

RENATA A. D'AGOSTINO TAVARES

Poluição atmosférica da cidade de São Paulo e a
periderme caulinar em plantas jovens de pau-
brasil (*Caesalpinia echinata* Lam. –
Leguminosae/Caesalpinioideae)

Dissertação apresentada ao Instituto de Botânica da Secretaria do Meio Ambiente, como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de Mestre em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente, na Área de Concentração de Plantas Vasculares em Análises Ambientais.

SÃO PAULO
2005

RENATA A. D'AGOSTINO TAVARES

Poluição atmosférica da cidade de São Paulo e a
periderme caulinar em plantas jovens de pau-
brasil (*Caesalpinia echinata* Lam. –
Leguminosae/Caesalpinioideae)

Dissertação apresentada ao Instituto de Botânica da Secretaria do Meio Ambiente, como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de Mestre em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente, na Área de Concentração de Plantas Vasculares em Análises Ambientais.

ORIENTADORA: DRA. SOLANGE C. MAZZONI-VIVEIROS

Ficha Catalográfica elaborada pela Seção de Biblioteca do Instituto de Botânica

T231p Tavares, Renata A. D'Agostino
Poluição atmosférica da cidade de São Paulo e a periderme caulinar do pau-brasil (*Caesalpinia echinata* Lam.- Leguminosae/Caesalpinioideae). / Renata A. D'Agostino Tavares -- São Paulo, 2005.
83 p. il.

Dissertação (mestrado)—Instituto de Botânica da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, 2005
Bibliografia.

1. Leguminosae. 2. Periderme. 3. Poluição atmosférica. I. Título

CDU 582.736

*“...e una vita sola non può bastare
per dimenticare una storia che vale...”*

Laura Pausini

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, que me deu saúde e forças tornando possível a realização deste trabalho.

À Dra. Solange C. Mazzoni-Viveiros pela atenção e orientação nesses dois anos passados.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa concedida.

Ao Projeto Temático “Pau-brasil”, seus coordenadores geral e de módulo e à FAPESP pela ajuda financeira fundamental para o andamento das pesquisas.

Ao Instituto de Botânica pelo espaço físico, equipamentos e material indispensáveis para a realização do trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação do Instituto de Botânica por ter me aceitado como membro discente.

A todo o pessoal da Seção de Anatomia, Agnes, Edenise, Patrícia, Maria, Cristiane, Fernanda, Eduardo, Marcos, Marcelo (que é da Seção de Fisiologia, mas trabalha mais tempo na Anatomia ultimamente), Heitor, Michelle, Jéssica, Pinho e, especialmente, minhas duas amigonas Andrea e Telma, com quem passei bons momentos no laboratório e fora dele também! Valeu pela amizade pessoal, de coração!

À amiga Telma pela paciência em me auxiliar com as técnicas histológicas no início do meu experimento.

À Dra. Agnes E. Luchi por fotografar todo o material fresco assim que chegava do campo.

Ao pessoal da Seção de Ecologia Marli, Amarílis e Valdenice, pelo acompanhamento em campo durante quase toda a pesquisa e Maurício pela colaboração essencial na elaboração do Abstract.

À minha família, pela força que me dão e pela compreensão da minha ausência quase total durante a execução desta dissertação. Muito obrigada pessoal!

Aos meus novos, porém importantíssimos, amigos Laura, Daniela (também pela forcinha em alguns detalhes estatísticos fundamentais), Elisa, Cristiano, Luiza, Julia, Bárbara (Babi), Gabriel, Rodolfo, Helena, Raffaella, Jéssica, Giuliana, Letícia, Cristina, Ana Cecília (Cissa) e Leonardo (Leo) pela compreensão de minha ausência e “ouvidos” para meus desabafos durante esses momentos finais da elaboração do trabalho. Grazie a tutti!

Enfim, a todos que estiveram envolvidos neste trabalho direta ou indiretamente e, que porventura deixei de citar os nomes, meus sinceros agradecimentos.

Muito obrigada a todos!

ÍNDICE

I.	INTRODUÇÃO	1
I.1.	A MATA ATLÂNTICA	1
I.2.	PAU-BRASIL	3
I.2.1.	<i>História e exploração</i>	3
I.2.2.	<i>Utilização econômica atual e formas de conservação da espécie</i>	5
I.2.3.	<i>Características da espécie</i>	6
I.3.	POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA.....	8
I.3.1.	<i>Poluentes primários e secundários</i>	9
I.3.2.	<i>Poluição no Estado e na Região Metropolitana de São Paulo</i>	10
I.3.3.	<i>Efeitos causados na vegetação</i>	11
I.4.	PERIDERME.....	14
I.4.1.	<i>Aspectos econômicos</i>	14
I.4.2.	<i>Definição e constituição</i>	15
I.4.3.	<i>Aspectos ecofisiológicos</i>	18
II.	OBJETIVOS	20
III.	MATERIAL E MÉTODOS	21
III.1.	DESCRIÇÃO DAS ÁREAS DE EXPOSIÇÃO	21
III.2.	MATERIAL BIOLÓGICO E SISTEMA DE EXPOSIÇÃO	25
III.3.	COLETA E PREPARO DO MATERIAL	25
III.4.	PARÂMETROS AVALIADOS	26
III.5.	ANÁLISES ESTATÍSTICAS	28
IV.	RESULTADOS	29
IV.1.	ASPECTO GERAL DAS PLANTAS	29
IV.2.	MORFOLOGIA EXTERNA DA PERIDERME.....	29
IV.2.1.	<i>Caracterização das lenticelas e acúleos ao longo do caule</i>	29
IV.2.2.	<i>Distribuição e quantificação de lenticelas e acúleos</i>	34
IV.3.	DESCRIÇÃO ESTRUTURAL DA PERIDERME DO PAU-BRASIL	46
IV.3.1.	<i>Espessura e relações com lenho e casca</i>	50
V.	DISCUSSÃO	53
VI.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	62
VII.	RESUMO.....	63
VIII.	ABSTRACT.....	65
IX.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67

I. INTRODUÇÃO

I.1. A MATA ATLÂNTICA

A Mata Atlântica abrange todo o contorno atlântico da costa brasileira, desde o arroio Chuí (RS) até o Rio Oiapoque (AM), por mais de quatro mil quilômetros de extensão, ocupando 13 estados brasileiros, e 1,5 milhão de km² (Adams 2000, Ambiente Brasil 2005a). Recebeu essa denominação devido ao seu relacionamento com o Oceano Atlântico. Sua largura é variada e apresenta penetrações extensas em alguns Estados como Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (Adams 2000, Fernandes 2000).

O botânico alemão Karl Friedrich von Martius foi quem descreveu o bioma pela primeira vez, no ano de 1824, em seu livro *Voyages in Brazil* e, em 1837, na sua obra *Flora Brasiliensis* (Adams 2000).

A Mata Atlântica engloba um mosaico diversificado de ecossistemas, incluindo manguezais, florestas, restinga e florestas pluviais, cuja estrutura e composição florística são bastante distintas, sendo determinadas por diversos fatores, entre eles: elevada diversidade de solos, relevos e climas (Mello-Filho 1991/1992). Em função disso, é um dos mais importantes biomas do Brasil e, até mesmo, da região tropical do mundo, devido ao papel que desempenha no cenário conservacionista nacional e internacional (UICN/PNUMA/WWF 1991, Peixoto 1991/1992).

É também um dos mais ricos em espécies, com alta incidência de endemismo (Peixoto 1991/1992), caracterizada pela forte umidade da região, que pode sustentar a densa floresta com árvores bastante altas, chegando a atingir cerca de 30 metros de altura, além de inúmeras

árvores menores e a vasta riqueza da flora epifítica, um dos aspectos fisionômicos mais importantes dessa formação vegetal (Ferri 1980, Adams 2000).

Devido à alta diversidade florística, esse bioma está incluído entre os cinco maiores ecossistemas do mundo quanto ao número de espécies, oito mil espécies vegetais exclusivas das 20 mil descritas no mundo (Mittermeier *et al.* 1999), sendo considerado um “hot spot” de biodiversidade (Joly *et al.* 1999). No entanto, pouco se conhece sobre o ciclo de vida das inúmeras espécies e, conseqüentemente, sobre a importância desse aspecto para a manutenção desse bioma, cuja destruição, para diversos fins, ainda é registrada nos dias atuais e precisa ser revertida para que a diversidade possa ser conservada (Joly *et al.* 1999). Segundo levantamento realizado pela União Internacional para a Conservação da Natureza, a Mata Atlântica é a segunda floresta mais ameaçada do planeta, ficando atrás somente das Florestas de Madagascar no leste africano (UICN/PNUMA/WWF 1991), restando aproximadamente 7,5% de toda a cobertura original restrita às encostas íngremes, de difícil ocupação, nos Estados do Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná e Santa Catarina (Targa *et al.* 2001, Mantovani 2003).

Desde o início da ocupação do território nacional pelos portugueses, têm sido verificados distúrbios crescentes, por ação humana, nos diversos biomas brasileiros. As primeiras interferências foram registradas na Mata Atlântica, ao longo de toda sua costa, com o estabelecimento de vários ciclos econômicos, baseados na exploração de recursos minerais e, principalmente, vegetais. Atualmente, esse bioma também tem sido fortemente pressionado por intensa ocupação humana e por pólos industriais, o que tem contribuído decisivamente para sua degradação e devastação (Mello-Filho 1991/1992).

I.2. PAU-BRASIL

I.2.1. *História e exploração*

As terras que constituem o Brasil foram ocupadas de maneira predatória desde a sua incorporação, como era comum na época. Os primeiros europeus fixaram-se por estas terras para retirar suas riquezas e terem ganhos rápidos, pois não haviam encontrado, logo de início, ouro, prata ou pedras preciosas, cujo comércio era mais lucrativo (Ribeiro 2003). Por exemplo, o comércio com os produtos da Índia rendia lucros de até 400% para a Coroa (Vieira de Mello 1996). Depois, incorporaram técnicas indígenas no cultivo de alimentos, como a queimada, e plantaram o que estavam acostumados a comer em Portugal (Ribeiro 2003).

A exploração descontrolada de *Caesalpinia echinata* Lam. (Leguminosae – Caesalpinioideae) – popularmente conhecida como pau-brasil, pau-pernambuco, orabutá, ibirapitanga, pau-rosado ou brasileto – é o primeiro e um dos clássicos exemplos de distúrbio causado à Mata Atlântica, que teve início logo após a ocupação da costa atlântica pelos portugueses, no começo do século XVI (Mello-Filho 1991/1992, Ribeiro 2003, Base de Dados Tropical 2004), e gerou importância econômica acentuada para a Coroa Portuguesa na época da colonização do Brasil (Warren 1996). Mas, a utilização da espécie já era feita antes por índios brasileiros para a confecção de arcos, flechas e para a pintura de enfeites com um corante vermelho intenso extraído do cerne. A técnica foi ensinada aos portugueses pelos próprios índios, que foram encarregados de cortar, aparar e carregar as árvores até o litoral, de onde eram levadas até à Europa (Auricchio 2004).

C. echinata foi intensamente retirada das florestas nativas e transportada para Portugal na forma de madeira. Supõe-se que, no primeiro século de exploração, cerca de seis mil quilômetros quadrados da floresta pluvial atlântica foram devastados (Warren 1996), iniciando o “ciclo do pau-brasil”, o primeiro de uma série de ciclos econômicos utilizando espécies vegetais nativas dos biomas brasileiros (Rizzini 1971), cuja exploração pode ser considerada umas das primeiras atividades responsáveis por alterações ecológicas de vulto que afetaram as formações silvestres atlânticas (Hueck 1972), apesar de que alguns autores não aceitam essa teoria (Rocha 2004).

Naquela época, o pau-brasil se tornou a fonte principal de corantes para tintura de tecidos, propiciando a coloração vermelha em algodão, seda e lã, além de fabricação de tinta de escrever (Rizzini 1971). Além dessas utilizações, os europeus também aproveitavam a madeira nas indústrias civil e naval (WWF 2005).

Devido à sua exploração e importância econômica, o pau-brasil acabou inspirando o nome definitivo do território, que antes tinha sido chamado de Ilha ou Terra de Santa Cruz e Terra de Vera Cruz. Assim, o termo “brasileiro”, que designava apenas aqueles que trabalhavam com a extração do pau-brasil, passou a ser usado para aqueles que aqui viviam e nasciam e a colônia passou a ser chamada de Brasil (Souza 1939). Segundo vários historiadores, este foi o único caso em que um país teve seu nome derivado de uma árvore (Oliveira *et al.* 2002).

Essa espécie foi intensamente explorada na região até que a cana-de-açúcar ocupou seu lugar para fins econômicos, iniciando um novo ciclo de exploração no Brasil: o “ciclo da cana-de-açúcar”. No entanto, a árvore ainda foi retirada até 1875, porém de forma menos

maneira que sua distribuição original se encontra reduzida, atualmente a pequenos remanescentes (Prado Júnior 1965, Souza 1984, Sodré 1985).

Sua quase extinção foi necessária para que o pau-brasil fosse reconhecido oficialmente na história brasileira. Em 1961, o presidente Jânio Quadros aprovou um projeto declarando o pau-brasil como árvore símbolo nacional, segundo a Lei 6.607 de 07/12/1978 (Brasil 1978) e o ipê como flor símbolo (Ambiente Brasil 2005b). Nos dias de hoje, o pau-brasil ainda ocorre na costa brasileira, desde o Rio de Janeiro até o Rio Grande do Norte (Aguiar & Aoki 1983, Bueno 2002).

1.2.2. Utilização econômica atual e formas de conservação da espécie

Embora não tendo mais utilidade na fabricação de corantes, hoje totalmente substituídos por produtos sintéticos, o potencial de utilização dessa espécie arbórea ainda é muito importante, podendo-se destacar a fabricação de arcos para instrumentos musicais e a arborização urbana (Ramalho 1978, Aguiar & Barbosa 1985, Soares 1985).

Apesar dos valores histórico e econômico, essa espécie está em perigo de extinção (IBAMA 1992, Lima *et al.* 2002). No Estado de São Paulo, um dos poucos registros de uma população de pau-brasil que se tem notícia é de um arboreto experimental instalado em Mogi Guaçu, sob a responsabilidade do Instituto de Botânica da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (Aguiar 1992). As ações que contribuirão para retirar o pau-brasil dessa categoria são importantes, uma vez que o número de espécies ameaçadas e em perigo de extinção existentes num país é parâmetro para mensurar a seriedade e competência da nação no gerenciamento e manutenção de seu respectivo patrimônio ambiental remanescente,

principalmente quando se trata da espécie símbolo nacional e a primeira fonte econômica na história do país.

Como forma de conservação do pau-brasil, pode-se cultivá-lo em ambiente urbano, para fins de arborização e paisagismo. Além disso, através desta utilização, será possível preservar a relação estreita entre o homem e a espécie, estabelecida desde a colonização, porém, agora, de maneira mutuamente benéfica (Aguiar 1992).

Visando a retirada da espécie da lista de extinção, além de propor um novo modelo de estudo a ser aplicado a outras espécies nativas arbóreas, que possuem papel fundamental para a conservação dos biomas brasileiros, foi criado o projeto temático “*Caesalpinia echinata* Lam. (pau-brasil): da semente à madeira, um modelo para estudos de plantas arbóreas tropicais brasileiras”. O projeto, iniciativa do Instituto de Botânica de São Paulo, tem coordenação geral da Dra. Rita de Cássia L. Figueiredo-Ribeiro e está sendo financiado pela FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo).

1.2.3. Características da espécie

O pau-brasil foi descrito cientificamente pela primeira vez apenas em 1789 por J. B. Lamarck (Souza 1939, Neiva 1941, Mauro, 1997), apesar de que citações sobre a espécie já eram feitas por cronistas europeus do século XVI (Rocha 2004).

A espécie apresenta porte elegante, atinge entre seis e 15 metros de altura, com diâmetro relativamente fino, porém pode atingir até 1 metro e meio, copa arredondada, folhas de cor verde-brilhante e flores suavemente perfumadas dispostas em cachos amarelo-ouro. A

casca é pardo-acinzentada ou pardo-rosada onde já descamou (Rizzini 1971, Aguiar & Pinho 1986) (Fig. 01).

C. echinata tem sua madeira pesada, dura e cerne avermelhado quando recém cortado. O conhecimento químico do pau-brasil restringe-se à ocorrência de brasilina e brasileína (produto de oxidação) no cerne da madeira. Sabe-se, entretanto, que a maioria das madeiras pesadas possui metabólitos secundários, que lhe conferem resistência a agentes deterioradores (Mainieri 1960).

É considerada espécie clímax, que ocupa o estrato médio da floresta, e também pode ser considerada espécie secundária tardia (Carvalho 1994, Cardoso *et al.* 1998). Seu crescimento é lento podendo viver até os 300 anos de idade (Carvalho 1994, Silva & Carmona 1999).



Figura 01. Árvore de *Caesalpinia echinata* (pau-brasil) na área do Instituto de Botânica – SP.

I.3. POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

A poluição do ar tem sido um tema amplamente pesquisado nos últimos anos e é caracterizado como um fator essencial na busca da preservação do meio ambiente (CETESB 2004). Os efeitos provocados pela poluição atmosférica afetam a saúde humana, os animais, a vegetação e os ecossistemas em geral (incluindo a agricultura), os diversos tipos de materiais e até a visibilidade do ar (Seinfeld 1986, Fenger 1999, CETESB 2004). Redução da radiação solar e alterações de temperatura e de distribuição de ventos também são problemas causados pela poluição atmosférica (Seinfeld 1986).

Atualmente, como resultado da atividade humana, a vegetação está sujeita a enormes quantidades de substâncias potencialmente danosas, que agravam não somente a qualidade do ar, mas, também, do solo e da água (Larcher 2000).

No Brasil, a partir da década de 60, o ar tem sido severamente contaminado de forma crescente por uma variedade de poluentes oriundos, principalmente, da queima de combustíveis fósseis. Todos esses poluentes afetam os organismos vivos em geral e, em especial, as plantas, porém em graus diferentes, como mostram alguns experimentos. A partir disso, a poluição atmosférica passou a constituir um novo fator de degradação da vegetação, devido ao forte impulso da industrialização e ao crescimento desordenado dos grandes centros urbanos (Däßler & Börtitz 1988, Freedman 1995, Nebel & Wright 2000, Pompéia 2000, Ribeiro 2003). Essa rápida urbanização aconteceu de maneira mais acelerada nos países do Terceiro Mundo e hoje concentra mais de um terço da população mundial em cidades com mais de 20 mil habitantes (Santos 1981, Mayer 1999, Lombardo 2003).

1.3.1. Poluentes primários e secundários

Os poluentes atmosféricos são geralmente definidos como substâncias dispersas no ar que, em excesso, tornam-se potencialmente danosos à vida em geral. Provocam efeitos adversos em plantas, animais (incluindo os seres humanos) e nos objetos. Esses efeitos podem ser sutis ou, até mesmo, completamente perigosos para a sobrevivência ou o bem-estar de um organismo (Treshow 1984).

Os poluentes são classificados como primários e secundários. Os primários são aqueles emitidos pela própria fonte poluidora na forma tóxica e provocam alto impacto fisiológico, como o aparecimento de necroses foliares (Garrec 1994, Larcher 2000, Reinert 1984 *apud* Bujokas 2001). Monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), óxidos de enxofre (SO₂), óxidos de nitrogênio (NO, NO_x, NO₂), hidrocarbonetos (CH) e material particulado são alguns exemplos desse tipo de poluente.

Já os poluentes do tipo secundário são formados a partir de reações entre os poluentes primários em presença de luz solar, as chamadas reações fotoquímicas. O ozônio (O₃) e o nitrato de peroxiacetila ou PAN (CH₃C(O)OONO₂) são os mais importantes deste grupo. Alguns ácidos e aldeídos também são poluentes do tipo secundário (Garrec 1994, Larcher 2000), dentre eles o ácido sulfúrico (H₂SO₄) e o peróxido de hidrogênio (H₂O₂).

Segundo dados da CETESB (2001), o ozônio é o principal componente gasoso da névoa fotoquímica e o mais importante poluente aéreo fitotóxico (Reich 1987). Ocorre, especialmente, em regiões onde o tráfego de veículos é bastante intenso e tem contribuído consideravelmente para a poluição aérea (Däβler & Börtitz 1988).

1.3.2. Poluição no Estado e na Região Metropolitana de São Paulo

O Estado de São Paulo localiza-se na Região Sudeste do Brasil e tem uma área aproximada de 249 mil km², o correspondente a 2,9% do território nacional, com 645 municípios. O Estado de São Paulo é a unidade da federação de maior ocupação territorial, maior contingente populacional (em torno de 37 milhões de habitantes), maior registro de imigrantes, maior desenvolvimento econômico (agrícola, industrial e serviços), maior frota automotiva (cerca de 14,5 milhões de veículos automotores – 40% total do país) e, conseqüentemente, grande alteração da qualidade do ar (CETESB 2003, São Paulo 2005), cujo controle das emissões teve início a partir da década de 60 (Klumpp *et al.* 1999).

Dentre as regiões que mais poluem no Estado de São Paulo, destacam-se a Região Metropolitana de São Paulo e o município de Cubatão, que possuem, respectivamente, alta emissão de poluentes de origem veicular e industrial (CETESB 1998, CETESB 2004). Municípios do interior do Estado com forte desenvolvimento industrial, considerável frota automotiva ou aqueles afetados por emissões de poluentes como, por exemplo, as queimadas de palhas de cana-de-açúcar podem ser destacadas como grandes poluidores (CETESB 2003).

A Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) é a maior área metropolitana da América do Sul e está localizada a 23°S e 46°W na porção sudeste do Brasil. Abrange, hoje, 39 municípios do Estado, incluindo a capital, e 10% da população do país (CETESB 2004, Rei & Sogabe 2005). Apresenta uma população superior a 17 milhões de habitantes, distribuída em uma área urbanizada e de maneira desorganizada em pouco mais de um quinto

de sua área total. A RMSP ocupa 0,1% do território nacional e é o terceiro maior conglomerado urbano do mundo, responsável por 1/6 do PIB nacional (CETESB 2004).

1.3.3. Efeitos causados na vegetação

Os possíveis efeitos causados por poluição nas plantas variam em função de inúmeros fatores, dentre eles o tempo de exposição da planta ao poluente e sua concentração (Wellburn 1990). Os poluentes atmosféricos provenientes dos grandes centros e das áreas industrializadas produzem inúmeros efeitos prejudiciais às plantas, caracterizados por uma série de alterações bioquímicas, fisiológicas e anatômicas (Carreras *et al.* 1996, Pompéia 2000), que, segundo Alves *et al.* (2001), fornecem subsídios importantes para os programas de controle da poluição do ar. Além disso, provocam redução do crescimento em diâmetro de mudas, plantas jovens e adultas, comumente antes do surgimento de injúrias foliares visíveis (Kozlowski *et al.* 1991).

Geralmente, os poluentes entram na planta junto com o ar, através dos estômatos foliares no processo de respiração (Seinfeld 1986), fazendo da folha o órgão da planta mais susceptível à poluição (Treshow & Anderson 1989, Raven *et al.* 2001). No mesófilo, o poluente destrói a clorofila favorecendo a interrupção da fotossíntese, processo bastante sensível aos poluentes, principalmente aos gasosos. A partir daí, pode promover danos no crescimento da planta e até levá-la à morte (Seinfeld 1986, AFUBRA 2005).

Os efeitos dos poluentes primários sobre a vegetação em geral, principalmente em árvores, são caracterizados por alto impacto fisiológico, redução da biomassa e do crescimento da planta e presença de necroses foliares. Os poluentes secundários resultam

impactos fisiológicos específicos como presença de cloroses foliares e decréscimo da vitalidade das árvores de uma maneira geral (Garrec 1994, Lambers *et al.* 1998, Nali *et al.* 2004). Segundo Dizengremel (2001), o ozônio é um gás que em altas concentrações provoca efeitos relacionados aos danos e injúrias em folhas. Este é o chamado efeito a curto prazo. Quando o poluente está em baixas concentrações, provoca os efeitos a longo prazo, que incluem as alterações metabólicas celulares, afetando todos os processos que envolvem trocas gasosas como respiração e fotossíntese.

As mudanças bioquímicas provocadas pela poluição na planta provocam, inicialmente, perda da integridade das membranas citoplasmáticas e, conseqüentemente, perda do controle da difusão de água e solutos no interior das células. A partir daí, cloroses, necroses, senescência de folhas e demais órgãos e redução da fotossíntese líquida passam a consistir numa resposta aos efeitos provocados pela poluição do ar (Kozlowski 1980, Pradella 1997).

Outra alteração bastante comum em plantas sob níveis elevados de poluentes é a densidade estomática, que pode propiciar aumento ou diminuição do número de estômatos por área foliar (Costa 2004, Domingos *et al.* 2004). Segundo Moura & Alves (2003) e Pedroso *et al.* (2003), essas plantas tendem a apresentar maiores taxas de estômatos por área foliar. A poluição pode promover o aumento da área dos estômatos em eófilos de jatobá cultivado em ambiente com alta concentração de gás carbônico (CO₂) (Costa 2004). Além disso, a redução da espessura da epiderme adaxial, em plantas submetida ao ozônio, é uma alteração bastante característica da poluição (Della Torre *et al.* 1998).

