



POLUIÇÃO AÉREA URBANA E O CRESCIMENTO EM DIÂMETRO DE PLANTAS JOVENS DE PAU - BRASIL (*CAESALPINIA ECHINATA* LAM.)

Renata A. D'Agostino Tavares¹

Solange Cristina Mazzoni - Viveiros²

¹ Mestre pelo Programa de Pós - Graduação em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente do Instituto de Botânica de São Paulo. <u>renatadagostino@hotmail.com</u>

² Instituto de Botânica de São Paulo, Av. Miguel Estéfano, 3687, Água Funda, CEP 04301 - 012, São Paulo, SP, Brasil.

INTRODUÇÃO

A exploração descontrolada de *Caesalpinia echinata* Lam. (pau - brasil) foi o primeiro registro de devastação da Mata Atlântica, que teve início logo após a ocupação das terras pelos portugueses no início do século XVI (Ribeiro, 2003; Rocha *et al.*, 2007), reduzindo sua distribuição original a pequenos remanescentes na atualidade (Aguiar & Pinto, 2008). Naquela época, o pau - brasil gerou importância econômica acentuada para a Coroa Portuguesa como principal fonte de corantes (Rocha, 2008). Atualmente, no potencial de utilização dessa espécie incluem - se a fabricação de arcos para instrumentos musicais e a arborização urbana (Alves *et al.*, 2008a; Domingos *et al.*, 2008). Apesar dos valores histórico e econômico conquistados ao longo dos anos, o pau - brasil está em perigo de extinção (Ministério do Meio Ambiente, 2008) e, como forma de conservação *ex situ* da espécie, sugere - se seu cultivo em ambiente urbano para fins de arborização e paisagismo. Entretanto, essa ação preservacionista somente será bem sucedida se a espécie for tolerante às condições estressantes das áreas urbanizadas, em especial aos poluentes atmosféricos gasosos e particulados (Domingos *et al.*, 2008).

Numa cidade grande como São Paulo, as plantas sofrem com o efeito causado por esses tipos de poluentes oriundos, principalmente, da grande frota automotiva (Molina & Molina, 2004; CETESB, 2008). Na atmosfera urbana estão presentes elevadas concentrações de gases como monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) e óxidos de nitrogênio (NO_x). Existem também os fotoxidantes, como o nitrato de peroxiacetila (PAN) e o ozônio (O₃) (Freedman, 1995; Larcher, 2000; Molina & Molina, 2004), este último considerado o mais importante poluente atmosférico capaz de afetar significativamente o desenvolvimento de plantas em várias regiões do mundo (Molina & Molina, 2004; Ashmore, 2005; Karnosky *et al.*, 2007; Mittal *et al.*, 2007; Wang *et al.*, 2007). O ozônio é capaz de promover alterações fisiológicas e bioquímicas nas plantas, tais como alterações no mecanismo do aparato fotossintético (Pompéia, 2000;

Dizengremel, 2001; Moraes *et al.*, 2004; Wittmann *et al.*, 2007; Feng *et al.*, 2008) e diminuição da produção de clorofila, promovendo a descoloração foliar e até possível morte celular (Reig - Armiñana *et al.*, 2004; Tausz *et al.*, 2007). Danos estruturais também são observados, uma vez que esse poluente é bastante reativo e ataca as membranas celulares (Becana *et al.*, 2000; Alves *et al.*, 2008c).

As características estruturais bastante observadas em plantas sob elevados níveis de poluentes são: aumento ou diminuição do número de estômatos por área foliar (Domingos *et al.*, 2004; Alves *et al.*, 2008b; Alves *et al.*, 2008c; Pedroso & Alves, 2008); modificações tanto na espessura da epiderme quanto do mesofilo (Rai & Kulshreshtha, 2006; Alves *et al.*, 2008b; Alves *et al.*, 2008c; Faoro & Iriti, 2009); redução do tamanho e do número de cloroplastos (Reig - Armiñana *et al.*, 2004) e modificações no aspecto dos tilacóides (Bacic *et al.*, 2004), além do aumento da quantidade de cristais foliares (Alves *et al.*, 2008b).

