



INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS
DEPARTAMENTO DE SILVICULTURA DA E.S.A.L.Q. - USP

SÉRIE TÉCNICA

AS FLORESTAS E A POLUIÇÃO DO AR

WALTER DE PAULA LIMA

SUMÁRIO

AS FLORESTAS E A POLUIÇÃO DO AR

1. Introdução
2. Efeitos da Poluição sobre a Floresta
 - 2.1. Aspectos gerais
 - 2.2. Dióxido de enxofre (SO₂)
 - 2.3. Ozônio (O₃)
 - 2.4. Fluoretos
 - 2.5. Particulados
3. Influência da Floresta na Retenção de Poluentes
 - 3.1. Aspectos gerais
 - 3.2. Retenção de gases
 - 3.3. Retenção de particulados
4. Uso de cinturões florestais em Áreas Poluídas
5. Resistência relativa de várias espécies florestais à poluição do ar
6. Possibilidades de Melhoramento Genético para a obtenção de clones resistentes à poluição
7. Conclusões
8. Referências Bibliográficas

AS FLORESTAS E A POLUIÇÃO DO AR

Walter de Paula Lima*

RESUMO

A floresta pode, efetivamente, contribuir para a retenção da poluição do ar, se bem que esta propriedade tem sido, as vezes, superestimada. O valor das árvores neste aspecto deve ser encarado dentro de suas perspectivas, pois elas mesmas podem, com o tempo, ser prejudicadas pela poluição atmosférica. Do ponto de vista dos efeitos sobre as florestas, os principais poluentes são o dióxido de enxofre, o ozônio e o ácido fluorídrico, sendo o SO₂ considerado o mais importante neste aspecto. As espécies latifoliadas são, em geral, mais resistentes à poluição atmosférica, em comparação com as coníferas; a resistência, todavia, apresenta variabilidade inter e intra-específica, e depende de vários fatores de meio e do próprio estado fisiológico da árvore. Assim, o aspecto genético da seleção e do melhoramento de árvores tolerantes é importante passo na busca de espécies resistentes, capazes de crescerem em ambientes poluídos. Este trabalho já vem sendo desenvolvido em muitos países, e uma lista de mais de 100 espécies florestais com suas respectivas sensibilidades relativas à poluição por SO₂, O₃ e HF é apresentada. O SO₂ é normalmente absorvido pelos estômatos e a injúria causada às árvores pode ocorrer independentemente da aparição dos sintomas visuais, tais como necroses, cloroses, etc, e existem já vários exemplos de florestas seriamente afetadas pela poluição por SO₂. Além disto, o SO₂ é também responsável pela chamada “recipitação ácida”, a qual pode também afetar negativamente o desenvolvimento das árvores, por sua ação deletéria sobre o solo, o ciclo de nutrientes, a fixação de nitrogênio, e pelo fato de predispor as árvores à ação de fatores bióticos e abióticos do meio. A utilização de árvores à ação de fatores bióticos e abióticos do meio. A utilização de árvores na forma de cinturões florestais de proteção contra a poluição em ambientes poluídos é prática comum em muitos países desenvolvidos. O efeito destes cinturões resulta tanto na absorção de poluentes gasosos, quanto da filtragem de particulados pelas árvores. Esta ação benéfica depende da concentração dos poluentes. Em concentrações elevadas, os poluentes induzem a aparição de sintomas agudos, podendo sobrevir a morte das árvores. Os limites de concentração dos poluentes SO₂ e HF, para a proteção adequada das florestas, foram recentemente estabelecidas pela IUFRO. Considerações a respeito da área da forma e das distâncias efetivas dos cinturões de proteção contra a poluição são apresentadas. São também comentadas a utilização e a eficácia de cinturões florestais de proteção contra o ruído, ou poluição sonora. Dentro das limitações naturais, embora as florestas possam elas mesmas cair vítimas da poluição atmosférica, a sua presença em ambientes poluídos significa muito em relação à melhoria geral do ambiente para a saúde do homem, por sua influência benéfica sobre o microclima, a umidade, a temperatura, e ao próprio alívio psicológico.

SUMMARY

Forests can effectively act as a sink for air pollution, even though this effect has been sometimes over estimated. The value of the trees in this respect must be viewed within

* Professor Assistente-Doutor – Departamento de Silvicultura da ESALQ/DS

certain constraints, for the trees themselves can be insured by air pollution. From the standpoint of the effects on forests, the main air pollutants are sulphur dioxide (SO₂), ozone (O₃), and hydrogen fluoride (HF), SO₂ being the most important in this regards. Broadleaved species are, in general, more tolerant to air pollution than conifers; tolerance to air pollution, however, presents intra and interspecific variability, and also is dependent upon several environmental factors, as well as upon the physiological conditions of the tree. Therefore, the genetic aspect of air pollution in tree is an important means in the search of resistant species capable of growing in polluted environment. This is already as developed field of research in several countries, from which a list of over one hundred species and their relative resistance to SO₂, O₃ and HF is included. Sulphur dioxide is usually absorbed through the stomata, and the harmful effect of the SO₂ to the tree can occur without visual symptom such as chlorosis, necrosis, etc., and there already exist several cases of forests which were seriously injured by SO₂ pollution. On the other hand, SO₂ is one of the main responsible by the so called acid precipitation, which can also contribute to loss, for it can harm soil fertility, nutrient cycling, nitrogen fixation, leaving the trees less resistant to biotic and abiotic environmental stresses. The use of trees in the form of forest belts for the abatement of air pollution in polluted environment is a common practice in many developed countries. These protective plantations function both in the absorption of gaseous pollutants, as well as in the screening of atmospheric dust. The cleansing effect depends on the concentration of the pollutant. In high concentration, the pollutants can cause acute injury, and the trees can be killed. Air quality standards of SO₂ and HF concentrations for the protection of forests have been recently put out by IUFRO. A discussion about the shape, size and efficiency of protective plantations for pollution and noise abatement is given. Within natural limitations, although the forests can be injured by atmospheric pollution, protective plantations in polluted environment have far reaching effects in relation to the amelioration of the quality of the environment for human health, either because of their beneficial effect upon the microclimate, or because of the psychological effect of their presence.

1. INTRODUÇÃO

Cerca de 99% do chamado “ar seco e puro” que respiramos é constituído de 2 gases: 78% nitrogênio e 21% de oxigênio. O restante 1% inclui CO₂ (0,03%), gases inertes, além de uma série de outros gases (CO, O₃, H₂S, SO₂, NO₂, etc.), muitos dos quais passam a ser considerados como poluentes quando ocorrem em concentrações elevadas. Em condições naturais deve-se considerar, ainda, o vapor d’água, presente em concentrações ao redor de 4%, além dos chamados particulados (poeira, pólen, aerossóis, etc.).

Os métodos de produção industrial freqüentemente tornam difícil, senão impossível, evitar que os gases poluentes entrem na atmosfera. Em conseqüência do desenvolvimento industrial, a adição antropogênica de diferentes gases e outras substâncias à atmosfera tem gerado, a níveis locais e mesmo regionais, situações cada vez mais freqüentes de poluição do ar, ou seja, de concentrações exageradas ou perigosas de vários contaminantes. É o caso, por exemplo, do SO₂, cuja emissão para a atmosfera provém, em sua maior parte, da queima dos combustíveis fósseis e da refinação do petróleo.

Existem, na natureza, mecanismos normais de remoção dos poluentes da atmosfera. Diretamente, a remoção ocorre quando o poluente encontra alguma superfície que tenha capacidade de absorver um dado poluente; indiretamente, quando o poluente se torna preso ao ciclo da precipitação (“rain out”, quando o poluente age como núcleo de concentração; “wash out”, quando é arrastado pelas gotas da chuva em queda) (FOX, 1976).

Os fatores de retenção (“sink factors”) para os poluentes atmosféricos são três: os oceanos, o solo, e a vegetação (JENSEN *et alii*, 1976).

No que diz respeito à vegetação, particularmente as florestas, e sua ação na retenção da poluição do ar, a maioria dos trabalhos são concordes em que a floresta pode, efetivamente, contribuir neste processo, através da absorção de alguns poluentes e através do efeito de filtragem dos particulados (BENNETT & HILL, 1975), (BERNATZKY, 1978). Todavia, muitas afirmações têm sido publicadas recentemente, as quais atribuem às florestas uma importância exagerada como purificadoras do ar. O valor das plantas neste aspecto deve ser encarado dentro de suas perspectivas, a fim de que as tomadas de decisões no que diz, por exemplo, respeito a utilização de cinturões de florestas para a proteção do ar sejam realísticas.

Por outro lado, a preocupação para com os efeitos da poluição atmosférica sobre a vegetação, principalmente sobre as florestas, já existe desde o início deste século, tanto na Alemanha, como nos países escandinavos e nos Estados Unidos.

A literatura específica é volumosa, de tal sorte que uma revisão completa seria muito difícil. Excelentes trabalhos de revisão existem, todavia, já publicados, além de inúmeros trabalhos de pesquisa já realizados. Para as nossas condições, todavia, não existe quase nada conhecido em termos de América do Sul e de espécies de regiões tropicais (SCURFIELD, 1960).

Os itens seguintes contém uma abordagem abrangente dos vários aspectos relacionados com os efeitos dos poluentes sobre as essências florestais. Os efeitos dos poluentes específicos principais são, também, detalhados. O estudo da implantação de cinturões florestais de proteção requer, obviamente, conhecimentos relativos à resistência de plantas aos diversos poluentes, assim como o papel real desempenhado pelas árvores na absorção dos poluentes, o que se procurou condensar durante esta abordagem.

A resistência à poluição apresenta variabilidade inter e intra-específica. Além disto, devido a inexistência de estudos com espécies tropicais, a identificação das espécies que se

mostram resistentes e a aplicação de trabalhos silviculturais de melhoramento genético destas espécies, visando a obtenção rápida de clones resistentes para o plantio, são também, tratados num dos itens finais.

2. EFEITOS DA POLUIÇÃO SOBRE A FLORESTA

2.1. Aspectos gerais

Do ponto de vista florestal, a poluição do ar poderia ser conceituada como sendo aquela na qual os contaminantes ocorrem em concentração suficientes para causar injúrias às árvores e restrições ao crescimento normal da floresta.

A vegetação é, em geral, mais sensível à poluição do ar do que os animais (*AMERICAN CHEMICAL SOCIETY, 1969*).

Em geral, as árvores latifoliadas decíduas (caducifólias) são mais resistentes que as coníferas. As coníferas em idade jovem são mais resistentes do que quando em idade mais avançada. Das latifoliadas perenifólias, as que apresentam folhas maiores parecem ser mais resistentes do que as espécies com folhas miúdas (*BERNATZKY, 1978*), (*DOCHINGER, 1971*), (*HEPTING, 1971*). Especialmente as caducifólias de rápido crescimento (como *Populus sp.*, por exemplo), capazes de emitir rapidamente folhas novas após a injúria, são mais resistentes. Das coníferas, apenas o *Pinus nigra* e *Larix leptolepis* (que é uma conífera decídua) mostram alguma resistência (*SCURFIELD, 1960*).