O caule, apesar de apresentar os mesmos tecidos que a folha, é um dos órgãos da planta mais protegido da poluição, porém pode apresentar modificações em sua estrutura, principalmente da madeira (Alves 1995, Mazzoni-Viveiros, 1996), além da redução do

crescimento em diâmetro (Kozlowski *et al.* 1991). Dados apresentados por Günthadt-Goerg *et al.* (1993) mostram que o ozônio também afeta a atividade cambial, diminuindo-a na presença desse gás. Os poluentes podem provocar a ramificação do caule principal de espécies lenhosas, mudando seu hábito arbóreo para arbustivo (Boucher *et al.* 1990 apud Gomes 1992, Mazzoni-Viveiros 1996, Pompéia 1997, Mazzoni-Viveiros 2000), bem como a mortalidade de árvores em áreas de florestas sob poluição atmosférica (Mazzoni-Viveiros 1996, 2000). Além disso, podem ocorrer necroses foliares – injúrias letais agudas – em plantas localizadas próximas à fonte poluidora (Pandey & Agrawal 1994, Larcher 2000).

Já as raízes, assim como as folhas, também são bastante susceptíveis à poluição. O solo poluído pode afetá-las causando alterações quanto ao balanço de carboidratos, crescimento da planta, dentre outros (Treshow & Anderson 1989). Regiões com níveis médios e/ou altos de poluição atmosférica apresentam maiores quantidades de esporos de fungos micorrízicos no solo, favorecendo um aumento dessa associação com raízes, a exemplo do que ocorre com *Tibouchina pulchra* Cogn. (Melastomataceae) sob esse tipo de estresse (Mazzoni-Viveiros 1996, 2000, Mazzoni-Viveiros & Trufem 2004). Além disso, pode promover aumento de formação de raízes laterais e redução do comprimento máximo do sistema radicular, juntamente com senescência precoce e abscisão de folhas, redução da área foliar, alterações nas trocas gasosas em consequência de atrofias dos estômatos e alterações tanto na ornamentação da cutícula, peri e epistomática (Mazzoni-Viveiros 1996, 2000), quanto na composição dos ácidos graxos cuticulares (Della Torre *et al.* 1998).

Alterações genéticas são possíveis de serem observadas em plantas expostas à poluição, como o aparecimento de micronúcleos – porções de DNA que se desprendem da fita

– em tétrades de *Tradescantia pallida* (Rose) D.R. Hunt. “Purpurea” Boom (Commelinaceae) (Guimarães *et al.* 2000).

As conseqüências que a poluição exerce nos ecossistemas florestais podem manifestar-se pela eliminação de espécies sensíveis à contaminação do ar, pela eliminação seletiva de plantas emergentes, pela redução da produção de biomassa, diminuindo o estoque de nutrientes disponível no ecossistema, e pela maior incidência de pragas e doenças. Dessa maneira, a comunidade florestal sofre grandes alterações na sua estrutura florística, como declínio de espécies, resultando num empobrecimento da biodiversidade dos ecossistemas, diminuindo os valores de densidade, altura e dominância das árvores que, em conseqüência, provocam uma diminuição da biomassa aérea e subterrânea (Struffaldi-de-Vuono 1985, AFUBRA 2005).

Segundo Percy & Ferretti (2004), inclusive, estima-se que aproximadamente 49% das florestas do mundo, cerca de 17 milhões de km², serão expostas e prejudicadas devido aos altos índices de ozônio troposférico no ar até o ano de 2100.

I.4. PERIDERME

I.4.1. Aspectos econômicos

A utilização da periderme varia de acordo com espécie e suas propriedades físicas e químicas para fabricação de cortiça, bastante usada na indústria de engarrafamento, coletes salva-vidas, bóias e bolas. A cortiça também é usada como isolante térmico, acústico e de vibrações, além de artefato para decoração (Mazzoni-Viveiros & Costa 2003). Além dessas

utilizações, a casca, que engloba a periderme, também apresenta propriedades curativas, algumas espécies são usadas no tratamento contra picadas de cobras, vermífugos, repelente de insetos e até como remédio anti-malária (Roth 1981).

Da casca de algumas espécies também são extraídos taninos, substâncias químicas compostas de carbono, hidrogênio e oxigênio encontradas em madeira, casca, folhas, raízes e sementes de várias plantas. Esses taninos são utilizados, principalmente, na indústria de couro para a curtição (Beazley 1981, Mazzoni-Viveiros & Costa 2003). A indústria americana de petróleo também utiliza tanino proveniente de casca de árvore de mangue como lubrificante de brocas (Beazley 1981). *Quercus aegilops* L. (Fagaceae), o carvalho, foi uma das primeiras árvores a ser utilizada comercialmente para a extração e utilização dos taninos. É encontrada no Oriente Médio e ainda foi usada até a década de 80 no mercado mundial para esse fim (Beazley 1981).

A borracha é também outro composto extraído da casca de algumas árvores como a *Hevea brasiliensis* (Willd.) Muell.-Arg. (Euphorbiaceae), popularmente conhecida como seringueira (Roth 1981).

1.4.2. Definição e constituição

A periderme é o tecido que substitui a epiderme de caules e raízes em crescimento secundário, cuja estrutura se dá por uma mistura de tecidos (Kozłowski 1971, Esau 1974, Fahn 1974, Mauseth 1988, Raven *et al.*, 2001, Mazzoni-Viveiros & Costa 2003). Algumas células da epiderme, córtex ou do floema secundário se tornam mitoticamente ativas e

formam um novo meristema denominado de felogênio (ou câmbio da casca), que é composto por apenas uma camada de células de paredes primárias. Além do felogênio, a periderme também é composta por felema (ou súber) e pela feloderme (Mauseth 1988, Mazzoni-Viveiros & Costa 2003, Kraus & Pisaneschi 2005).

Desenvolve-se como um tecido protetor nas plantas, principalmente em caules, raízes e frutos, ou como tecido de cicatrização em regiões expostas por necrose, ferimentos, ataques de parasitas, enxertia ou abscisão. A formação da periderme está, assim, relacionada não só com a idade do órgão, mas, também, com as condições ambientais e com possíveis lesões em sua superfície (Mazzoni-Viveiros & Costa 2003).

A utilização dos diferentes termos periderme, casca e ritidoma é bastante confusa, gerando dúvidas em suas definições (Richter *et al.* 1996). A casca da árvore é o conjunto de todos os tecidos que estão localizados para fora do câmbio vascular e inclui o floema, o ritidoma e a periderme. O ritidoma é o conjunto de tecidos externos à última periderme formada, consistindo de peridermes seqüenciais e de tecidos por elas englobados, incluindo freqüentemente porções de tecidos de origem primária, como camadas do floema mais externo (Esau 1974, Richter *et al.* 1996, Mazzoni-Viveiros & Costa 2003).

As lenticelas são extensões da periderme limitadas e caracterizadas pelo arranjo menos compacto (frouxo) e resultante da atividade mais intensa do felogênio em relação às demais regiões da periderme; são impermeáveis à água e aos gases em geral, devido à presença de suberina nas paredes das células. Essa atividade do felogênio da lenticela produz inúmeras células, cujo conjunto é chamado de tecido de enchimento, resultando na formação da lenticela e fissuras em sua superfície responsáveis pela oxigenação dos tecidos do caule (Fahn 1974, Kawase 1981, Joly 1986, Mauseth 1988, Mazzoni-Viveiros & Costa 2003,

Rosner & Kartusch 2003, Graça & Pereira 2004, Kraus & Pisaneschi 2005). Além de estarem presentes em caules e raízes, as lenticelas também ocorrem em frutos, porém em menos quantidade, como maçãs e pêras exercendo a mesma função de oxigenação (Fahn 1974).

A formação da lenticela pode ocorrer concomitantemente com o desenvolvimento da primeira periderme. Normalmente, as lenticelas da primeira periderme se formam a partir de células do córtex localizadas abaixo de um ou mais estômatos da epiderme caulinar. Essas células se dividem com intensa atividade meristemática originando o próprio felogênio, como é observado em *Quercus suber* L. (Fagaceae) (Fahn 1974, Mazzoni-Viveiros & Costa 2003, Graça & Pereira 2004).

Outra função das lenticelas é auxiliar os processos de trocas gasosas com o meio em raízes submersas, principalmente em espécies de regiões alagadas, como o mangue. A deficiência de oxigênio no solo promove uma redução da respiração aeróbica e, também, o metabolismo do hormônio etileno, que inibe o alongamento da raiz e a indução de aerênquima. Apesar disso tudo, uma desvantagem da lenticela é ser a região da casca mais favorável à invasão de patógenos (Kawase 1981, Jackson & Drew 1984, Kozłowski 1984, Joly 1986, Lambers *et al.* 1998, Rosner & Kartusch 2003, Graça & Pereira 2004).

O acúleo é outra estrutura presente na periderme e é classificado como um tricoma rígido. Sua formação se dá por uma projeção pequena, alongada e aguda do córtex e da epiderme e apresenta aspecto de espinho (Font Quer 1953, Ferri *et al.* 1969), porém difere desta estrutura por não apresentar elementos condutores. São estruturas de defesa da planta que reduzem a interação com herbívoros, assim como os espinhos (Ferri *et al.* 1969).

O desenvolvimento e a estrutura da periderme têm sido aspectos pouco estudados (Angyalossy-Alfonso 1983), embora forneçam importantes informações taxonômicas, filogenéticas (Roth 1981, Richter *et al.* 1996) e ecológicas (Maciel 1993, Alves 1996, Costa *et al.* 1997). Os trabalhos mais conhecidos relacionados à periderme são voltados aos estudos taxonômicos e filogenéticos (Roth 1981), descrição, caracterização anatômica e utilização da casca de espécies nativas do Brasil (Angyalossy-Alfonso 1983, Maciel 1993, Alves 1996, Costa *et al.* 1997).

1.4.3. Aspectos ecofisiológicos

As características estruturais da periderme, bem como suas propriedades físico-químicas, podem conferir maior ou menor grau de adaptação da planta às condições ambientais em que se encontra (Maciel 1993, Costa *et al.* 1997) e, ainda, criar um microclima junto ao tronco favorável ao desenvolvimento de epífitas (Benzing 1990, Marcelli 1992, Labiak & Prado 1998).

Em espécies de deserto, a ausência de lenticelas na periderme confere uma redução na perda de água e, portanto, maior adaptação às condições xéricas. Por outro lado, em espécies cujos caules ficam submersos, as lenticelas sofrem hipertrofia e promovem aumento do tecido de enchimento e dos espaços intercelulares e, conseqüentemente, da aeração (Kawase 1981, Joly 1986).

A periderme protege a planta contra temperaturas extremas causando um isolamento térmico diretamente proporcional à espessura da casca, evitando, assim, superaquecimento das estruturas internas (Maciel 1993). A cor externa da casca, que é conferida pela periderme,

tem um importante papel na proteção à intensidade luminosa, sendo que as cores claras são as que conferem à planta maior grau de adaptação às condições tropicais, pois refletem a luz e evitam o superaquecimento dos tecidos (Haberlandt 1926 *apud* Roth 1981), como ocorre em algumas espécies arbóreas de cerrado, cujo clima é muito quente e há ocorrência de fogo (Maciel 1993).

A presença de compostos químicos hidrossolúveis sobre a superfície externa da periderme favorece, normalmente, a fixação e o crescimento de epífitas (líquens, briófitas e vasculares), enquanto que luminosidade intensa sobre a mesma superfície pode ser fator limitante para o desenvolvimento de epífitas vasculares e briófitas. Alguns estudos, dentre outros, têm demonstrado uma correlação da ocorrência de epífitas vasculares com a capacidade da casca em reter umidade (Benzing 1990), com o valor de pH da casca (Barkman 1958 *apud* Benzing 1990), com cascas mais ricas em íons (Benzing & Renfrow 1974 *apud* Benzing 1990) ou em compostos fenólicos (Frei & Dodson, 1972 *apud* Benzing 1990), assim como com cascas que apresentam microflora apropriada à germinação de epífitas, como no caso de orquídeas que requerem a ação de fungos para tanto (Benzing 1990).

A periderme de tubérculos favorece proteção contra patógenos e desidratação (Lulai & Freeman 2001) e, também, apresentam atividade antifúngica, caracterizada pela distribuição de compostos fenólicos presentes em todo o corpo da planta, inclusive na periderme (Stange Jr. *et al.* 2001).

II. OBJETIVOS

Acredita-se que a análise do desenvolvimento da periderme caulinar, em diferentes condições atmosféricas, e a descrição das estruturas caulinar e radicular venham fornecer importantes dados para a identificação da espécie verdadeira de pau-brasil (Roth 1981, Angyalossy-Alfonso 1983), bem como para diagnosticar se tais características podem representar algum grau de adaptação às diferentes condições ambientais ou, até mesmo, verificar se suas alterações podem chegar a prejudicar sua relação com epífitas e, conseqüentemente, diminuir a biodiversidade nas áreas afetadas (Mazzoni-Viveiros & Costa 2003).

O objetivo do presente trabalho foi, portanto, avaliar a periderme caulinar do pau-brasil sob diferentes condições atmosféricas da cidade de São Paulo, buscando-se:

- ✓ Avaliar a periderme caulinar do pau-brasil quanto aos seus elementos constituintes e suas características quali e quantitativas em ambiente controlado;
- ✓ Quantificar as lenticelas e os acúleos presentes na periderme do pau-brasil em diferentes condições atmosféricas;
- ✓ Comparar a estrutura da periderme caulinar em diferentes condições atmosféricas (grau de resistência e/ou susceptibilidade aos poluentes urbanos);
- ✓ Avaliar a espessura dos tecidos produzidos pelo câmbio e pelo felogênio buscando uma possível relação entre a produção desses tecidos e a poluição atmosférica.

III. MATERIAL E MÉTODOS

III.1. DESCRIÇÃO DAS ÁREAS DE EXPOSIÇÃO

Segundo Fenger (1999), São Paulo é a terceira cidade mais poluída do mundo. Apesar de ter tido sucesso em alguns programas de controle de emissão de poluentes, resultantes de seu rápido crescimento industrial, e conseguir reduzir substancialmente a concentração de SO₂ na década de 1980, a qualidade do ar é, ainda, alarmante devido ao excesso de poluentes oriundos de veículos automotores. Além desses problemas, São Paulo também sofre com efeitos de inversão térmica e condições desfavoráveis para a dispersão dos poluentes, especialmente entre os meses de Maio a Setembro (CETESB 1998, 2001).

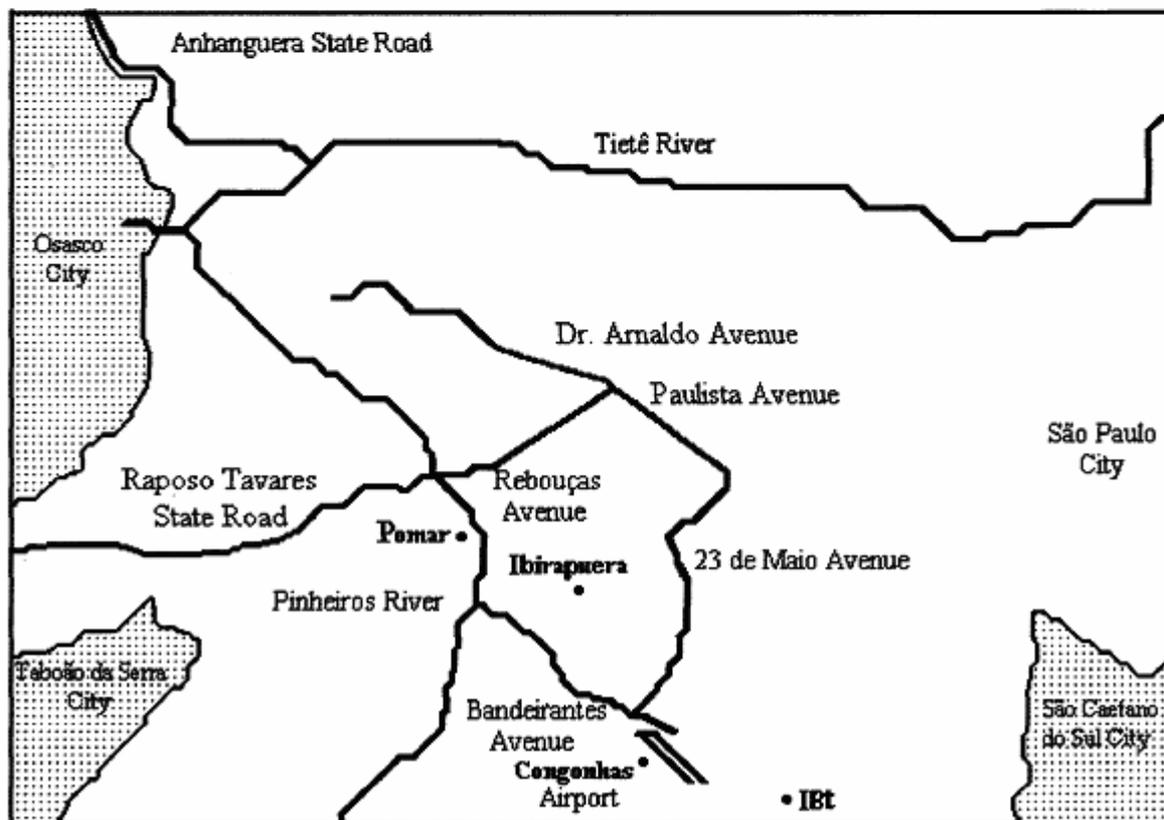
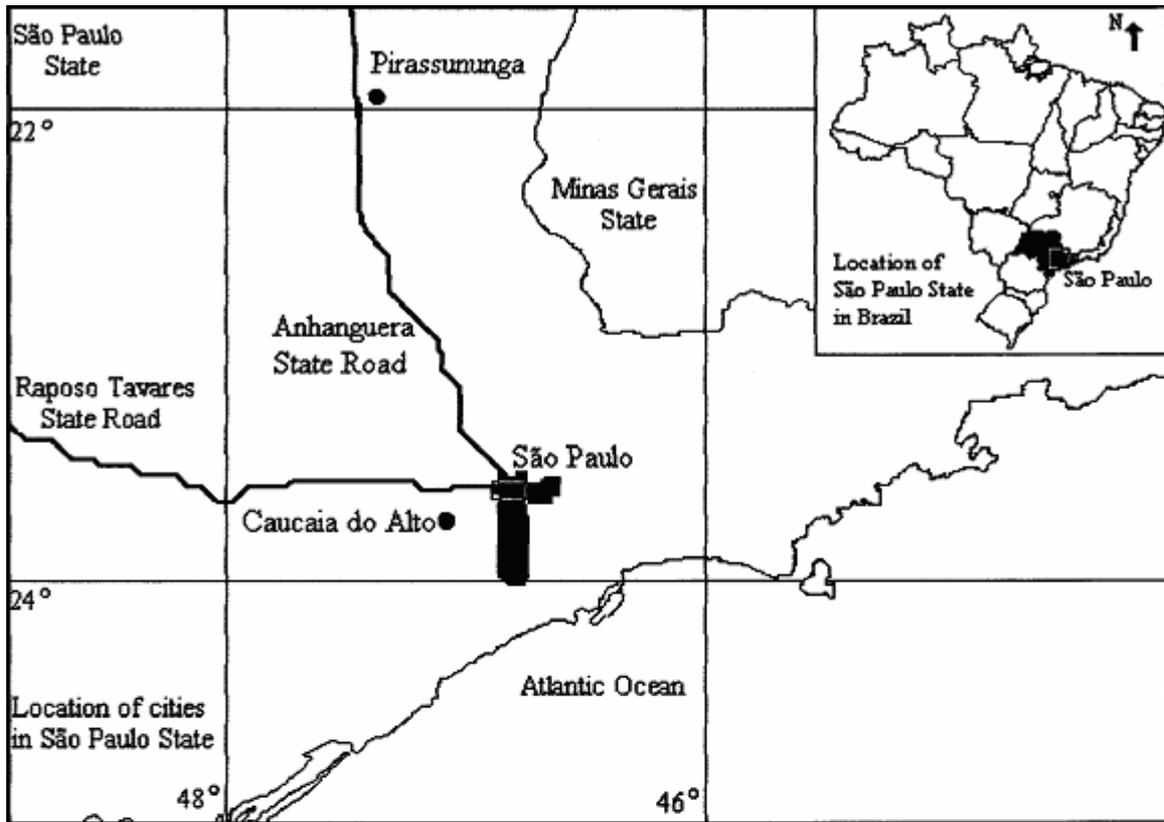
Com base nessas informações e em dados publicados pela CETESB (2004), as áreas de exposição foram determinadas em quatro pontos distintos da cidade de São Paulo (Fig. 02 a 06), que apresentam diferentes níveis e tipos de poluentes atmosféricos e localizam-se próximas a estações de medições da CETESB (Tabela 01). São elas:

- Casa de Vegetação (CV), instalada dentro do Instituto de Botânica de São Paulo, com condições ambientais controladas (luz, temperatura e umidade) e ar filtrado;
- Aeroporto de Congonhas (C), localizado no cruzamento das Avenidas dos Bandeirantes e Vinte e Três de Maio, cujo tráfego de automóveis, ônibus e caminhões é bastante intenso e apresenta atmosfera contaminada por partículas inaláveis, monóxido de carbono e óxidos de enxofre e nitrogênio;
- Viveiro Manequinho Lopes (I), situado dentro do Parque do Ibirapuera, que apresenta altas concentrações de ozônio, principalmente;

- Marginal Pinheiros/Projeto Pomar da Secretaria do Meio Ambiente (P), com intenso tráfego de carros e caminhões e apresentando atmosfera contaminada por partículas inaláveis, óxidos de enxofre e nitrogênio, ozônio e poluentes orgânicos volatilizados do Rio Pinheiros.

De acordo com as descrições acima, a área controle (Casa de Vegetação) é a mais protegida e livre de estresse para a planta, as áreas de Congonhas e Pomar se assemelham entre si quanto aos poluentes e são intermediárias entre a área controle e o Ibirapuera, cuja atmosfera é a mais estressante para a planta (Tabela 01). Dados referentes à temperatura média, precipitação, umidade relativa e irradiância mostraram-se bastante semelhantes nas quatro áreas de estudo, segundo Bulbovas *et al.* (2004).

Figura 02. (a) Localização da cidade de São Paulo, sudeste do Brasil. (b) Localização das áreas de estudo na cidade de São Paulo, Casa de Vegetação – Instituto de Botânica (IBt), Congonhas, Ibirapuera e Pomar. Mapa: Y.T. Rocha.





Figuras 03 a 06. Áreas de exposição.

Fig. 03 – Casa de Vegetação (área controle).

Fig. 04 – Aeroporto de Congonhas.

Fig. 05 – Parque do Ibirapuera.

Fig. 06 – Marginal Pinheiros (Projeto Pomar SMA).

Tabela 01. Valores médios das concentrações de poluentes ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) medidas entre os meses de Janeiro/2002 e Janeiro/2004 nas áreas de Congonhas, Ibirapuera e Pomar. Fonte: CETESB. (MP₁₀ = material particulado com diâmetro inferior a 10 μm ; PI = partículas inaláveis com diâmetro inferior a 2,5 μm).

Poluente	CO	MP ₁₀	NO	NO ₂	NO _x	O ₃	PI	SO ₂
Congonhas	1,89	49,28	162,79	83,63	141,32	*	77,00	19,34
Ibirapuera	0,69	49,55	19,65	35,35	37,05	36,90	43,81	6,58
Pomar	*	53,15	61,29	33,32	66,93	21,27	55,30	7,95

* valores muito baixos, portanto não são medidos

III.2. MATERIAL BIOLÓGICO E SISTEMA DE EXPOSIÇÃO

Para o presente trabalho foram utilizadas amostras de periderme caulinar provenientes de três indivíduos jovens de *C. echinata* (pau-brasil) de cada área de exposição, espécie da família Leguminosae e subfamília Caesalpinioideae, nativa de Mata Atlântica.

As plantas foram originadas da Reserva Biológica de Mogi Guaçu e divididas em quatro lotes e distribuídas nas quatro áreas determinadas para o estudo.

O sistema de exposição das plantas nos locais, de acordo com as condições ambientais, foi adaptado daquele proposto por Arndt & Schweizer (1991). As plantas foram irrigadas por capilaridade, através de barbantes de náilon inseridos na base dos vasos e em contato com as raízes em uma das extremidades. A outra extremidade ficou mergulhada em reservatório de água, garantindo suprimento hídrico constante às plantas. A cada 15 dias, as plantas receberam 250 ml de adubo Peters adicionado no substrato.

III.3. COLETA E PREPARO DO MATERIAL

Nos períodos de Abril/2003 e Março/2004 foram coletadas as amostras dos lotes experimentais correspondentes aos 12 e 24 meses de exposição. Todo o material foi fixado em FAA₇₀ (Johansen 1940) por 48 horas, mantido sob vácuo periodicamente, e acondicionado, posteriormente, em etanol 70%.

As amostras da porção basal do caule (colo) foram submetidas à hidratação a partir de etanol 70%, segundo a série etanólica decrescente, permanecendo ao final de 24 horas em

água destilada. Em seguida, foram mantidas em estufa a 60°C em polietilenoglicol a 20% (PEG 20%), cuja concentração atingia 100% após cerca de 72 horas, sendo o material submetido ao emblocamento em PEG puro (Freund 1970, Richter 1981).

