

# Efeitos da poluição na fotossíntese, dimensões da folha, deposição de particulados e conteúdo de ferro e cobre em alfeneiro (*Ligustrum lucidum*) da arborização de Curitiba, PR\*

MARIO TAKAO INOUE\*\*  
CARLOS BRUNO REISSMANN\*\*\*

## RESUMO

A fotossíntese líquida, o conteúdo de ferro e cobre, assim como a deposição de partículas sólidas nas folhas e as dimensões destas, foram determinados em 7 árvores de alfeneiro (*Ligustrum lucidum*) plantadas na arborização do alto da rua XV de Novembro e em igual quantidade de árvores plantadas no Parque da Barreirinha, na periferia da cidade de Curitiba, estado do Paraná. As determinações foram efetuadas em amostras constituídas por ramos com folhas, destacados das árvores. Os resultados demonstram que o ambiente de tráfego intenso da rua XV de Novembro proporciona estresse ambiental às árvores, na forma de maior quantidade de partículas sólidas na superfície das folhas e maior teor de ferro nessas deposições, quando comparados com as árvores do Parque da Barreirinha. Tais condições de poluição acarretam uma redução à metade do potencial fotossintético daquelas árvores, assim como uma redução em 15% do tamanho das folhas.

**Palavras-chave:** ecofisiologia, trocas gasosas, micronutrientes, estresse ambiental

## ABSTRACT

Effects of air pollution on photosynthesis, leaf size, particle deposition and iron and copper contents in alfeneiro (*Ligustrum lucidum*) used in arborization of Curitiba, PR. The net photosynthesis, leaf size and contents of iron, copper and solid particle were determined in 7 trees of *Ligustrum lucidum* planted as street trees at XV de Novembro street in downtown of Curitiba city and in equal quantity of trees planted at Parque da Barreirinha, situated in the periphery of Curitiba, Paraná state, Brazil. All determinations were made in detached branches. The intense vehicle traffic at XV de Novembro street seems to be the main cause of higher amount of solid particle deposition on leaf and its higher iron content when compared to Parque Barreirinha's trees. Such environmental conditions reduced also photosynthesis rate until to the half, as well as 15% of leaf size.

**Key words:** ecophysiology, gas exchange, micronutrients, environmental stress

## INTRODUÇÃO

O problema da poluição ambiental tem sido, nos últimos anos, objeto de preocupação das mais diversas, passando por meras manifestações especulativas,

\*Trabalho apresentado no 3º Encontro Nacional sobre Arborização Urbana, Curitiba, PR, 1990

\*\*Eng. Florestal, M.Sc., Dr. der Nat., Professor Titular do Departamento de Silvicultura e Manejo, UFPR - Bolsista do CNPq

\*\*\*Eng. Florestal, M.Sc., Dr. rer. nat., Professor Adjunto do Departamento de Solos, UFPR - Bolsista do CNPq

até a investimentos a nível internacional para estudos sérios. Recentemente com o advento do declínio das florestas no hemisfério norte, quando milhares de ha sucumbiram à causas por poluição atmosférica, principalmente a chuva ácida, o assunto tomou a sua maior importância até então.

Pesquisas mais recentes englobam o estudo de efeitos de poluição induzida, principalmente por ozônio e dióxido de enxofre. Os efeitos estudados vão desde a observação da queda de folhas (KELLER, 1988), análise de pigmentos associados ao aparelho fotossintético (KUMAWAT *et al.*, 1988; SIGAL *et al.*, 1988; LECHNER *et al.*, 1989), deposição e acúmulo de bioelementos e metais nas folhas (BEIER *et al.*, 1989; FERNANDES *et al.*, 1989), análise dos efeitos nos órgãos reprodutivos (OSTROLUCKA, 1989), modificações nas dimensões foliares (BHATTI *et al.*, 1988), até a utilização de imagens de satélite para a detecção de poluição atmosférica na vegetação (WESTMAN *et al.*, 1988).