Os constituintes gerais da poluição do ar podem ser classificados com relação aos efeitos sobre as florestas em (*SCURFIELD, 1960*):

- a) aqueles capazes de serem absorvidos pelo estômatos e pelas lenticelas: poluentes gasosos em geral, tais como SO₂, NO₂, HF, O₃, etc.
- b) aqueles que não são normalmente absorvidos: particulados em geral.

Além da morte propriamente dita, a poluição causa outros prejuízos às árvores. Lesões necróticas nas folhas são o resultado da absorção de gases poluentes em doses elevadas (efeito agudo). Há, ainda, destruição da clorofila e de carotenóides nas partes internervais das folhas, que se tornam esbranquiçadas, sendo o resultado da absorção de doses elevadas ou da absorção de doses sub-letais durante um período prolongado (efeito crônico). Outros sintomas incluem ainda (*KOZLOWSKI & MUDD, 1975*), (*JESSEN et alii, 1976*):

- desorganização celular
- redução na absorção de água
- crescimento lento
- fechamento do estômato
- desfolhamento prematuro
- senescência prematura

A nível de ecossistemas florestais, os efeitos da poluição podem resultar em uma série de alterações com o tempo (*Miller, 1975*):

- eliminação das espécies sensíveis

- redução na diversidade das espécies
- remoção seletiva das espécies dominantes, favorecendo as plantas das sinúcias inferiores
- redução geral no crescimento e na biomassa
- aumento da susceptibilidade ao ataque de pragas e doenças
- aumento da susceptibilidade à ação de fatores abióticos

O efeito da poluição nas florestas é diferente do efeito sobre outras plantas. Para planas anuais e culturais agrícolas, por exemplo, os efeitos da poluição podem ser desastrosos e, às vezes, fatais. No caso de árvores, as necroses foliares decorrentes, por exemplo, do efeito crônico podem não chegar a afetar a produção de madeira (*HEPTING, 1971*).

Além disto, o hábito de crescimento das árvores pode, também, ser alterado. As folhas tornam-se mais finas, o crescimento diminui, e ocorre distorção na estrutura do tronco e da copa. O crescimento em altura é mais afetado do que o em espessura, resultando como que um achatamento das copas. Árvores com crescimento monopodial não conseguem desenvolver esta reação (*BERNATZKY, 1978*).

Comparações efetuadas em florestas de *Pinus* sp crescendo em solos idênticos mostraram os seguintes efeitos quantitativos na redução do crescimento como consequência da poluição do ar (*BERNATZKY, 1978*):

- 1/3 do crescimento em altura
- 1/2 do crescimento no diâmetro médio do tronco
- 1/10 de redução no peso da madeira
- 1/14 de redução no valor da madeira

Muitos dos gases poluentes podem ser prejudiciais às árvores e à vegetação em geral, citando-se: SO₂, HF, NO₂, O₃, Cl, NH₄, Hg, sulfetos, etc. (*HEPTING, 1971*).

Destes, o SO₂, o O₃ e o HF são considerados como os principais poluentes capazes de causar efeitos deletérios às árvores, sendo reconhecidos internacionalmente como os ofensores primários mais importantes das florestas (*HEPTING, 1971*), (*SCURFIELD, 1960*), (*Dochinger, 1971*), (*JESEN et alii, 1976*). O SO₂, por outro lado, é considerado como o mais importante neste aspecto, embora os fluoretos cheguem a ser cerca de 100 vezes mais tóxicos (*BERNATZKY, 1978*).

Na Califórnia, o efeito da poluição sobre as florestas tem sido observado a até cerca de 100 km da fonte poluidora (*MILLER & McBRIDE, 1975*).

No Estado de Tennessee, nos Estados Unidos, a poluição do ar resultante da siderurgia de cobre na região de Copper Hill foi responsável, desde o início de sua operação por volta de 1900, pela destruição total de mais de 7000 hectares de florestas ao redor da área, sendo ainda que, em cerca de outros 12.000 hectares, a vegetação ficou seriamente afetada e, até hoje, o solo ao redor encontra-se praticamente nu (*HEPTING, 1971*).

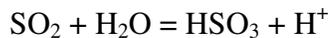
Estas informações gerais permitem, desta forma, verificar que existe já um campo bastante desenvolvido no que diz respeito aos efeitos da poluição do ar sobre as florestas.

Nos itens seguintes são fornecidas considerações baseadas em diferentes estudos sobre os principais poluentes aéreos. Ênfase é dada nos efeitos do SO₂ sobre as florestas, visto que, conforme já mencionado, se trata do principal poluente capaz de causar danos à floresta, e já vem sendo estudado há cerca de 100 anos em várias partes do mundo.

2.2. Dióxido de Enxofre (SO₂)

O SO₂ está relacionado com a poluição do ar mais do que qualquer outro gás poluente. A fonte mais comum da emissão de SO₂ para a atmosfera resulta da queima dos combustíveis fósseis. Estima-se que apenas as refinarias de petróleo contribuem com cerca de 3 t. de SO₂ para a atmosfera por ano (MUDD, 1975).

Uma vez no ar, a hidratação do SO₂ é rápida:



Ou ainda pode ser oxidado a SO₃ e, depois, reagindo com a água, produzir H₂SO₄, que é a reação que dá origem ao perigo “aerossol sulfúrico” (MUDD, 1975).

A reação das plantas ao dióxido de enxofre apresenta muitas variações e envolve a interação entre as características do vegetal, condições ambientais, e dosagem ou concentração do poluente. É consenso entre os vários autores que o SO₂ penetra no tecido foliar através dos estômatos. Assim, fatores que afetam a abertura ou o fechamento dos estômatos irão afetar a reação dos vegetais ao SO₂. Na medida em que na maioria das plantas os estômatos fecham durante a noite, o dano causado por SO₂ resulta usualmente de exposições diurnas. Por outro lado, plantas expostas ao SO₂ tendem a abrir os estômatos mesmo à noite (MUDD, 1975), (LEVITT, 1972).

Geralmente, a sensibilidade aumenta à medida que cresce a umidade relativa do ar, o que pode ser relacionado aos efeitos da umidade na abertura dos estômatos. Igualmente, existe relação entre a quantidade de glicose nas folhas e a sensibilidade ao SO₂ (de manhã a sensibilidade é maior do que à tarde, depois do período fotossintético), podendo ainda ser citada a maior sensibilidade das folhas jovens do que as velhas (MUDD, 1975).

Quimicamente, o SO₂ é de natureza redutora, em comparação com outros poluentes, como o O₃, por exemplo, que é de natureza oxidante.

Em coníferas, os sintomas começam no ápice das acículas, prosseguindo, depois, ao longo da acícula toda. Em árvores expostas a altas concentrações, os ponteiros apresentam sintomas de estarem afetados por excesso de água; os tecidos tornam-se castanho-avermelhado e a planta pode morrer prematuramente. Em exposição crônica, as coníferas definham a pouco e pouco. As acículas tornam-se cloróticas, descoloridas, aparecendo pigmentações cloróticas ao longo das acículas (JENSEN *et alii* 1976).

Em folhosas, a exposição aguda causa sintomas também rapidamente. Os tecidos foliares tornam-se empapados, assumindo, depois, coloração acinzentada. As áreas afetadas tornam-se, depois, descoloridas, principalmente nas áreas internervais. As exposições crônicas conduzem a lesões multicores ao longo das folhas: amarela, prata, bronze e negro (DOCHINGER, 1971).

A injúria causada pelo SO₂ às árvores pode ocorrer independentemente da aparição de sintomas visuais. Pelos trabalhos experimentais desenvolvidos por MALHOTRA & BLAUDEL (1977), estes autores sugerem a seguinte progressão para a injúria por SO₂ às plantas:

1. injúria a nível sub-celular (ultra-estrutural)
2. injúria a nível bioquímico
3. injúria a nível celular

4. injúria a nível de sintomas visuais

Portanto, a detecção do problema em seu início, segundo os autores citados, deve estar baseada em trabalhos a nível fisiológico e/ou bioquímico. *MALHOTRA & BLAUDEL (1977)* realizaram trabalho nesse sentido, verificando, por exemplo, que acículas de *Pinus* sp submetidas a altas concentrações de SO_2 (250 – 500 ppm) tiveram significativa redução no conteúdo de clorofila. De fato, um dos efeitos comuns da exposição ao SO_2 é descoloração ou clorose das áreas interveias das folhas. Outro aspecto estudado pelos citados autores foi no que diz respeito à injúria sub-celular. Examinando acículas de árvores de *Pinus* sp submetidas ao SO_2 ao microscópio eletrônico, verificaram o aparecimento de rupturas nas membranas dos cloroplastos, e que estas rupturas eram mais severas em acículas velhas do que em jovens.

Desde que as plantas consigam metabolizar o SO_2 absorvido, transformando-o em sulfatos, não deveria haver problemas, uma vez que estes são nutrientes essenciais às plantas. Há indicações de que este processo possa acontecer, pois as plantas submetidas à exposição intermitente ao SO_2 conseguem sobreviver, o que sugere que deve haver metabolização do SO_2 absorvido (*LEVITT, 1972*).

O SO_2 pode ainda causar alteração no processo de reprodução das plantas. Próximo a uma fonte de SO_2 , a regeneração natural das essências florestais tem sido afetada. Além disto, tem sido verificada redução no número de sementes por cone e no tamanho dos órgãos germinativos de árvores expostas à poluição por SO_2 (*JENSEN et alii, 1976*).

O SO_2 é capaz, também, de afetar o funcionamento da células-guardas dos estômatos, fazendo com que a planta passe a transpirar excessivamente. A economia de água da planta entra em colapso e esta pode vir a secar até a morte, conforme pode ser observado na figura 1. (*BERBATZKY, 1978*).

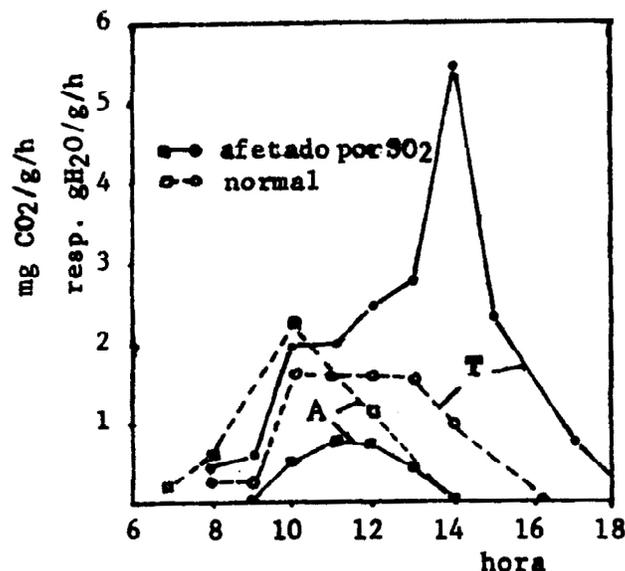


FIGURA 1 – Marcha diária da assimilação fotossintética (A) e da transpiração (T) em ramos de *Picea abies* afetados pela exposição ao SO_2 e em ramos saudáveis (normal). Os ramos afetados mostram uma diminuição na assimilação, mas a transpiração nestes ramos aumenta excessivamente a partir das 10 horas (*BERBATZKY, 1978*).

