

EDUARDO MANZO CASTELLO

BIOMONITORAMENTO: USO DA BROMÉLIA *TILLANDSIA*
USNEOIDES NO MONITORAMENTO AMBIENTAL

MONOGRAFIA APRESENTADA À ESCOLA
POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO
PAULO PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DE
SEGURANÇA DO TRABALHO

SÃO PAULO

2007

EDUARDO MANZO CASTELLO

BIOMONITORAMENTO: USO DA BROMÉLIA *TILLANDSIA*
USNEOIDES NO MONITORAMENTO AMBIENTAL

MONOGRAFIA APRESENTADA À ESCOLA
POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO
PAULO PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DE
SEGURANÇA DO TRABALHO

SÃO PAULO

2007

AGRADECIMENTOS

Aos professores, funcionários e secretaria do PECE. Aos colegas do curso de Engenharia de Segurança do Trabalho da Universidade de São Paulo.

Aos professores e alunos da Faculdade de Biofísica da Universidade Federal do Rio de Janeiro pelas informações e ensinamentos.

À minha mulher que tanto contribuiu para que eu redigisse este trabalho.

RESUMO

A crescente preocupação com a saúde ocupacional vem trazendo um grande aumento da procura por métodos mais práticos, precisos e baratos de monitoramento ambiental, visando garantir o acesso à Higiene Ocupacional de todos os tipos de corporações, dentre elas, indústrias, mineradoras, etc. Para tanto, o biomonitoramento é um método experimental que permite avaliar a resposta de organismos vivos à poluição, oferecendo vantagens como: custos reduzidos, eficiência para monitoramento de áreas amplas e por longos períodos de tempo e, também, avaliação de elementos químicos como metais, hidrocarbonetos e elementos-traço em baixas concentrações ambientais. Nessa premissa, a bromélia *Tillandsia usneoides* demonstra ser um bom biomonitor, apresentando um acúmulo de contaminantes do ar em níveis muitas vezes superiores a concentrações de locais não contaminados, além do fato de ser encontrada facilmente em, praticamente, todo o território nacional. Porém, como essa metodologia é relativamente recente, fazem-se necessários mais estudos de calibração do processo. Essa monografia, a partir de uma análise bibliográfica, faz uma comparação entre as práticas atuais de avaliação ambiental e essa nova tecnologia.

ABSTRACT

The rising concern to the occupational health comes bringing a great increase in the search for more practical, necessary and cheap methods of environmental monitoring, aiming the access to the occupational hygiene of all the kinds of the corporations, amongst then, industry, mining plant, etc. For in such a way, the Biomonitoring is an experimental methodology that allows us to evaluate the response of living organisms to pollution, including advantages such as: reduced costs; efficiency to monitor large areas over long periods of time; evaluation of chemical elements, for example: hidrocarboretos and and primary elements, in low environmental concentrations. In this premise, the Bromeliácea *Tillandsia usneoides* demonstrates to be a good biomonitor, presenting an accumulation of pollution agents of air in levels many times superior than concentrations of places not contaminated, beyond the fact of being found easily in, practically, all the domestic territory. However, as this methodology is relatively recent, more studies of calibration of the process become necessary. This monograph, to leaving of a bibliographical analysis, do a comparison between the actual practices of environmental evaluation with this new technology.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

1	INTRODUÇÃO	1
2	CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS	2
2.1	Partículas Sólidas	3
2.2	Classes dos Contaminantes Particulados	4
2.3	Efeitos Sobre o Organismo	5
3	AVALIAÇÃO AMBIENTAL	7
3.1	Aspectos Legais	8
4	AS BROMÉLIAS	10
4.1	A Bromélia <i>Tillandsia Usneoides</i>	11
4.1.1	Nomes Populares.....	11
4.1.2	Distribuição Geográfica	11
4.1.3	Descrição.....	12
4.1.4	Aspectos Etnofarmacológicos.....	16
5	INDICADORES DE DESEMPENHO AMBIENTAL.....	16
6	MONITORAMENTO	17
6.1	Monitoramento Convencional.....	18
6.1.1	Avaliação da Exposição a Particulados.....	18
6.1.2	Avaliação da Exposição de gases e Vapores.....	21
6.2	O Biomonitoramento.....	23
6.2.1	Estudos de Biomonitoramento para Avaliação da Qualidade do Ar	28