Os estudos conduzidos sobre a influência da poluição na fisiologia dos vegetais, notadamente no que concerne ao processo fotossintético, referem-se à limitação da fluorescência induzida da clorofila, a fotossíntese propriamente dita e a translocação dos assimilados. SIGAL *et al.* (1988) isolaram protoplastos de acículas de *Pinus taeda*, constatando que mesmo um ano após o tratamento induzido de poluição, os efeitos no crescimento são visíveis, representados pela diminuição da fluorescência, da atividade da esterase, proteínas, lípidios neutros e RNA. Concluíram também que, embora o estudo tenha sido exploratório, mostrou-se bastante promissor. LECHNER *et al.* (1989) por sua vez, demonstraram existir interação entre a altitude e a estação do ano na capacidade de fluorescência da clorofila de *Picea abies* em locais de elevadas altitudes na Áustria. Concluíram que a fluorescência induzida da clorofila mostrou-se como parâmetro sensível a qualquer estresse que afete a fotossíntese. BOLHAR-NORDENKAMPF *et al.* (1989) demonstraram a existência de variação estacional e geográfica da fotossíntese em *Picea abies* em função do estresse ambiental. Assim, a fotossíntese foi mais baixa em elevadas altitudes, mantendo-se baixa também durante o mês de agosto, quando existe maior concentração de ozônio. Estudando mudas de 2 anos de *Pseudotsuga menziesii*, sob estresse de baixa concentração de ozônio e dióxido de enxofre, GORISSEN *et al.* (1988) mostraram em medições diárias, que havia redução na respiração raiz/solo durante as primeiras duas semanas após a exposição à poluição, seguida por uma recuperação gradual. Outros efeitos na distribuição de fotossintatos não foram aparentes. ZWIAZEK *et al.* (1988) tratando mudas de *Pinus banksiana* com solução de fluoreto de sódio, constataram redução na taxa fotossintética em plantas expostas a 1, 2 e 4 dias. Ao contrário, segundo KRZAK *et al.* (1988), ramos destacados de *Picea abies* com severos sintomas de declínio apresentaram, em acículas de 1 e 2 anos de idade, taxas fotossintéticas mais elevadas do que ramos de árvores saudáveis ou com sintomas leves.

Dentre os estudos realizados sobre os efeitos da poluição em arborização de ruas e estradas, destacam-se os trabalhos conduzidos por BHATTI *et al.* (1988), OSTROLUCKA (1989), MAJDI *et al.* (1989), KAMMERBAUER *et al.* (1987a e 1987b), LANZ *et al.* (1986) e SAUTER *et al.* (1987).

O objetivo do presente trabalho foi verificar e quantificar os possíveis efeitos da poluição causada pela descarga de veículos automotores nas dimensões das folhas, deposição de particulados, no conteúdo de ferro e cobre e no potencial fotossintético de árvores de alfeneiro utilizadas na arborização de Curitiba, estado do Paraná.

## MATERIAL E MÉTODOS

O alfeneiro (*Ligustrum lucidum*) é uma das espécies mais plantadas na arborização de Curitiba (MILANO, 1988). Trata-se de uma árvore rústica, de fácil manejo e que aparentemente parece ser resistente a danos por poluição. O trabalho foi conduzido em amostras coletadas de árvores adultas de alfeneiro em rua de intenso movimento de veículos (alto da rua XV de Novembro) e em amostras coletadas num bosque na periferia da cidade (Parque Barreirinha). O trabalho foi conduzido durante a primeira quinzena de setembro de 1990.

Para a determinação da fotossíntese e dimensões foliares, as amostras, constituídas por ramos com folhas inteiras, foram coletadas da porção mediana e externa da copa, localizadas na face norte. No caso da rua XV, tal situação coincidiu com a exposição à passagem dos veículos. As amostras eram colocadas em recipiente com água e transportadas ao laboratório.

No material coletado tentou-se medir, previamente, a troca de  $\text{CO}_2$  em folhas lavadas. Algumas medições mostraram que, quando lavadas, as folhas apresentavam uma taxa fotossintética menor do que quando não lavadas. Talvez na operação de lavagem possa ter ocorrido um espalhamento de cristalóides de cera, ou mesmo gordura, na superfície do limbo, obstruindo parcialmente os estômatos. Devido a tal comportamento, abandonou-se o procedimento de lavagem das folhas para a medição da fotossíntese.