O caule, apesar de apresentar tecidos correspondentes aos da folha, é um dos órgãos da planta mais protegido da poluição, porém pode apresentar modificações em sua estrutura, como alterações no crescimento em diâmetro (Kozłowski *et al.*, 1991; Cunha, 2006; Domingos *et al.*, 2008), provocada principalmente pela ação do ozônio (Günthadt - Goerg *et al.*, 1993; Cunha, 2006). As características estruturais da periderme caulinar, bem como suas propriedades físico - químicas, podem conferir ou diagnosticar algum grau de adaptação às diferentes condições ambientais (Costa *et al.*, 1997; Mazzoni - Viveiros & Costa, 2003) e essas alterações podem, inclusive, prejudicar sua relação com epífitas e, conseqüentemente, alterar a biodiversidade nas áreas afetadas (Marcelli, 1992; Labiak & Prado, 1998; Mazzoni - Viveiros & Costa 2003).

OBJETIVOS

Considerando - se os valores históricos, econômicos e a potencialidade paisagística de *Caesalpinia echinata*, o presente

estudo visou avaliar estruturalmente sua periderme caulinar e comparar as atividades dos meristemas laterais (câmbio e felogênio) sob diferentes níveis da poluição atmosférica na cidade de São Paulo.

MATERIAL E MÉTODOS

Plantas jovens de pau - brasil foram submetidas a três áreas distintas da cidade de São Paulo, com diferentes características de poluição atmosférica: Aeroporto de Congonhas e Marginal Pinheiros, que apresentam atmosfera contaminada principalmente por poluentes primários, como monóxido de carbono e óxidos de nitrogênio; e Parque do Ibirapuera, com altas concentrações de ozônio. Como área de referência foi construída uma Casa de Vegetação, com condições ambientais controladas e ar filtrado (CETESB, 2008; Domingos *et al.*, 2008).

A irrigação das plantas ocorreu por capilaridade, através de cordas de náilon inseridas na base dos vasos. Uma das extremidades ficou em contato com as raízes e a outra mergulhada em um reservatório de água, garantindo suprimento hídrico constante às plantas (Arndt & Schweizer, 1991). Quinzenalmente, as plantas receberam 250 ml de adubo Peters adicionado no substrato.

Amostras do caule para análise da periderme de três espécimes de pau - brasil foram coletadas após 12 meses de exposição aos poluentes, fixadas em FAA em etanol 70% por 48 horas e em seguida armazenadas em etanol 70% (Johansen, 1940). As amostras da porção basal do caule (colo) foram incluídas em polietilenoglicol 2000 (PEG) e seccionadas em micrótomo de deslize (Leica) com espessura de 16 μm e auxílio de fita adesiva transparente (Richter, 1981), coradas com azul de toluidina a 0,5% e pH 6,8 e azul de astra e safranina aquosa a 1% e montadas em resina sintética (Permount).

Medidas referentes às espessuras do lenho e da periderme foram realizadas a fim de verificar possível relação entre a produção de lenho pelo câmbio vascular e a da periderme pelo felogênio sob efeito da poluição atmosférica. Ressalta - se que para a medida do lenho foi incluída a medula. Os dados quantitativos foram submetidos à análise estatística de variância ao nível de 5% de probabilidade ($P < 0,05$) para identificação das diferenças entre os tratamentos, cujo teste estatístico utilizado foi o Teste de Bonferroni. Para a realização das análises empregou - se o software BioEstat.