6.2.2	A Técnica dos Transplantes Vegetais	30
6.2.3	Biomonitoramento com a Bromélia <i>Tillandsia Usneoides</i>	31
6.2.4	Estudo de Casos	32
7	VANTAGENS E DESVANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DA <i>TILLANDSIA</i> <i>USNEOIDES</i> NO MONITORAMENTO AMBIENTAL	38
9	CONCLUSÃO	41
10	LISTA DE REFERÊNCIA	42
11	GLOSSÁRIO	47

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1	Tamanho das Partículas de Aerossóis	16
Fig. 2	Aparelho Respiratório	17
Fig. 3	Gravatá Roxo	23
Fig. 4	Bromélia <i>Tillandsia Usneoides</i>	24
Fig. 5	Aparelho Reprodutor da <i>Tillandsia Usneoides</i>	25
Fig. 6	Pássaro Risadinha	25
Fig. 7	Amostrador Gravimétrico de Partículas Respiráveis	32
Fig. 8	Monitores de Partículas com Leitura Direta	32
Fig. 9	Bomba de Amostragem de Ação e Tubos Colorimétricos	34
Fig. 10	Instrumento de Leitura Direta para Multi-gás	34
Fig. 11	Amostrador Passivo.	35
Fig. 12	Detalhe de célula de <i>Tillandsia. usneoides</i> com depósito de partículas de Mercúrio	39
Fig. 13	Resultados da exposição de azevém em 81 sítios experimentais no projeto EuroBionet	41
Fig. 14	Técnica de transplantes vegetais para determinação da concentração de mercúrio	42
Fig. 15	Bolsas de Redes de “Nylon”	44
Fig. 16	As etapas principais do uso de plantas bioindicadoras no monitoramento da qualidade do ar	46
Fig. 17	Cesta de bromélias <i>T.Usneoides</i> instaladas em Salvador	48
Fig. 18	Plantas com 15 dias de exposição em Indústria de Cloro-soda.	49
Fig. 19	Curva de Calibração de Bromélia <i>Tillandsia Usneoides</i> para Hg.	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Concentrações médias, medianas, valores mínimos e máximos de Pb, Cd, Hg, Cu e Zn os bivalves nas diferentes localidades em mg/kg	38
Tabela.2	Métodos de biomonitoramento empregados no projeto EuroBionet	41
Tabela 3	Comparação entre as concentrações (mg kg^{-1}) nas espécies de Bromélias <i>Canistropsis billbergioides</i> e <i>Tillandsia unsneiodes</i>	44
Tabela 4	Distribuição dos Sistemas com as plantas em uma indústria de cloro-soda.	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACGIH	American Conference of Governmental Industrial Hygienist.
ADEJA	Associação de Defesa do Meio Ambiente de Jacarepiá.
As	Arsênio
Ba	Bário
BIOTA	Programa de Pesquisas em Caracterização, Conservação e Uso Sustentável da Biodiversidade do Estado de São Paulo.
Br	Bromo
Ca	Cálcio
CAM	Metabolismo Ácido das Crassuláceas.
Cd	Cádmio
Ce	Cério
CNEA	Comisión Nacional de Energía Atômica.
Co	Cobalto
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
Cr	Cromo
Cu	Cobre
Fe	Ferro
HC	Hidrocarbonetos
Hg	Mercúrio
HMG	Ácido 3-hidroxi-3-metilglutárico.
K	Potássio
Na	Sódio
Ni	Níquel
NO _x	Óxidos de Nitrogênio
NR	Norma Regulamentadora.
O ₃	Ozônio
OIT	Organização Internacional do Trabalho
Pb	Chumbo
PCMSO	Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional.