Secções transversais das amostras basais do caule foram obtidas através do micrótomo de deslize (marca Leica ®), com espessuras que variaram entre 10 e 16 µm, com auxílio de fita adesiva transparente (Richter 1981). Em seguida, as secções foram colocadas em água e submetidas à coloração com azul de toluidina a 0,5% e à dupla coloração com azul de astra e safranina aquosa a 1% e (Kraus & Arduin 1997).

Após secagem, as secções foram colocadas em lâmina de vidro sobre uma fina camada de adesivo de Haupt (Haupt 1930) e prensadas por uma semana com auxílio de duas lâminas de madeira em morça, intercalando-se as lâminas de vidro com plástico fino. Depois desse período, as lâminas foram mergulhadas em xilol puro para a liberação da fita adesiva e montadas em resina Permout.

As observações e as documentações fotográficas foram feitas em fotomicroscópio (marca Carl Zeiss-Jena ® e modelo Jenamed 2 ®).

III.4. PARÂMETROS AVALIADOS

Foram realizadas contagens de lenticelas e acúleos por área caulinar (cm²) de toda a extensão do caule em estereomicroscópio com câmara clara acoplada (marca Carl Zeiss-Jena ® e modelo Citoval 2 ®). O caule foi dividido em cinco faixas de desenvolvimento para

comparação dos resultados (Fig. 07), cujo critério de divisão foi baseado no aspecto geral das lenticelas e dos acúleos em todos os entrenós da planta.

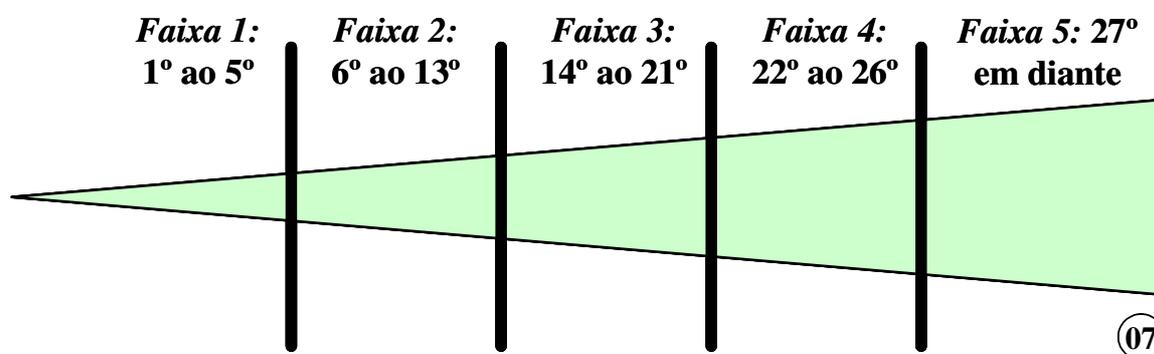


Figura 07. Esquema do eixo caulinar representando as cinco faixas de desenvolvimento.

Medidas referentes às espessuras do raio do lenho, casca e periderme, também foram realizadas a fim de verificar possível relação entre o desenvolvimento do câmbio e do felogênio sob os efeitos da poluição atmosférica. A figura 08 mostra, esquematicamente, como foram realizadas as medidas de espessura desses tecidos. Ressalta-se que para a medida do lenho foi incluída a medula.

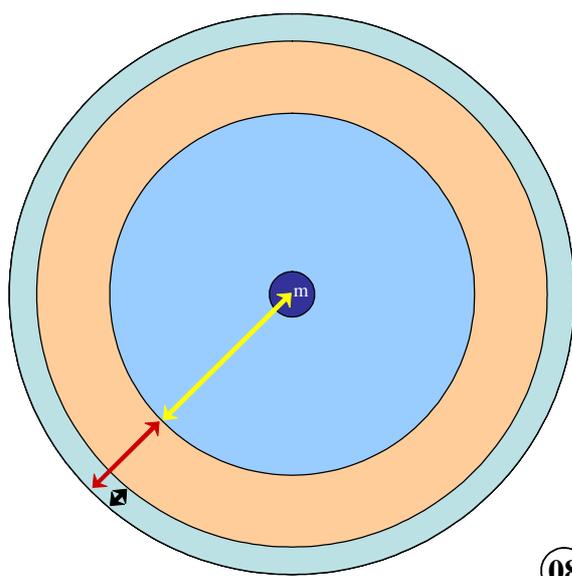


Figura 08. Esquema das medidas de espessura de lenho somado à medula (*seta amarela*), casca (*seta vermelha*) e periderme (*seta preta*) em secções transversais do caule. (**m** = medula)

III.5. ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados obtidos nas análises quantitativas foram submetidos às análises de estatística descritiva e de variância ao nível de 5% de probabilidade, utilizando os seguintes softwares BioEstat ® e Minitab for Windows ®. O teste estatístico utilizado foi o Teste de Bonferroni, que garante mais segurança nos dados estatísticos comparando de 3 a 5 grupos entre si e, assim, diminuindo a probabilidade de erros.

IV. RESULTADOS

IV.1. ASPECTO GERAL DAS PLANTAS

As plantas da área controle apresentaram-se mais desenvolvidas em relação às plantas das demais áreas nos dois períodos de estudo – após 12 e 24 meses de exposição – (Fig. 09 a 16).

Alterações quanto à fisionomia dos espécimes foram observadas em duas das quatro áreas de exposição, tais como: inclinação do caule em Congonhas (Fig. 10 e 14), e ramificação basal nas plantas do Pomar (Fig. 12 e 16).

IV.2. MORFOLOGIA EXTERNA DA PERIDERME

IV.2.1. Caracterização das lenticelas e acúleos ao longo do caule

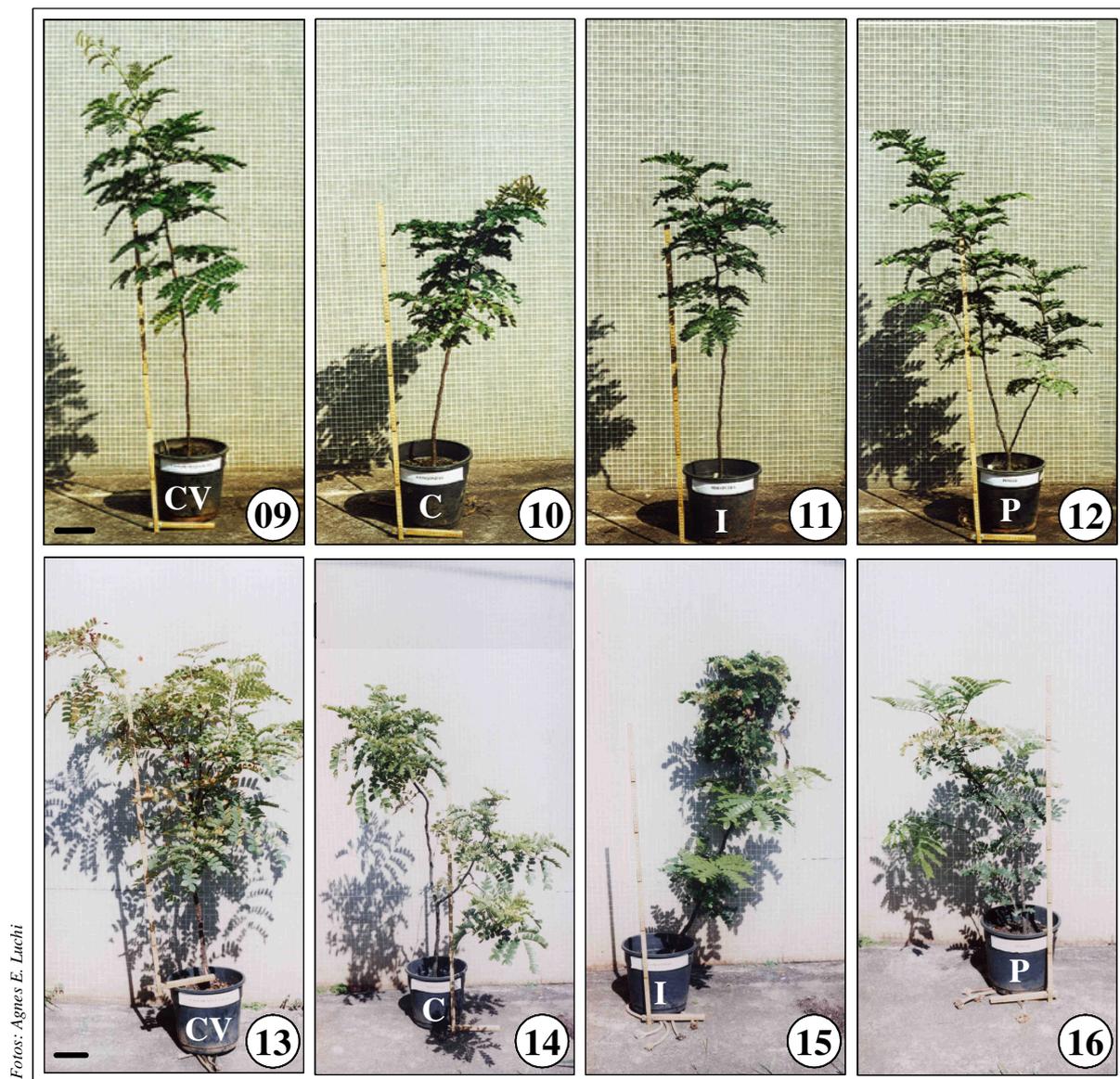
O pau-brasil apresenta periderme com aspecto liso, com coloração marrom-escura enquanto jovem, apresentando inúmeras lenticelas e acúleos distribuídos por toda sua extensão (Fig. 17A e 18). As lenticelas têm coloração mais clara contrastando com o felema (súber) e permitindo sua visualização a olho nu (Fig. 17B e 17C). Os acúleos se fixam fortemente a periderme, permanecendo por muito tempo no órgão caulinar. No entanto, em caules mais desenvolvidos se torna mais sensível ao manuseio, o que dificulta, inclusive, seu processamento para a obtenção de secções histológicas.

As figuras 17B e 17C mostram a variação de formas das lenticelas e dos acúleos de pau-brasil jovens distribuídos ao longo do caule. As lenticelas, à medida que o caule vai ficando mais velho, vão apresentando mais tecido de enchimento o que lhes confere um aspecto mais frouxo (Fig. 17B).

Pode-se observar, também, tricomas distribuídos pelos acúleos nas porções mais jovens do caule (Fig. 17C-b), que se perdem à medida que o caule da planta cresce. Tricomas se desenvolvem junto com a formação inicial do acúleo quando a periderme ainda não se instalou (Fig. 19 e 20). Esses tricomas são formados por duas células, uma basal e outra apical, que pode ser curta ou longa.

Os acúleos de pau-brasil têm sido erradamente confundidos com os espinhos, que são estruturas vascularizadas. Ao acompanhar o seu desenvolvimento, observou-se inicialmente divisões peri e anticlinais das células epidérmicas e sub-epidérmicas formando um grupo de células que continua a se dividir no plano periclinal originando, finalmente, uma emergência não vascularizada que pode ser denominada de acúleo (Fig. 21).

Outra característica dos acúleos ao longo do caule é o aparecimento da periderme em sua base e a perda do ápice, como pode ser visto nas faixas mais velhas (Fig. 18b a 18e).



Fotos: Agnes E. Luchi

Figuras 09 a 16. Aspecto geral das plantas coletadas após 12 meses (09 a 12) e após 24 meses (13 a 16) de exposição. CV = Casa de Vegetação, C = Congonhas, I = Ibirapuera, P = Pomar. Barras = 10 cm.

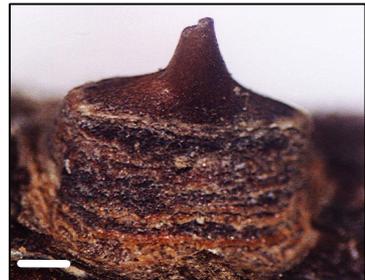
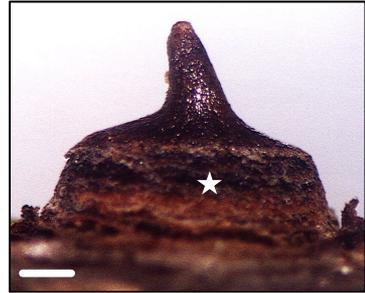
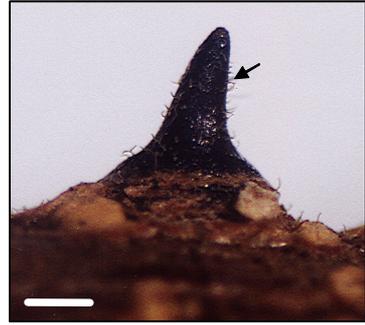
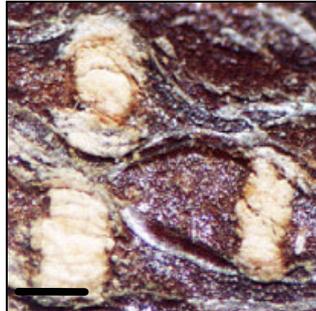
Figuras 17 e 18. Aspecto geral externo da periderme de *Caesalpinia echinata* (pau-brasil).

Fig. 17A. Aspecto geral do espécime após 12 meses de exposição.

Fig. 17B. Lenticelas; **a** – faixa 1, **b** – faixa 2, **c** – faixa 3, **d** – faixa 4, **e** – faixa 5. Barra = 0,5 mm.

Fig. 17C. Acúleos; **a** – faixa 1, **b** – faixa 2, **c** – faixa 3, **d** – faixa 4, **e** – faixa 5. Tricomas (*seta*). Base acúleo (*estrela*). Barras = 0,5 mm.

Fig. 18. Aspecto geral do espécime após 24 meses de exposição.



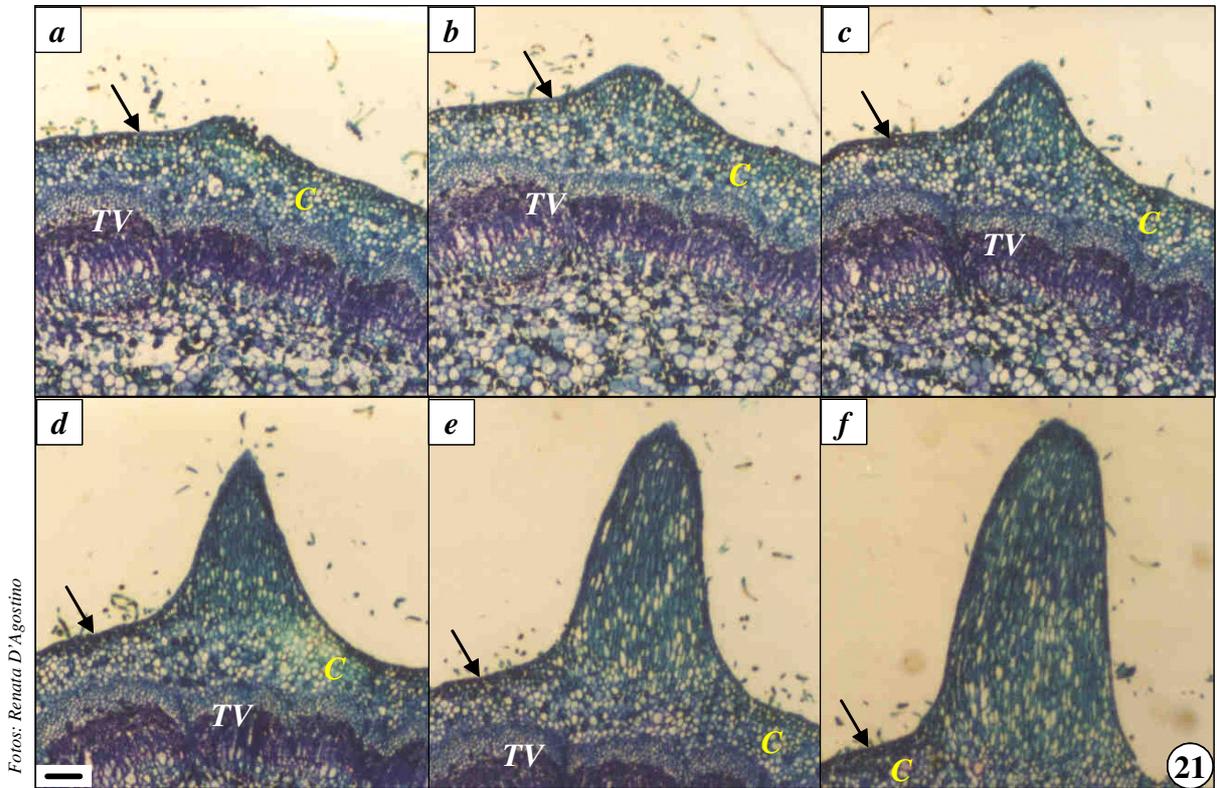
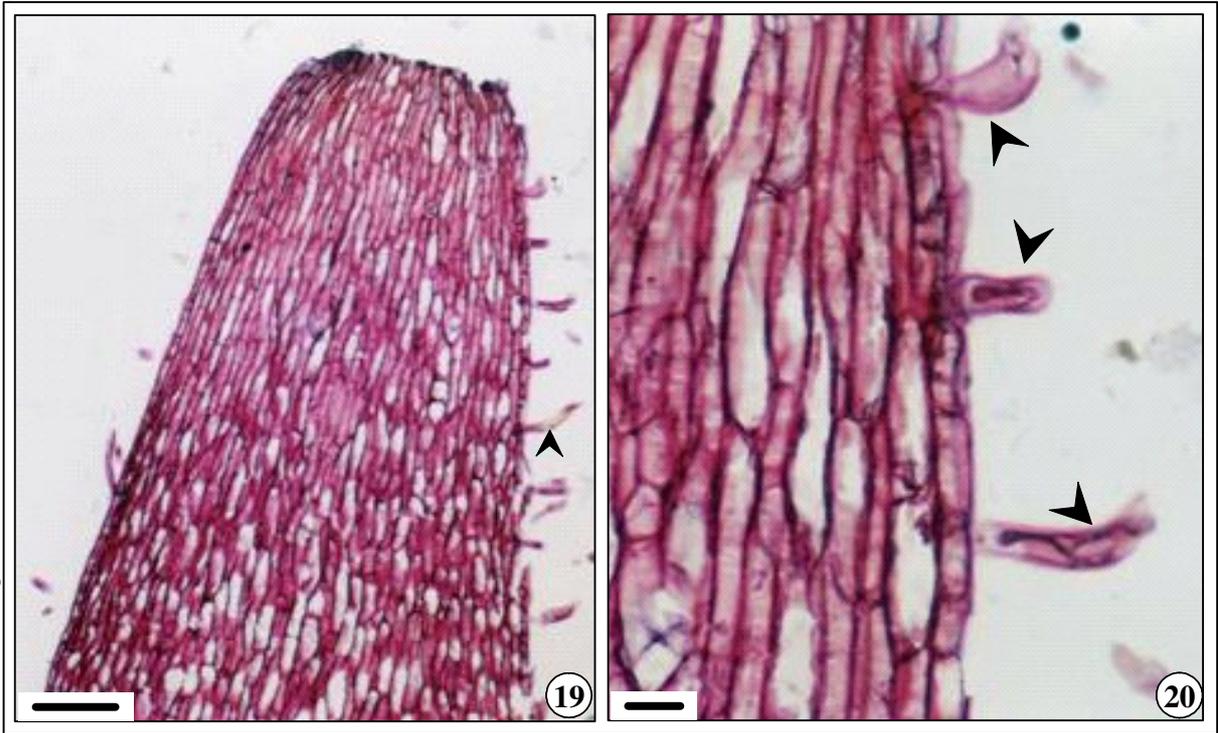
Figuras 19 a 21. Secção transversal do caule de *Caesalpinia echinata* (pau-brasil)

Fig. 19. Aspecto geral do acúleo com destaque para a presença de tricomas (*cabeça de seta*). Barra = 100 µm.

Fig. 20. Detalhe dos tricomas bicelulares. Barra = 10 µm.

Fig. 21. Fases do desenvolvimento do acúleo de pau-brasil destacando epiderme (*seta*), córtex (*C*) e tecido vascular (*TV*). Barra = 100 µm.

Fotos: Renata D'Agostino



Fotos: Renata D'Agostino

IV.2.2. Distribuição e quantificação de lenticelas e acúleos

A distribuição total de lenticelas nas quatro áreas, tanto após 12 quanto 24 meses de exposição, é mostrada nas figuras 22 e 23, onde o número de lenticelas das áreas mais poluídas é maior em relação à área controle nas plantas expostas após 12 meses. Diferenças significativas em relação aos valores médios de lenticelas também foram observadas (Fig. 24).

Os valores totais de acúleos nos dois períodos de exposição são apresentados nas figuras 25 e 26. Quanto aos valores médios de acúleos (Fig. 27), as plantas do Ibirapuera com 12 meses de exposição foram as que apresentaram maior número em relação às demais áreas (Fig. 27).

Entre os espécimes de cada área, foi observada uma tendência em apresentar mais lenticelas e acúleos na faixa 2 (Fig. 28 a 43), além de diferenças estatísticas entre as plantas da mesma área (Fig. 44 a 59). A distribuição total de lenticelas e acúleos por planta coletada nos dois períodos, bem como as diferenças estatísticas entre elas, pode ser vistas nas figuras 60 a 91.

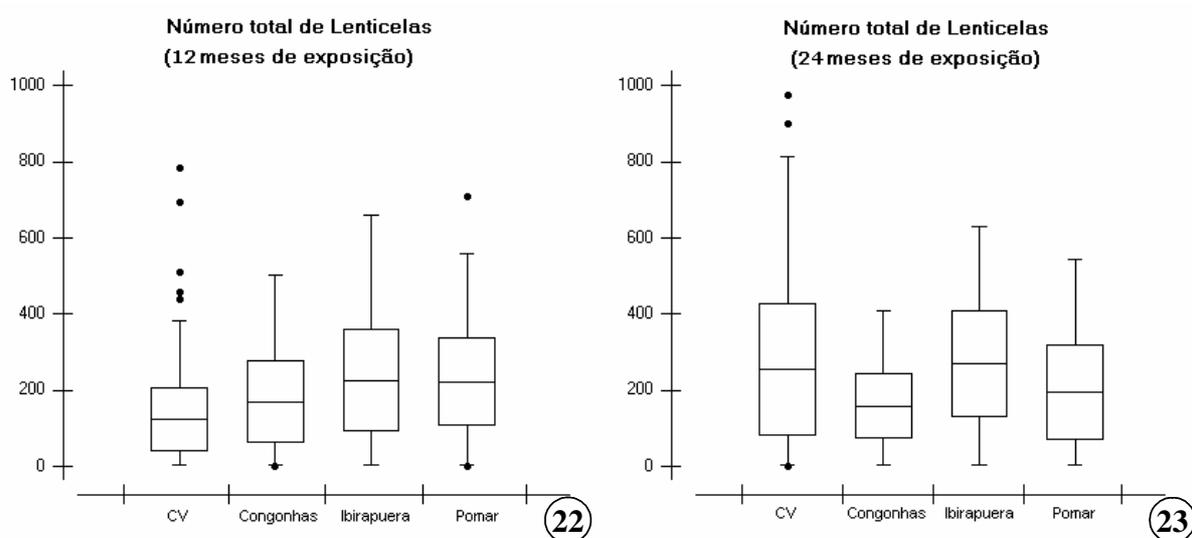
As plantas de Congonhas, após 24 meses de exposição, mostraram tendência em não apresentarem diferenças significativas quanto ao número de lenticelas quando comparadas às plantas coletadas 12 meses antes (Fig. 70 e 71). Nas áreas do Ibirapuera e do Pomar, os valores totais de lenticelas de cada espécime estudado após 24 meses não apresentaram diferença estatística quando comparadas às plantas coletadas no período anterior (Fig. 72 a 75).

Em relação aos valores totais de acúleos de cada espécime em cada área de exposição, não foram observadas diferenças estatísticas entre si quando comparamos as coletas após 12 e 24 meses de exposição aos poluentes (Fig. 76 a 83).

Os valores médios de lenticelas apresentaram diferenças significativas entre as faixas 1 e 2 do caule, onde estão localizados os entrenós mais jovens das plantas que se desenvolveram durante o primeiro ano de exposição (Fig. 44 a 47), exceto as plantas da área de Congonhas, que não apresentaram diferença significativa tanto após 12 quanto 24 meses de exposição (Fig. 44 a 51). A área que apresentou valores médios mais elevados foi a do Ibirapuera (Fig. 44 a 51 e Tabela 01).

Em relação aos valores médios de acúleos dentre as faixas de desenvolvimento do caule nas quatro áreas de exposição, também foi possível observar diferença significativa entre todas as áreas após 12 meses (Fig. 52 a 55). As maiores diferenças ocorreram nas faixas 3, 4 e 5, correspondente à região mais velha do caule. As faixas mais jovens, 1 e 2, não apresentaram diferença estatística, exceto na área controle.

Após 24 meses de exposição, as diferenças significativas quanto aos valores médios de acúleos foram menores quando comparados aos dados obtidos após 12 meses (Fig. 52 a 59). A área de Congonhas foi a única que não apresentou diferença entre as cinco faixas após 12 e 24 meses de exposição, mantendo, assim, a mesma proporção nos dois períodos (Fig. 52 a 59).



Figuras 22 e 23. Número total de lenticelas na periderme de *Caesalpinia echinata* (pau-brasil) em cada área após 12 e 24 meses de exposição, respectivamente. As linhas horizontais das caixas representam a média de lenticelas/área e as linhas verticais os desvios padrão. Valores extremos estão representados por ponto (•).