A determinação da fotossíntese foi efetuada imediatamente após a chegada da amostra, de acordo com a técnica de ramos destacados empregada por FÜHRER (1985). Assim, as amostras de cada ambiente foram analisadas em dias diferentes, porém na mesma hora do dia. A medição da troca de  $\text{CO}_2$  foi efetuada em folhas destacadas, com a base do pecíolo envolto em algodão embebido em água destilada. O material foi inserido em pote de vidro padronizado (alimento para bebês) que estava acoplado a uma câmara climatizada e ao analisador de gás infravermelho, conforme a técnica desenvolvida por INOUE *et al.* (1990). A intensidade luminosa foi fornecida por lâmpada de vapor de mercúrio e foi fixada em  $250 \text{ E.m}^{-2}\text{s}^{-1}$ . A temperatura do ar dentro do recipiente foi estabelecida em  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ . Assim, foram coletadas amostras de ramos em 7 árvores de cada uma das situações já mencionadas. De cada amostra foram efetuadas 3 medições da fotossíntese, acumulando assim, 21 medições em cada situação, ou seja, de árvores sob ação da poluição e de árvores consideradas livres de tal ação.

A determinação dos elementos e da deposição de partículas sólidas foi efetuada em amostras coletadas nas mesmas árvores, porém dias diferentes, posteriores à medição da fotossíntese. As amostras foram retiradas da base das copas, com exposição norte. No laboratório, foram selecionadas apenas as

folhas inteiras, sem pecíolo. Do conjunto todo, foram amostradas ao acaso, 100 folhas para serem lavadas em 500 ml de água deionizada e 100 folhas para serem analisadas com o material sólido depositado no limbo. Em seguida, foram secas a 70 °C até peso constante, moídas e incineradas a 500 °C. A cinza foi tratada com 10 ml de HCl 10% e solubilizada à quente, sendo em seguida filtrada. As determinações de ferro e cobre foram efetuadas por espectrofotômetro de absorção atômica. O resíduo no filtro foi seco em estufa a 70 °C e em seguida pesado, descontando-se o peso do filtro limpo, previamente seco.

A interpretação dos resultados foi auxiliada pela análise da variância, usando-se o teste de Tukey para a comparação entre médias.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### QUALIDADE DO AR NOS DOIS AMBIENTES

Para a realização do estudo, partiu-se da premissa de que o ar na região da rua XV de Novembro está sujeito à poluição por poeira e gases do escapamento dos veículos que lá transitam, entre automóveis, ônibus e caminhões. Da mesma forma, assumiu-se que as árvores do Parque Barreirinha estavam livres de tal tipo de poluição. Os parâmetros usados para a comprovação de tais premissas foram as análises efetuadas dos elementos contidos nas folhas e da deposição de partículas sólidas.

No Quadro 1 encontram-se os valores médios para os elementos Fe e Cu e material sólido encontrados nas folhas de alfeneiro. Os resultados demonstram que o material depositado nas folhas das árvores do ambiente considerado poluído (rua XV de Novembro) contém uma quantidade de ferro significativamente mais elevada do que o depositado nas folhas das árvores do local considerado não poluído (Parque da Barreirinha). As folhas não lavadas da rua XV apresentaram um conteúdo de ferro pouco mais do que duas vezes mais elevado do que as folhas limpas. Na Barreirinha não foi encontrada diferença significativa entre as folhas lavadas e não lavadas.

O conteúdo normal de ferro encontrado nas folhas dos vegetais varia de 50 a 2.000 ppm, segundo AMBERGER (1979). No presente trabalho, as folhas lavadas da rua XV, assim como os dois tipos de folhas da Barreirinha apresentam valores próximos ao limite mínimo do teor normal de ferro nas plantas. Tal resultado demonstra que a deposição de material sólido nas árvores da rua XV contribuiu para o significativo elevado teor de ferro nas folhas não lavadas.

Tais resultados confirmaram os observados por DREESEN *et al.* (1981) em *Tamarix chinensis* sob a influência de uma usina dendrotérmica nos Estados Unidos, concluindo que o conteúdo mais elevado de Fe e outros elementos das folhas não lavadas provém da deposição de material sólido. Também foi detectada por LØBERSLI *et al.* (1988) uma elevação no conteúdo de Fe e outros metais em algumas espécies próximas a uma usina de cobre na Noruega. Segundo os estudos efetuados por McCOLL *et al.* (1987), simulando a chuva ácida em dois tipos de solos florestais em Sierra Nevada, Califórnia, tal tipo de poluição seria responsável pela elevação dos teores de Fe, Al, Mn e Zn no solo.