RESULTADOS

A periderme caulinar do pau - brasil, tecido de revestimento secundário, apresenta coloração marrom escura enquanto jovem com inúmeras lenticelas, que apresentam coloração mais clara e contrastam com o felema. Constatou - se, através de análise em diferentes estádios de desenvolvimento, que os chamados “espinhos” do pau - brasil correspondem a emergências e se distribuem por toda superfície caulinar, exceto nos entrenós basais (Tavares, 2005). Estruturalmente, a periderme do pau - brasil é composta por camadas de células retangulares da feloderme; uma camada única de células retangulares do felogênio; e várias camadas

de células mortas suberinizadas e de formato retangular em secção transversal caracterizando o felema (súber). Além disso, esclereídes estão presentes formando uma camada de delimitação entre o córtex e a periderme com diminuição do grau de lignificação das paredes celulares nas áreas de Congonhas, Ibirapuera e Pinheiros, quando comparados ao material de referência. Esses esclereídes também apresentam idioblastos contendo cristais prismáticos, mais característicos nas áreas sujeitas à poluição urbana, assim como observado por Alves *et al.*, (2008b) em folhas de *Eugenia uniflora* L. (Myrtaceae) sob altas concentrações de poluentes aéreos, principalmente ozônio.

Foi observado que as plantas expostas aos ambientes poluídos apresentaram, com diferenças estatisticamente significativas, valores médios de espessura de lenho maiores em relação ao material de referência ($P < 0,0001$). Congonhas, Pinheiros e Ibirapuera apresentaram, respectivamente, valores médios de 7406,11 μm , 6658,42 μm e 5884,49 μm , enquanto o material de referência apresentou 5150,19 μm . Dados semelhantes foram observados por Cunha (2006), cujas plantas de pau - brasil apresentaram incremento em diâmetro mais acentuado quando expostas à poluição aérea. Contrariamente à produção do lenho, observou - se uma diminuição significativa da produção da periderme nas áreas poluídas em relação ao material de referência ($P < 0,0001$), cujos valores médios foram menores ao do material de referência (296,60 μm) em Pinheiros (198,73 μm), Congonhas (153,92 μm) e Ibirapuera (137,73 μm). Esses dados sugerem que a poluição atmosférica pode alterar tanto a atividade do câmbio vascular como do felogênio de maneira específica. Günthardt - Goerg *et al.*, (1993) obtiveram dados semelhantes em relação à espessura da periderme em plantas de *Betula pendula* Roth (Betulaceae), cuja produção de felema e feloderme diminui quando em contato com poluente, especialmente o ozônio. Esses dados levam a crer que o felogênio, meristema mais próximo às lenticelas-estruturas peridérmicas que auxiliam no processo de trocas gasosas e que aumentam significativamente em número quando as plantas estão sob estresse urbano (Tavares, 2005) -, esteja sofrendo diretamente mais a ação desses poluentes, diferentemente do lenho, que responde mais aos efeitos da poluição por via edáfica.

Além disso, a periderme das plantas expostas às áreas poluídas apresentou maior facilidade à descamação que a das plantas da área de referência. Essa descamação e a diminuição da espessura do tecido podem caracterizar uma menor proteção dos órgãos internos da planta, favorecendo a incidência de pragas e patógenos (Rosner & Kartusch, 2003; Graça & Pereira, 2004). Isso pode dificultar outros processos ecológicos como a fixação de epífitas pelo caule (Marcelli, 1992; Labiak & Prado, 1998), podendo causar um desequilíbrio ecológico por dificultar a fixação de algumas espécies e/ou facilitar a de outras, causando modificações da estrutura florística no bioma.