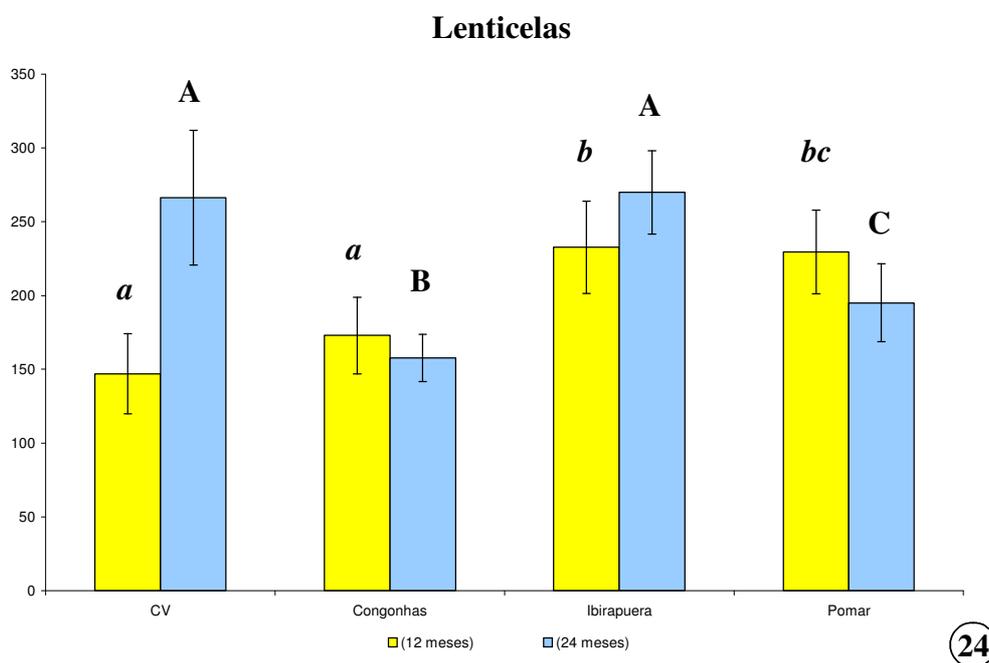
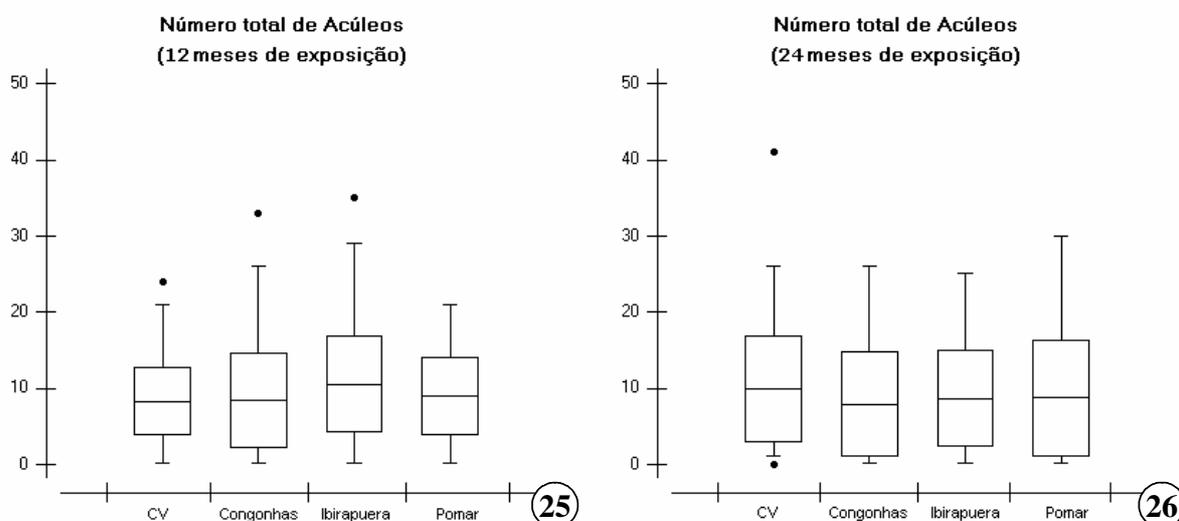


Figura 24. Valores médios de lenticelas na periderme de *Caesalpinia echinata* (pau-brasil) em plantas após 12 e 24 meses de exposição. Caracteres diferentes sobre as barras indicam diferenças significativas segundo o Teste de Bonferroni ao nível de 5% de probabilidade. As barras verticais indicam o intervalo de confiança entre as áreas de exposição.



Figuras 25 e 26. Número total de acúleos na periderme de *Caesalpinia echinata* (pau-brasil) em cada área após 12 e 24 meses de exposição, respectivamente. As linhas horizontais das caixas representam a média de acúleos/área e as linhas verticais os desvios padrão. Valores extremos estão representados por ponto (•).

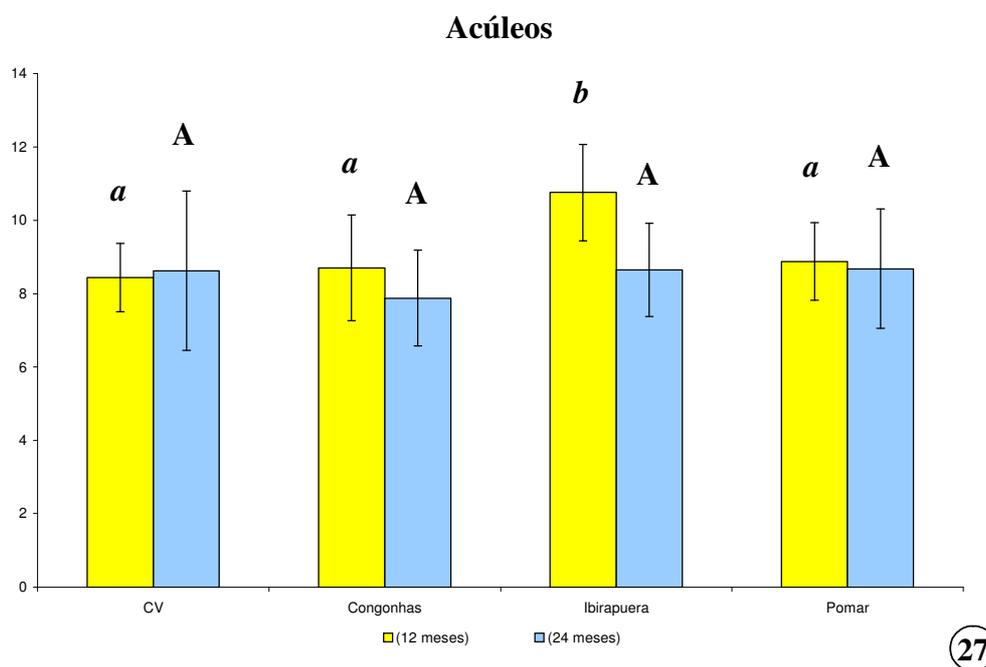


Figura 27. Valores médios de acúleos na periderme de *Caesalpinia echinata* (pau-brasil) em plantas após 12 e 24 meses de exposição. Caracteres diferentes sobre as barras indicam diferenças significativas segundo o Teste de Bonferroni ao nível de 5% de probabilidade. As barras verticais indicam o intervalo de confiança entre as áreas de exposição.

Figuras 28 a 35. Número total de lenticelas na periderme de *Caesalpinia echinata* (pau-brasil) por faixa caulinar em espécimes com 12 e 24 meses de exposição.

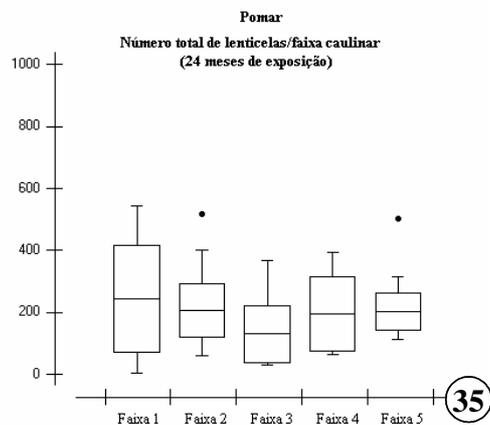
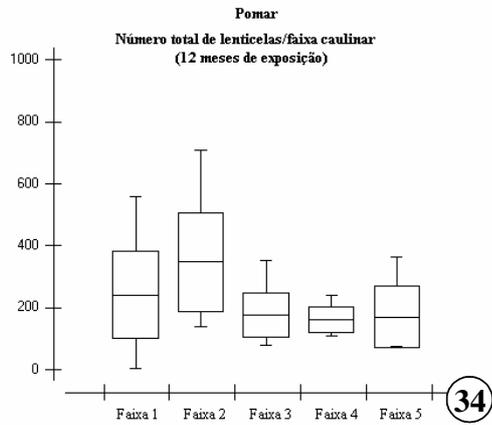
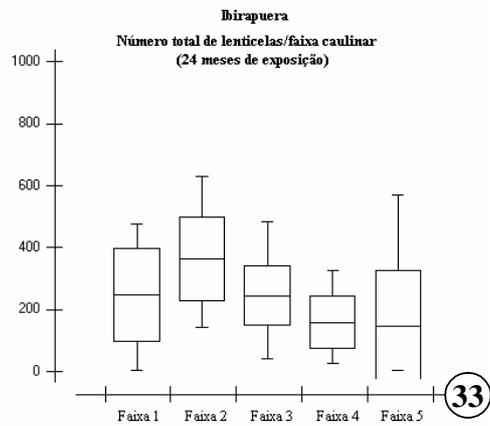
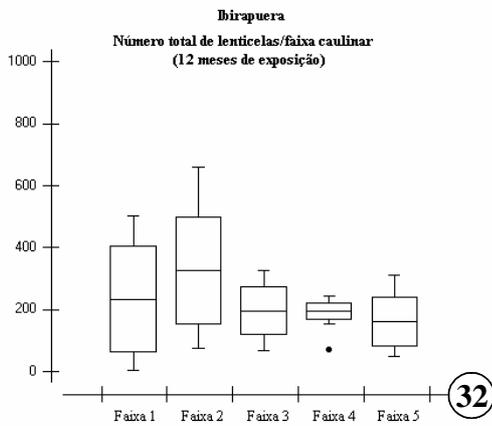
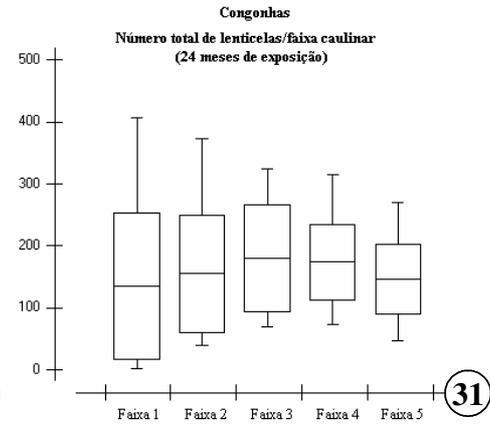
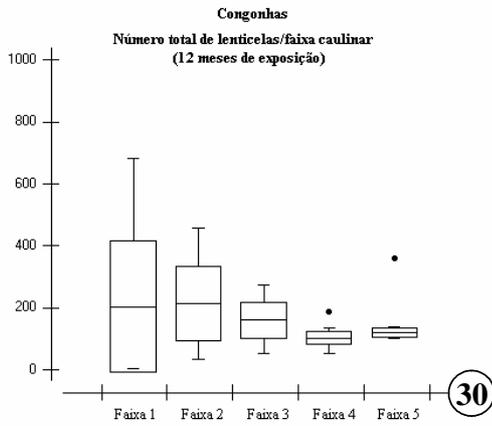
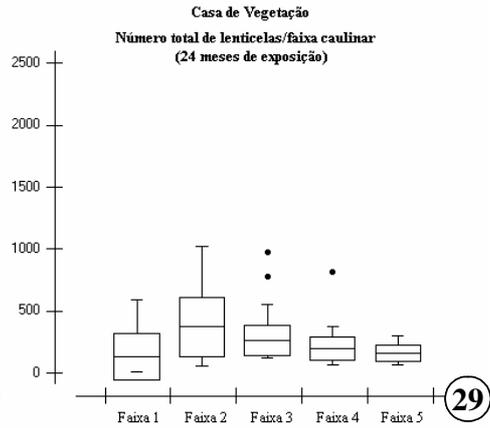
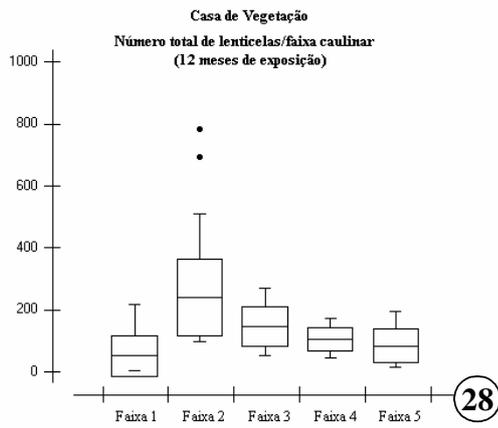
Fig. 28 e 29. Casa de Vegetação.

Fig. 30 e 31. Congonhas.

Fig. 32 e 33. Ibirapuera.

Fig. 34 e 35. Pomar.

As linhas horizontais centrais das caixas representam a média de lenticelas/faixa caulinar e as linhas verticais os desvios padrão. Valores extremos estão representados por ponto (●).



Figuras 36 a 43. Número total de acúleos na periderme de *Caesalpinia echinata* (paubrasil) por faixa caulinar em espécimes com 12 e 24 meses de exposição.

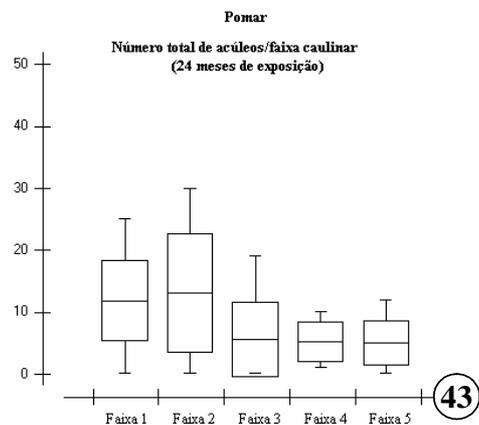
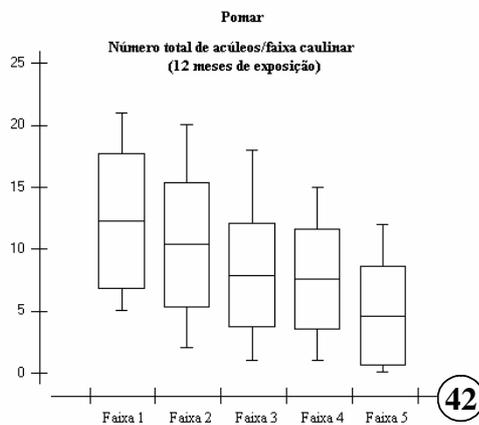
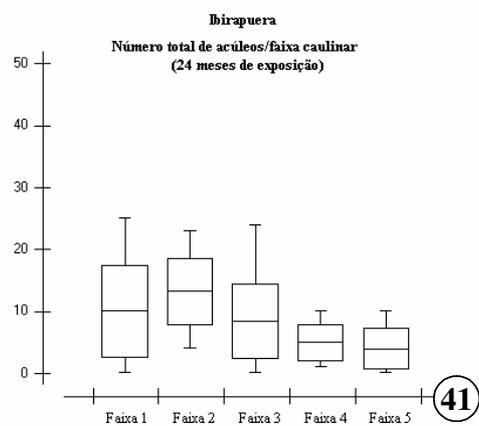
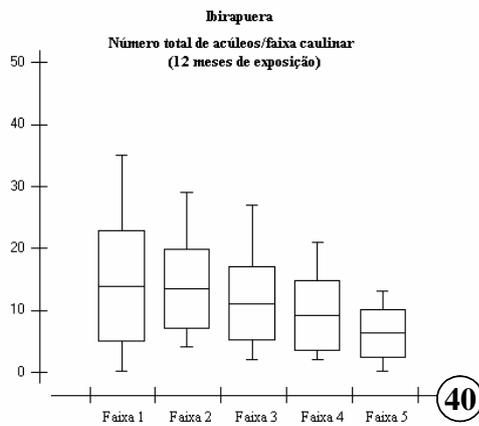
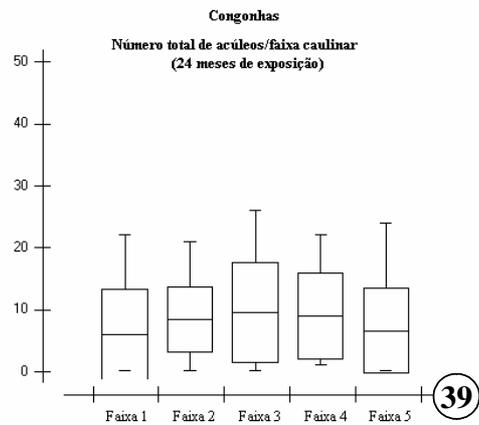
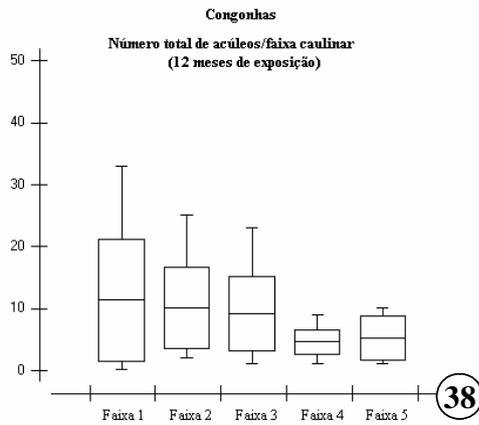
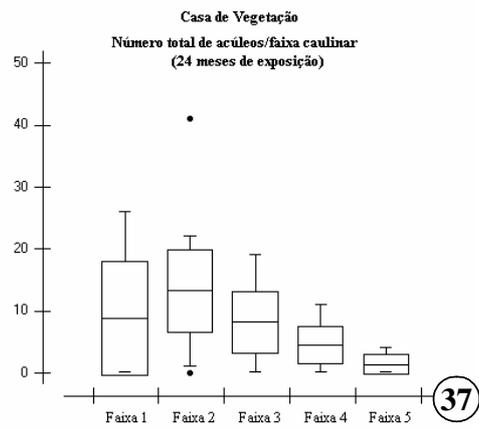
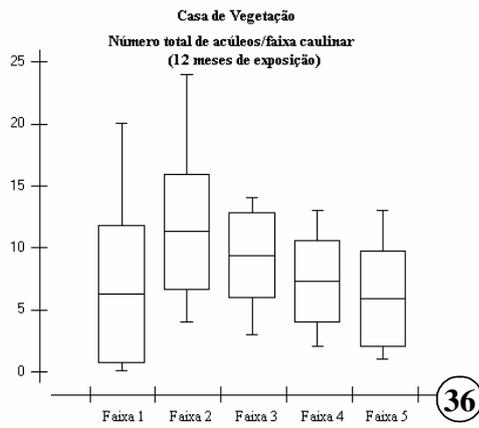
Fig. 36 e 37. Casa de Vegetação.

Fig. 38 e 39. Congonhas.

Fig. 40 e 41. Ibirapuera.

Fig. 42 e 43. Pomar.

As linhas horizontais centrais das caixas representam a média de acúleos/faixa caulinar e as linhas verticais os desvios padrão. Valores extremos estão representados por ponto (●).



Figuras 44 a 51. Valores totais (linhas) e médios (barras) de lenticelas na periderme de *Caesalpinia echinata* (pau-brasil) nos espécimes das quatro áreas após 12 (Fig. 44 a 47) e 24 (Fig. 48 a 51) meses de exposição.

Fig. 44 e 48. Casa de Vegetação.

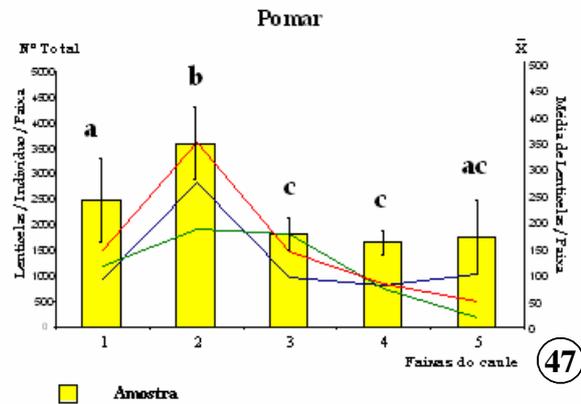
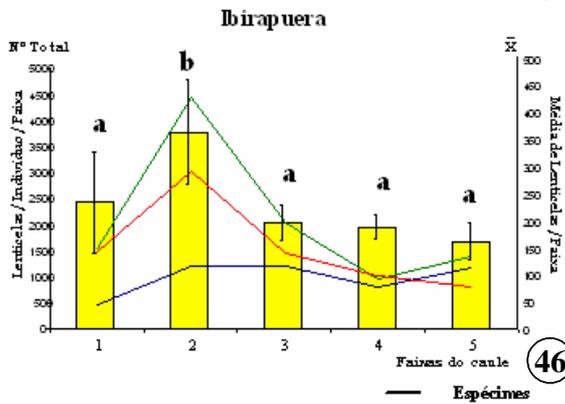
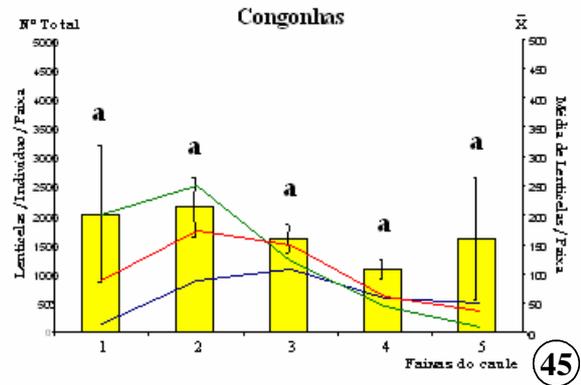
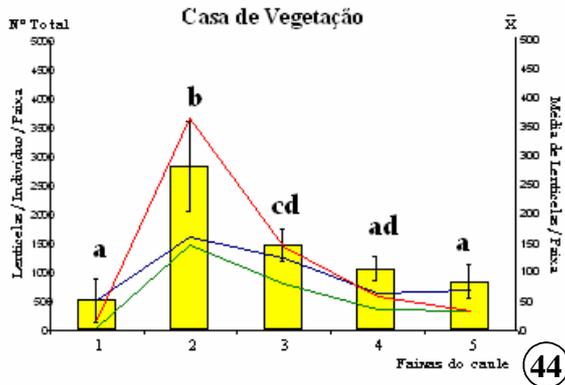
Fig. 45 e 49. Congonhas.

Fig. 46 e 50. Ibirapuera.

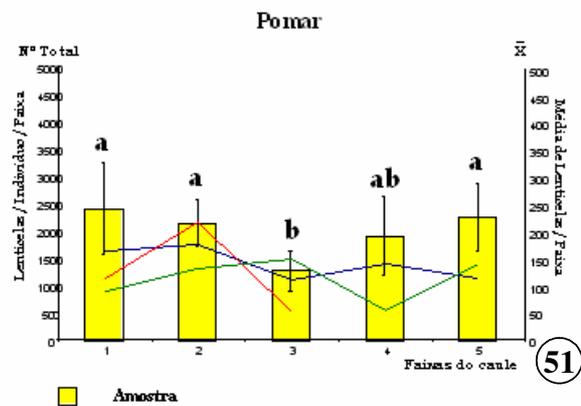
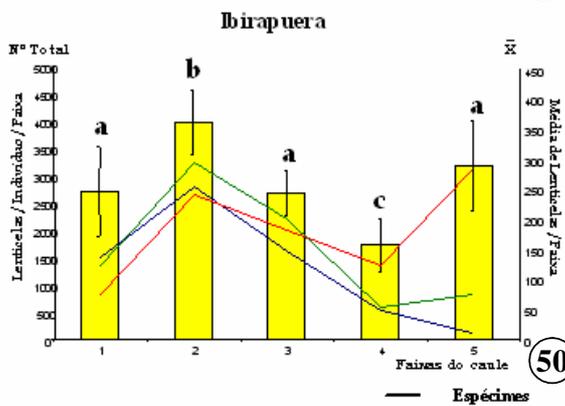
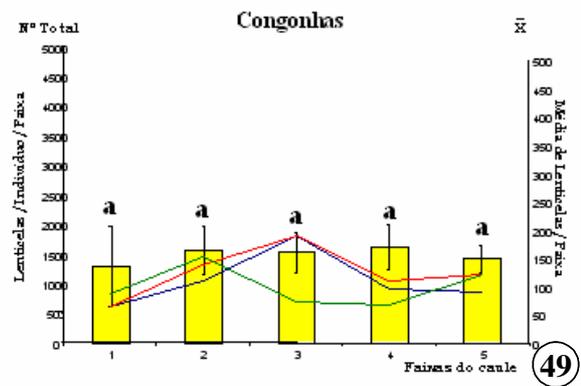
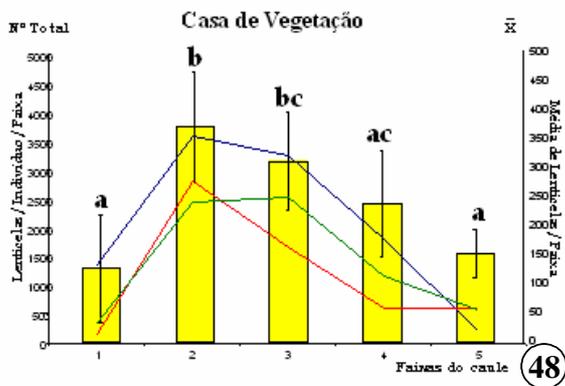
Fig. 47 e 51. Pomar.

