente por meio da cutícula, podendo induzir a atividade da enzima Nitrato Redutase (NR), atuando como um mecanismo de detoxificação da planta, produzindo um alto teor de proteínas solúveis que interferem no metabolismo normal da planta. Assim, esses efeitos podem ser usados para quantificar o estresse produzido pela poluição atmosférica em plantas bioindicadoras, pois há relação entre a atividade da NR e as concentrações ambientais do poluente NO_2 (STULEN et al., 1998; RAYA-RODRIGUEZ 2000; SIEGWOLF et al., 2001). A espécie *P. vulgaris* apresenta 95% da atividade total da NR localizada nas folhas (SILVEIRA et al. 2001). Em experimento com *P. vulgaris* cv. Strike, Sánchez et al. (2004) concluíram que o feijoeiro é uma planta altamente sensível a níveis elevados de nitrogênio. Verificou-se que, na estação de monitoramento de Congonhas, a umidade relativa do ar foi aproximadamente 10% superior a dos arredores da estação Ibirapuera, fato que pode ter contribuído para uma maior abertura estomática, permitindo, desse modo, mais entrada de poluentes atmosféricos. Ferreira et al. (2007) encontraram uma relação positiva entre o consumo de ácido ascórbico (uma defesa antioxidante) e a umidade relativa do ar em um estudo comparativo de defesa da *Ipomoea nil*, em diferentes ambientes contaminado por ozônio. Dafré-Martinelli (2011) encontrou uma relação positiva entre ascorbato peroxidase e umidade relativa do ar em plantas de *Ipomoea nil*. A autora atribuiu a maior produção do antioxidante em razão de uma maior abertura estomática e consequente entrada de contaminante atmosférico.

4 -Conclusão

Os resultados obtidos neste trabalho mostraram que, de fato, poluentes atmosféricos em altas concentrações causaram diferenças nos padrões de crescimento entre os locais de estudo. As plantas expostas na estação do Ibirapuera apresentaram maior tendência de crescimento dos órgãos aéreos, provavelmente pela baixa formação de ozônio troposférico, decorrente dos baixos índices de radiação solar na região. Já na estação de monitoramento de Congonhas, houve, em geral, um menor crescimento das plantas, local onde foram observado altos índices de NO_2 . Diante do exposto, sugere-se que o feijoeiro é uma planta sensível a níveis elevados de óxidos de nitrogênio. Por fim, conclui-se que poluentes atmosféricos em altas concentrações podem causar efeitos deletérios nos vegetais – especificamente no *Phaseolus vulgaris* L. (Feijão), planta de grande importância econômica –, podendo trazer prejuízos para a agricultura e para o meio ambiente.

Referências

- ALVES, E. S. et al. Estudo anatômico foliar do clone híbrido 4430 de *Tradescantia*: alterações decorrentes da poluição aérea urbana. *Revista Brasileira de Botânica*, v.24, n. 4, p. 567-576, 2001.
- ALVES, E. S.; TRESMONDI, F.; LONGUI, E. L. Análise estrutural de folhas de *Eugenia uniflora* L. (Myrtaceae) coletadas em ambientes rural e urbano, SP, Brasil. *Acta bot. bras.*, v. 22, n. 1, p. 241-248, 2008.
- BULBOVAS, P. et al. Plântulas de soja “Tracajá” expostas ao ozônio sob condições controladas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v. 42, n. 5, p. 641-646, 2007.
- BURKEY, K. O.; MILLER, J. E.; FISCUS, E. L. Assessment of ambient ozone effects on vegetation using Snap Beans as Bioindicator Species, *J. Environ. Qual.*, v. 34, n. 3, p.1081-1086, 2005.

- CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. *Relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo – 2004. Caracterização das Estações da Rede Automática de Monitoramento da Qualidade do Ar na RMSP Estação Congonhas*, Série Relatórios. São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 2004.
- CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. *Relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo – 2007*. Série Relatórios. São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 2007.
- CUNHA, A. L. *Avaliação do crescimento de plantas jovens de *Caesalpinia echinata* Lam. (pau-brasil) expostas à poluição aérea em diferentes regiões da cidade de São Paulo, SP*. 2006. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Vegetal)– Instituto de Botânica de São Paulo/SMA, São Paulo, 2006.
- DAFRÉ, M. *Capacidade de oxi-redução de plantas de *Ipomoea nil* (L.) Roth cv. Scarlet O'Hara em área contaminada por ozônio, no Parque Estadual das Fontes do Ipiranga – SP*. 2010. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Vegetal)– Instituto de Botânica de São Paulo/SMA, São Paulo, 2010.
- DAFRÉ-MARTINELLI, M. et al. The redox state of *Ipomoea nil* 'Scarlet O'Hara' growing under ozone in a subtropical area. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 74, p. 1645-1652, 2011.
- DEEPAK, S. S.; AGRAWAL, M. Influence of elevated CO₂ on the sensitivity of two soybean cultivars to sulphur dioxide. *Environmental and Experimental Botany*, v. 46, n. 1, p. 81-91, 2001.
- DOMINGOS, M. *Biomonitoramento da fitotoxicidade da poluição aérea e da contaminação do solo na região do complexo industrial de Cubatão, São Paulo, utilizando *Tibouchina pulchra* Cogn. como espécie bioindicadora*. 1998. Tese (Doutorado)–Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.
- EPSTEIN, E. *Nutrição mineral das plantas. Princípios e perspectivas*. Rio de Janeiro: Editora da Universidade de São Paulo/Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1975. 341 p.
- ESPÓSITO, M. et al. Relationship between leaf antioxidants and ozone injury in *Nicotiana tabacum* 'Bel-W3' under environmental conditions in São Paulo, SE Brazil. *Atmospheric Environment*, v. 43, n. 3, p. 619-623, 2009.
- FERREIRA, M. L. *Relações entre antioxidantes e sintomas visíveis bioindicadores de ozônio em *ipomoea nil* (L.) sob efeito da poluição aérea urbana de São Paulo*, 2007. Dissertação (Mestrado)– Apresentado ao Instituto de Botânica de São Paulo, São Paulo, 2007.
- FREEDMAN, B. *Environmental ecology. The ecological effects of pollution, disturbance and other stresses*. 2nd ed. San Diego: Academic Press Inc., 1995.
- FULFORD, G. B.; MURRAY, F. Morphogenic changes in *Eucalyptus gomphocephala* exposed to SO₂. *Environmental and Experimental Botany*, v. 30, p. 343-347, 1990.
- KRUPA, S. et al. Ambient ozone and plant health. *Plant Disease*, v. 85, p. 4-12, 2001.
- LEGGE, A. H.; KRUPA, S. V. Effects of sulphur dioxide. In: J.N.B. Bell & M. Treshow (eds.) *Air pollution and plant life*. 2nd ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2003. p. 135-162.
- MARTINS, L. C. et al. Air pollution and emergency room visits due to pneumonia and influenza in São Paulo, Brazil. *Revista Saúde Pública*, v. 36, p. 88-24, 2002.
- MORAES, R. M.; DELITTI, W. B. C.; MORAES, J. A. P. V. Respostas de indivíduos jovens de *Tibouchina pulchra* Cogn. à poluição aérea de Cubatão, SP: fotossíntese, crescimento e química foliar. *Revista Brasileira de Botânica*, 2000.
- MORAES, R. M. et al. Physiological responses of saplings of *Caesalpinia echinata* Lam., a Brazilian tree species, under ozone fumigation. *Ecotoxicology and environmental safety*, v. 63, n. 2, p. 306-312, 2006.
- MOURA, B. B.; SOUZA S. R.; ALVES, E. S. Structural responses of *Ipomoea nil* (L.) Roth 'Scarlet O'Hara' (Convolvulaceae) exposed to ozone. *Acta Botanica Brasílica*, v. 25, n. 1, p. 122-129, 2011.
- PANDEY, J.; AGRAWAL, M. Evaluation of air pollution phytotoxicity in a seasonally dry tropical urban environment using three woody perennials. *New Phytologist*, v. 126, p. 53-61, 1994.
- PEDROSO, A. N. V. *Avaliação estrutural de *Nicotiana tabacum* 'Bel W3' sob diferentes níveis de contaminação atmosférica*, 2006. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente)– Instituto de Botânica de São Paulo/ SMA, 2006.
- PEDROSO, A. *Poluentes atmosféricos e Plantas Bioindicadoras*. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente)– Instituto de Botânica, São Paulo, 2007.
- PINA, J. M.; MORAES, R. M. Respostas induzidas pelo ozônio em *psidium guajava* 'paluma'. In: CONGRESSO DE ECOLOGIA, CAXAMBU. 8., Minas Gerais, 2007. *Anais...* MG: Instituto de Botânica, Seção de Ecologia, 2007.
- RAYA-RODRIGUEZ, M. T. O Uso de bioindicadores para avaliação da qualidade do ar em Porto Alegre. In: ZURITA, M. L. L.; TOLDO, A. M. (Ed.). *A Qualidade do Ar em Porto Alegre*. Porto Alegre: SMAM, 2010. 103 p.



SÁNCHEZ, E. et al. Changes in biomass, enzymatic activity and protein concentration in roots and leaves of green bean plants (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Strike) under high NH NO application rates. *Scientia Horticulturae*, v. 99, p. 237-248, 2004.

SHARMA, G.K.; TYREE, J. Geographic leaf cuticular and gross morphological variations in *Liquidambar styraciflua* L. and their possible relationship to environmental pollution. *Botanical Gazette*, v. 134, p.179-184, 1973.

SIEGWOLF, R. T. W. et al. Stable isotope analysis reveals differential effects of soil nitrogen and nitrogen dioxide on the water use efficiency in hybrid poplar leaves. *New Phytologist*, v. 149, p. 233-246, 2001.

SILVEIRA, J. A. G. et al. Salinity-induced effects on nitrogen assimilation related to growth in cowpea plants. *Environmental and Experimental Botany*, Memphis, v. 46, p. 171-179, 2001.

STULEN, I. et al. Impact of gaseous nitrogen deposition on plant functioning. *New Phytologist*, v. 139, p. 61-70, 1998.

SZABO, A. V. et al. Acúmulo foliar de enxofre e suas relações com alterações no crescimento de plantas jovens de *Tibouchina pulchra* Cogn. (Melastomataceae) expostas nas proximidades do polo industrial de Cubatão, SP. *Revista Brasil. Bot.*, v. 26, n. 3, p. 379-390, 2003.

US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. (EPA), 2006. *Highlights of FY 2006 Program Performance*, p. 5. Disponível em: <<http://www.epa.gov>>. Acesso em: 13 fev. 2009.

VDI. Verein Deutscher Ingenieure. Biological measuring techniques for the determination and evaluation of effects of air pollutants on plants (bioindication). Determination and evaluation of the phytotoxic effects of photooxidants. Method of the standardized tobacco exposure. VDI 3957/6. VDI/DIN Handbuch Reinhaltung der Luft, v. 1a, Beuth, Berlin, 2003.

Recebido em 14 dez. 2011 / aprovado em 5 abr. 2011

Para referenciar este texto

APRO, P. H. et al. Avaliação dos parâmetros de crescimento em plantas jovens de *Phaseolus vulgaris* L. (Feijão) expostas à poluição aérea da cidade de São Paulo. *Exacta*, São Paulo, v. 10, n. 1, p. 92-100, 2012.