LEGGÉ *et alii* (1976) estudaram o efeito do SO₂ em florestas de *Picea glauca*, *Pinus contorta* e *Populus tremuloides* no Canadá, verificando que todas as espécies estavam afetadas, apresentando baixa taxa fotossintética.

No Canadá, ainda, HUTCHINSON (1976) estudou os efeitos da emissão do SO₂ por siderúrgicas de cobre e níquel em florestas de coníferas e de folhosas. A espécie *Pinus strobus*, comercialmente das mais importantes da região, foi a que se mostrou mais sensível, tendo sido praticamente eliminada na área de influência das emissões. Das folhosas, o *Quercus* sp mostrou-se resistente, provavelmente por causa de sua deciduidade. Bem próximo à fonte de emissão, todavia, mesmo os carvalhos foram afetados, as copas morrendo, e os ramos basais emitindo folhagens novas.

Em Portugal, SANTOS (1954) constatou o efeito do SO₂ sobre plantações de *Eucalyptus globulus* e de *Pinus pinaster* próximas a centros industriais, cujas folhas mostraram grandes lesões necróticas as quais não puderam ser atribuídas ao ataque de fungos. Análises foliares mostraram tratar-se de injúria produzida por SO₂.

Nos Estados Unidos, STONE & SKELLY (1974) estudaram o efeito do SO₂ em florestas de *Pinus strobus* e de *Liriodendrum* sp, através da medição do crescimento em diâmetro das árvores com dendrógrafo. Os autores verificaram correlação inversa altamente significativa (99,5%) entre os níveis de emissão de SO₂ e o incremento anual das duas espécies estudadas.

O caráter ácido do ar e da precipitação que já se faz sentir em muitos países, principalmente em regiões altamente industrializadas, é, no entender de OGDEN (1976), apenas parte de um problema mais amplo: alteração química do clima causada por uma variada emissão de poluentes na atmosfera. Tais emissões podem criar problema local, regional ou global, dependendo apenas do tempo de residência dos poluentes na atmosfera. O pH da precipitação é o critério pelo qual esta acidificação vem sendo observada em vários países. O SO₂, sem dúvida, desempenha importante papel nesta acidificação (OGDEN, 1976).

A acidificação causará alteração no solo, principalmente em relação aos cátions adsorvidos aos colóides. Os cátions liberados são lixiviados e, conseqüentemente, deverá haver redução no grau de saturação de bases, processos estes que tendem a ocorrer também em profundidade no perfil do solo (Mc FEE *et alii*, 1976). Em conseqüência, a fertilidade do solo diminuirá, afetando, desta forma, o crescimento das plantas.

Os problemas desta acidificação, todos eles induzindo danos ao bom desenvolvimento das florestas, incluem: diminuição da taxa de mineralização da matéria orgânica (OGDEN, 1976), diminuição do processo de fixação de nitrogênio (DENISON *et alii*, 1976), aceleração do processo de lixiviação de nutrientes das folhas, aumento da susceptibilidade ao efeito de outros fatores do meio, alteração com as associações simbióticas (TAMM & COWLING, 1976). Estes efeitos todos, além de outros, foram verificados experimentalmente com mudas de *Pinus strobus* (WOOD & BORMANN, 1976).

JONSSON & SUNDBERG (1972) desenvolveram modelo estatístico para tentar determinar a influência desta acidificação da precipitação no crescimento das florestas da Suécia, principalmente florestas de *Pinus sylvestris* e de *Picea abies*. Os resultados obtidos permitiram aos autores chegar à conclusão de que em duas décadas sob a influência da precipitação ácida, as florestas nas regiões mais susceptíveis à ocorrência da acidificação cresceram menos.

2.3. Ozônio

O ozônio é um oxidante ativo, que faz parte dos chamados oxidantes fotoquímicos. É sintetizado fotoquimicamente através de uma reação ácida que envolve dióxido de nitrogênio e oxigênio. Por ação da luz, a molécula de NO₂ é desmembrada, liberando um átomo de oxigênio, o qual combina-se com O₂ para a produção de ozônio (O₃).

Em condições normais, a reação é reversível, havendo novamente produção de oxigênio e de NO₂.

A adição de hidrocarbonetos provenientes da exaustão de motores de combustão interna e de outras fontes de poluentes, todavia, altera a reversibilidade da reação, permitindo o acúmulo de ozônio e de dióxido de nitrogênio. Esta é, basicamente, a causa da formação da poluição fotoquímica (“smog”) (DOCHINGER, 1971).

O ozônio existe normalmente em altas atmosferas, sendo também produzido por descargas elétricas. Mas a ação folotítica em atmosferas poluídas é, sem dúvida, importante fonte de O₃ causada pelas atividades humanas. WENT (1955) propôs ainda que extensas florestas de coníferas podem agir também como fonte de O₃, através da ação da luz sobre os hidrocarbonetos liberados pelas árvores.

Vários fatores afetam a reação das árvores ao ozônio, principalmente condições relacionadas com o meio e com o estado fisiológico das árvores. Pode haver variação na resposta entre espécies, entre clones e mesmo entre folhas de um mesmo ramo (DOCHINGER, 1971).

Os sintomas visuais incluem lesões pigmentadas, clorose e necrose nas folhas. Tais lesões aparecem, normalmente, na forma de pontuações pequenas e discretas, constituídas de tecidos pigmentados, cloróticos ou necróticos distribuídos ao longo das folhas. Quando as lesões são numerosas, as folhas podem adquirir aspecto bronzeado ou prateado. (DOCHINGER, 1971).

O efeito deletério do ozônio sobre as árvores parece estar relacionado com os seguintes modos de ação: (KRAMER & KOZLOWSKY, 1979).

- a. interferência com a atividade dos mitocôndrios;
- b. distribuição da permeabilidade da membrana;
- c. inibição da fotossíntese.

As diferentes espécies florestais variam enormemente no que diz respeito às taxas de absorção do ozônio, conforme pode ser observado na tabela 1 (TOWNSEND, 1974).

Espécie	Absorção (mg O ₃ /dm ² /h)
<i>Quercus Alba</i>	0,635
<i>Betula papyrifera</i>	0,536
<i>Acer saccharum</i>	0,371
<i>Aesculus glabra</i>	0,362
<i>Liquidambar styraciflua</i>	0,278
<i>Acer rubrum</i>	0,272
<i>Fraxinus americana</i>	0,239

Com experimentos conduzidos em condições de campo, HIBBEN (1969) testou os efeitos do ozônio em árvores de espécie *Acer styraciflua*. A injúria começou a se tornar

visível 12 horas após a fumigação, através do aparecimento de pontuações amareladas no parênquima foliar. Dois dias após a fumigação, inúmeras pontas necróticas surgiram nas regiões internervais e também em padrões reticulados ao longo das nervuras. Em concentrações maiores de ozônio as lesões tornaram-se mais características e abrangentes, e as folhas chegaram mesmo a cair.

HEPTING (1971) comenta a respeito do efeito da poluição fotoquímica nas florestas de *Pinus ponderosa* nas montanhas San Bernardino, na Califórnia, as quais vêm apresentando sintomas de declínio gradual desde há cerca de 50 anos. O declínio é caracterizado por redução no crescimento, perda prematura das acículas, amarelecimento, manchamento das acículas, definhamento e, finalmente, morte das árvores. Através de ensaios de fumigação, chegou-se à conclusão de que a causa está relacionada com a poluição fotoquímica (“smog”), a qual era ainda agravada pela seca, mesmo considerando que a área situa-se a 80 km da cidade de Los Angeles.

2.4. Fluoretos

Os fluoretos estão, normalmente, presentes em concentrações baixíssimas na água, no solo e mesmo na vegetação, não causando qualquer injúria às plantas.

Todavia, atividades industriais relacionadas com metalurgia, combustão de carvão, cerâmica, fabricação de vidros, fertilizantes fosfatados e cimento, são responsáveis pela adição na atmosfera de poluentes contendo concentrações perigosas de fluoretos.

Comparativamente, os fluoretos são mais danosos à vegetação do que concentrações equivalentes dos demais gases poluentes (*DOCHINGER, 1971*).

A injúria causada pelo HF sobre as árvores decorre, usualmente, de um acúmulo gradativo do poluente nos tecidos vegetais durante determinado período de tempo. Desta forma, o grau da injúria vai depender da concentração do poluente, da duração da exposição ao gás e das condições gerais do meio, assim como da maior ou menor susceptibilidade da espécie (*DOCHINGER, 1971*), (*SCURFIELD, 1960*).

Em coníferas, a injúria aparece primeiramente como um amarelecimento das pontas das acículas, que posteriormente se transforma em necrose castanho-avermelhada. Eventualmente pode haver também o colapso das acículas (*JENSEN et alii, 1976*).

Em folhosas, os fluoretos acumulam-se nos ápices e nas margens das folhas, tornando estas áreas de coloração avermelhada. Em concentrações maiores, pode haver o aparecimento de necroses internervais e marginais (*DOCHINGER, 1971*), (*JENSEN et alii, 1976*).

Aparentemente, a injúria por HF decorre da ação negativa deste poluente sobre o sistema enzimático da planta, assim como sobre o processo de fotossíntese (*DOCHINGER, 1971*).

SANFIELD (1960) cita que, no Estado de Washington, Estados Unidos, cerca de 100 km² de floresta de *Pinus ponderosa* foram afetados pela poluição por HF, sendo que em cerca de 8 km² ao redor da fonte as árvores foram mortas. A análise química das folhas mostrou que o conteúdo de flúor diminuiu com o aumento da distância da fonte poluidora, caindo de 620 ppm, em árvores situadas a cerca de 2,6 km da fonte, para 25 ppm naquelas situadas a aproximadamente 25 km da fonte.

2.5. Particulados

Em comparação com os poluentes gasosos, para os quais existe já uma sintomatologia reconhecida no que diz respeito aos danos potenciais que podem ser causados às plantas, no caso de particulados esta ação é ainda pouco conhecida (*LERMAN & DARLEY, 1975*).

Poeira da indústria de cimento pode, com a umidade, causar efeitos deletérios às plantas (*LERMAN & DARLEY, 1975*).

De modo geral, os autores sugerem que o prejuízo eventual que os particulados podem causar às árvores é menor, já que não há necessariamente absorção pelas folhas (*BERNATZKY, 1978*).