Caracteres diferentes sobre as barras indicam diferenças significativas segundo o Teste de Bonferroni ao nível de 5% de probabilidade. As barras verticais apontam os intervalos de confiança dos espécimes nas cinco faixas de desenvolvimento.

12 meses



24 meses



Figuras 52 a 59. Valores totais (linhas) e médios (barras) de acúleos na periderme de *Caesalpinia echinata* (pau-brasil) nos espécimes das quatro áreas após 12 (Fig. 52 a 55) e 24 (Fig. 56 a 59) meses de exposição.

Fig. 52 e 56. Casa de Vegetação.

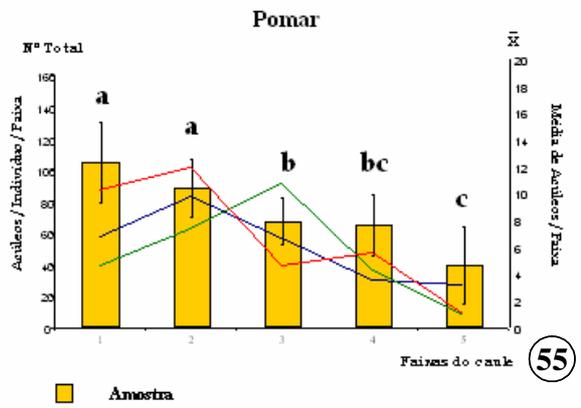
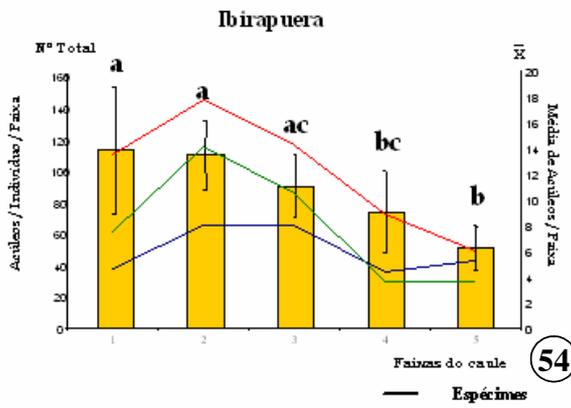
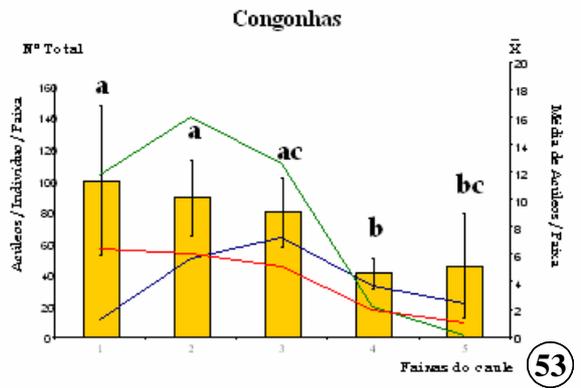
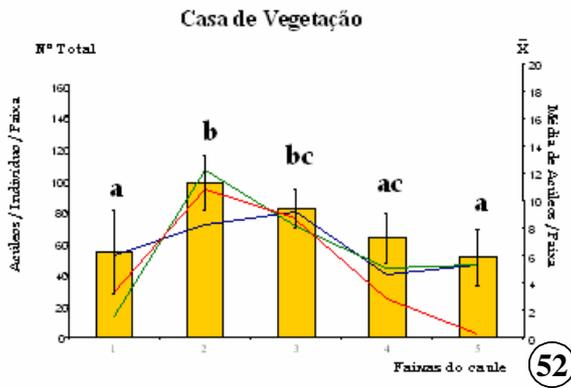
Fig. 53 e 57. Congonhas.

Fig. 54 e 58. Ibirapuera.

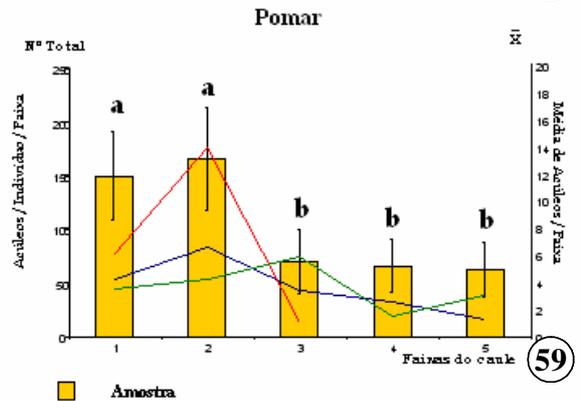
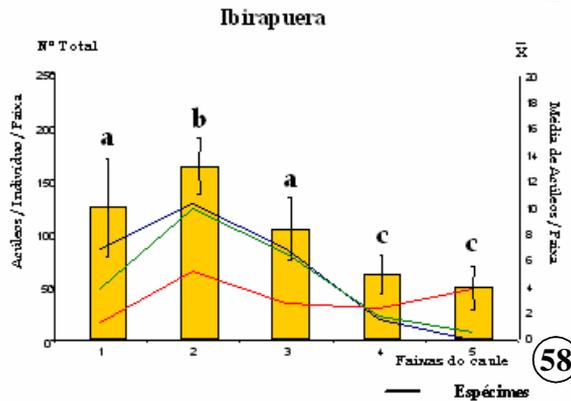
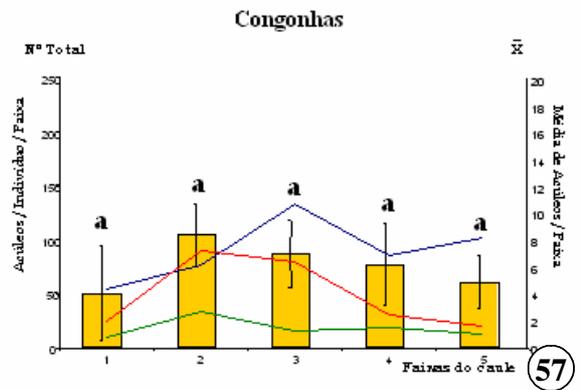
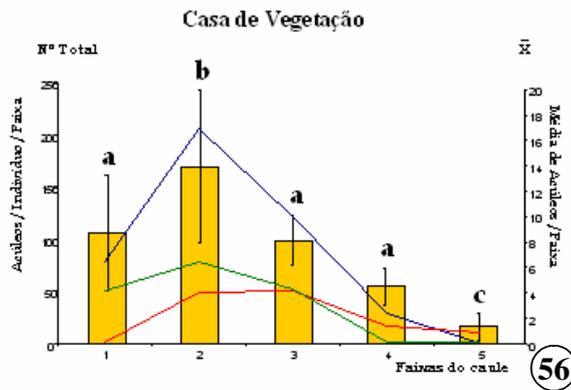
Fig. 55 e 59. Pomar.

Caracteres diferentes sobre as barras indicam diferenças significativas segundo o Teste de Bonferroni ao nível de 5% de probabilidade. As barras verticais apontam os intervalos de confiança dos espécimes nas cinco faixas de desenvolvimento.

12 meses



24 meses



Figuras 60 a 67. Valores totais de lenticelas na periderme de *Caesalpinia echinata* (pau-brasil) em cada espécime por área após 12 e 24 meses de exposição.

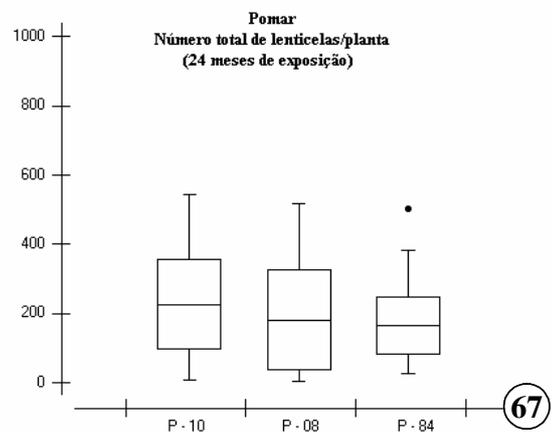
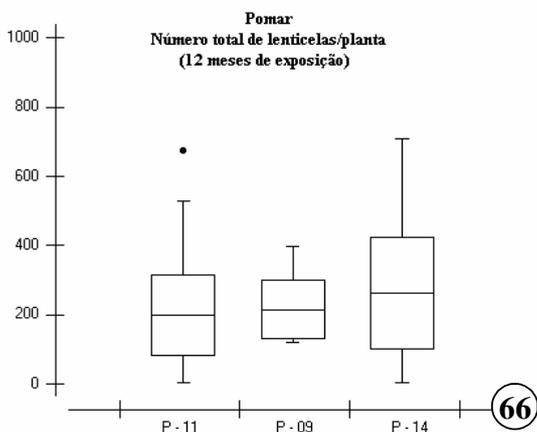
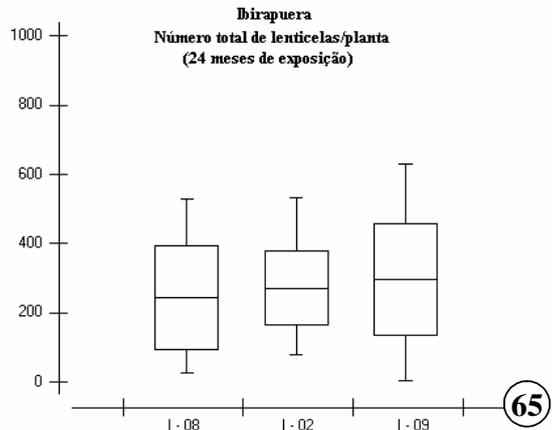
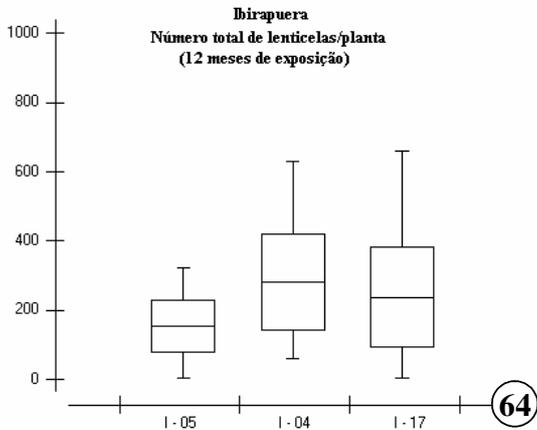
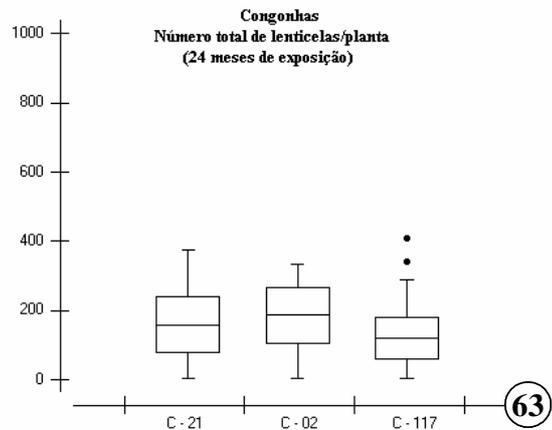
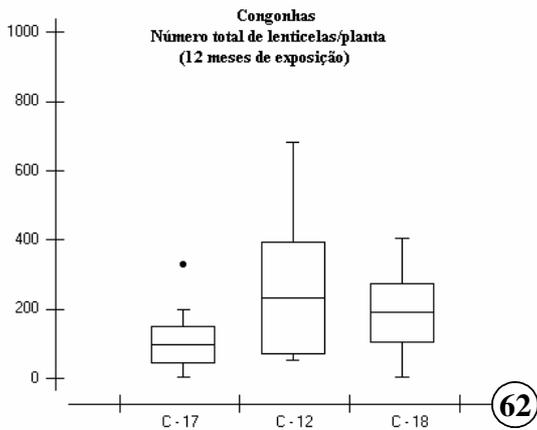
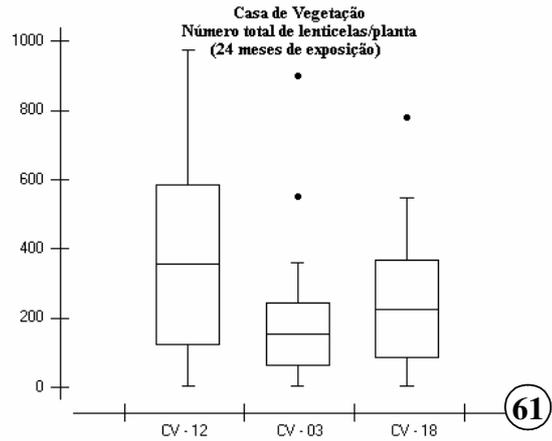
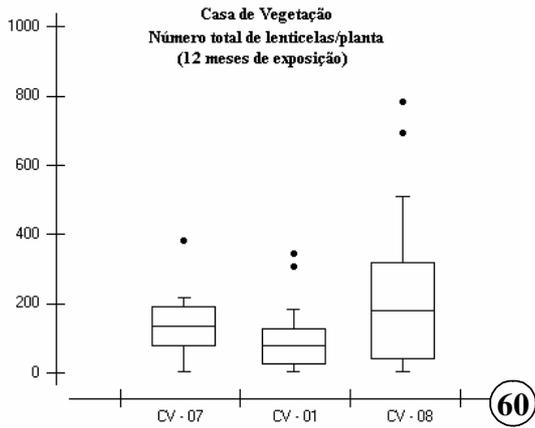
Fig. 60 e 61. Casa de Vegetação.

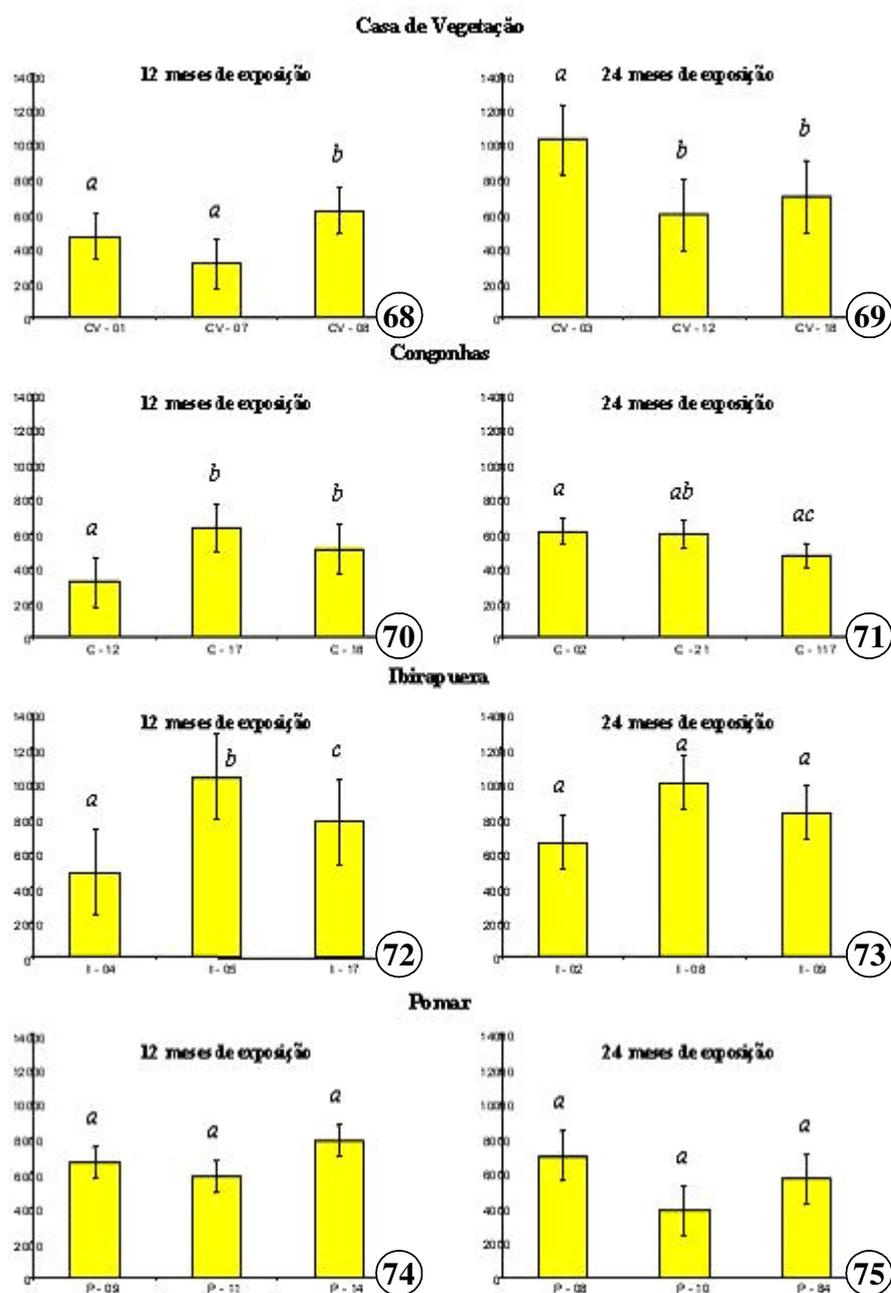
Fig. 62 e 63. Congonhas.

Fig. 64 e 65. Ibirapuera.

Fig. 66 e 67. Pomar.

As linhas horizontais centrais das caixas representam a média de lenticelas/faixa caulinar e as linhas verticais os desvios padrão. Valores extremos estão representados por ponto (●).





Figuras 68 a 75. Valores totais de lenticelas na periderme de *Caesalpinia echinata* (pau-brasil) em cada espécime por área após 12 e 24 meses de exposição. Fig. 68 e 69. Casa de Vegetação. Fig. 70 e 71. Congonhas. Fig. 72 e 73. Ibirapuera. Fig. 74 e 75. Pomar. Caracteres diferentes sobre as barras indicam diferenças significativas segundo o Teste de Bonferroni ao nível de 5% de probabilidade. As barras verticais indicam o desvio padrão entre os espécimes.

Figuras 76 a 83. Valores totais de acúleos na periderme de *Caesalpinia echinata* (pau-brasil) em cada espécime por área após 12 e 24 meses de exposição.

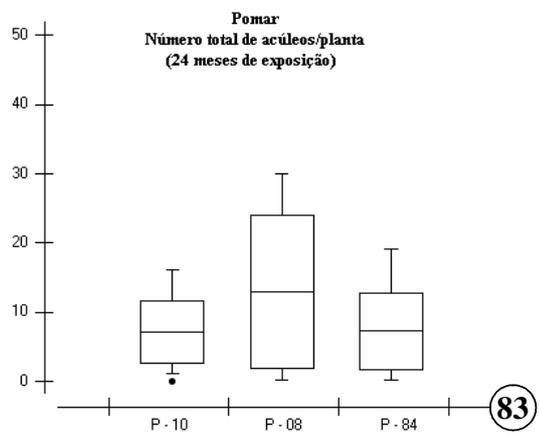
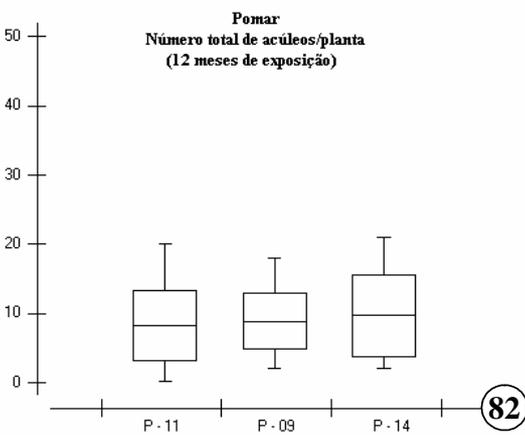
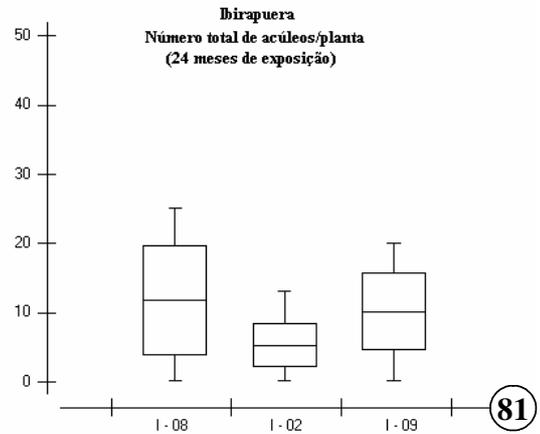
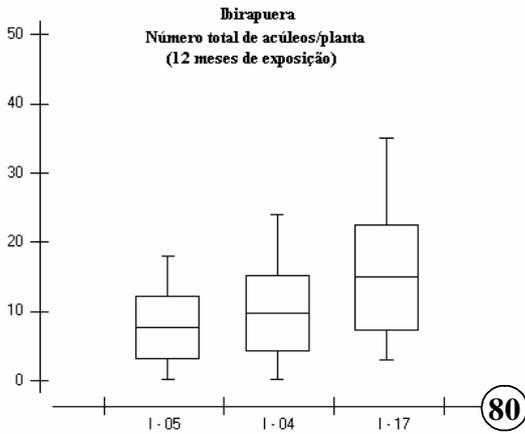
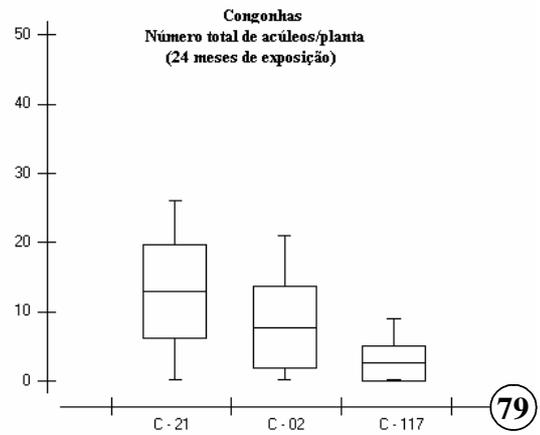
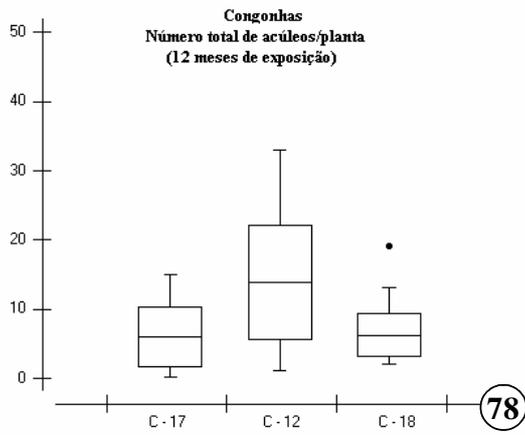
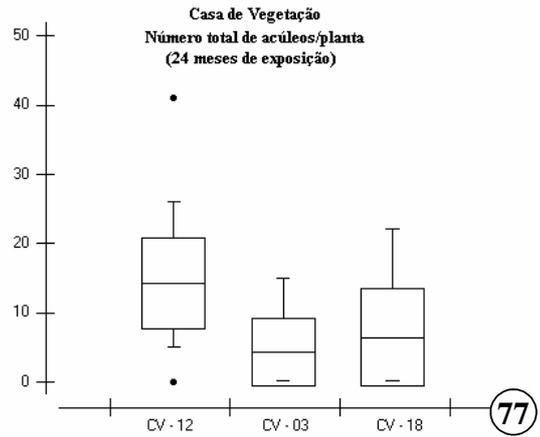
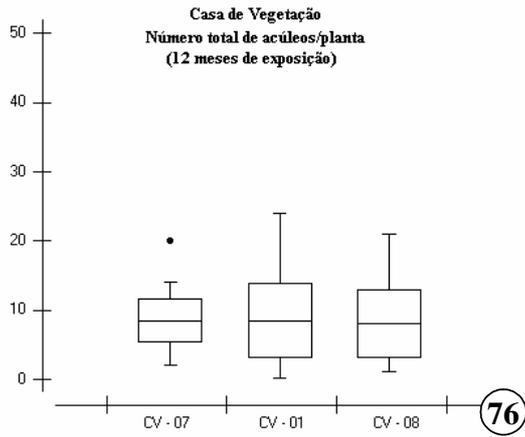
Fig. 76 e 77. Casa de Vegetação.