PECB	Parque Estadual Carlos Botelho
PPRA	Programa de Prevenção de Riscos Ambientais.
PST	Partículas Suspensas ou Sólidas Totais
Rb	Rubídio
Sc	Escândio
Se	Selênio
SEMARH	Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
Sm	Samário
SO ₂	Dióxido de Enxofre
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
Zn	Zinco

1 INTRODUÇÃO

A higiene do trabalho avança em todo mundo procurando promover a saúde do empregado na execução de suas atividades, garantindo assim a realização dos trabalhos demandados pela indústria sem, para tanto, comprometer o bem-estar social.

Um dos grandes desafios para atingir esse objetivo é a redução do custo despendido pela indústria para tornar possível essa melhoria na saúde ocupacional. Alguns dos gastos nesse sentido estão direcionados à avaliação ambiental da organização, avaliação esta que é a base de toda a identificação dos perigos e dos danos possíveis inerentes às atividades exercidas. Além disso, o monitoramento constante também se torna necessário para garantir que não haja mudanças no ambiente de trabalho que tornem inúteis os controles anteriormente adotados.

Os processos atuais de medição utilizam-se de equipamentos caros, geralmente importados, que dificultam o acesso das pequenas corporações à avaliação inicial e principalmente ao monitoramento constante dos processos, inviabilizando um controle que é essencial para a segurança e a saúde ocupacional dos trabalhadores.

O uso de bioindicadores é a metodologia adequada para a detecção de efeitos de poluentes atmosféricos sobre organismos. A coleta sistemática de dados relativos a esses efeitos permite a criação de um inventário de respostas à poluição, o que representa o terceiro sistema de informação no controle da qualidade do ar, adicionalmente aos inventários de emissões e de concentrações ambientais.

O processo de biomonitoração vem sendo estudado, não em substituição às técnicas atuais físico-químicas de medições de concentrações ambientais de poluentes, pois nem mesmo conseguiria fazê-lo, mas como uma alternativa para obtenção de informações adicionais referentes a efeitos sobre organismos vivos, diminuir os custos totais de medição e também para aumentar a eficiência de monitoramento em áreas amplas, assim como a praticidade da mesma, favorecendo um maior acesso ao processo pelas pequenas empresas.

“A padronização das técnicas, desde o cultivo e a exposição das plantas até a medição de efeitos e a avaliação dos resultados, é um requisito fundamental para a validade e a aplicabilidade dos dados obtidos. Porém, a grande diversidade de

métodos aplicados nos inúmeros estudos conduzidos e publicados em vários países utilizando plantas como bioindicadoras da poluição do ar, não somente inviabiliza a comparação dos dados obtidos, mas também contribui para reduzir a aceitação desse método biológico de controle da qualidade do ar frente às autoridades e a opinião pública”. (KLUMPP et al, 2001)

Nesse contexto, o uso da bromélia *Tillandsia usneoides* vem sendo desenvolvido com grandes expectativas e resultados promissores, devido às suas características biológicas que atendem às necessidades desse processo. O biomonitoramento utilizando *Tillandsia usneoides* se mostrou uma ferramenta adequada para a avaliação da poluição atmosférica por metais e em relação a métodos concencionais, apresenta a vantagem de baixo custo e possibilidade de uso em grandes áreas. (NOGUEIRA, 2006)

2 CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS

Em 2001, a Comisión Nacional de Energía Atômica, (CNEA) apresentou que são identificados na atmosfera mais de 100 contaminantes, entre os que se incluem na fração inorgânica mais de 20 elementos metálicos e na orgânica, um grande número de hidrocarbonetos, ácidos e bases, embora considera-se como indicadores de contaminação atmosférica só os mais abundantes, para os quais estão estabelecidas normas de qualidade. Os principais destes, comumente monitorados, são conhecidos como contaminantes critério, dos quais fazem parte o Dióxido de enxofre (SO₂), óxidos de nitrogênio (NO_x), ozônio (O₃), monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC) e partículas suspensas ou sólidas totais (PST), cujos componentes podem ser muito diversos: metais pesados, silicatos, sulfatos, etc. Outros contaminantes específicos como a soma de compostos orgânicos voláteis exceto metano ou a seleção de alguns deles (exemplo: tolueno, xileno), assim como depósitos de poeira e compostos de material particulado como chumbo (Pb), cádmio (Cd), arsênico (As), níquel (Ni), benzopirenos e fuligem no ar entre outros, também se medem frequentemente, dependendo dos objetivos da monitoração e das características da zona de estudos.