Em resumo, embora o material particulado seja relativamente pouco tóxico às plantas, ele pode, eventualmente, induzir o aparecimento de lesões foliares e redução na fotossíntese. Além disto, o solo, que também é um importante receptor de particulados, pode sofrer contaminação desde que a incidência venha a incluir, por exemplo, metais pesados, etc.

3. INFLUÊNCIA DA FLORESTA NA RETENÇÃO DE POLUENTES

3.1. Aspectos gerais

WEINDENSAUL (1972) define uma “planta eficaz na purificação do ar” como sendo “aquela capaz de reduzir a concentração de um dado poluente de um nível indesejado, perigoso, até níveis que não apresentem mais perigo, sem que a planta venha a sofrer qualquer dano com este processo”.

O mesmo autor afirma que muitos dos poluentes podem realmente ser absorvidos por algumas essências florestais como *Acer sp*, *Bétula sp*, etc., e que de modo geral as plantas que absorvem mais rapidamente são aquelas que mais sofrem com a poluição.

Pode-se dizer que não há árvores ou outro tipo de planta que sejam absolutamente resistentes à poluição, ou seja, que atenda aos requisitos definidos acima. Mais cedo ou mais tarde, todas as árvores atingem determinado estágio em que a poluição começa a prejudicá-las e, eventualmente, matá-las. A resistência é sempre relativa, dependendo de:

- a. do tipo de poluição
- b. estágio de desenvolvimento da árvore;
- c. condições gerais de crescimento;
- d. localização (*BERNATZKY, 1978*).

Desde que as plantas evoluíram para o estágio em que seu desenvolvimento depende das constantes trocas gasosas com a atmosfera, é razoável admitir-se que a vegetação desempenha realmente papel na absorção de contaminantes do ar. Este é o efeito “ativo”, no dizer de *JENSEN et alii (1976)*, que resulta da absorção propriamente dita dos poluentes pelas plantas. Nos itens seguintes este aspecto será pormenorizado com base em resultados experimentais.

Além disto, um grupo de árvores ou cinturão ou cortina florestal pode desenvolver outro tipo de efeito no processo de retenção dos poluentes, que é o efeito “passivo”, o qual resulta do fato de as árvores funcionarem como obstáculos físicos às correntes de vento e, conseqüentemente, de poluentes. Dependendo de outras condições (fisiográficas,

meteorológicas, etc.), este efeito passivo é importante na purificação do ar (*JENSEN et alii, 1976*).

Desta forma, pode-se resumir que as árvores funcionam com armadilhas potenciais para os poluentes atmosféricos. As células vegetais estão, normalmente, imersas em meio aquoso, no qual os gases podem ser dissolvidos e, eventualmente, metabolizados e translocados para outras partes da planta. As folhas, ramos, troncos, etc., podem, também, filtrar os particulados do ar, através da ação sobre a velocidade do vento, facilitando a deposição das partículas. E pelo processo de lavagem pela água das chuvas, e também pela renovação constante das folhas, as árvores são, por assim dizer, auto-renováveis, funcionando com eficientes absorvedores da poluição do ar, desde que esta ocorra em concentrações baixas. (*BENNETT & HILL, 1975*).

Este último aspecto referente às concentrações em que o poluente se encontra na atmosfera é importante, já tendo sido, há pouco, mencionado que é um dos fatores que atuam na resistência da planta à poluição. Quanto a isto, *SMITH (1974)*, baseado em extensa revisão da literatura, sugere três classes de relações para a interação floresta x poluição:

1. Quando expostas a baixas concentrações de poluentes, as florestas desempenham importante papel na retenção dos contaminantes.
2. Em concentrações moderadas, as diferentes espécies, e mesmo árvores individuais de uma espécie, podem ser afetadas pela poluição (ex., diminuição na absorção de nutrientes, na taxa fotossintética, na taxa de reprodução, predisposição ao ataque de pragas e doenças, etc.)
3. Em altas concentrações, os poluentes induzem a aparição de sintomas agudos e pode sobrevir a morte.

Em que pese a complexidade dos limites entre concentrações consideradas altas, moderadas e baixas, quer pelas diferenças na ação tóxica dos vários poluentes, quer pelos efeitos sinérgicos, quer pelas diferenças próprias de cada espécie florestal, a União Internacional de Instituições de Pesquisa Florestal (IUFRO) publicou recentemente (IUFRO, 1979) resolução no sentido de estabelecer os padrões de qualidade do ar para a proteção adequada das florestas. Os critérios estabelecidos pela IUFRO foram baseados em inúmeras pesquisas silviculturais, e dizem respeito apenas as concentrações de SO₂, por sinal o mais importante poluente do ponto de vista de efeitos sobre as florestas (*HEPTING, 1971*), e de fluoretos (HF), e são os seguintes:

Média anual: 25 – 50 µg de SO₂/cm³ de ar
0,3 µg de HF/cm³ de ar

Média de 24 h: 50 – 100 µg de SO₂/cm³ de ar

Concentração pico para

30 min de exposição: 75 – 140 µg de SO₂/cm³ de ar
0,9 µg de HF/cm³ de ar

Desde que estes limites sejam ultrapassados, afirma ainda a resolução mencionada, as florestas estarão sujeitas a danos que incluem redução da vitalidade, do crescimento, e da resistência a fatores bióticos e abióticos.

Ainda com relação à retenção dos contaminantes, o efeito de filtragem que uma floresta pode exercer é eficaz inclusive para a neblina (*GEIGER, 1966*). No Japão, por exemplo, desde tempos imemoriais existem cinturões de florestas ao longo da costa em várias partes do país, os quais agem no sentido de filtrar as minúsculas gotículas de neblina (*Japan, Forestry Agency, 1977*). Em Hidrologia Florestal, este aspecto está relacionado com a chamada “Precipitação oculta” da floresta, através da qual a floresta pode contribuir para um aumento na precipitação local (*HEWLETT, 1967*).

3.2. Retenção de gases

No que diz respeito ao papel real desempenhado pela vegetação na remoção dos poluentes gasosos da atmosfera, a análise da literatura mostra que ainda não é possível ter uma avaliação precisa, principalmente em termos quantitativos, da eficácia deste processo.

Os trabalhos experimentais realizados relacionam-se principalmente com o SO₂ e, de modo geral, embora haja realmente absorção deste gás pelas árvores, esta tem sido, muitas vezes, superestimada (*BERNATZKY, 1978*).

Segundo *BENNETT & HILL (1975)*, a entrada dos poluentes gasosos nas folhas ocorre através de:

- a. difusão molecular
- b. pelos estômatos
- c. pelos interstícios do mesófilo

Em qualquer caso, esta entrada é considerada como dependente da soma de três tipos de resistências (*FOX, 1976*): a) resistência aerodinâmica; b) resistência ao transporte de massa ao longo das superfícies rugosas; c) resistência da vegetação. Este terceiro tipo de resistência está relacionado com a vegetação propriamente dita, sua capacidade de absorção, suas condições sanitárias, idade, etc. Existem evidências de que está relacionada com a resistência estomatal (*FOX, 1976*), (*WAGGONER, 1971*). Os estômatos abertos favorecem a absorção dos pluentes.

Mas não é apenas o metabolismo foliar que governa a absorção dos poluentes gasosos. Estes podem, também, ser adsorvidos à superfície das folhas, podendo ou não ser fixados por razão com outros componentes desta mesma folha (*BENNETT & HILL, 1975*). Esta adsorção será tratada mais adiante na discussão do aspecto da acidificação da precipitação.

De modo geral, a absorção pelas plantas é maior para os poluentes de maior solubilidade (HF > SO₂ > CO₂ > NO > CO), sendo que o NO e CO não são, normalmente, absorvidos pelas plantas (*BENNETT & HILL, 1975*).

Tem sido verificado, ainda, que a absorção de SO₂ e também de NO₂ ocorre mais intensamente pelas folhas da parte superior da copa, onde as taxas metabólicas estão aceleradas pela abundância de luz. Todavia, ocorre absorção também por folhas respirando em ambiente escuro, se bem que a taxas bem menores (*BENNETT & HILL, 1975*).

Trabalhos realizados no Japão mostraram que a espécie *Pinus thumbergii* (pinheiro negro japonês) tem capacidade de absorver cerca de 40 mg de SO₂/m²/dia. Ainda no Japão,

através da análise do enxofre em folhas de *Zelkova serrata* (uma espécie latifoliada), foi verificado que plantas em ambiente contendo maior concentração de SO₂ apresentavam maior conteúdo de enxofre inorgânico no extrato foliar (JENSEN *et alii*, 1976).

TOWNSEND (1974) mediu a absorção foliar de ozônio (O₃) pelas seguintes espécies florestais, em condições de mudas de viveiro: *Quercus alba*, *Bétula papyrifera*, *Acer cappadocium*, *Acer saccharum*, *Acer rifinerve*, *Acer rubrum*, *Aesculus glabra*, *Liquidambar styraciflua* e *Fraxinus americana*. As espécies *Q. alba* e *B. papyrifera* foram as mais eficientes na remoção de O₃, enquanto que *A. rubrum* e *F. americana* foram as menos eficientes. Em algumas espécies foram notadas diferenças quanto às diferentes procedências das sementes. Em outras, a absorção de O₃ aumentou da concentração de O₃ no ambiente (ver tabela 1).

Na França, DOYEN (1976), através da análise de SO₂ em folhas de uma floresta de *Quercus* sp e de *Fagus sylvatica* situada nas proximidades de um complexo industrial, verificou significativa absorção de SO₂ pelas copas das árvores.

SMIRNOV (1975), na Rússia, aplicou análise de regressão múltipla para o estudo dos fatores relacionados com a poluição de SO₂, NO₂ e CO em 93 cidades, usando 19 variáveis independentes e 6 dependentes, chegando à conclusão de que o fator mais significativo na redução da concentração máxima de SO₂ e NO₂ no ar foi a % de cobertura florestal da área ao redor das cidades.

MAYER (1976) determinou, na Checoslováquia, que uma floresta de *Fagus sylvatica*, de 120 anos de idade, pode absorver cerca de 6 a 17 kg/ha/ano de SO₂, enquanto que uma floresta de *Picea abies*, com 85 anos de idade, chega a absorver de 30 a 50 kg/ha/ano de SO₂. Estes resultados estão de acordo com outros trabalhos, nos quais há referências de que as espécies latifoliadas não teriam efeito perceptível na absorção de poluentes gasosos em comparação com as coníferas (BERNATZKY, 1978).

HEPTING (1971), BERNATZKY (1969) e BERNATZKY (1978) são de opinião de que um cinturão florestal não deve ter efeito significativo na redução das concentrações de SO₂ e de outros gases em locais de grande poluição atmosférica.

3.3. Retenção de particulados

Já com relação ao processo de retenção de particulados, ou seja, da filtragem desempenhada por um cinturão florestal sobre o ar poluído, as opiniões e os resultados experimentais são bastante uniformes.