CONCLUSÃO

Conforme os dados obtidos no presente trabalho, as altas concentrações de poluentes aéreos nas áreas de Congonhas, Ibirapuera e Pinheiros podem ser as causadoras do aumento

na produção do lenho e da redução na produção da periderme. Isso pode refletir a influência distinta da poluição nas atividades do câmbio vascular e do felogênio, respectivamente, já que os dados referentes às condições climáticas dessas áreas foram muito semelhantes entre si. Como a área do Ibirapuera mostrou os menores valores de espessura de periderme, além de ser a área que apresenta, diferentemente das demais, alta taxa de concentração de ozônio, acredita-se ser esse poluente gasoso que esteja interferindo no desenvolvimento da periderme do pau-brasil sob tais condições. Com isso, cultivar a espécie em ambiente urbano, em que as taxas de ozônio sejam muito elevadas, pode comprometer seu desenvolvimento e a fixação de possíveis epífitas.

(Agradecimentos: Projeto Pau-brasil, financiado pela FAPESP-Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo-Processo nº 00/06422-4, e CNPq, pela bolsa de mestrado concedida à primeira autora.)

REFERÊNCIAS

- Aguiar, F.F.A. & Pinto, M.M. 2008.** Manejo Silvicultural de um Arboreto Experimental de Pau-brasil em Mogi-Guaçu. *In: Figueiredo - Ribeiro, R.C.L.; Barbedo, C.J.; Alves, E.S.; Domingos, M. & Braga, M.R. (orgs.). Pau-brasil, da Semente à Madeira.* Instituto de Botânica-Secretaria do Meio Ambiente, São Paulo. p. 67 - 74.
- Alves, E.S.; Angyalossy, V.; Longui, E.L.; Lombardi, D.R.; Amano, E. & Vargas, A. 2008a.** O Arco: Arte e Ciência. *In: Figueiredo - Ribeiro, R.C.L.; Barbedo, C.J.; Alves, E.S.; Domingos, M. & Braga, M.R. (orgs.). Pau-brasil, da Semente à Madeira.* Instituto de Botânica-Secretaria do Meio Ambiente, São Paulo. p. 169 - 183.
- Alves, E.S.; Tresmondi, F. & Longui, E.L. 2008b.** Análise estrutural de folhas de *Eugenia uniflora* L. (Myrtaceae) coletadas em ambiente rural e urbano, SP, Brasil. *Acta Bot. Bras.* **22(1)**: 241 - 248.
- Alves, E.S.; Moura, B.B. & Domingos, M. 2008c.** Structural Analysis of *Tillandsia usneoides* L. exposed to air pollutants in São Paulo City-Brazil. *Water Air Soil Pollut.* **189**: 61 - 68.
- Arndt, U. & Schweizer, B. 1991.** The use of bioindicators for environmental monitoring in tropical and subtropical countries. *In: Ellenberg, H. (ed.) Biological monitoring. Signals from the environment.* Vieweg, Eschborn. p. 199 - 298.
- Ashmore, M.R. 2005.** Assessing the future global impacts of ozone on vegetation. *Plant Cell Environ.* **28**: 949 - 964.
- Bacic, T.; Ljubescic, N.; Uzarevic, Z.; Grgic, L. & Rosa, J. 2004.** TEM investigation of tannins and chloroplast structure in needles of damaged silver fir trees (*Abies alba* Mill.). *Acta Biol. Cracov.* **46**: 145 - 149.
- Becana, M.; Daalton, D.A.; Moran, J.F.; Iturbe-Ormaetxe, I.; Matamoros, M. & Rubio, M.C. 2000.** Reactive oxygen species and antioxidants in leguna nodule. *Physiol. Plantarum* **109**: 372 - 381.