Sobre a fonte do ferro para provocar o seu maior conteúdo na superfície

das folhas das árvores da rua XV de Novembro, não foi efetuado nenhum estudo posterior. O elemento pode estar contido na própria poeira do ar, provir do desgaste de partes metálicas dos veículos, assim como provir da água da chuva, trazendo poluentes de outros locais.

QUADRO 1 - Média do conteúdo de ferro, cobre e material sólido encontrado em folhas de alfeneiro (*Ligustrum lucidum*) em dois ambientes diferentes (média de 7 árvores por local de coleta)

TABLE 1 - Average content of iron, copper and solid particles found in leaves of alfeneiro (*Ligustrum lucidum*) from two different sites. (average of 7 trees per site)

Local/Site	Ferro/Iron (ppm)	Cobre/Copper (ppm)	Material sólido/Particles (mg/m <sup>2</sup> )
rua XV			
Folhas lavadas/ <i>washed leaves</i>	56,8 b	6,7 a	445*
Folhas não lavadas/ <i>unwashed leaves</i>	116,0 a	7,6 a	
Barreirinha			
Folhas lavadas/ <i>washed leaves</i>	46,0 b	9,4 a	216*
Folhas não lavadas/ <i>unwashed leaves</i>	57,1 b	9,3 a	

Valores nas colunas com letras idênticas não diferem entre si ao nível de 99% de probabilidade; (\*) valores que diferem entre si ao nível de 90% de probabilidade.

Values in columns followed by same letters do not differ among themselves at the level of 99% of probability; (\*) values differ at the level of 90% of probability.

O conteúdo de cobre encontrado nas folhas do alfeneiro em ambos os locais não apresentou diferença significativa. Conforme consta na literatura (AMBERGER, 1979), o conteúdo normal de cobre nas folhas das plantas varia de 4 a 20 ppm, estando os valores encontrados neste estudo dentro da faixa normal. Como os valores nos dois ambientes não diferiram entre si, conclui-se que, com referência a este elemento, não existem indícios de seu acúmulo a níveis de estresse.

O conteúdo de matéria sólida depositada nas folhas das árvores da rua XV foi pouco mais do que o dobro do encontrado na superfície das folhas das árvores da Barreirinha. Os presentes resultados apontam para um efeito poluidor do tráfego de veículos automotores, acumulando grande quantidade de material sólido na copa das árvores.

#### POTENCIAL FOTOSSINTÉTICO E MORFOLOGIA FOLIAR

Partindo do fato de que a qualidade do ar é diferente nos dois ambientes estudados, apresenta-se a seguir os efeitos da poluição sobre o potencial fotossintético e nas dimensões das folhas do alfeneiro. Os valores médios dos parâmetros medidos e calculados estão representados do Quadro 2.

A fotossíntese líquida do material exposto ao ambiente considerado

poluído esteve em média a 49% do valor alcançado pelo material considerado não afetado pela poluição. Se se considerar que as árvores do Parque Barreirinha estão de fato livres ou quase livres de qualquer tipo de poluição do ar, e que as taxas de fotossíntese medidas são típicas de uma planta fisiologicamente sadia, as árvores da rua XV de Novembro demonstram sintomas de algum efeito do ambiente poluído. Conforme consta na literatura, na grande maioria dos estudos levados a efeito nesse campo, o material que esteve sob a ação do ambiente poluído, seja em condições naturais ou simuladas, sempre apresentou taxas fotossintéticas mais reduzidas do que o material livre da poluição.

QUADRO 2 - Valores médios da fotossíntese líquida, área foliar, comprimento e largura da folha de *Ligustrum lucidum* de amostras coletadas em ambiente poluído e não poluído (média de 7 árvores por local de coleta).

TABLE 2 - Average of net photosynthesis, leaf surface, leaf length and leaf width of samples of *Ligustrum lucidum* collected at polluted and not polluted environment. (average of 7 trees per site).