A poeira que é trazida pelo vento fica retida pela floresta com resultado da diminuição na velocidade do vento e, conseqüentemente, da redução na capacidade de transporte de partículas. Em plantações densas, a deposição dos particulados ocorre rapidamente após o choque com a vegetação, mas a concentração de particulados no ar torna a aumentar após a ultrapassagem da plantação. Já em plantações mais ralas e dispostas espaçadamente ao longo da direção do vento, a concentração de particulados diminui uniforme e gradativamente com a distância (BERNATZKY, 1978). Estas informações são úteis para o planejamento de cortinas de proteção.

O efeito da filtragem consiste de duas etapas que se somam: primeiro, a filtragem ativa, pela qual os sedimentos são depositados e adsorvidos às superfícies foliares; segundo, a floresta evita a removimentação pelo vento dos particulados já depositados. BERNATZKY (1978) afirma que uma floresta pode reter particulados em quantidade até várias vezes o seu

próprio peso. Vários outros estudos atestam a importância deste pelas florestas (SINDELAROVA, 1975), (FOX, 1976), (GEIGER, 1966).

Segundo DOCHINGER (1972), as coníferas são mais eficientes na filtragem de particulados do que as latifoliadas. De fato, PODZOROV (1967) já constatara, na Rússia, uma superioridade de *Pinus* sp em comparação com duas espécies de folhosas neste particular.

JENSEN et alii (1976), todavia, citam trabalhos que mostram que uma floresta de *Fagus sylvatica* foi estimada em reter 60 toneladas de poeira por hectare, enquanto uma floresta de *Picea* sp poderia remover cerca de 30 toneladas por hectare.

Nos Estados Unidos, ZINKE (1967) cita resultados obtidos em trabalhos experimentais, nos quais foram feitas aplicações de compostos retardantes de fogo em pulverização por avião. A retenção deste material pelas copas de uma floresta de *Pinus* sp variou de 17 a 57%, enquanto que uma floresta de folhosa reteve cerca de 82 a 86%.

Em ensaios conduzidos com folhas destacadas e em túneis de vento, nos Estados Unidos, WEDDING (1976) conclui que:

- a. a deposição de aerossóis em folhas rugosas e pubescentes foi 7 vezes maior que em folhas lisas e cerosas;
- b. que a recaptura, ou a removimentação das partículas já depositadas nas folhas pelo vento era desprezível;
- c. que a lavagem destas partículas depositadas nas folhas pela água da chuva é eficiente.

A análise desta lixiviação das cops das árvores pela água das chuvas permite, também, comprovar a eficiência do processo de retenção de particulados pelas copas (WILLIAN, 1973), (LIMA, 1976).

KNABE & GUNTHER (1976) conduziram um experimento na região de Ruhr, na Alemanha, um dos maiores complexos industriais do mundo, pelo qual eles mediram as concentrações de enxofre e do íon hidrogênio na água da chuva (coletada no aberto) e na água da precipitação interna (coletada debaixo da floresta) em espécies de *Fagus sylvatica*, *Quercus* sp, *Pinus sylvestris* e *Picea abies*. Os autores verificaram que houve um aumento na concentração de S e de H⁺ debaixo das florestas, sendo o aumento maior para as coníferas. Isto mostra pelo menos dois efeitos: primeiro, o da retenção pelas copas de particulados, inclusive de poluentes gasosos depositados (adsorvidos) na superfície das folhas na forma de particulados, os quais são lavados posteriormente pela ação das chuvas, e, segundo, uma remoção de poluentes da atmosfera pelo próprio processo da precipitação, já comentado.

É fato já conhecido a gradativa acidificação da precipitação nos últimos tempos, principalmente em regiões desenvolvidas, como nos Estados Unidos e nos países escandinavos (FOX, 1976). Esta acidificação da precipitação tem importantes efeitos no ecossistema florestal, um deles sendo o de acelerar o processo de lixiviação dos nutrientes das copas, além de efeitos nocivos, como a acidificação do solo florestal. BACKER et alii (1976) mediram o pH da água da chuva e o pH da água da precipitação interna e do escoamento pelo tronco (parte da chuva que após ser interceptada pelas copas, escoam em direção ao solo pelos troncos das árvores), verificando que o pH da água nestes dois últimos processos foi menor do que o pH da água da chuva. Notaram, ainda, tendência de o pH aumentar com a progressão da coleta, ou seja, com o aumento na duração do período

chuvoso, o que sugere que desde que as chuvas de verão ocorram numa determinada frequência ou constância, não há muita chance para o SO₂ permanecer no ar (processo de remoção dos poluentes do ar pelas chuvas).

LIMA & BARBIN (1975) mediram o pH da água da chuva e o pH da precipitação interna e do escoamento pelo tronco em povoamentos de *Eucalyptus saligna* e de *Pinus caribaea* var. *caribaea*, ambos com 6 anos de idade, em Piracicaba, São Paulo, verificando um aumento no pH da água da precipitação interna em ambas as florestas. Através da medição ainda da turbidez da água, verificaram os autores um maior aumento deste parâmetro nas amostras coletadas dentro da parcela de Eucalipto, em comparação com aquela de pinheiro. Desde que a turbidez é uma medida das partículas em suspensão na água, estes resultados estão de acordo com os resultados citados por JENSEN *et alii* (1976), segundo os quais as espécies latifoliadas apresentam maior capacidade de retenção de particulados.

ULRICH *et alii* (1973) também verificaram significativo aumento (2 a 5 vezes) no conteúdo de enxofre na água da precipitação interna em florestas de *Picea abies*, concluindo que tais florestas podem filtrar cerca de 30 a 70 kg de enxofre por hectare e por ano.

Na Noruega, ABRAHANSEN & HORNTVELDT (1976), verificaram que a deposição de ácido sulfúrico na precipitação interna em florestas de *Picea* sp e de *Pinus* sp foi cerca de 2 vezes aquela medida na água da chuva, afirmando que grande parte deste aumento é devida à deposição seca de particulados sobre as copas das árvores.

HORNBECK *et alii* (1976), nos Estados Unidos, verificaram que a precipitação interna em uma floresta de folhosas mistas continha concentração média dos íons H⁺ ao redor de 10 µeq/l, enquanto que na água da chuva esta concentração era de 87 µeq/l. Os autores afirmam que 90% dos íons H⁺ foram captados pelas copas das árvores, retenção esta de importante significado ecológico, pois resulta em maior quantidade de nutrientes que chega ao piso florestal, além de diminuir o impacto desta adição ácida ao solo.

4. USO DE CINTURÕES FLORESTAIS EM ÁREAS POLUÍDAS

Tendo em vista que o uso de faixas de proteção industrial vem sendo adotado em inúmeros países, apresenta-se, a seguir, um resumo da experiência e e recomendações existentes em outros países.

No Brasil, a primeira implantação de uma faixa de proteção sanitária composta de espécies vegetais está sendo feita em torno de Pólo Petroquímico de Camaçari, na Bahia.

BENNETT & HILL (1975) comentam que de acordo com modelos aerodinâmicos estudados para o estabelecimento de cinturões florestais para a proteção contra a poluição, na Rússia, tais cortinas deveriam ser formadas de acordo com o seguinte esquema:



- a. na parte frontal ao vento, plantações de arbustos e árvores baixas com o objetivo de forçar o vento para cima;
- b. as árvores mais altas da parte externa à direção do vento seriam selecionadas e localizadas de tal sorte a funcionar na retenção dos poluentes do ar que, em consequência do choque com a barreira, se elevou e entrou em turbulência.

DOYEN (1976) sugere normas silviculturais para o manejo dos cinturões de proteção, os quais devem ser manejados seletivamente, com grupos de árvores de diferentes espécies e idade, incluindo coníferas.

WARREN (1973) faz uma revisão crítica do uso de cinturões de proteção para o controle da poluição e do barulho, tanto nos Estados Unidos, como na Europa e na Rússia.

LAPADIUS (1971) comenta o exemplo de uma floresta na Alemanha formada com o propósito de redução da poluição, recomendando o plantio de várias espécies em consorciação, citando o *Larix* sp, especialmente o do Japão (*Larix leptolepis*) como altamente indicada para tal finalidade. Já no próprio Japão (Japão, Forestry Agency, 1977), as espécies mais recomendadas para tal finalidade incluem:

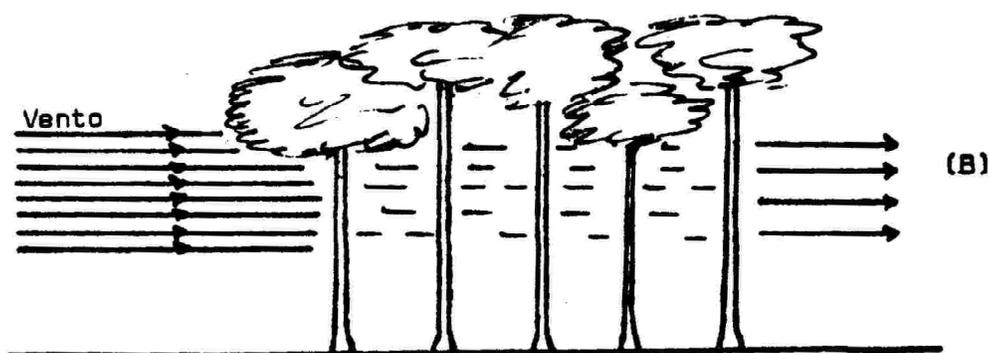
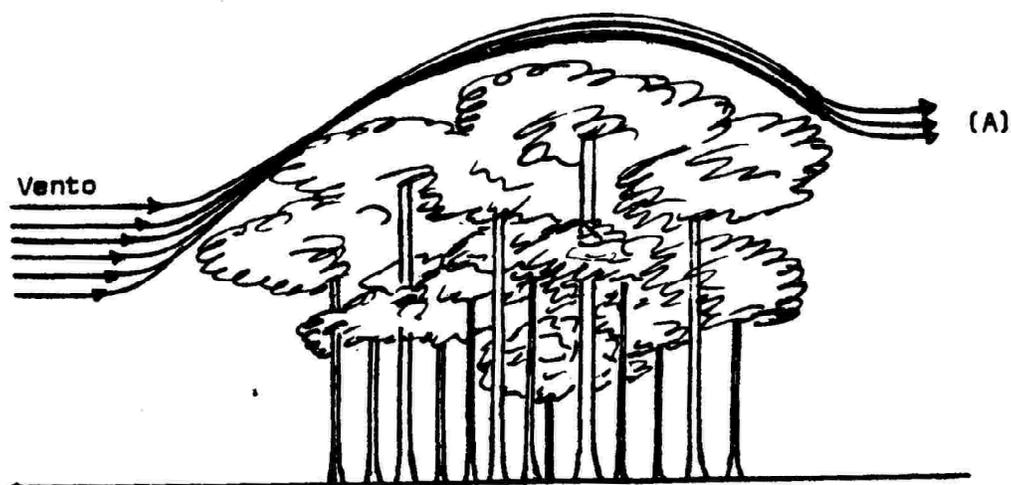
- *Eurya japonica*
- *Prunus lannesiana* var. *speciosa*
- *Cytisus scoparius*
- *Alnus pendula*
- *Robinia pseudo-Acacia*

SINDELAROVA (1975), *OBYDENNYL (1977)* e *BERNATZKY (1978)* comentam a importância da preservação de florestas nas áreas de complexos industriais, assim como ao redor destes, como tratamentos silviculturais indicados para contrabalancear a poluição.