- CETESB 2008.** Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, Relatório de qualidade do ar do Estado de São Paulo de 2007. CETESB, Série Relatórios, São Paulo.
- Costa, C.G.; Coradin, V.T.R.; Czarneski, C.M. & Pereira, B.A. 1997.** Bark anatomy of arborescent Leguminosae of Cerrado and Gallery Forest of Central Brazil. *IAWA J.* **18**: 385 - 399.
- Cunha, A.L. 2006.** 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. Dissertação de Mestrado. Instituto de Botânica de São Paulo, São Paulo.
- Dizengremel, P. 2001.** Effects of ozone on the carbon metabolism of forest stress. *Plant Phys. Biochem.* **39**: 729 - 742.
- Domingos, M.; Alves, E.S.; Bulbovas, P.; Cunha, A.L.; Longui, E.L.; Lourençon, D.A.C.B.; Moraes, R.M.; Rinaldi, M.C.S. & Mazzoni - Viveiros, S.C. 2004.** Reactions of *Caesalpinia echinata* Lam., a Brazilian tree species, to urban air pollution stress. *In: Klumpp, A.; Ansel, W. & Klumpp, G. (eds.) Urban air pollution, bioindication and environmental awareness.* Cuvillier Verlag, Göttingen. p. 279 - 287.
- Domingos, M.; Bulbovas, P.; Alves, E.S. & Moraes, R.M. 2008.** Potencial de Utilização de Pau-brasil na Arborização Urbana. *In: Figueiredo - Ribeiro, R.C.L.; Barbedo, C.J.; Alves, E.S.; Domingos, M. & Braga, M.R. (orgs.). Pau-brasil, da Semente à Madeira.* Instituto de Botânica-Secretaria do Meio Ambiente, São Paulo. p. 115 - 131.
- Faoro, F. & Iriti, M. 2009.** Plant cell death and cellular alterations induced by ozone: key studies in Mediterranean conditions. *Environ. Pollut.* **157**: 1470 - 1477.
- Feng, Z.; Kobayashi, K. & Ainsworth, E.A. 2008.** Impact of elevated ozone concentration on growth, physiology, and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.): a meta-analysis. *Global Change Biol.* **14**: 2696 - 2708.
- Freedman, B. 1995.** Environmental ecology. The ecological effects of pollution, disturbance, and other stresses. 2.ed. Academic Press Inc., San Diego.
- Graça, J. & Pereira, H. 2004.** The periderm development in *Quercus suber*. *IAWA J.* **25**: 325 - 335.
- Günthardt - Goerg, M.S.; Matyssek, R.; Scheidegger, C. & Keller, T. 1993.** Differentiation and structural decline in the leaves and bark of birch (*Betula pendula*) under low ozone concentrations. *Trees* **7**: 104 - 114.
- Johansen, D.A. 1940.** Plant Microtechnique. McGraw-Hill Book Company, Inc., New York.
- Karnosky, D.; Skelly, J.; Percy, K. & Chappelka, A. 2007.** Perspectives regarding 50 years of research on effects of tropospheric ozone air pollution on US forests. *Environ. Pollut.* **147**: 489 - 506.
- Kozłowski, T.T.; Kramer, P.J. & Pallardy, S.G. 1991.** The Physiological Ecology of Wood Plants. Academic Press, San Diego.
- Kraus, J.E. & Arduin, M. 1997.** Manual básico de métodos em morfologia vegetal. Editora Universidade Rural, Rio de Janeiro.
- Labiak, P.H. & Prado, J. 1998.** Pteridófitas epífitas da Reserva Volta Velha, Itapoá-Santa Catarina, Brasil. Vol. 2. Plantarum, São Paulo.
- Larcher, W. 2000.** Ecofisiologia Vegetal. Rima, São Carlos.