Há que se considerar o problema de que geralmente se tem uma grande quantidade de contaminantes emitidos, de uma ou varias fontes, os quais haverá a necessidade de priorizar de acordo com a sua toxicidade individual, sua concentração ou a quantidade emitida desse contaminante e sua altura de emissão.

Quanto à saúde ambiental, é cada vez maior a predominância de ameaças físico-mecânicas e químicas.

2.1 Partículas Sólidas

“A contaminação física do ar é devida aos processos naturais e industriais que produzem gases e partículas sólidas em suspensão, que são uma mescla de substâncias de origem natural (cinzas vulcânicas, pólen, bactérias, vírus, esporos de cogumelos, poeiras), arrastadas pelos ventos e por fumos provocados artificialmente pelo homem, como os arremessados pela combustão. O material particulado aerotransportado é composto de partículas sólidas e líquidas, suspensas e dispersas no ar. As propriedades destas partículas variam na concepção de sua composição química, morfológica (tamanho / forma), parâmetros ópticos (cor / dispersão da luz) e características elétricas (carga / resistência)”.CNEA, (2001).

Uma suspensão de partículas no ar recebe o nome genérico de aerossol, ou aerodispersóide. Segundo a FUNDACENTRO 2001, os aerodispersóides são uma reunião de partículas sólidas e/ou líquidas suspensas em um meio gasoso por tempo suficiente para permitir sua observação ou medição. “No aerossol, a fase contínua ou meio de dispersão é o ar, e a fase descontínua ou dispersa são as partículas. De acordo com o seu estado físico e propriedades, os particulados podem apresentar-se como poeiras, névoas, fumos, neblinas, fumaça e radionuclídeos.” TORLONI; VIEIRA (2003).

Os aerossóis são constituídos por partículas com diâmetro aerodinâmico na faixa de 0,01 μm (micron) a 100 μm . A Figura 1 apresenta o tamanho das partículas de diversos aerossóis.