GEINGER (1966) explica que a distância antes e depois de uma cortina florestal na qual o efeito de redução da velocidade do vento se faz sentir é de 3h, anteriormente ao quebra-vento, e de 20h, posteriormente (h = altura das árvores). Comenta ainda que o efeito sobre o vento de uma cortina densa não é melhor do que aquele proporcionado por várias faixas mais estreitas de árvores. A distância entre estas faixas, comenta *GEIGER*, não é prefixada de acordo com normas gerais, mas depende das condições locais em cada caso.

BERNATZKY (1978) argumenta que para uma filtragem mais eficiente dos particulados, com efeito em maior alcance, deve ser instaladas várias cortinas ou faixas florestais, separadas a uma distância de cerca de 20 a 25 vezes a altura. Esta disposição

contribui efetivamente no bloqueio e na filtragem dos particulados, através de re-elevação sucessiva da corrente de vento. Além disto, melhores resultados são obtidos através do plantio de árvores bem espaçadas, com permeabilidade ao vento ao redor de 40%, conforme mostram os esquemas seguintes:



(A) Plantação densa: pequeno efeito de filtragem

(B) Plantação rala: o vento atravessa por dentro; melhor efeito de filtragem

FONTE: *BERNATZKY (1978)*

Os estudos iniciais conduzidos na Alemanha com o propósito de verificar os efeitos da cortina florestal na proteção contra a poluição mostraram que devem ser distinguidas duas zonas ao redor da fonte de poluição (*BERNATZKY, 1978*):

- a. Zona I – as árvores são prejudicadas pelas emissões, não obstante desempenharem o efeito de filtragem.
- b. Zona II – as árvores reduzem a concentração de poluentes sem sofrer prejuízos ao seu desenvolvimento.

Com base nestas informações, existem certas distâncias mínimas que devem ser guardadas quando do plantio de cortinas florestais de proteção ao redor de complexos industriais, conforme dado na tabela 2. (BERNATZKY, 1978).

TABELA 2 – Tipos de indústrias e distâncias efetivas que devem ser guardadas para o plantio de cinturões florestais (Modificado a partir de BERNATZKY, 1978).

Tipos de indústria	Distância da cortina de proteção
Olarias, cerâmicas, cimento, serrarias, etc.	300 m
Calcário, siderúrgica, metalúrgica, etc.	500 m
Refinarias de petróleo	1200 m
Petroquímica, etc.	2000 m

No caso da fonte poluidora situar-se a distâncias menores que as recomendadas, a floresta estará situada na Zona I.

Evidentemente o efeito mais eficaz ocorre quando as cortinas estão dispostas perpendicularmente à direção dos ventos predominantes, Dependendo das condições locais, plantações concêntricas ao redor das áreas a serem protegidas podem ser complementadas com corredores radiais de árvores, o que proporcionaria um efeito combinado de filtragem em todas as direções.

Com relação, finalmente, ao uso de cinturões florestais para a redução da poluição sonora, HAVERBEK & COOK (1974) afirmam que as espécies latifoliadas caducifólias são as mais indicadas para esta finalidade. Como tais espécies ficam desprovidas de folhas durante parte do ano, seria interessante intercalar o plantio tanto como latifoliadas perenifólias (preferencialmente aquelas de folhas miúdas), como com espécies coníferas. Além disto, sugerem os autores que plantios densos são mais eficientes, e que plantios maciços com até 15 metros de largura são, via de regra, recomendados para uma redução adequada do barulho.

De modo geral, quanto mais alto o barulho, mais denso deve ser o cinturão. Ainda, o cinturão deve ser localizado mais próximo à fonte de barulho do que da área a ser protegida.

HAVERBEKE & COOK (1974) sugerem ainda algumas espécies mais adequadas para tal finalidade:

- *Cupressus* sp
- *Pinus* sp
- *Cryptomeria* sp
- Cedro
- *Picea* sp
- *Pseudotsuga* sp

BERNATZKY (1978) afirma que um cinturão denso e estratificado pode reduzir o barulho na taxa de até 0,16 dB/m. Desta forma, um cinturão de 200 metros de largura poderia reduzir até 32 dB, e um de 250 metros de largura poderia reduzir até 40 dB.

5. RESISTÊNCIA RELATIVA DE VÁRIAS ESPÉCIES FLORESTAIS À POLUIÇÃO

Vários autores apresentam listas maiores ou menores de essências florestais com as respectivas classificações quanto a sensibilidade relativa aos poluentes, como por exemplo *BERNATZKY (1978)*, *DOCHINGER (1971)*, etc. O serviço Florestal dos Estados Unidos publicou em 1973 (USDA, Forest Service, 1973) uma lista bastante completa de árvores, tanto coníferas quanto folhosas, susceptíveis, intermediárias e resistentes à ação de vários poluentes. *JENSEN et alii (1976)* também apresentam uma relação extensa de espécies e suas respectivas resistências aos poluentes SO₂, HF e O₃. Lista semelhante é também fornecida por *KRAMER & KOZLOWSKI (1979)* no que diz respeito à sensibilidade relativa de essências florestais ao SO₂ e ao ozônio.

Os critérios utilizados para a classificação são variáveis e de modo geral tentem a ser comparativos, se bem que existam algumas discrepância. Resultam de observações de campo, bem como de ensaios experimentais conduzidos tanto em laboratório, como em câmaras de fumigação e em condições de campo.

Na análise ou na seleção de espécies resistentes à poluição, é preciso lembrar, conforme foi discutido, que esta resistência é relativa, dependendo:

- a. das condições ambientais (clima, umidade relativa, condições nutricionais, água disponível no solo, etc).
- b. das condições fisiológicas da planta (vigor, idade, etc.)
- c. do tipo de poluente.
- d. De efeitos sinérgicos entre alguns poluentes.

A lista apresentada a seguir (tabela 3) foi organizada baseada nas recomendações fornecidas pelo Serviço Florestal dos Estados Unidos (USDA, Forest Service, 1973), por *JENSEN et alii (1976)* e por *KRAMER & KOSLOWSKY (1979)*.

Espécie	SO ₂	O ₃	HF
A. Coníferas			
<i>Abies amabilis</i>	T	-	-
<i>Abies balsamal</i>	I	T	-
<i>Abies concolor</i>	T	T	-
<i>Abies grandis</i>	I	-	-
<i>Abies pectinata</i>	I	-	-
<i>Cupressus lausoniana</i>	T	-	-
<i>Juniperus occidentales</i>	T	T	T
<i>Juniperus osteosperma</i>	T	-	-
<i>Juniperus scopulorum</i>	T	-	-
<i>Larix decidua</i>	S	S	-
<i>Larix leptolepis</i>	-	I	-

<i>Larix occidentales</i>	S	S	S
<i>Libocedrus decurrens</i>	-	I	-
<i>Picea abies</i>	-	T	-
<i>Picea engelmannii</i>	I	-	-
<i>Picea glauca</i>	T	T	T
<i>Picea mariana</i>	-	-	S
<i>Picea pungens</i>	-	T	S
<i>Pinus attenuata</i>	-	I	-
<i>Pinus banksiana</i>	S	S	-
<i>Pinus contorta</i>	I	I	S
<i>Pinus coulteri</i>	-	I	-
<i>Pinus echinata</i>	-	I	-
<i>Pinus edulis</i>	T	-	-
<i>Pinus elliotii</i>	-	I	-
<i>Pinus flexilis</i>	T	-	-
<i>Pinus jeffreyi</i>	-	S	-
<i>Pinus lambertiana</i>	-	T	-
<i>Pinus monophylla</i>	-	T	-
<i>Pinus monticola</i>	S	-	-
<i>Pinus mugo mughus</i>	T	-	S
<i>Pinus nigra</i>	T	S	T
<i>Pinus ponderosa</i>	S	S	S
<i>Pinus radiata</i>	-	S	-
<i>Pinus resinosa</i>	S	T	-
<i>Pinus rigida</i>	-	I	-
<i>Pinus sabiniana</i>	-	T	-
<i>Pinus strobus</i>	S	S	S
<i>Pinus sylvestris</i>	I	S	S
<i>Pinus taeda</i>	-	S	S
<i>Pinus torreyana</i>	-	T	-
<i>Pinus virginiana</i>	-	S	-
<i>Pseudotsuga macrocarpa</i>	-	I	-
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	I	T	S
<i>Sequoiá sempervirens</i>	-	T	-
<i>Taxus cuspidata</i>	-	I	-
<i>Thuja occidentalis</i>	T	T	-
<i>Thuja plicata</i>	T	-	-
<i>Tsuga canadensis</i>	S	I	-
<i>Tsuga heterophylla</i>	I	-	-
<i>Tsuga mertensiana</i>	S	-	-
B. Latifoliadas			
<i>Acer campestre</i>	T	-	I
<i>Acer glabrum</i>	I	-	-
<i>Acer grandidentatum</i>	-	T	-
<i>Acer negundo</i>	I	I	S

<i>Acer plantanoides</i>	T	T	-
<i>Acer rubrum</i>	T	T	-
<i>Acer saccharum</i>	T	T	T
<i>Ailanthus altissima</i>	-	S	T
<i>Alnus glutinosa</i>	I	S	T
<i>Amelanchier alnifolia</i>	S	S	I
<i>Betula alleghaniensis</i>	S	-	-
<i>Betula pendula</i>	S	T	T
<i>Bétula papyrifera</i>	S	-	-
<i>Bétula populifolia</i>	S	-	-
<i>Bétula verrucosa</i>	-	I	-
<i>Catalpa speciosa</i>	S	S	-
<i>Carpinus betulus</i>	T	-	I
<i>Castanea sativa</i>	-	-	I
<i>Cercis chinensis</i>	-	S	-
<i>Cornus florida</i>	T	T	T
<i>Corylus avellana</i>	-	-	I
<i>Crataegus douglasii</i>	T	-	-
<i>Fagus sylvatica</i>	T	T	I
<i>Fraxinus americana</i>	-	S	-
<i>Fraxinus excelsior</i>	-	-	I
<i>Fraxinus pennsylvanica</i>	T	S	S
<i>Fraxinus velutina</i>	-	-	T
<i>Ginkgo biloba</i>	T	-	-
<i>Gleditsia trichantos</i>	-	S	-
<i>Hamamelis sp</i>	S	-	-
<i>Ilex aquifolin</i>	T	I	-
<i>Ilex opaca</i>	-	T	-
<i>Julglans nigra</i>	-	T	I
<i>Julglans regra</i>	S	I	I
<i>Kalmia latifolia</i>	S	-	-
<i>Liquidambar styraciflua</i>	-	S	-
<i>Liriodendrum tulipifera</i>	T	S	-
<i>Malus sp</i>	S	S	S
<i>Morus Alba</i>	-	S	-
<i>Morus microphylla</i>	S	-	-
<i>Morus rubra</i>	-	-	I
<i>Nyssa sylvatica</i>	T	T	-
<i>Oxydendron arboretum</i>	T	-	-
<i>Pawlonia sp</i>	-	-	S
<i>Platanus occidentalis</i>	T	S	T
<i>Platanus orientalis</i>	T	-	I
<i>Platanus racemosa</i>	-	S	-
<i>Populus angustifolia</i>	I	-	-
<i>Populus balsamifera</i>	I	-	-
<i>Populus deltoides</i>	T	-	-
<i>Populus grandidentata</i>	S	-	-