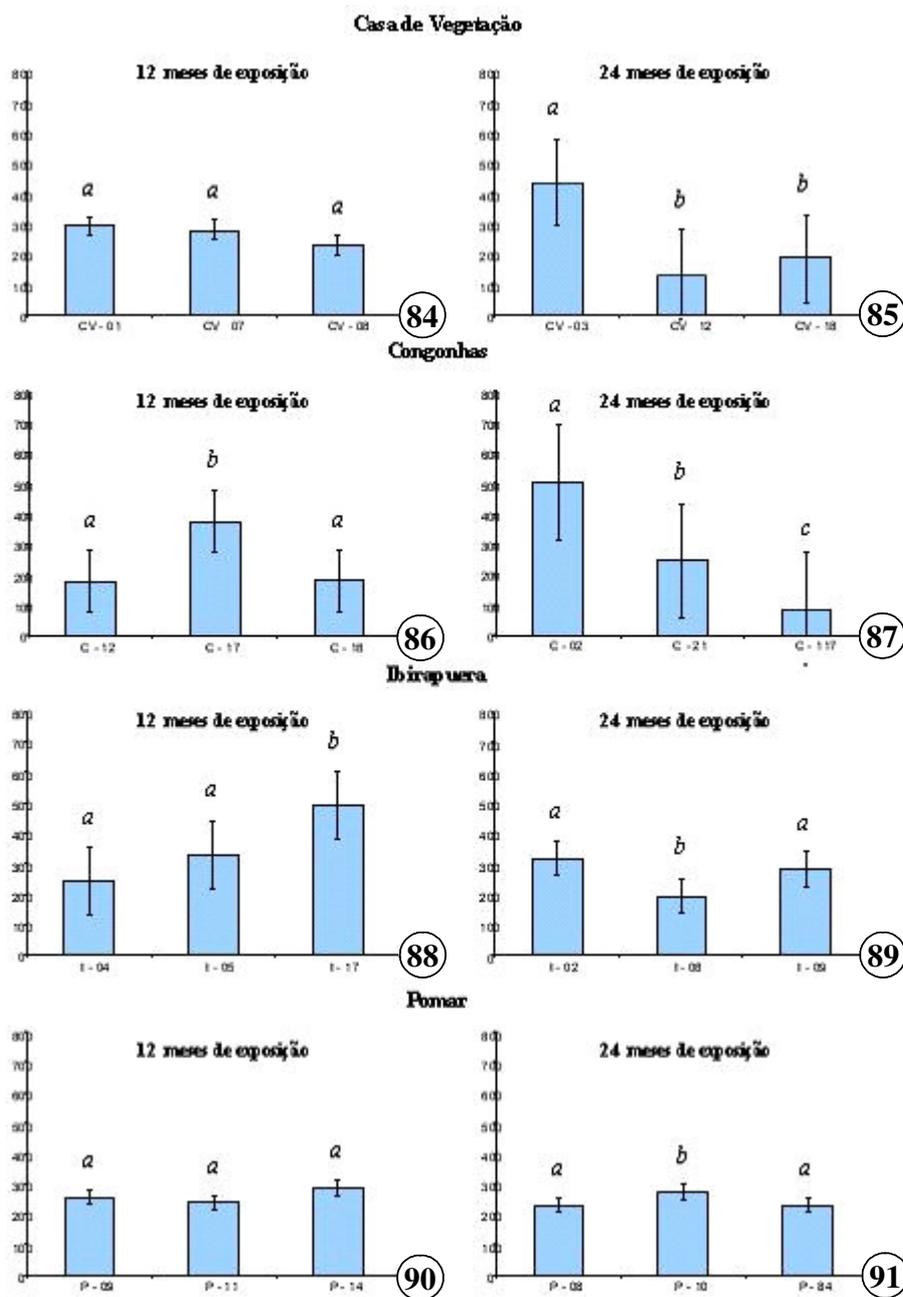
Fig. 78 e 79. Congonhas.

Fig. 80 e 81. Ibirapuera.

Fig. 82 e 83. Pomar.

As linhas horizontais centrais das caixas representam a média de lenticelas/faixa caulinar e as linhas verticais os desvios padrão. Valores extremos estão representados por ponto (●).





Figuras 84 a 91. Valores totais de acúleos na periderme de *Caesalpinia echinata* (pau-brasil) em cada espécime por área após 12 e 24 meses de exposição. Fig. 84 e 85. Casa de Vegetação. Fig. 86 e 87. Congonhas. Fig. 88 e 89. Ibirapuera. Fig. 90 e 91. Pomar. Caracteres diferentes sobre as barras indicam diferenças significativas segundo o Teste de Bonferroni ao nível de 5% de probabilidade. As barras verticais indicam o desvio padrão entre os espécimes.

IV.3. DESCRIÇÃO ESTRUTURAL DA PERIDERME DO PAU-BRASIL

A periderme do pau-brasil é composta por cerca de quatro camadas de células de formatos retangulares e as faces arredondadas caracterizando a feloderme; uma camada única de células retangulares que compõe o felogênio, que também é denominado de câmbio da casca; e pelo felema ou súber, tecido mais externo da periderme, é composto por 15 ou mais camadas de células mortas suberinizadas e de formato retangular em secção transversal (Fig. 92 a 98). Esclereídes são presentes na casca e formam uma camada de delimitação entre o córtex e a periderme do pau-brasil, que também apresenta idioblastos contendo cristais prismáticos (Fig. 93). O padrão geral da casca de pau-brasil pode ser visto na figura 92A. A figura 94 mostra o aspecto geral de uma lenticela caulinar de pau-brasil.

A periderme dos espécimes que ficaram sujeitas à poluição aérea de São Paulo apresenta maior fragilidade ao toque, descamando com mais facilidade em relação àquelas da área controle, além das plantas das áreas poluídas apresentaram cristais nas células da feloderme, o que não foi observado nos espécimes da área controle (Fig. 95 a 98).

Células contendo cristais próximas à camada de esclereídes da casca são características da espécie, camada final do tecido floemático que separa o córtex da periderme (Fig. 93), porém nas áreas mais poluídas foi possível observar uma maior distribuição de cristais e esclereídes diferenciados, com diminuição do grau de lignificação da parede (Fig. 99 a 102).

Figuras 92 a 94. Secções transversais do caule de *Caesalpinia echinata* Lam.

Fig. 92A. Padrão geral da casca do pau-brasil. Barra = 50µm.

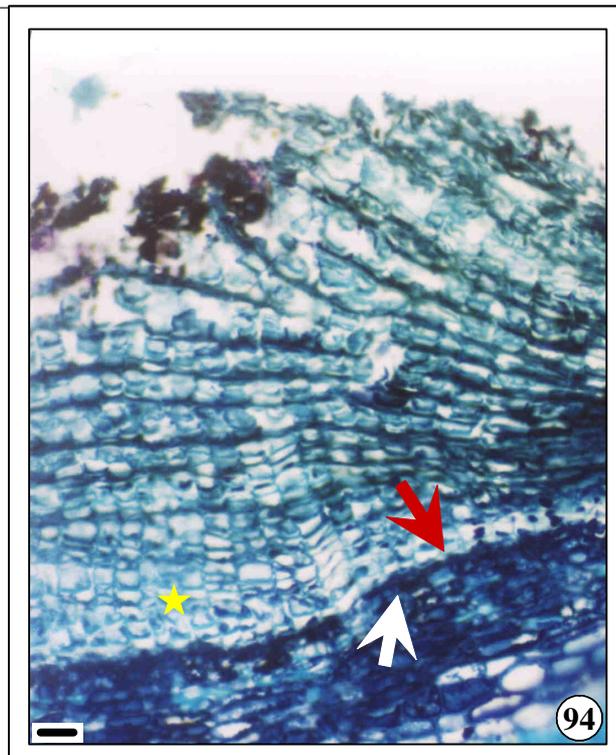
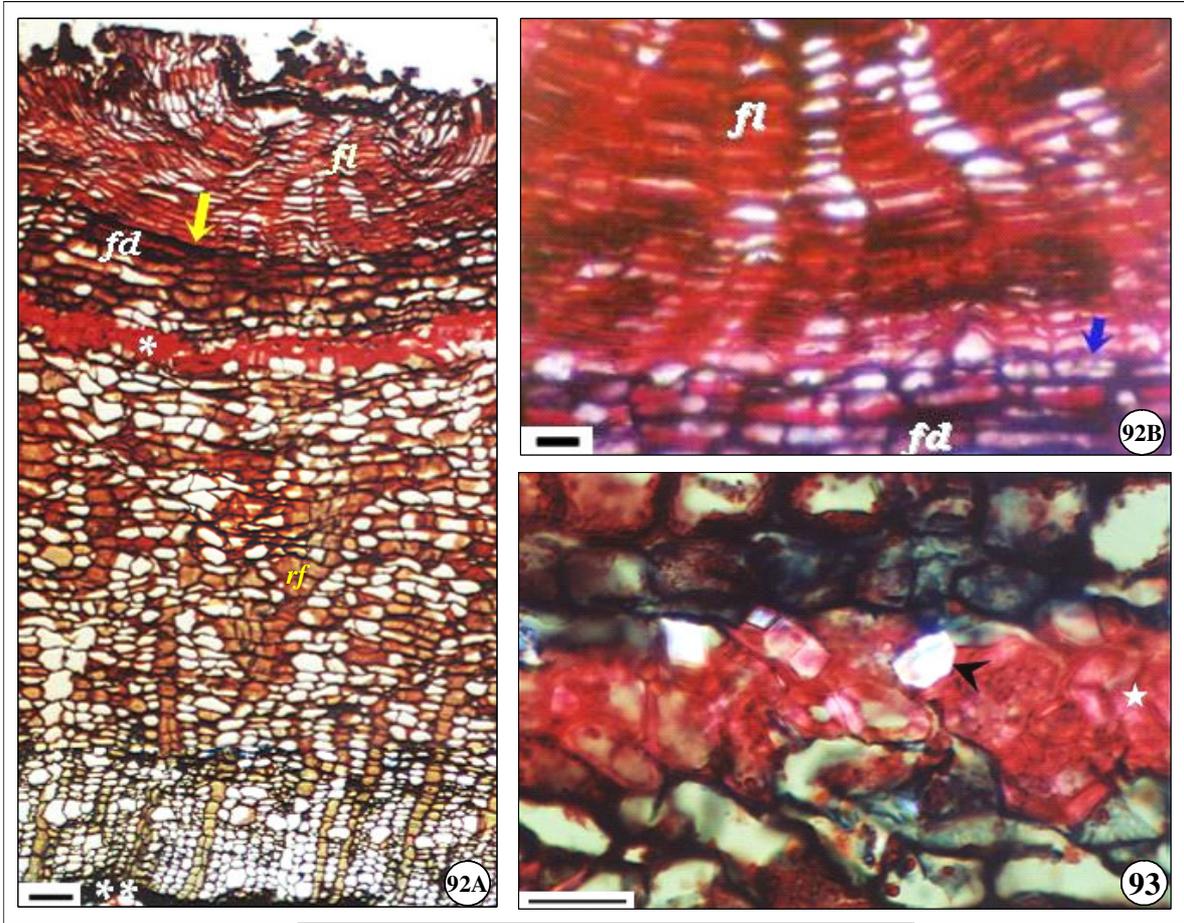
Fig. 92B. Tecidos que compõem a periderme do pau-brasil. Barra = 20µm.

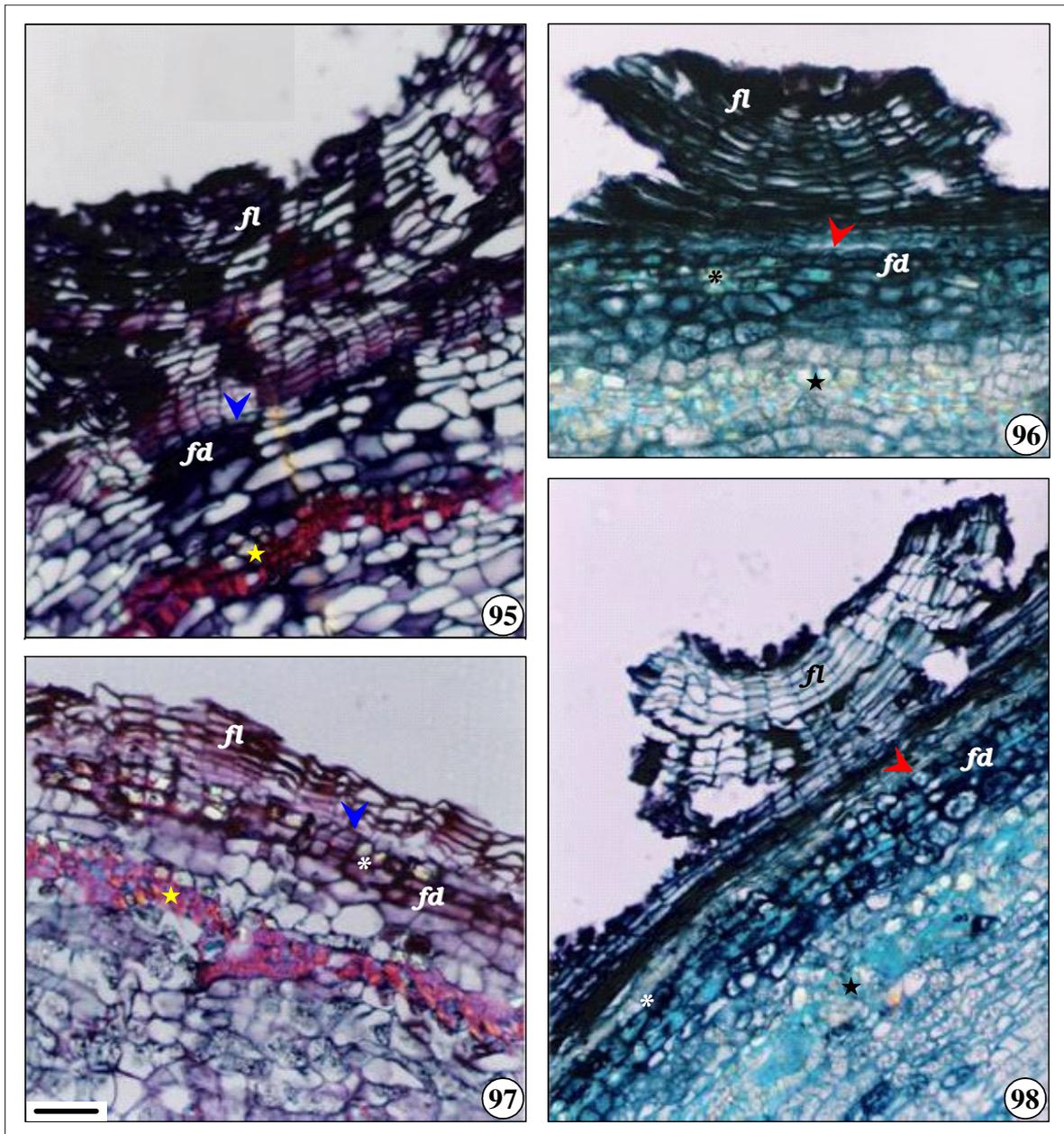
Fig. 93. Camada de esclereídes da casca do pau-brasil e cristais prismáticos presentes nesta camada. Barra = 100µm.

Fig. 94. Lenticela caulinar. Barra = 100µm.

(*fd* = feloderme; *fl* = felema; *seta amarela* e *seta azul* = felogênio; *seta vermelha* = felogênio da lenticela; *seta branca* = feloderme da lenticela; *estrela amarela* = tecido de enchimento; *rf* = raio floemático da casca; *estrela branca* = camada de esclereídes da casca do pau-brasil; * = esclereídes; ** = zona cambial; *cabeça de seta* = cristal)

Fotos: Renata D'Agostino





Fotos: Renata D'Agostino

Figuras 95 a 98. Secções transversais do caule de *Caesalpinia echinata* Lam. Barra = 50 μ m.

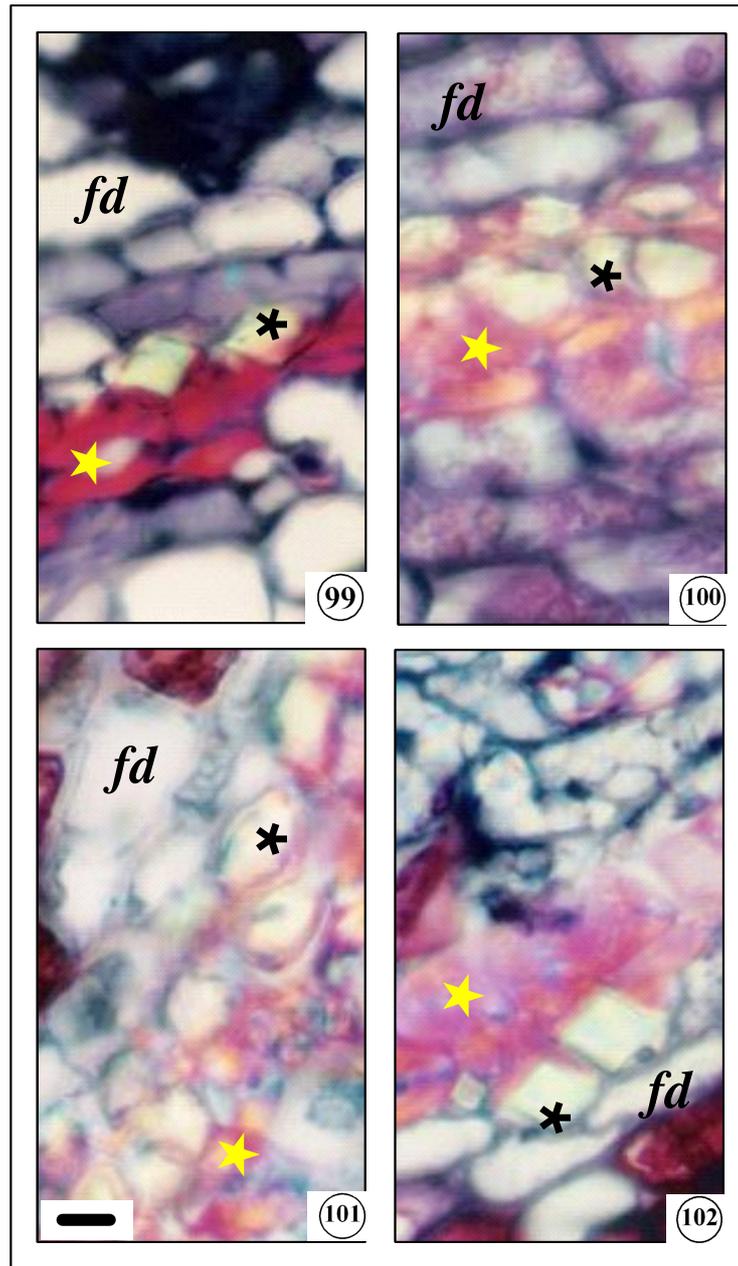
Fig. 95. Casa de Vegetação.

Fig. 96. Congonhas.

Fig. 97. Ibirapuera.

Fig. 98. Pomar.

(*fd* = feloderme; *fl* = felema; *cabeça de seta* = felogênio; *estrela* = camada de esclereídes;
* = cristal)



Figuras 99 a 102. Secções transversais caulinares de *Caesalpinia echinata* (pau-brasil). Cristais e esclereídes que delimitam o córtex caulinar. Barra = 50 μ m.

Fig. 99. Casa de Vegetação.

Fig. 100. Congonhas.

Fig. 101. Ibirapuera.

Fig. 102. Pomar.

(*fd* = feloderme; * = cristais; *estrela amarela* = camada de esclereídes)

IV.3.1. Espessura e relações com lenho e casca

Os valores médios de espessura de lenho, casca e periderme mostraram que há uma tendência em aumentar a produção do lenho e diminuir as produções da casca e da periderme nas áreas mais poluídas com diferenças significativas entre elas (Tabela 02 e Fig. 103 a 106).

Dentre essas áreas, a que apresentou maior valor de espessura de lenho foi a de Congonhas (Fig. 104) e a que apresentou maior valor de produção de periderme foi a do Pomar (Fig. 106). As relações *lenho:casca*, *lenho:periderme* e *casca:periderme* mostram as proporções de produção desses tecidos e confirmam esses dados (Tabela 02).

Tabela 02. Valores médios de espessura de lenho (L), casca (C) e periderme (P) em μm e das relações entre lenho:casca (L:C), lenho:periderme (L:P) e casca:periderme (C:P). Letras diferentes na horizontal indicam diferença significativa segundo o Teste de Bonferroni ao nível de 5% de probabilidade.

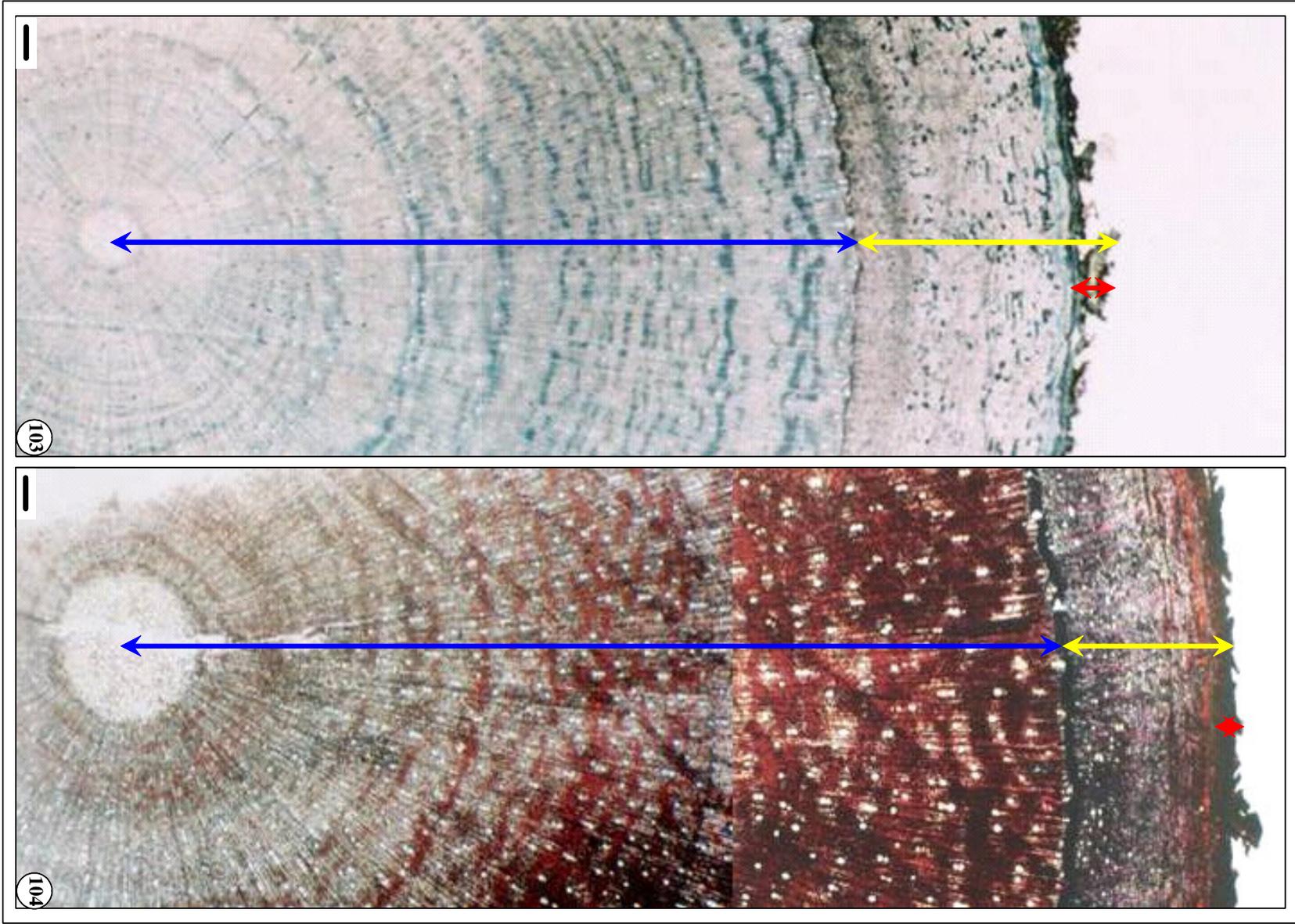
	Casa de Vegetação	Congonhas	Ibirapuera	Pomar
Lenho	5150,19 \pm 408,61 a	7406,11 \pm 770,83 b	5884,49 \pm 1285,98 c	6658,43 \pm 1638,50 d
Casca	1452,01 \pm 549,18 a	939,86 \pm 229,80 b	895,45 \pm 220,77 b	464,42 \pm 198,73 c
Periderme	296,60 \pm 147,49 a	153,92 \pm 56,45 b	137,73 \pm 58,73 c	198,73 \pm 77,89 d
L:C	4,02 \pm 1,30 a	8,53 \pm 2,95 b	7,23 \pm 3,60 c	6,89 \pm 2,46 c
L:P	21,59 \pm 10,21 a	55,87 \pm 25,22 b	55,27 \pm 38,05 b	38,94 \pm 17,89 c
C:P	6,33 \pm 4,02 a	6,75 \pm 2,60 a	7,63 \pm 3,48 b	5,87 \pm 2,23 c

Figuras 103 e 104. Secções transversais caulinares de *Caesalpinia echinata* (pau-brasil). Aspecto geral do lenho (*seta azul*), casca (*seta amarela*) e periderme (*seta vermelha*). Barras = 200 μm .

Fig. 103. Casa de Vegetação.

Fig. 104. Congonhas.