Local/ Site	Fotossíntese/ Photosynthesis (mmol.m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup> )	Área foliar/ Leaf surface (cm <sup>2</sup> )	Comprimento/ Leaf Length (cm)	Largura/ Leaf width (cm)
rua XV	1,3	24,7	9,2	4,2
Barreirinha	2,6	33,2	10,5	4,9
Diferença (%) entre os locais/ Difference between sites	104	34	13	14

Todos os valores entre os dois locais de coleta diferem entre si ao nível de 99,5% de probabilidade.

All values between both collection sites differ among themselves at the level of 99,5% of probability.

De acordo com KAMMERBAUER *et al.* (1987a), o efeito da exposição por 30 minutos a gases de escapamento de um motor Otto provocou sensível queda nas taxas de fotossíntese e transpiração de acículas de *Picea abies*. Utilizando filtros e analisando as frações dos gases do escape, puderam demonstrar que o efeito tóxico pode ser atribuído a fração de nitratos. Em outro estudo levado a efeito com *Picea abies* de 6 anos de idade, exposta por 10 semanas numa auto-estrada, KAMMERBAUER *et al.* (1987b) mostraram a significativa redução no crescimento e taxas de fotossíntese e transpiração destas plantas, quando comparada com as plantas-controle situadas numa área não poluída a 15 Km do local sob teste. LANZ *et al.* (1986) demonstraram que o efeito poluente da descarga de motores numa auto-estrada pode abranger até 60 m dentro do talhão de 75 e 89 anos de idade de *Picea abies*, afetando o crescimento e a morfologia foliar. Em plantas de ipê-amarelo (*Tabebuia chrysotricha*) da arborização de Curitiba, INOUE *et al.* (1990) constataram que indivíduos sob ação poluente apresentaram taxas fotossintéticas mais reduzidas (até 54%) do que plantas livres da poluição. Os autores observaram

também que o conteúdo de cinzas nas primeiras foi 45% mais elevado do que nas últimas.

No presente trabalho, tenta-se explicar a menor taxa fotossintética observada nas amostras poluídas como sendo devida a deposição de material sólido no limbo das folhas, que provavelmente tenham interferido no mecanismo estomático. SAUTER *et al.* (1987) analisaram em microscópio de varredura amostras de *Picea abies* expostas por 20 semanas à emissão de gases ao longo de estrada e numa câmara de fumigação, chegando à conclusão que havia degradação da estrutura foliar e que esta atingia a obstrução da câmara sub-estomática, contribuindo assim para a redução nas taxas de fotossíntese e transpiração. SUMIZONO *et al.* (1986) estudando clones de *Populus*, concluíram que o clone mais resistente evitou o estresse por ozônio, mantendo elevada resistência estomática em relação a clones mais sensíveis. Pesquisando o efeito da fumigação de sulfeto e ozônio na resistência estomática, JENSEN *et al.* (1986) demonstraram que com o aumento da umidade do ar até 80% houve diminuição da resistência estomática, proporcionando abertura dos estômatos e conseqüente entrada de poluentes no interior das folhas de *Liriodendron tulipifera*.

Nas plantas aqui estudadas, uma ação direta dos poluentes no processo fotossintético também não pode ser descartada, embora um sintoma visível de dano ou declínio das árvores afetadas não tenha sido observado. Pode ser possível que a taxa fotossintética mais baixa das árvores sob poluição esteja relacionada com uma resistência estomática mais elevada, o que não é muito comum. Neste caso, o alfeneiro estaria demonstrando, fisiologicamente, uma adaptação ou resistência às condições de estresse ambiental.