<i>Populus nigra</i>	S	-	I
<i>Populus tremuloides</i>	S	S	I
<i>Prunus americana</i>	I	-	S
<i>Pyrus communis</i>	S	T	-
<i>Quercus Alba</i>	I	S	-
<i>Quercus gambelii</i>	T	S	-
<i>Quercus coccínea</i>	-	S	-
<i>Quercus imbricaria</i>	-	T	-
<i>Quercus macrocarpa</i>	-	T	-
<i>Quercus palustris</i>	T	S	-
<i>Quercus robur</i>	T	T	I
<i>Quercus rubra</i>	T	T	-
<i>Quercus velutina</i>	-	I	-
<i>Robinia pseudoacacia</i>	T	S	I
<i>Salix sp</i>	S	S	T
<i>Sorbus aucuparia</i>	I	T	T
<i>Tilia americana</i>	I	T	T
<i>Tilia cordata</i>	T	T	T
<i>Tilia europaea</i>	S	-	I
<i>Ulmus americana</i>	I	S	T

T = tolerante

S = sensível

I - intermediário

6. POSSIBILIDADES DE MELHORAMENTO GENÉTICO PARA OBTENÇÃO DE CLONES RESISTENTES À POLUIÇÃO

Conforme já observado, a resistência das inúmeras espécies florestais à ação dos vários poluentes atmosféricos apresenta alta variabilidade inter e intra-específica.

A reação das plantas à poluição pode ser letal, sub-letal, ou sem mudança aparente. Se a reação é não letal, isto indica que a planta carrega consigo algum fator genético que lhe permite adaptar-se e sobreviver.

Desta forma, o aspecto genético da seleção e do melhoramento de árvores tolerantes dentro de uma dada espécie assume papel importante na busca de espécies mais adequadas ao plantio em áreas industriais ou em outros ambientes poluídos (*SINCLAIR, 1969*), (*DOCHINGER & SELISKAR, 1970*).

Foi através da observação dos sintomas que estavam ocorrendo em árvores no campo, em locais poluídos, que os autores cedo puderam se aperceber do problema e verificar que havia espécies susceptíveis ao lado de espécies resistentes, e, mais interessante, que havia, dentro de uma mesma espécie, indivíduos susceptíveis ao lado de indivíduos resistentes (*JENSEN et alii, 1976*).

Na Alemanha, os silvicultores estão, atualmente, alterando a composição das florestas sob influência de fontes poluidoras, substituindo as espécies mais sensíveis (*Picea sp, Pinus strobus*, etc.) por outras mais resistentes, principalmente com espécies latifoliadas (*HEPTING, 1971*).

No nosso meio, o problema é mais recente. A ausência de literatura é sintomática e poucos devem ser os trabalhos experimentais realizados neste campo. Embora os poluentes sejam os mesmos das regiões mais industrializadas dos Estados Unidos e da Europa, a

vegetação é diferente, e também são diferentes as condições outras do meio que interagem com os efeitos da poluição sobre as árvores.

De sorte que o melhoramento genético a ser iniciado a partir da observação da reação de várias espécies aos vários poluentes deve ser o principal passo para o desenvolvimento de clones de árvores capazes de resistir a ambientes poluídos e, pela sua ação benéfica já comentada, atuar na melhoria da qualidade do ar em locais de altas concentrações de poluentes.

Para tanto, as etapas necessárias seria as seguintes (*JENSEN et alii, 1976*):

- a. determinação da variação genética intra-específica de várias procedências. Pelo fato de que a reação aos poluentes é influenciada pelo ambiente, fatores como intensidade luminosa, fotoperíodo, temperatura, umidade, etc. devem ser relacionados;
- b. a árvore selecionada deve ser testada em condições de campo.

Outra maneira de se encontrar árvores resistentes à poluição consiste, ainda de acordo com as sugestões de *JENSEN et alii, (1976)*, em efetuar um levantamento em ambientes urbanos poluídos. As árvores sadias encontradas seriam, então, propagadas vegetativamente. Clones destas árvores assim obtidos deveriam ser, em seguida, testados com clones de árvores da mesma espécie afetadas pela poluição. Este teste serviria para provar que a resistência à poluição mostrada pela árvore é controlada geneticamente, e não é apenas induzido por fatores ambientais, como tipo de solo, estado nutricional, etc. (*TOWNSEND, 1977*).

GABELMAN (1970) sugere que com relação à poluição do ar o melhoramento genético deve seguir em direção ao desenvolvimento de mecanismos que evitem a penetração dos gases tóxicos nas plantas. Esta penetração, conforme já mencionado, pode ocorrer pelos estômatos (principalmente), pelas lenticelas, e pela cutícula.

7. CONCLUSÕES

Resumindo os aspectos discutidos no que diz respeito aos efeitos da poluição sobre a vegetação, as seguintes conclusões gerais podem ser registradas:

- a. a vegetação, de modo geral, é mais sensível à poluição do que os animais;
- b. as espécies latifoliadas são mais resistentes do que as coníferas;
- c. as coníferas em idade jovem mostram-se mais resistentes do que quando em idade mais avançada;
- d. dentre as latifoliadas, as caducifólias apresentam maior resistência, provavelmente pela renovação anual das folhas;
- e. das latifoliadas perenifólias, aquelas de folhas maiores parecem ser mais resistente do que as espécies dotadas de folhas de tamanho menor;
- f. a reação das espécies aos vários poluentes depende de outros fatores do meio;
- g. a susceptibilidade à poluição parece estar diretamente relacionada com as condições do meio que facilitem a abertura dos estômatos e a ótima atividade metabólica;
- h. o SO_2 é o principal poluente gasoso do ponto de vista dos efeitos sobre as florestas;

- i. os particulados não causam, aparentemente, efeito danoso às plantas, a não ser certos particulados específicos, como o pó de indústrias de cimento, por exemplo;
- j. além da morte propriamente dita, a poluição pode causar sintomatologia variada às plantas: lesões necróticas, destruição da clorofila e de carotenóides, desorganização celular, redução no crescimento, desfolhamento prematuro, senescência prematura, distorção no hábito de crescimento, predisposição à ação de outros fatores bióticos e abióticos do meio;
- k. a nível de ecossistemas, esta ação da poluição pode induzir, com o tempo, à eliminação das espécies sensíveis, à redução na diversidade das espécies, à remoção seletiva de espécies dominantes favorecendo as plantas de sinúcias inferiores;
- l. a emissão de SO₂, além dos efeitos diretos sobre as plantas, é um dos fatores responsáveis pela significativa acidificação da precipitação que ocorre principalmente em regiões industrializadas. Esta acidificação, por sua vez, tem sido responsável por uma série de outros efeitos danosos às florestas: redução da fertilidade do solo, diminuição da taxa de mineralização da matéria orgânica, diminuição da fixação de nitrogênio;
- m. a resistência das árvores à ação dos poluentes tem mostrado alta variabilidade entre espécies e também entre indivíduos de uma mesma espécie;
- n. esta variabilidade sugere que um programa silvicultural de melhoramento genético poderá ser importante passo na obtenção de clones de árvores selecionadas especialmente para plantio em ambientes poluídos;
- o. a floresta pode efetivamente contribuir para avaliar o problema de poluição atmosférica em áreas industriais;
- p. se bem que inexista a espécie suficientemente eficaz na remoção dos poluentes atmosféricos, isto é, que não venha, com isto, a sofrer danos ela mesma, a escolha adequada das espécies pode permitir uma satisfatória conciliação entre os dois propósitos: purificação e sobrevivência;
- q. desde que as concentrações dos poluentes não sejam exageradas, cinturões florestais desempenham importante papel na retenção dos contaminantes;
- r. a retenção de poluentes gasosos é discutível, embora ela efetivamente ocorra e tenha sido verificada experimentalmente em muitas situações;
- s. a retenção de particulados é processo importante que as florestas desempenham satisfatória e significativamente na purificação da poluição do ar;
- t. esta retenção de particulados pelas copas das árvores ocorre tanto com poeiras e outras partículas, como também com poluentes gasosos adsorvidos às superfícies das folhas ou fixados, de uma forma ou de outra, como particulados;
- u. o processo de interação da água da chuva com as copas das árvores (interceptação) completa a remoção dos particulados, através da lixiviação das folhas, processo este de importante significado ecológico e hidrológico para as áreas sob influência da floresta;

A estas conclusões gerais, outros aspectos positivos do estabelecimento de florestas de proteção são os seguintes:

- v. a formação de cortinas florestais teria outros efeitos indiretos or aliviar condições climáticas que aumentariam a susceptibilidade da vegetação à ação do SO₂, através de (VERNATZKY, 1978), (GEIGER, 1966), (HAVERBEKE, 1977):
 - redução na velocidade do vento
 - aumento na turbulência
 - alívio fisiológico proporcionado pela redução do vento
- w. os cinturões florestais funcionariam, eles mesmos, como uma forma de monitoramento na detecção da poluição (HEPTING, 1971), (POSTHUMUS, 1976);
- x. tais florestas desempenham, também, importante papel na redução de outro tipo de poluição, freqüentemente presente em complexos industriais, que é a poluição sonora (DURK, 1966), (HERRINGTON & BORCK, 1977), (AYLOR, 1977), (HAVERBEKE & COOK, 1974);
- y. a presença destas florestas significa, finalmente, muito em relação à melhoria geral do ambiente no que diz respeito à saúde do homem, por sua influência, benéfica deste ponto de vista, sobre o microclima, a umidade, a temperatura, e ao próprio alívio psicológico (DURK, 1966), (BERNATZKY, 1978).