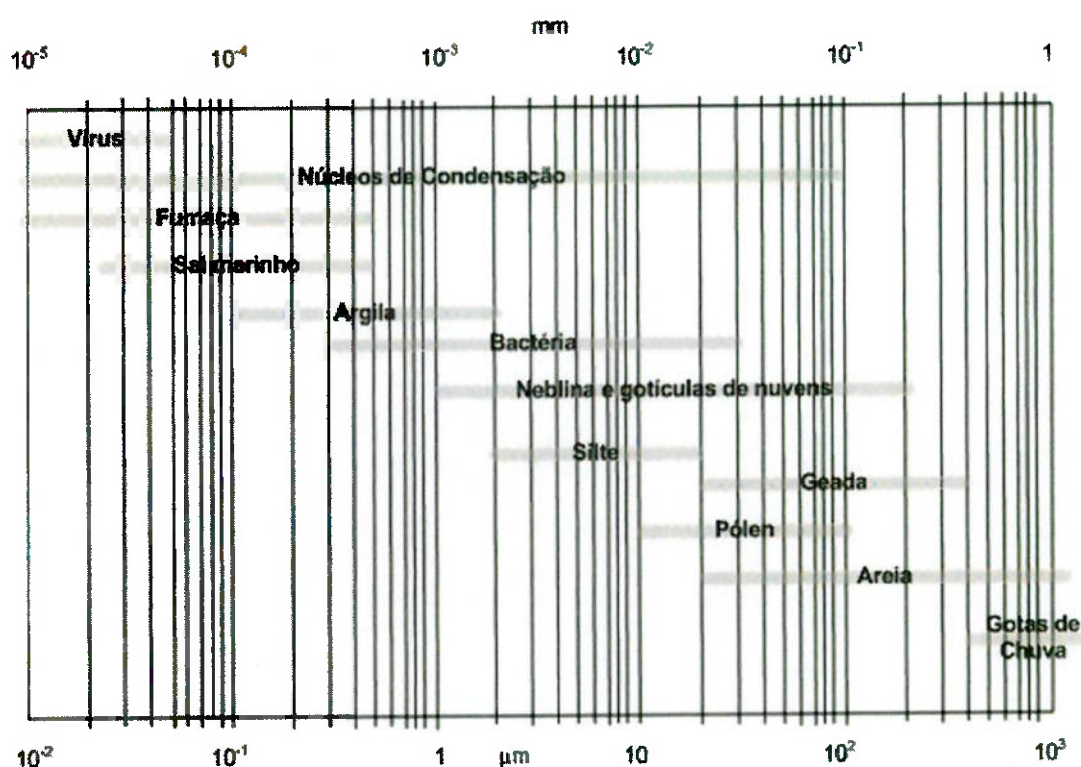


Fig. 1 Tamanho das Partículas de Aerossóis (MILLER et al, 1983 apud CARVALHO, 2004)

2.2 Classes dos Contaminantes Particulados

Segundo TORLONI; VIEIRA (2003) a deposição das partículas no trato respiratório, formado pelos pulmões e os brônquios, tubos pelos quais o ar entra e sai dos pulmões, é função do seu diâmetro aerodinâmico e os principais mecanismos que contribuem para essa deposição são a inércia, a sedimentação, a interceptação direta e o movimento browniano (difusão). Convém observar que estes mecanismos também atuam na retenção de partículas pelas fibras de um filtro para particulados.

A fração das partículas contaminantes existentes no ar e que podem se depositar em qualquer uma das regiões do trato respiratório é denominada “fração inalável”, com diâmetro de corte para 50% da massa das partículas igual a 100 µm. A fração que pode se depositar nas vias aéreas (região traqueobrônquica), e na região de troca gasosa (alvéolos) é denominada “fração torácica”, com diâmetro de corte para 50% da massa das partículas igual a 10 µm, e a que atinge a região alveolar é a “fração respirável”, com diâmetro de corte para 50% da massa das partículas igual a 4 µm.’ TORLONI; VIEIRA (2003).

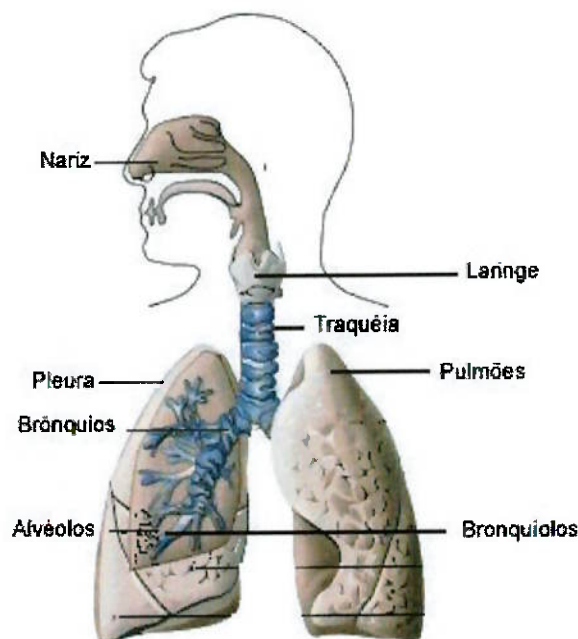


Fig. 2 Aparelho Respiratório (GRUPO ALTEC DO BRASIL, 2005)

2.3 Efeitos Sobre o Organismo

Segundo TORLONI; VIEIRA (2003), dependendo da natureza das partículas, da sua toxicidade e da atuação dos mecanismos de defesa (transporte mucociliar e ação dos macrófagos alveolares), os efeitos sobre o organismo são diversos e incluem doenças pulmonares, efeitos sistêmicos, câncer, irritação, mutação e alterações genéticas.