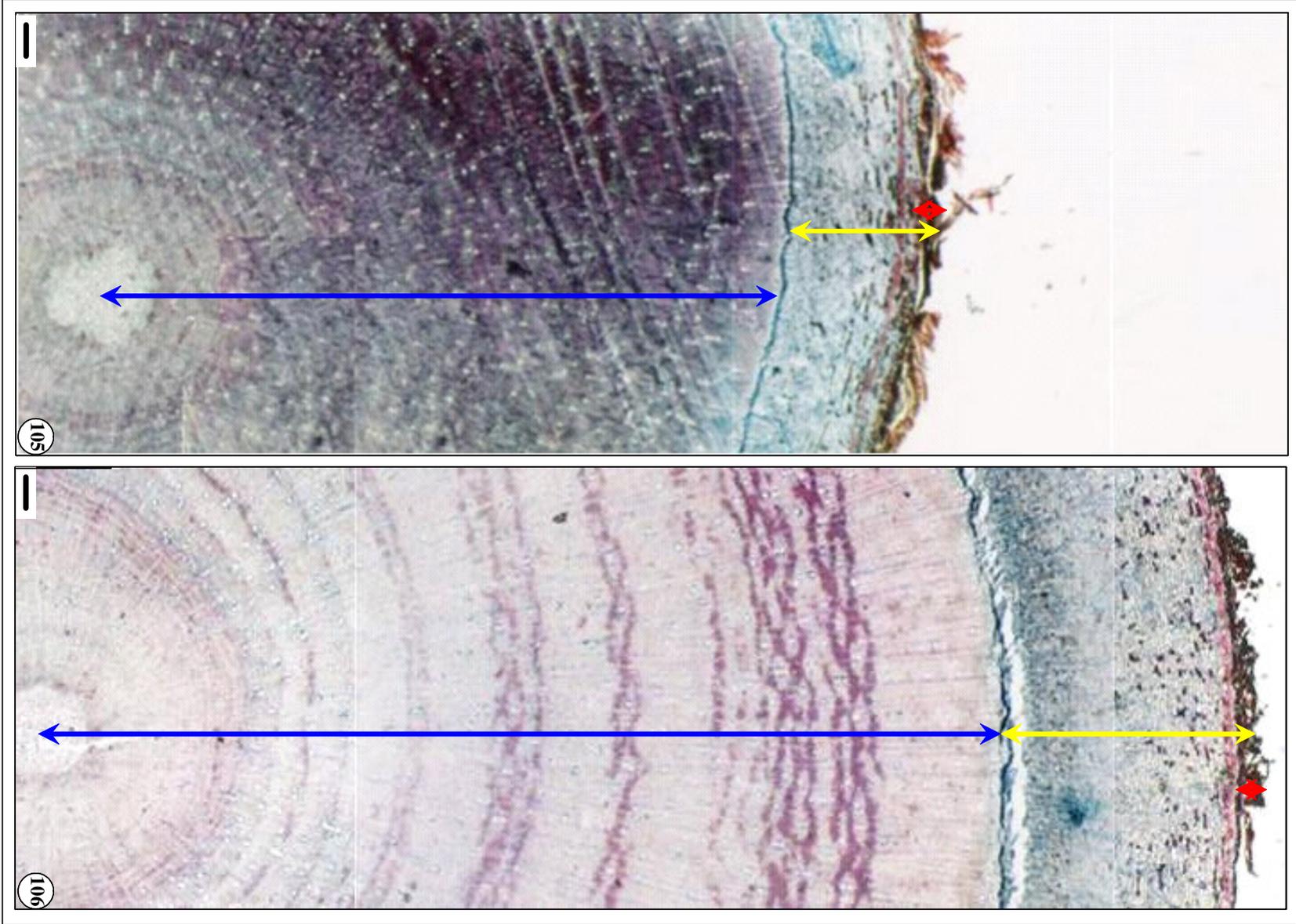
Fotos: Renata D'Agostino



Figuras 105 e 106. Secções transversais caulinares de *Caesalpinia echinata* (pau-brasil). Aspecto geral do lenho (*seta azul*), casca (*seta amarela*) e periderme (*seta vermelha*). Barras = 200 μm .

Fig. 105. Ibirapuera.

Fig. 106. Pomar.



V. DISCUSSÃO

As áreas de exposição apresentaram condições climáticas como precipitação, temperatura, umidade relativa do ar e irradiância bastante semelhantes e muita diferença quanto à qualidade do ar (Bulbovas *et al.* 2004).

Na área controle (Casa de Vegetação), as condições climáticas se mantiveram constantes e controladas durante todo o período. Os dados referentes aos poluentes foram praticamente nulos. Em Congonhas, Ibirapuera e Pomar os dados referentes aos poluentes podem ser vistos na tabela 01, cujos compostos mais característicos de cada área, respectivamente, são: - óxidos de nitrogênio e enxofre; - ozônio; e - material particulado e óxidos de nitrogênio.

As peridermes das plantas expostas nas quatro áreas de estudo apresentaram pouca diferença quanto aos elementos constituintes.

Cristais na feloderme também foram observados, em maior quantidade nas áreas de Congonhas, Ibirapuera e Pomar (Fig. 95 a 98), que são as áreas que apresentam altas concentrações de poluentes (Tabela 01). Esse aumento do número de cristais pode estar relacionado a alguns fatores do ambiente. Um deles é o excesso de sais no solo, que são absorvidos pela planta e acumulados em seus tecidos para reserva (Marty 1999, Webb 1999). O acúmulo desses sais pode estar ocorrendo por processo de lixiviação das substâncias do ar de cada área para o substrato, sendo assim, absorvidos e acumulados no interior das plantas, que favorecem a proteção contra herbivoria (Esau 1974) e à distribuição de luz para os tecidos fotossintéticos, especialmente em folhas, como foi proposto por Franceschi (2001), que acredita que os cristais refletem a luz para os cloroplastos da folha favorecendo a fotossíntese,

assim como os prismas em geral. Bujokas (2001) observou que plantas de *Schinus terebinthifolius* Raddi. (Anacardiaceae) apresentam mais cristais foliares quando submetidas ao impacto de material particulado em suas superfícies, assim como Tavares (2002) observou em plantas de *Leandra mosenii* Cogn. (Melastomataceae) o aumento de cristais foliares quando sujeitas a poluição aérea, especialmente material particulado, como é o caso principalmente da área do Pomar.

Conforme parâmetros avaliados, durante os dois períodos de estudo, as plantas que ficaram expostas em Congonhas, Ibirapuera e Pomar se apresentaram menos desenvolvidas em relação à Casa de Vegetação, área controle (Fig. 09 a 16), como foi avaliado por Cunha & Moraes (2004) em plantas do mesmo lote experimental. Os autores observaram que as plantas do Pomar foram as menores em altura, enquanto que as de Congonhas e do Ibirapuera um pouco maiores, assemelhando-se entre si. Kozłowski *et al.* (1991) afirmaram que os poluentes primários afetam o crescimento de mudas e plantas jovens quando expostas a eles. Portanto, como essas áreas apresentam altos índices de poluentes do tipo primário, exceto Ibirapuera, cujo poluente principal é o ozônio (Tabela 01), pode-se dizer que a poluição é um fator limitante do crescimento dessas plantas (Kozłowski *et al.* 1991, Garrec 1994, Lambers *et al.* 1998, Nali *et al.* 2004), já que promove redução da fotossíntese líquida (Kozłowski 1980, Pradella 1997) e, conseqüentemente, diminuição de biomassa e de taxa de desenvolvimento. Mais estudos estão, ainda, em execução, dentro do Projeto Temático “Pau-brasil FAPESP”, para melhores esclarecimentos quanto a esses aspectos.

Além disso, as mudanças na fisionomia das plantas foram observadas naquelas que ficaram sob poluição (Fig. 09 a 16). Em Congonhas, as plantas que ficaram expostas apresentaram o terço apical do caule curvado, característica somente desta área,

provavelmente devido aos fortes ventos que lá ocorrem (Fig. 10 e 14). Observação semelhante foi feita por Gloyne (1954 *apud* Kozlowski *et al.* 1991), que constatou que árvores apresentavam seus troncos deformados devido à ação dos ventos. Billings (1978 *apud* Kozlowski *et al.* 1991) também observou alterações na fisionomia das árvores submetidas a fortes ventos, como a diminuição em altura e o efeito “bandeira” nas folhagens, que corresponde à perda de ramos e folhas do lado da árvore que mais sofre essa ação. No Pomar, as plantas apresentaram ramificação do caule próxima ao solo (Fig. 12 e 16), efeito provocado por perda ou quebra da dominância do meristema apical caulinar (Mazzoni-Viveiros 1996, Pompéia 1997). Essas ramificações basais estão relacionadas ao aumento da porcentagem de rebrota, a partir das gemas basais do caule (CETESB 1995, Leitão Filho 1993), caracterizando a mudança do hábito arbóreo para o arbustivo das plantas sujeitas à poluição, cuja estratégia é garantir a sobrevivência do indivíduo sob essas condições, aumentando-se a porcentagem de ramos na planta, conforme ressaltaram Boucher *et al.* (1990 *apud* Gomes 1992). Esse fenômeno já foi observado por Mazzoni-Viveiros (1996), em plantas de *Tibouchina pulchra* Cogn. sujeitas à poluição do complexo industrial de Cubatão, e por Pompéia (1997, 2000), também em Cubatão, em árvores das famílias Melastomataceae (*T. pulchra* Cogn. e *Miconia cinnamomifolia* DC. Naud.), Cecropiaceae (*Cecropia glazioui* Snethl.) e Meliaceae (*Guarea macrophylla* Vahl.). Outros fatores, como transporte de hormônios (auxina, ácido abscísico, dentre outros) podem estar colaborando com a diminuição do tamanho das plantas e da ramificação próxima ao solo daquelas plantas expostas nas áreas de Congonhas, Ibirapuera e Pomar, como sugeriu Aloni (1987 *apud* Roberts *et al.* 1988). Este autor afirmou que o ambiente limita o tamanho final da planta e a duração do período de crescimento, pois em ambientes limitantes esse período é curto e as plantas são baixas. Em relação às ramificações basais, estas podem estar relacionadas à ação competitiva entre dois hormônios de

crescimento, auxina produzida no ápice da planta e citocininas produzidas no sistema radicular (Galston & Davies 1972). Porém estudos mais detalhados poderiam contribuir com resultados mais precisos, especialmente aqueles ligados aos efeitos da poluição na fisiologia hormonal das plantas, ao transporte de auxina, de ácido abscísico – que é considerado o inibidor do transporte da auxina nas plantas – e citocininas, envolvendo a comunicação entre a raiz e a parte aérea da planta expostas a poluentes atmosféricos.

Além disso, os valores totais e médios de lenticelas se apresentaram mais elevados nas áreas do Ibirapuera e do Pomar, conforme pode ser visto nas figuras 22, 23 e 24, além de mais espaços intercelulares nas lenticelas dessas áreas, especialmente do Ibirapuera. O aumento do número de lenticelas nessas áreas relaciona-se com a resposta da planta semelhante àquela relacionada à falta de oxigênio necessário utilizado no processo de respiração. Sabe-se que a função principal da lenticela é auxiliar nos processos de trocas gasosas com o meio, como pode ser confirmado em plantas que habitam regiões alagadas que aumentam a quantidade ou o tamanho das lenticelas, caracterizado pelo aumento do tecido de enchimento, a fim de facilitar as trocas gasosas (Medri *et al.* 1998, Ferreira *et al.* 2001). Esse aumento do número de lenticelas pode estar relacionado ao aumento de divisões celulares do meristema (felogênio da lenticela) e de suas células-filhas produzidas para o exterior, somado ao aumento da quantidade de áreas do felogênio que se diferenciaram em felogênio da lenticela (Richter *et al.* 1996). Assim como o câmbio é afetado pela poluição (Günthardt-Goerg *et al.* 1993), o felogênio mostrou os mesmos resultados no presente trabalho. Estudos mais detalhados e comparativos entre esses dois tecidos submetidos à poluição podem esclarecer melhor esses resultados.

Em relação aos valores totais de lenticelas por planta de cada área, nos dois períodos de exposição, foi observado que as plantas tiveram uma tendência em normalizar a quantidade dessa estrutura no segundo período de exposição, sabendo que as plantas das áreas do Ibirapuera e Pomar mostraram diferenças estatísticas após 12 meses e não após 24 meses, conforme pode ser visto nas figuras 84 a 87. Em Congonhas, as plantas de cada área apresentaram diferenças significativas quanto ao número total de lenticelas no primeiro período de exposição (Fig. 82) e, no segundo período, as plantas mostraram que podem ou não apresentarem diferenças estatísticas (Fig. 83).

Nos dois períodos de exposição, a área do Ibirapuera, dentre todas as áreas, foi a que apresentou os maiores valores de lenticelas (Fig. 22, 23 e 24), sendo que o que a diferencia das outras é o alto índice de concentração de ozônio (Tabela 01), poluente altamente reativo.

Portanto, a poluição atmosférica parece que, assim como o alagamento, que provoca a hipertrofia das lenticelas pelo caule devido à deficiência de oxigênio do solo (Jackson & Drew 1984, Kozlowski 1984, Lambers *et al.* 1998, Ferreira *et al.* 2001, Santiago & Paoli 2003), pode provocar reações semelhantes às aquelas causadas pela anoxia no vegetal e favorecer o aumento do número de lenticelas. Isso pode ser claramente observado nas figuras 22, 23 e 24, onde as áreas de Congonhas, Ibirapuera e Pomar apresentaram mais lenticelas no primeiro período de exposição (Fig. 22 e 24), principalmente as plantas da área do Ibirapuera, cuja região é a que apresenta taxa elevada de ozônio e de valores de lenticelas hipertróficas caulinares (Tabela 01, Fig. 22, 23 e 24). Nas áreas com maiores taxas de material particulado os valores médios e totais de lenticelas se apresentaram mais baixos, podendo-se dizer que esse efeito provém diretamente dos poluentes atmosféricos e não do solo, como ocorre com plantas sujeitas a solos inundados. Esse aumento de lenticelas se dá devido ao maior número

de áreas do felogênio que se diferenciaram em felogênio da lenticela e também ao aumento das divisões periclinais das células-filhas do felogênio da lenticela produzidas para o exterior.

Esses dados sugerem, ainda, que a poluição está favorecendo o aumento de lenticelas pelo corpo do caule expostos à poluição, o que pode acarretar também maior tendência ao estresse hídrico para as plantas submetidas a essas condições, pois segundo Kawase (1981) e Joly (1986) a ausência dessas estruturas impedem a perda d'água em espécies deserto. Com a perda excessiva de água, a capacidade da casca em reter umidade é afetada e isso impede a relação da espécie com epífitas (Benzing 1990), prejudicando, assim, a diversidade florística do ecossistema.

Segundo Lobo & Joly (1995), o aumento das lenticelas no caule é uma das estratégias de plantas submetidas à inundação de se adaptarem ao aumento da oxigenação dos tecidos aéreos para o sistema radicular. Embora o aumento do número de lenticelas em ambientes expostos à poluição tenha sido observado no presente trabalho, outros estudos relacionados a alterações hormonais poderiam confirmar se a poluição é ou não causadora desse efeito. Outros autores sugerem que alterações no balanço hormonal podem influenciar o surgimento de lenticelas hipertróficas em plantas inundadas, cujos hormônios que participam desta resposta são a auxina e o etileno (Medri *et al.* 1998, Ferreira *et al.* 2001, Santiago & Paoli 2003). Segundo Larson *et al.* (1991), o etileno é o hormônio que está diretamente ligado ao aumento da atividade do felogênio em plantas. Sendo assim, estudos relacionados ao efeito desses hormônios na produção das lenticelas poderiam confirmar se é a poluição, diretamente, e/ou alterações do balanço hormonal que promovem esse aumento de lenticelas nas plantas.

Durante o primeiro ano de exposição, as plantas do Ibirapuera apresentaram mais acúleos que nas demais áreas, inclusive mostrando diferença estatística, conforme pode ser

visto nas figuras 27, 80, 81, 88 e 89. Não houve diferença no desenvolvimento da periderme no que diz respeito à diferenciação das células em acúleos, podendo isso estar relacionado a hormônios ligados ao processo de diferenciação celular ou a uma característica individual e não da espécie, pois houve apenas um indivíduo da área do Ibirapuera que apresentou valores muito elevados de acúleos no primeiro ano de exposição (Fig. 88 e 89). Os valores de acúleos mostraram-se diferentes daqueles relacionados às lenticelas, podendo-se, então, afirmar que esta estrutura não tem seu desenvolvimento afetado com a poluição, como ocorreu com as lenticelas (Fig. 25 a 27). No ano seguinte, as plantas das quatro áreas não mostraram qualquer diferença estatística (Fig. 27, 76 a 91).

Portanto, o aumento do número de lenticelas somado à quantidade semelhante de acúleos pelo caule das plantas das diferentes áreas, pode estar favorecendo mais susceptibilidade da espécie a ação de pragas, doenças e herbivoria, pois se sabe que as lenticelas são as regiões do caule mais propícias ao ataque de agentes patogênicos (Graça & Pereira 2004) e os acúleos responsáveis pela proteção da planta contra herbívoros (Ferri *et al.* 1969). Como os valores de acúleos somente apresentaram diferença estatística no primeiro ano de exposição, nas plantas da área do Ibirapuera, parece estar havendo uma tendência da espécie em se proteger de herbivoria nas etapas mais jovens, tendência não observada no segundo ano de exposição, quando já está mais desenvolvida.

Em relação à produção de lenho e periderme, observou-se que nas áreas de Congonhas, Ibirapuera e Pomar as plantas apresentam lenho mais espesso que a periderme, quando comparados com a área controle (Tabela 02), sugerindo que a poluição pode afetar, também, a atividade do câmbio e do felogênio, provocando essa alteração quanto à produção de lenho e periderme, respectivamente. Nas áreas mais poluídas – Congonhas, Ibirapuera e

Pomar – a produção de lenho foi maior em relação às plantas da área controle e com a produção de periderme ocorreu o inverso, nas áreas poluídas a produção foi menor que na área controle (Tabela 02), portanto menor proteção dos tecidos internos. 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. Isso indica que o felogênio tem sua estrutura e função afetadas quando a planta está sob estresse de poluição. Esses dados levam a crer que o felogênio, por estar anatomicamente mais próximo à superfície do órgão, esteja sofrendo diretamente mais a ação dos poluentes atmosféricos via direta (ar) e não via edáfica ou hormonal.

Como se sabe, todas as células, inclusive as meristemáticas, necessitam da energia proveniente da fotossíntese para realizarem os demais processos metabólicos. As plantas expostas aos ambientes poluídos apresentaram diferenças estatísticas quanto aos valores de espessura do lenho e da periderme (Tabela 02), tecidos produzidos a partir dos meristemas laterais, câmbio e felogênio respectivamente. A produção de lenho foi maior nas áreas de Congonhas, Ibirapuera e Pomar e a de periderme menor (Tabela 02 e Fig. 103 a 106), podendo, assim, estarem relacionadas com a diminuição da atividade das células do felogênio, quando estas estão sob estresse. Portanto, a atividade do felogênio difere da do câmbio, pois esta última aumentou em relação à primeira (Tabela 02), tendo a planta, nas condições dos ambientes de exposição, maior produção de lenho do que de periderme, pois o lenho responde mais aos efeitos indiretos da poluição (via edáfica) e a periderme não, que está em contato direto com os poluentes aéreos.

Além disso, a periderme das plantas expostas às áreas poluídas apresentou maior facilidade ao descamamento que a periderme das plantas da área controle. Essa descamação (Fig. 95 a 98), somada à diminuição da espessura do tecido (Tabela 02), podem dificultar outros processos ecológicos como a fixação de epífitas pelo caule (Benzing 1990, Marcelli 1992, Labiak & Prado 1998). Isso pode causar um desequilíbrio ecológico por dificultar a fixação de algumas espécies e/ou facilitar de outras. As alterações na periderme como maior descamação, lesões superficiais (Mazzoni-Viveiros & Costa 2003), alta incidência de pragas, doenças e invasão de patógenos (Rosner & Kartusch 2003, Graça & Pereira 2004) e perda excessiva de água e da capacidade de reter umidade (Benzing 1990) modificando, assim, os tipos de associações com a espécie e, portanto, provocando modificações da estrutura florística no bioma.

VI. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme os dados obtidos no presente trabalho, as altas concentrações de poluentes sugerem que as áreas de Congonhas, Ibirapuera e Pomar podem ser as causadoras desse aumento de lenticelas e do desequilíbrio na produção do lenho e da periderme, refletindo diferença nas atividades do câmbio vascular e do felogênio, respectivamente. Já que os dados referentes às condições climáticas dessas áreas, como dito anteriormente, foram muito semelhantes entre si.

Como a área do Ibirapuera mostrou os maiores valores totais e médios de lenticelas (Fig. 25 a 27), bem como os menores valores de espessura de periderme (Fig. 105 e Tabela 02), além de ser a área que apresenta as maiores médias de concentração de ozônio (Tabela 01), pode ser que seja esse poluente gasoso que esteja interferindo do desenvolvimento da periderme do pau-brasil sob condições estressantes. Com isso, cultivar a espécie em ambiente urbano, cujas taxas de ozônio são muito elevadas, poderia comprometer seu desenvolvimento e não colaborar com a preservação da espécie nessas condições.

Estudos ligados aos efeitos exclusivos de ozônio e aos hormônios relacionados à produção das lenticelas poderiam fornecer importantes informações para a análise dos resultados obtidos no presente trabalho.

VII. RESUMO

O pau-brasil (*Caesalpinia echinata* Lam.), espécie nativa da Mata Atlântica, ainda sofre as conseqüências da exploração desordenada iniciada pelos portugueses desde a época da colonização do Brasil, colocando-a entre as espécies em perigo de extinção. Atualmente, visando sua preservação e utilização como ornamental em projetos de arborização urbana, estudos têm sido realizados quanto à resistência da espécie a condições ambientais de grandes centros como a cidade de São Paulo. Além disso, as modificações que a poluição exerce nas plantas, visíveis ou não, fornecem subsídios importantes para os programas de controle de qualidade do ar. Os objetivos do trabalho consistiram em analisar a estrutura da periderme, tecido que substitui a epiderme em caules e raízes em crescimento secundário, e diagnosticar se suas características podem ou não conferir algum grau de adaptação a condições atmosféricas específicas. Amostras de periderme caulinar, oriundas de espécimes jovens expostos por períodos de 12 e 24 meses às condições atmosféricas de quatro áreas com níveis e tipos de poluentes distintos da cidade, foram analisadas macro e microscopicamente. Esses aspectos incluíram espessura, organização, tipos de células que compõem a periderme e, especialmente, distribuição e quantificação de lenticelas e acúleos. Dentre os dados obtidos, pode-se constatar que os valores médios do número de lenticelas.cm⁻² na superfície caulinar se apresentaram mais elevados em espécimes submetidos à grande concentração de poluição, refletindo o maior número de áreas do felogênio com atividade de felogênio da lenticela, provavelmente devido ao etileno e sugerindo mudança no mecanismo de troca gasosa desse tecido com o meio. O mesmo não foi observado com o número de acúleos.cm⁻², cujo desenvolvimento não foi alterado nessas condições. As relações entre lenho, casca e periderme mostram uma tendência à diminuição da produção da periderme em espécimes

expostos a altas concentrações de poluentes, refletindo uma diminuição na atividade do felogênio quando as plantas se encontram sob estresse. Lesões superficiais, alta incidência de doenças e invasão de patógenos, perda excessiva de água e da capacidade de reter umidade modificando, assim, os tipos de associações com a espécie e, portanto, provocando alterações da estrutura florística no ecossistema. Além disso, alterações qualitativas, como a facilidade ao descamamento da periderme dos espécimes expostos à poluição, também foram observadas no estudo.

Palavras-chave: acúleo, *Caesalpinia echinata*, lenticela, periderme, poluição atmosférica

VIII. ABSTRACT

Brazil-wood (*Caesalpinia echinata* Lam.), native species of Mata Atlântica, still suffer the consequences of excess exploration started by the Portuguese dating back to the Brazilian colonization, making it a species threatened of extinction. While focusing on preservation and aiming to utilize it as an ornamental display in urban arborization projects, studies have been completed to evaluate its resistance to large urban centers such as Sao Paulo city. Moreover, the impact that pollution has on plants, visible or not, provides important support to Quality Control Programs of Air Pollution. This project consisted of analyzing the structure of periderm, a tissue that substitutes epiderm in stems and roots in secondary growth, and to diagnose whether its characteristics will or will not adapt to specific atmospheric conditions. Stem periderm samples retrieved from young species, had been exposed to periods of between 12 and 24 months, in four separate atmospheric conditions with distinct levels and different types of city pollutants. These were analyzed by the use of macro and micro methods. The process of this project included the organization of cell types which form the periderm, and most importantly the distribution and quantifying of lenticels and prickles. From the data collected we are able to confirm the amount of lenticels and their rate of growth.cm⁻² on the stem surface of the lenticels appears more times in species which have been exposed to air pollution, and therefore reflects a larger area of felogen with lenticel felogen activity. This affect is probably due to ethylene gas, suggesting different gases change mechanisms of the tissue in conjunction with the environment. The same result was not observed with the cm⁻² on the prickles where their development was not altered in the same conditions. The relationship between wood, bark and periderm shows a tendency to decrease the production of periderm in species exposed to high concentrations of pollutants, reflecting a decrease in

activity of felogen when plants are under stressful conditions. Superficial hurts, high incidence of diseases and pathogens, excessive water and capacity to retain humidity loss could modify the ecological associations with the specie. Therefore could also modify the ecosystem floristic structure. Qualitative alterations like the periderm flaking of species exposed to pollution were also observed in this study.