A morfologia foliar do alfeneiro era bem distinta entre as amostras coletadas nos dois ambientes: as árvores livres da poluição tinham folhas com a área 34% maior do que as árvores sob condições de poluição. Individualmente, as folhas apresentaram as dimensões respectivamente distintas: as folhas livres de poluentes tinham o comprimento e largura respectivamente 13% e 14% maiores do que as folhas afetadas. O comportamento diferenciado na morfologia foliar pode estar simplesmente relacionado com as condições nutricionais das árvores. A possibilidade do fato das árvores poluídas estarem sob piores condições nutricionais do solo do que as árvores sadias, não pode ser descartada. Contudo, consta na literatura, a redução da área foliar como um dos sintomas associados a ação de poluentes. BHATTI *et al.* (1988) constataram redução da produtividade da folhagem em *Guaiacum officinale*, *Ficus bengalensis* e *Eucalyptus sp.* sob condições poluídas. A espécie menos afetada foi *Azadirachta indica*, tendo sido por isso, recomendada para a arborização de estradas. Estudando parâmetros que pudessem classificar os danos causados por poluição em *Fagus silvatica*, OSWALD *et al.* (1986) chegaram à conclusão que a ação poluente afeta a morfologia foliar, reduzindo em até mais do que 50% a área foliar sob condições severas de poluição. Também CZUCHAJOWSKA (1987) constatou redução em 30% no comprimento de acículas de *Pinus sylvestris* e de 23% e 13% no tamanho das folhas de *Vaccinium vitisidaea* e *V. myrtillus*, respectivamente, quando expostos durante 1 ano à emissão de um forno de zincagem.

Assim, os presentes resultados demonstram que a taxa fotossintética pode ser utilizada como um parâmetro factível e sensível para detectar diferenças entre plantas sob influência da poluição atmosférica e plantas protegidas ou distantes de tal estresse. Tais diferenças certamente refletem-se também na morfologia foliar das plantas.

#### BIBLIOGRAFIA CITADA

- AMBERGER, A. 1979. *Pflanzenernährung - ökologische und physiologische Grundlagen*. Stuttgart, Eugen Ulmer, UTB, 846.
- BEIER, C. & GUNDERSEN, P. 1989. Atmospheric deposition to the edge of a spruce forest in Denmark. *Environmental Pollution*, **60**(3-4):257-271.
- BHATTI, G. H. & IQBAL, M. Z. 1988. Investigations into the effect of automobile exhausts on the phenology, periodicity and productivity of some roadside trees. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, **57**(3):395-399.
- BOLHAR-NORDENKAMPF, H. R. & LECHNER, E. G. 1989. Saisonale und stress bedingte Modifikationen der photosynthetische Kapazität von Fichten im Höhenprofil Zilertal. B- Lichtabhängige CO<sub>2</sub>-Fixierung. *Phyton*, **29**(3):207-227.
- ŁZUCHAJOWSKA, Z. 1987. Influence of zinc smelter emissions on leaves of *Pinus sylvestris* and *Vaccinium spp.* as revealed by some morphological and ecophysiological indices. *Environmental and Experimental Botany*, **27**(1):67-84.
- DRESEN, D. R. & WANGEN, L. E. 1981. Elemental composition of salt cedar (*Tamarix chinensis*) impacted by effluents from a coal fired power plant. *Journal of Environmental Quality*, **10**(3):410-416.
- FERNANDES, J. C. & HENRIQUE, F. S. 1989. Metal contamination in leaves and fruits of holm-oak (*Quercus rotundifolia* Lam.) trees growing in a pyrites mining area at Aljustrel, Portugal. *Water, Air and Soil Pollution*, **48**(3-4):409-415.
- FÜHRER, G. 1985. Photosynthesekapazität abgeschnittener Zweigmethodische Untersuchungen zur charakterisierung der Vitalität ungeschädigter und geschädigter Fichten. Diplomarbeit. Univ. de Würzburg, Alemanha.
- GORISSEN, A. & VEEN, J. A. VAN. 1988. Temporary disturbance of translocation of assimilates in Douglas firs caused by low level of ozone and sulfur dioxide. *Plant Physiology*, **88**(3):559-563.
- INOUE, M. T.; WANDEMBRUCK, A. & MORES, M. 1990. Plantas indicadoras de poluição ambiental: uma abordagem metodológica exemplificada em *Tabebuia chrysotricha*. In: VI Congresso Florestal Brasileiro, Campo do Jordão, SP.
- JENSEN, K. F. & ROBERTS, B. R. 1986. Changes in yellow poplar stomatal resistance with SO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub> fumigation. *Environmental Pollution*, **41**(3):235-245.
- KAMMERBAUER, H.; SELINGER, H.; ROMMELT, R.; ZIEGLER-JONS, A.; KNOPPIK, D. & HOCK, B. 1987a. Toxic components of motor vehicle emissions for the spruce *Picea abies*. *Environmental Pollution*, **48**(3):235-243.
- KAMMERBAUER, H.; ZIEGLER-JONS, A.; SELINGER, H.; ROMMELT, R.; KNOPPIK, D. & HOCK, B. 1987b. Exposure of Norway spruce at the highway border: effects on gas exchange and growth. *Experientia*, **43**(10):1124-1125.
- KELLER, T. 1988. Growth and premature leaf fall in American aspen as bioindicators for ozone. *Environmental Pollution*, **52**(3):183-192.