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAHANSEN, G. & HORNTVEDT, R. – Impact of acid precipitation on coniferous Forest ecosystems. USDA. Forest Service. NE general technical report, Upper Darby (24): 991-1009, 1976.
- AMERICAN CHEMICAL SOCIETY – *Cleaning our environment: the chemical basis for action*. Washington, 1969. 249p.
- AYLOR, D.E. – Some physical and psychological aspects of noise attenuation by vegetation. USDA. Forest Service NE general technical report, Upper Darby (25): 229-33, 1977.
- BACKER, J. et alii – Acidity of open and intercepted precipitation in forests and effects on forest soils in Alberta, Canada, USDA. Forest Service. NE general technical report, Upper Darby (23): 779-90, 1976.
- BERNARIE, M. – Transport of pollutants considered from the point of view of a short and medium range material balance. USDA. Forest Service. NE general technical report, Upper Darby (23): 252-63, 1976.
- BENNETT, J.H. & HILL, A.C. – Interactions of air pollutants with canopies of vegetation. In: MUDD, J.B. & KOZLOWSKY, T.T. – *Response of plants to air pollutin*. New York, Academic Press, 1975. p.273-306.
- BERNATZKY, A. – The role of protective plantations in the abatement of air pollution. Air pollution, 883-95, 1969. Apud: *Forestry abstracts*, Oxford, 31(3): 5704, 1969.
- BERNATZKY, A – *Tree ecology and preservation*. New York, Elsevier Scientific, 1978. 357p.
- DENISON, R. et alii – The effects of acid rain on nitrogen fixation in Western Washington Coniferous Forests. USDA. Forest Service. NE general technical report, Upper Darby (23): 933-49, 1976.
- DOCHINGER, L.S. – The symptoms of air pollution injuries to broadleaved forest trees. IUFRO CONGRESS, 15, Gainesville, 1971.

- DOCHINGER, L.S. & SELISKAR, C.E. – Air pollution and the chlorotic dwarf disease of eastern white pine. *Forest science*, Madison, 16 (1): 46-55, 1970.
- DOYEN, A. – Forests: do they act as screens against pollution? An example: the renory escarpment (Sart Tilman Forest near Liège, France). Apud: *Forestry abstracts*, Oxford, 37 (12): 7734, 1976.
- DURK, P. – The influence of the forest on the health of man, WORLD FORESTRY CONGRESS, 6, Madrid, 1966. p. 3748-55.
- FOX, D.G. – Modeling atmospheric effects: an assessment of the problems. *USDA. Forest Service. NE general technical report*, Upper Darby (24): 57-85, 1976.
- GABELMAN, W.H. – Alleviating the effects of pollution by modifying the plant. *HortScience*, Joseph, 5 (4): 250-2, 1970.
- GEIGER, R. – *The climate near the ground*. Cambridge, Harvard University Press, 1966. 611p.
- HARVERBEKE, D.F. – Conifers for single-row field windbreaks. *USDA. Forest Service. RM research paper*, Fort Collins (196): 1-10, 1977.
- HARVERBEKE, D.F. & COOK, D.I. – Suggested plantings for reducing noise pollution. *American nurseryman*, Chicago: 1-2, jun.1974.
- HEPTING, G.H. – Air pollution and trees. In: MATHEUS, W.H. et alii – *Man's impact on terrestrial and oceanic ecosystems*. Cambridge, The Mit Press, 1971. p.116-29.
- HEPTING, G.H. – Damage to forests from air pollution. *Journal of forestry*, Washington, 62: 630-4, 1964.
- HERRINGTON, L.P. & BROCK, C. – Propagation of noise over and through a forest stand. *USDA. Forest Service. NE general technical report*, Upper Darby (25): 226-8, 1977.
- HEWLETT, J.D. – Summary of forests and precipitation session. INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FOREST HYDROLOGY, 1967. New York, Pergamon Press, 1967, p.241-3.
- HIBBEN, C.R. – Ozone toxicity to sugar maple. *Phytopathology*, Saint Paul. 59: 1423-8, 1979.
- HORN BECK, J.W. et alii – Seasonal patterns in acidity of precipitation and their implications for forest stream ecosystem. *USDA. Forest Service. NE general technical report*, Upper Darby (23): 597-609, 1976.
- HUTCHINSON, T.C. – The effects of acid rainfall and heavy metal particulates on a boreal forest ecosystem near the subbury smelting region of Canada. *USDA. Forest Service. NE general technical report*, Upper Darby (23): 775-65, 1976.
- IUFRO – Resolution on air quality standards for the protection of forests. *IUFRO news*, Vienn (25), mar.1979.
- JAPAN FORESTRY AGENCY – *Forest conservation*. Tokyo, 1975. 52p.
- JENSEN, K.F. et alii – Pollution responses. In: MIKSCHE, J.P. – *Modern methods of forest genetics*. New York, Springer Verlag, 1976. p.189-216.
- JONSSON, B. & SUNDBERG, R. – Has the acidification by atmospheric pollution caused a growth reduction in Swedish forest? *Royal college of Forest. Dept. of Forest Yield research note*, Garpenberg (20): 1-48, 1972.
- KNABE, W. & GUNTHER, K.H. – Investigation of effects of the forest canopy on acid and sulfur precipitation in the Ruhr District, Germany. *USDA. Forest Service. NE general technical report*, Upper Darby (23): 895. 1976.
- KOSLOWSKI, T.T. & MUD, J.H. – Introduction. In: MUDD, J.B. & KOZLOWSKI, T.T. – *Responses of plants to air pollution*. New York, Academic Press, 1975. p.1-8.

- KRAMER, P.J. & KOZLOWSKI, T.T. – *Physiology of wood plants*. New York, Academic Press, 1979.
- LAMPADIUS, F. – The burkhardtswald near aue as a classic example of silvicultural efforts to reduce smoke damage. Apud: *Forestry abstracts*, Oxford, 32 (1): 891, 1971.
- LEGGE, A.H. *et alii* – Field studies of pine, spruce and aspen periodically subjected to sulfur gas emissions. USDA – Forest Service. NE general technical report, Upper Darby (23): 1033-61, 1976.
- LERMAN, S.L. & DARLEY, E.F. – Particulares. In: MUDD, J.B. & KOZLOWSKI, T.T. – *Responses of plants to air pollution*. New York, Academic Press, 1975. p.141-58.
- LEVITT, J. – *Responses of plants to environmental stresses*. New York, Academic Press, 1972.
- LIMA, W. de P. – Intercepção da chuva em povoamentos de eucaliptos e de pinheiros. IPEF, Piracicaba (13): 75-90, 1976.
- LIMA, W. de P. & BARBIN, D. – Efeitos de plantações de *Eucalyptus* e de *Pinus* sobre a qualidade da água da chuva. IPEF, Piracicaba (11): 23-55, 1975.
- Mc FEE, W.W. *et alii* – Acid precipitation effects on soil pH and base saturation of Exchange sites. USDA. Forest Service NE general technical report, Upper Darby (23): 725-35, 1976.
- MALHOTA, S.S. & BLAUDEL, R.A. – Effects of sulphur dioxide on the forest ecosystem. *Oil sands*: 714-9, 1977.
- MAYER, R. – Filtering of SO₂ from the atmosphere by forests. Apud: *Forestry abstracts*, Oxford, 38(12): 6973, 1977.
- MILLER, P.P. & Mc BRIDE, J.R. – Effects of air pollutants on forests. In: MUDD, J.B. & KOZLOWSKI, T.T. – *Responses of plants to air pollution*. New York, Academic Press, 1975. p.195-235.
- MUDD, J.B. – Sulfur dioxide. In: MUDD, J.B. & KOZLOWSKI, T.T. – *Responses of plants to air pollution*. New York, Academic Press, 1975. p.9-22.
- OBYDENNYL, P.T. – Preservation of forests in conditions of industrial atmospheric pollution. Apud: *Forestry abstracts*, Oxford, 39 (3): 1868, 1978.
- ODGEN, S. – The acidity problem: an outline of concepts. USDA. Forest Service. NE general technical report, Upper Darby (23): 1-36, 1976.
- POSTHUMUS, A.C. – The use of higher plants as indicators of air pollution in the Netherlands. In: KARENLAMPI, L. – *Plant damages caused by air pollution*. Duopio, 1976. p.115-20.
- SANTOS, N.F. – Sulphurous gases as a cause of disease in forest stands. *Estudos e Informação*, Lisboa (33). Apud: *Forestry abstracts*, Oxford (16): 597, 1975.
- SECURFIELD, G. – Air pollution and tree growth. Apud: *Forestry abstracts*, Oxford, 21(3): 339-47; 517-27, 1960.
- SINCLAIR, W.A. – Polluted air: potent new selective force in forests. *Journal of forestry*, Washington, 67: 305-9, 1969.
- SINDELAROVA, J. – Function of green vegetation. Apud: *Forestry abstracts*, Oxford, 39(2): 521, 1978.
- SMIRNOV, I.I. – Development of the health hygiene, and recreation function of forests. Apud: *Forestry abstracts*, Oxford, 37(6): 4274, 1975.
- SMITH, W.H. – Air pollution: effects on the structure and function of the temperate forests ecosystem. *Environmental pollution*, 6(2): 111-29, 1974. Apud: *Forestry abstracts*, Oxford, 36(9): 5683, 1974.

- STONE, L.L. & SKELLY, J.M. – The growth of two forest tree species adjacent to a periodic source of air pollution. *Phytopathology*, Saint Paul, 64: 773-8, 1974.
- TAMM, C.O. & COWLING, E.B. – Acid precipitation and forest vegetation. *USDA Forest Service NE general technical report*, Upper Darby (23): 845-55, 1976.
- TOWNSEND, A.M. – Advances and obstacles in urban – tree genetics. *WORLD CONSULTATION FOREST TREE BREEDING*, Canberra, 1977.
- TOWNSEND, A.M. – Sorption of ozone by nine shade trees species. Apud: *Forestry abstracts*, Oxford, 36(8): 5350, 1974.
- ULRICH, B. *et alii* – Studies on the content of bio-elements canopy drip. Apud: *Forestry abstracts*, Oxford, 36(12): 7387, 1973.
- USDA. *Forest Service – Trees for polluted air*. Washington, 1973. 11p.
- WAGGONER, P.E. – Plants and polluted air. *Bioscience*, 21(10): 455-9, 1975.
- WARREN, J.L. – Green space for air pollution control. North Carolina State University. Technical report (50): 1-118, 1973. Apud: *Forestry abstracts*, Oxford, 35(5): 2768, 1973.
- WEDDING, J.B. – Aerosol deposition on plant leaves. *USDA. Forest Service NE general technical report*, Upper Darby (23): 897-903, 1976.
- WEINDENSAUL, T.C. – Are trees efficient air purifiers? *Ohio report*, Columbus, 57(4): 57-60, 1972.
- WENT, F.W. – Air pollution. *Scientific american*, 192: 63-70, 1955.
- WILLIAM, A. – Retention of atmospheric dust by vegetation. Apud: *Forestry abstracts*, Oxford, 38(5): 2282, 1973.
- WOOD, F. & BORMANN, F.H. – Short – term effects of a simulated acid rain upon the growth and nutrient relations of *Pinus strobes*. *USDA. Forest Service. NE general technical report*, Upper Darby (23): 815-25, 1976.
- ZINKE, P.J. – Forest interception studies in the United States. *SOPPER, W.E. & HULL, H.W. – International symposium on forest hydrology*. New York, Pergamon Press, 1967. p.137-61.