Key words: prickle, *Caesalpinia echinata*, lenticel, periderm, atmospheric pollution

IX. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adams, C.** 2000. Caiçaras na Mata Atlântica: pesquisa científica *versus* planejamento e gestão ambiental. Annablume, São Paulo.
- AFUBRA (Associação dos Fumicultores do Brasil).** 2005. A floresta e o ar. <http://www.ambicenter.com.br/ea01071814.htm> (Acesso em 04/Fev./2005).
- Aguiar, F.F.A.** 1992. Comportamento ecológico de *Caesalpinia echinata* Lam. (pau-brasil), cultivado em arboreto experimental. I. Revista Árvore 16: 255-261.
- Aguiar, F.F.A. & Aoki, H.** 1983. Regiões de ocorrência natural de pau-brasil (*Caesalpinia echinata* Lam.). In: Congresso Florestal Brasileiro, Belo Horizonte. Anais... p. 1-5.
- Aguiar, F.F.A. & Barbosa, J.M.** 1985. Estudo de conservação e longevidade de sementes de pau-brasil (*Caesalpinia echinata* Lam.). Ecosystema 10: 145-150.
- Aguiar, F.F.A. & Pinho, R.A.** 1986. Pau-brasil. *Caesalpinia echinata* Lam. Folheto 18. Instituto de Botânica, São Paulo.
- Alves, E.S.** 1995. The effects of the pollution on wood of *Cecropia glazioui* (Cecropiaceae). IAWA Journal 16: 69-80.
- Alves, E.S.** 1996. Estudo anatômico da casca de *Cecropia glazioui* Sneth. – Cecropiaceae. Boletim Botânica, Universidade de São Paulo 15: 55-62.

Alves, E.S.; Giusti, P.M.; Domingos, M.; Saldiva, P.H.N.; Guimarães, E.T. & Lobo, D.J.A. 2001. Estudo anatômico foliar do clone híbrido 4430 de *Tradescantia*: alterações decorrentes da poluição aérea urbana. *Revista Brasileira de Botânica* 24: 567-576.

Ambiente Brasil. 2005a. *Caesalpinia echinata* Lam.
http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=./natural/index.html&conteudo=./natural/arvores/pau_brasil.html (Acesso em 12/Jan./2005).

Ambiente Brasil. 2005b. Mata Atlântica – Patrimônio de Reserva Natural da Humanidade.
<http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=./natural/index.html&conteudo=./natural/biomas/mataatlantica.html> (Acesso em 12/Jan./2005).

Angyalossy-Alfonso, V. 1983. Caracterização anatômica de madeira e casca das principais espécies de *Eucalyptus* do Estado de São Paulo. *Silvicultura* 28: 720-725.

Arndt, U. & Schweizer, B. 1991. The use of bioindicators for environmental monitoring in tropical and subtropical countries. *In*: H. Ellenberg (ed.) *Biological monitoring. Signals from the environment*. Vieweg, Eschborn. p. 199-298.

Auricchio, A.L.R. 2004. Conhecendo o pau-brasil.
<http://www.institutopaubrasil.org.br/paubrasil/paubrasil1.htm> (Acesso em 14/Nov./2004).

Base de Dados Tropical. 2004. Lista da Flora ameaçada no Brasil.
http://www.bdt.fat.org.br/iScan?278+redflora+1+0+Caesalpinia_bAND_bechinata (acesso em 20/Nov./2004).

Beazley, M. 1981. O Grande livro internacional de Selvas e Florestas. ART Editora/Círculo do Livro, São Paulo.

- Benzing, D.H.** 1990. Vascular epiphytes. Cambridge University Press, New York.
- Brasil.** 1978. Leis, decretos, etc. Lei nº. 6607. Diário Oficial da União, Brasília, 07 dez. 1978. Seção I, Parte I, p.19910.
- Bueno, E.** 2002. Pau-brasil. Axis Mundi, São Paulo.
- Bujokas, W.M.** 2001. O impacto da poeira de cimento em *Schinus terebinthifolius* Raddi (Anacardiaceae). Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Bulbovas, P.; Rinaldi, M.C.S.; Delitti, W.B.C. & Domingos, M.** 2004. Antioxidantes em plantas de *Caesalpinia echinata* Lam. expostas à poluição atmosférica de São Paulo, SP. O Instituto de Botânica no século XXI. 11ª Reunião Anual do Instituto de Botânica, São Paulo. p. 96.
- Cardoso, M.A.; Provant, J.; Powell, W.; Ferreira, P.C.G. & Oliveira, D.E.D.** 1998. High differentiation among remnant populations of the endangered *Caesalpinia echinata* Lam. (Leguminosae-Caesalpinioideae). *Molecular Ecology* 7: 601-608.
- Carreras, H.A.; Cañas, M.S. & Pignata, M.L.** 1996. Differences in responses to urban air pollutants by *Ligustrum lucidum* Ait. and *Ligustrum* Ait. f. *tricolor* (Rehd.) Rehd. *Environmental Pollution* 93: 211-218.
- Carvalho, P.E.R.** 1994. Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidade e uso da madeira. s.n., Brasília.

- CETESB 1995.** Enriquecimento de florestas secundárias afetadas por poluição atmosférica de Cubatão, SP – resultados do primeiro ano de monitoramento. Relatório técnico, dezembro/1995. CETESB, São Paulo.
- CETESB 1998.** Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, Relatório de qualidade do ar do Estado de São Paulo de 1997. CETESB, Série Relatórios, São Paulo.
- CETESB 2001.** Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, Relatório de qualidade do ar do Estado de São Paulo de 2000. CETESB, Série Relatórios, São Paulo.
- CETESB 2003.** Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, Relatório de qualidade do ar do Estado de São Paulo de 2002. CETESB, Série Relatórios, São Paulo.
- CETESB 2004.** Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, Relatório de qualidade do ar do Estado de São Paulo de 2003. 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 Journal* 18: 385-399.
- Costa, P.M.F.** 2004. Efeito da alta concentração de CO₂ sobre o crescimento e o estabelecimento de plântulas de jatobá de mata *Hymenaea courbaril* L. var. *stilbocarpa* (Heyne) Lee & Langenheim (Leguminosae, Caesalpinioideae, Detarieae). Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- Cunha, A.L. & Moraes, R.M.** 2004. Crescimento inicial em plantas jovens de *Caesalpinia echinata* Lam. (pau-brasil), expostas em diferentes regiões da cidade de São Paulo. O

Instituto de Botânica no século XXI. 11ª Reunião Anual do Instituto de Botânica, São Paulo. p. 100.

Däßler, H.G. & Börtitz, S. 1988. Air Pollution and its Influence on Vegetation. Dr. W. Junk Publishers, Dordrecht.

Della Torre, G.; Ferrantini, F.; Lupattelli, M.; Poceschi, N.; Figoli, A.; Nali, C. & Lorenzini, G. 1998. Effects of ozone on morpho-anatomy and physiology of *Hedera helix*. Chemosphere 36: 651-656.

Dizengremel, P. 2001. Effects of ozone on the carbon metabolism of forest trees. Plant Physiology Biochemistry 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: A. Klumpp; W. Ansel & G. Klumpp (eds.) Urban air pollution, bioindication and environmental awareness. Cuvillier Verlag, Göttingen. p. 279-287.

Esau, K. 1974. Anatomia das plantas com sementes, Edgard Blücher Ltda., São Paulo.

Fahn, A. 1974. Plant Anatomy. 2. ed. Pergamon Press, Oxford.

Fenger, J. 1999. Urban air quality. Atmospheric Environment 33: 4877-4900.

Fernandes, A. 2000. Fitogeografia Brasileira. 2. ed. Multigraf, Fortaleza.

- Ferreira, J.N.; Ribeiro, J.F. & Fonseca, C.E.L.** 2001. Crescimento inicial de *Piptadenia gonoacantha* (Leguminosae, Mimosoideae) sob inunda o em diferentes is de luminosidade. *Revista Brasileira de Botânica* 24: 561-566.
- Ferri, M.G.** 1980. *Vegeta o Brasileira*. Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Ferri, M.G.; Meneses, N.L. & Scanavacca, W.R.M.** 1969. *Glossário de termos botânicos*. Edgard Blücher Ltda., São Paulo.
- Font Quer, P.** 1953. *Diccionario de Botânica*. Labor, Barcelona.
- Franceschi, V.** 2001. Calcium oxalate in plants. *Plant Science* 6: 331.
- Freedman, B.** 1995. *Environmental ecology. The ecological effects of pollution, disturbance, and other stresses*. 2.ed. Academic Press Inc., San Diego.
- Freund, H.** 1970. *Handbuch der mikroskopie in der technik*. Band V. Teil 1. Frankfurt.
- Galston, A.W. & Davies, P.J.** 1972. *Mecanismos de controle no desenvolvimento vegetal*. Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Garrec, J.P.** 1994. Cuticular characteristics in the detection of plant stress due to air pollution – New problems in the use of these cuticular characteristics. *In*: K.E. Percy; J.N. Cape; R. Jagels & C.J. Simpson (eds.) *Air pollutants and leaf cuticle* Springer-Verlag, Berlin. p. 113-122.
- Gomes, E.P.C.** 1992. *Fitossociologia do componente arbóreo de um trecho de mata em São Paulo, SP*. Disserta o de Mestrado. Universidade de São Paulo, São Paulo.

Graça, J. & Pereira, H. 2004. The periderm development in *Quercus suber*. IAWA Journal 25: 325-335.

Guimarães, E.T.; Domingos, M.; Alves, E.S.; Caldini Junior, N.; Lobo, D.J.A.; Lichtenfels, A.J.F.C. & Saldiva, P.H.N. 2000. Detection of genotoxicity of air pollutants in and around the city of São Paulo (Brazil) with the *Tradescantia*-micronucleus (Trad-MCN) assay. Environmental and Experimental Botany 44: 1-8.

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.

Haupt, A.W. 1930. A gelatin fixative for paraffin sections. Stain Technology 5: 97-98.

Hueck, K. 1972. As florestas da América do Sul. Polígono/UnB, Brasília.

IBAMA. 1992. Portaria nº. 37-N, 03 abr. 1992.

Jackson, M.B. & Drew, M.C. 1984. Effects of flooding on growth and metabolism of herbaceous plants. In: T.T. Kozlowski (ed.). Flooding and Plant Growth. Academic Press, Florida. p. 47-128.

Johansen, D.A. 1940. Plant Microtechnique. McGraw-Hill Book Company, Inc., New York.

Joly, C.A. 1986. Heterogeneidade ambiental e diversidade de estratégias adaptativas de espécies arbóreas de Mata de Galeria. X Simpósio Anual da Academia de Ciências do Estado de São Paulo, Publicação ACIESP 50, Anais... p. 19-38.

- Joly, C.A.; Aidar, M.P.M.; Klink, C.A.; McGrath, D.G.; Moreira, A.G.; Moutinho, P.; Nepstad, D.C.; Oliveira, A.A.; Pott, A.; Rodal, M.J.N. & Sampaio, E.V.S.B.** 1999. Evolution of the Brazilian phytogeography classification systems: implications for biodiversity conservation. *Ciência e Cultura* 51: 331-348.
- Kawase, M.** 1981. Anatomical and morphological adaptations of plant to water logging. *Hort-Science* 16: 8-12.
- Klumpp, A.; Domingos, M. & Pignata M.L.** 1999. Air pollution and vegetation damage in South America – state of knowledge and perspectives. *In: S.B. Agrawal & M. Agrawal* (eds.). *Environmental pollution and plant responses*. Lewis Publishers, Boca Raton. p. 111-136.
- Kozłowski, T.T.** 1971. Growth and development of trees. Academic Press, New York. v. 2. pp. 514.
- Kozłowski, T.T.** 1980. Impacts of air pollution on forest ecosystems. *Bioscience* 30: 88-93.
- Kozłowski, T.T.** 1984. Response of Woody Plants to Flooding. *In: T.T. Kozłowski* (ed.). *Flooding and Plant Growth*. Academic Press, Florida. p. 129-163.
- 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.

- Kraus, J.E. & Pisaneschi, J.** 2005. Felogênio. <http://atlasveg.ib.usp.br/Indexe/fel.html> (Acesso em 04/Fev./2005).
- Labiak, P.H. & Prado, J.** 1998. Pteridófitas epífitas da Reserva Volta Velha, Itapoá – Santa Catarina, Brasil. Vol. 2. Plantarum, São Paulo.
- Lambers, H.; Chapin III, F.S. & Pons, T.L.** 1998. Plant Physiological Ecology. Springer-Verlag, New York.
- Larcher, W.** 2000. Ecofisiologia Vegetal. Rima, São Carlos.
- Leitão Filho, H.F.** 1993. Ecologia da Mata Atlântica em Cubatão. UNESP/UNICAMP, São Paulo.
- Lima, H.C.; Lewis, G.P. & Bueno, E.** 2002. Pau-brasil: uma biografia. *In:* E. Bueno (org.). Pau-Brasil. Axis Mundi Editora, São Paulo. p. 39-76.
- Lobo, P.C. & Joly, C.A.** 1995. Mecanismos de tolerância à inundação de plantas de *Talauma ovata* St. Hil. (Magnoliaceae), uma espécie t pica de matas de brejo. Revista Brasileira de Botânica 18: 177-183.
- Lombardo, M.A.** 2003. Qualidade ambiental e planejamento urbano. *In:* W.C. Ribeiro (org.). Patrim nio Ambiental Brasileiro. Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo. p. 493-515.
- Lulai, E.C. & Freeman, T.P.** 2001. The importance of phellogen cells and their structural characteristics in susceptibility and resistance to excoriation in immature and mature potato tuber (*Solanum tuberosum* L.) periderm. Annals of Botany 88: 555-561.

- Maciel, D.G.** 1993. Resistência das árvores do cerrado ao fogo: papel da casca como isolante térmico. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília, Brasília.
- Mainieri, C.** 1960. Estudo macro e microscópico de madeiras conhecidas por Pau-brasil. Publicação IPT 612. Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo, São Paulo.
- Mantovani, W.** 2003. A degradação dos biomas brasileiros. *In:* W.C. Ribeiro (org.). Patrimônio Ambiental Brasileiro. Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo. p. 367-439.
- Marcelli, M.P.** 1992. Ecologia liquênica nos manguezais do sul-sudeste brasileiro. J. Cramer, Berlin.
- Marty, F.** 1999. Plant Vacuoles. *Plant Cell* 11: 587-600.
- Mauro, F.** 1997. Portugal, o Brasil e o Atlântico (1570-1670). Estampa, Lisboa. v.1.
- Mauseth, J.D.** 1988. *Plant Anatomy*. Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc. Menlo Park.
- Mayer, H.** 1999. Air pollution in cities. *Atmospheric Environment* 33: 4029-4037.
- Mazzoni-Viveiros, S.C.** 1996. Aspectos estruturais de *Tibouchina pulchra* Cogn. (Melastomataceae) sob o impacto de poluentes atmosféricos provenientes do complexo industrial de Cubatão, SP – Brasil. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo.

- Mazzoni-Viveiros, S.C.** 2000. Diversificação do uso da anatomia: poluição atmosférica na Mata Atlântica. *In:* T.B. Cavalcanti & B.M.T. Walter (eds.). Tópicos atuais em Botânica. EMBRAPA/SBB, Brasília. p. 101-106.
- Mazzoni-Viveiros, S.C. & Costa, C.G.** 2003. Periderme. *In:* B. Appezzato-da-Glória & S.M. Carmello-Guerreiro (coord.). Anatomia Vegetal. Ed. Universidade de Viçosa, Viçosa. p. 237-264.
- Mazzoni-Viveiros, S.C. & Trufem, S.F.B.** 2004. Efeitos da poluição aérea no sistema radicular de *Tibouchina pulchra* Cogn. (Melastomataceae) em área de Mata Atlântica: associações micorrízicas e morfologia. *Revista Brasileira de Botânica* 27: 337-348.
- Medri, M.E., Bianchini, E. & Pimenta, J.A.** 1998. Aspectos morfo-anatômicos e fisiológicos de *Peltophorum dubium* (Spr.) Taub. Submetida ao alagamento e à aplicação de etrel. *Revista Brasileira de Botânica* [on-line] 21. http://www.scielo.com.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-84041998000300004&lng=pt&nrm=iso. (Acesso em 04/Março/2005).
- Mello-Filho, L.E.** 1991/1992. A Floresta Atlântica. *In:* S. Monteiro & L. Kaz (coord.). Floresta Atlântica/textos científicos. Edições Alumbamento, Rio de Janeiro. p. 17-21.
- Mittermeier, R.A.; Myers, N. & Mittermeier, C.G.** 1999. Hotspots – Earth’s Biologically Richest and Most Endangered Terrestrial Ecoregions. CEMEX, Cidade do México.
- Moura, B.B. & Alves, E.S.** 2003. Potencialidade de bioindicação de *Tillandsia usneoides* L. à poluição urbana aérea: aspectos estruturais. Instituto de Botânica: questões ambientais e

a sustentabilidade financeira. 10ª Reunião Anual do Instituto de Botânica, São Paulo. p. 16.

Nali, C.; Crocicchi L. & Lorenzini G. 2004. Plants as indicators of urban air pollution (ozone and trace elements) in Pisa, Italy. *Journal of Environmental Monitoring* 6: 636-645.

Nebel, B.J. & Wright, R.T. 2000. *Environmental science: the way the world works*. Prentice Hall Inc., Upper Saddle River.

Neiva, A. 1941. O pau-brasil (*Caesalpinia echinata* Lamarck 1789). *Chácaras & Quintais*. v.63. n.1. p. 66-71.

Oliveira, L.F.C.; Edwards, H.G.M.; Velozo, E.S. & Nesbitt, M. 2002. Vibration spectroscopic study of brasilin and brasilein, the main constituents of brazilwood from Brazil. *V Spectroscopy* 28: 243-249.

Pandey J. & Agrawal, M. 1994. Evaluation of air pollution phytotoxicity in a seasonally dry tropical urban environment using three woody perennials. *New Phytologist* 126: 53-61.

Pedroso, A.N.V.; Alves, E.S.; Sant'Anna, S.M.R. & Domingos, M. 2003. Estudo anatômico da folha de *Lolium multiflorum* ssp. *italicum* cv. Lema exposto em ambientes poluídos. Instituto de Botânica: questões ambientais e a sustentabilidade financeira. 10ª Reunião Anual do Instituto de Botânica, São Paulo. p. 17.

Peixoto, A.L. 1991/1992. A vegetação da Costa Atlântica. *In*: S. Monteiro & L. Kaz (coord.). *Floresta Atlântica/textos científicos*. Edições Alumbamento, Rio de Janeiro. p. 33-42.

- Percy, K.E. & Ferretti, M.** 2004. Air pollution and forest health: toward new monitoring concepts. *Environmental Pollution* 130: 113-126.
- Pompéia, S.L.** 1997. Sucessão secundária da Mata Atlântica em áreas afetadas pela poluição atmosférica de Cubatão – SP. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Pompéia S.L.** 2000. Respostas das Plantas Nativas Brasileiras à Poluição. *In:* W. Larcher (ed.) *Ecofisiologia Vegetal*. Rima, São Carlos. p. 449-454.
- Pradella, D.Z.A.** 1997. Estudos com *Tibouchina pulchra* Cogn. (Melastomataceae) (Manacá-da-serra) submetida a estresse por poluição na Serra do Mar em Cubatão – SP – Brasil. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.
- Prado Júnior, C.** 1965. História econômica do Brasil. Brasiliense, São Paulo.
- Ramalho, R.S.** 1978. Pau-brasil (*Caesalpinia echinata* Lam.). Boletim de Extensão 12. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- Raven, P.H.; Evert, R.F. & Eichhorn, S.E.** 2001. *Biologia Vegetal*, 6. ed. Guanabara-Koogan, Rio de Janeiro.
- Rei, F. & Sogabe, M.N.** 2005. Poluição do Ar. <http://www.mre.gov.br/cdbrazil/itamaraty/web/port/meioamb/mamburb/poluar/apresent.htm> (Acesso em 15/Jan./2005).
- Reich, P.B.** 1987. Quantifying plant response to ozone: a unifying theory. *Tree Physiology* 3: 63-91.

- Ribeiro, W.C.** 2003. Apresentação: o Patrimônio Ambiental Brasileiro. *In:* W.C. Ribeiro (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 Bulletin n.s. 2:79-87.
- Richter, H.G.; Mazzone-Viveiros, S.C.; Alves, E.S.; Luchi, A.E. & Costa, C.G.** 1996. Padronização dos critérios para a descrição anatômica da casca: lista de características e glossário de termos. IF Série Registros 16: 1-25.
- Rizzini, C.T.** 1971. Árvores e madeiras úteis do Brasil – Manual de dendrologia brasileira. Edgard Blücher Ltda., São Paulo.
- Roberts, L.W.; Gahan, P.B. & Aloni, R.** 1988. Vascular differentiation and plant growth regulators. Springer-Verlag, Berlin.
- Rocha, Y.T.** 2004. Ibirapitanga: História, distribuição geográfica e conservação do pau-brasil (*Caesalpinia echinata* Lam., Leguminosae) do descobrimento à atualidade. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Rosner, S. & Kartusch, B.** 2003. Structural changes in primary lenticels of Norway spruce over the seasons. IAWA Journal 24: 105-116.
- Roth, I.** 1981. Structural patterns of tropical barks. Handbuch der Pflanzenanatomie. Band IX, Teil 3. Gerbrüder Borntraeger, Berlin-Stuttgart.

- Santiago, E.F. & Paoli, A.A.S.** 2003. O aumento em superfície em *Adelia membranifolia* (Müll. Arg.) Pax & K. Hoffm. e *Peltrophorum dubium* (Spreng.) Taub., em resposta ao estresse por deficiência nutricional e alagamento do substrato. *Revista Brasileira de Botânica* 26: 503-513.
- Santos, M.** 1981. Manual de geografia urbana. Hucitec, São Paulo.
- São Paulo.** 2005. Um mundo chamado São Paulo.
<http://www.saopaulo.sp.gov.br/saopaulo/index.htm> (Acesso em 15/Jan./2005).
- Seinfeld, J.H.** 1986. Atmospheric chemistry and physics of air pollution. John Wiley & Sons, New York. 738 p.
- Silva, I.C. & Carmona, R.C.P.** 1999. Madeira de lei: trilhas do Parque da Esalq. Esalq/FNMA, Piracicaba.
- Soares, C.M.C.** 1985. Pau-brasil: a árvore nacional. 2. ed. Universidade Federal Rural de Pernambuco/Estação Ecológica do Tapacurá, Recife.
- Sodré, N.W.** 1985. A gênese da economia predatória do Brasil. *Pau-brasil* 7: 6-8.
- Souza, B.J.** 1939. O Pau-brasil na história nacional. Companhia Editora Nacional, São Paulo.
- Souza, O.M.F.** 1984. Pau-brasil: esse ilustre desconhecido. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.
- Stange Jr.; R.R., Midland, S.L.; Holmes, G.J.; Sims, J.J. & Mayer, R.T.** 2001. Constituents from the periderm and outer cortex of *Ipomea batatas* with antifungal activity against *Rhizopus stolonifer*. *Postharvest Biology and Technology* 23: 85-92.

- Struffaldi-de-Vuono, Y.** 1985. Fitossociologia do estrato arbóreo da floresta da Reserva Biológica do Instituto de Botânica (São Paulo, SP). Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Targa, H.J.; Klockow, D. & Domingos, M.** 2001. Impactos da poluição atmosférica na biodiversidade da vegetação da Mata Atlântica na Serra do Mar, Cubatão. *In:* I. Garay & B. Dias (orgs.). Conservação da biodiversidade em ecossistemas tropicais. Editora Vozes, Petrópolis.
- Tavares, R.A.D.** 2002. Alterações morfo-anatômicas em folhas de *Leandra mosenii* Cogn. (Melastomataceae) sujeitas à poluição atmosférica da Serra do Mar – SP. Monografia de conclusão de curso. Universidade Metodista de São Paulo, São Bernardo do Campo.
- Treshow, M.** 1984. Introduction. *In:* M. Treshow (ed.). Air Pollution and Plant Life. John Wiley & Sons Ltd., New York. p. 1-6.
- Treshow, M. & Anderson, F.K.** 1989. Plant Stress from Air Pollution. John Wiley & Sons Ltd., New York.
- UICN (União Internacional para a Conservação da Natureza), PNUMA (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente) e WWF (Fundo Mundial para a Natureza).** 1991. Cuidando do Planeta Terra. Uma estratégia para o futuro da vida. Editora CL-A Cultural, São Paulo.
- Vieira de Mello, C.E.H.** 1996. O Rio de Janeiro no Brasil quinhentista. Giordano, São Paulo.
- Warren, D.** 1996. A ferro e fogo: a história e a devastação da mata atlântica brasileira. Companhia das Letras, São Paulo.

Webb, M.A. 1999. Cell-mediated crystallization of calcium oxalate in plants. *Plant Cell* 11: 751-761.

Wellburn, A.R. 1990. Tansley review n.4. Why are the atmospheric oxides of nitrogen usually phytotoxic and not alternative fertilizers? *New Phytologist* 115: 395-429.

WWF. 2005. Pau-brasil – *Caesalpinia echinata*.
<http://www.wwf.org.br/informa/especie.asp?lista=1&item=14> (Acesso em 12/Jan./2005).