- KRZAK, J.; DONG, P. H.; BUTTNER, G.; HUTTERMANN, A.; KRAMER, H. & ULRICH, B. 1988. Photosynthesis, nutrient, growth and soil investigations of a declining Norway spruce (*Picea abies*) stand. *Forest Ecology and Management*, **24**(4):263-281.
- KUMAWAT, D. M. & DUBEY, P. S. 1988. Steel industry aerial discharges and response of two tree species. *Geobios*, **15**(4):176-180.
- LANZ, W. & SCHWABEDISSSEN, K. 1986. Untersuchungen von Schadsymptomen in Fichtenbeständen an Autobahnen. *Forstarchiv*, **57**(5):180-182.
- LECHNER, E. G. & BOLHAR-NORDENKAMPF, H. R. 1989. Saisonale und stress bedingte Modifikationen der photosynthetischen Kapazität von Fichten im Höhenprofil Zilertal. A- Induktionscharakteristika der Chlorophyllfluoreszenz. *Phyton*, **29**(3):187-206.
- LØBERSLI, E. M. & STEINNES, E. 1988. Metal uptake in plants from a birch forest area near a copper smelter in Norway. *Water, Air and Soil Pollution*, **37**(1-2):25-39.
- MAJDI, H. & PERSSON, H. 1989. Effects of road-traffic pollutants (lead and cadmium) on trees fine-roots along a motor road. *Plant and Soil*, **119**(1):1-5.
- McCOLL, J. G. & FIRESTONE, M. K. 1987. Cumulative effects of simulated acid rain on soil chemical and microbial characteristics and conifer seedlings growth. *Soil Science Society of America Journal* **51**(3):794-800.
- MILANO, M. S. 1988. Avaliação quali-quantitativa e manejo da arborização urbana: exemplo de Maringá - PR. *Diss. Doutorado*, Universidade Federal do Paraná, 120p.
- OSTROLUCKA, M. G. 1989. Differentiation of male reproductive organs and oak fertility in urban environment. *Biologia*, **44**(9):793-799. (resumo em F.A. **51**(3), 1990)
- OSWALD, R. & ZIEGLER, R. 1986. Zur Frühdiagnose und Klassifizierung immissionsbedingter Schäden an Buchen. *AFZ*, **26**: 698-700.
- SAUTER, J. J.; KAMMERBAUER, H.; PAMBOR, L. & HOCK, B. 1987. Evidence for the accelerated micromorphological degradation of epistomatal waxes in Norway spruce by motor vehicle emissions. *European Journal of Forest Pathology*, **17**(7):444-448.
- SIGAL, L. L.; EVERSMAAN, S. & BERGLUND, D. L. 1988. Isolation of protoplasts from loblolly pine needles and their flow-citometric analysis for air pollution effects. *Environmental and Experimental Botany*, **28**(2):151-161.
- SUMIZONO, T. & INOUE, T. 1986. Responses of foliar gas exchanges of poplar clones in relation to resistance to ozone. *Bulletin of the Forestry and Forest Products Research Institute*, **336**:35-44. (resumo em F. A. **51**(1), 1990).
- WESTMAN, W. E. & PRICE, C. V. 1988. Detecting air pollution stress in southern California vegetation using Landsat Thematic Mapper band data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, **54**(9):1305-1311.
- ZWIAZEK, J. J. & SHAY, J. M. 1988. Sodium fluoride induced metabolic changes in jack pine seedlings. I. Effect on gas exchange, water content and carbohydrates. *Canadian Journal of Forest Research*, **18**(10):1305-1310.