- Marcelli, M.P. 1992.** Ecologia líquênica nos manguezais do sul - sudeste brasileiro. J. Cramer, Berlin.
- Mazzoni - Viveiros, S.C. & Costa, C.G. 2003.** Periderme. *In: Appezato - da - Glória, B. & Carmello - Guerreiro, S.M. (coord.). Anatomia Vegetal.* Ed. Universidade de Viçosa, Viçosa. p. 237 - 264.
- Ministério do Meio Ambiente. 2008.** Instrução Normativa Nº 06, 23 set. 2008.
- Mittal, M.L.; Hess, P.G.; Jain, S.L.; Arya, B.C. & Sharma, C. 2007.** Surface ozone in the Indian region. *Atmos. Environ.* **41**: 6572 - 6584.
- Molina, M.J. & Molina, L.T. 2004.** Megacities and atmospheric pollution. *J. Air & Waste Manage. Assoc.* **54**: 644 - 680.
- Moraes, R.M.; Furlan, C.M.; Bulbovas, P.; Domingos, M.; Meirelles, S.T.; Salatino, A.; Delitti, W.B.C. & Sanz, M.J. 2004.** Photosynthetic responses of tropical trees to short - term exposure to ozone. *Photosynthetica* **42(2)**: 291 - 293.
- Pedroso, A.N.V. & Alves, E.S. 2008.** Anatomia foliar comparativa das cultivares de *Nicotiana tabacum* L. (Solanaceae) sensível e tolerante ao ozônio. *Acta Bot. Bras.* **22(1)**: 21 - 28.
- Pompéia S.L. 2000.** Respostas das Plantas Nativas Brasileiras à Poluição. *In: Larcher, W. (ed.) Ecofisiologia Vegetal.* Rima, São Carlos. p. 449 - 454.
- Rai, A. & Kulshreshtha, K. 2006.** Effects of particulates generated from automobile emission on some common plants. *J. Food Agr. Environ.* **4(1)**: 253 - 259.
- Reig - Amiñana, J.; Calatayub, V.; Cerveró, J.; García - Breijo, F.J.; Ibars, A. & Sanz, M.J. 2004.** Effects of ozone on the foliar histology of the mastic plant (*Pistacia lentiscus* L.). *Environ. Pollut.* **132**: 321 - 331.
- Ribeiro, W.C. 2003.** Apresentação: o Patrimônio Ambiental Brasileiro. *In: Ribeiro, W.C. (org.). Patrimônio Ambiental Brasileiro.* Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo. p. 13 - 15.
- Richter, H.G. 1981.** Wood and bark anatomy of Lauraceae. I. Aniba Aublet. *IAWA Bull.* **2**: 79 - 87.
- Rocha, Y.T. 2008.** Brasil, europeus e pau - brasil. *In: Figueiredo - Ribeiro, R.C.L.; Barbedo, C.J.; Alves, E.S.; Domingos, M. & Braga, M.R. (orgs.). Pau - Brasil, da Semente à Madeira.* Instituto de Botânica-Secretaria do Meio Ambiente, São Paulo. p. 9 - 32.
- Rocha, Y.T.; Presotto, A. & Cavalheiro, F. 2007.** The representation of *Caesalpinia echinata* (Brazilwood) in Sixteenth - and - Seventeenth - Century Maps. *An. Acad. Bras. Cienc.* **79(4)**: 751 - 765.
- Rosner, S. & Kartusch, B. 2003.** Structural changes in primary lenticels of Norway spruce over the seasons. *IAWA J.* **24**: 105 - 116.
- Tausz, M.; Grulke, N.E. & Wieser, G. 2007.** Defense and avoidance of ozone under global change. *Environ. Pollut.* **147**: 525 - 531.
- Tavares, R.A.D. 2005.** Poluição atmosférica da cidade de São Paulo e a periderme caulinar em plantas jovens de pau - brasil (*Caesalpinia echinata* Lam.-Leguminosae/Caesalpinioideae). Dissertação de Mestrado. Instituto de Botânica de São Paulo, São Paulo.
- Wang, X.K.; Manning, W.J.; Feng, Z.W. & Zhu, Y.G. 2007.** Ground - level ozone in China: distribution and effects on crop yields. *Environ. Pollut.* **147**: 394 - 400.
- Wittmann, C.; Matyssek, R.; Pfanz, H. & Humar, M. 2007.** Effects of ozone impact on the gas exchange and chlorophyll fluorescence of juvenile birch stems (*Betula pendula* Roth.). *Environ. Pollut.* **150**: 258 - 266.