A inalação é a principal via de entrada dos contaminantes ocupacionais em nosso corpo, pelo menos 90% de todas as ocorrências (Retirando as dermatites) isto ocorre porque a área onde ocorre a troca de gases é grande se comparada com a área de nossa pele, no homem adulto a superfície dos alvéolos pulmonares é de aproximadamente 90m², esta grande área facilita a absorção de gases e vapores, que podem passar para o sangue e serem distribuídos por outras regiões no nosso organismo. (GRUPO ALTEC DO BRASIL, 2005)

“As partículas inaladas podem se depositar no trato respiratório e provocar reações no próprio local, que vão desde uma irritação aguda das vias aéreas até uma reação pulmonar por hipersensibilidade, dependendo da atividade biológica da

substância invasora e dos seus contaminantes. As partículas menores que 5 μm atingem os alvéolos facilmente e causam alguns efeitos, sendo que o mais simples é a deposição sobre o tecido alveolar sem provocar dano.” TORLONI; VIEIRA (2003).

Os particulados podem causar doenças pulmonares como bronquite (produção excessiva de muco), a asma (constricção dos dutos branquiais), alergias, dermatoses, câncer e pneumoconioses (alterações no tecido dos pulmões), que podem ser uma fibrose pulmonar ou um depósito de material inerte, que não altera as funções pulmonares FANTAZZINI; SAAD; SOTO (1980).

TORLONI; VIEIRA (2003) expõe que as respostas à inalação de poeiras inorgânicas dependem da natureza, dose e tempo de exposição a elas, e podem ser modificadas por fatores imunológicos, pela presença simultânea de outros tipos de poeiras e pela pré-existência de outras doenças pulmonares. As “partículas inertes, inócuas ou incômodas”, consideradas como atóxicas, como o estanho, ferro, carbono puro e bário, deixam a estrutura alveolar intacta e a reação do organismo é potencialmente reversível, ou seja, é uma pneumoconiose benigna. Segundo FANTAZZINI, SAAD e SOTO (1980), entende-se por pneumoconiose o acúmulo de partículas nos pulmões e as conseqüentes alterações produzidas no tecido pulmonar. ‘Na exposição a poeiras formadas por fibras de asbesto, sua dimensão é fator determinante: a maioria das fibras com comprimento menor que 3 μm deposita-se nos dutos alveolares e nos bronquíolos respiratórios e é envolvida pelos macrófagos. Muitas dessas fibras podem ser transportadas para o interstício entre a parede alveolar e os capilares sanguíneos, bem como para o sistema linfático. No caso de exposição a partículas de sílica cristalina, entre 2 μm e 4 μm , os macrófagos tentam fagocitá-las, mas a liberação de enzimas acabam provocando sua morte e repete muitas vezes acabando por danificar os tecidos alveolares que perdem a elasticidade e permeabilidade ao oxigênio e ao dióxido de carbono. A área de troca gasosa vai diminuindo gradativamente, uma vez que o efeito da doença é evolutivo.’ TORLONI; VIEIRA (2003).

3 AVALIAÇÃO AMBIENTAL

GRUENZNER (2003) descreve que os procedimentos básicos de uma organização para o gerenciamento de riscos consistem em identificar os perigos e avaliar os riscos, adotar medidas preventivas e monitorar as ações estabelecidas, a fim de assegurar que todos os trabalhadores permaneçam em ambientes seguros e saudáveis durante a vida laboral. Os riscos no ambiente de trabalho devem ser reconhecidos e avaliados, visando a sua eliminação ou redução. Para tanto, são desenvolvidas estratégias de avaliação da exposição dos trabalhadores que atendam aos seguintes propósitos:

- a) avaliar o potencial de riscos à saúde deparados pelos trabalhadores, diferenciar riscos aceitáveis de inaceitáveis e prevenir os riscos aceitáveis e os inaceitáveis;
- b) estabelecer um registro histórico dos níveis de exposição para os trabalhadores e informar e comunicar cada trabalhador quanto aos níveis da exposição a que estão submetidos;
- c) verificar a concordância com as Normas Regulamentadoras (NRs) da legislação ou outros padrões ocupacionais estabelecidos em acordos coletivos de trabalho;
- d) alocar os recursos necessários com eficiência para desenvolver as ações acima.

Conforme GRUENZNER (2003), muitas vezes, porém, há situações em que a avaliação qualitativa do risco pode proporcionar uma base suficiente para agir diretamente nas medidas preventivas, não se justificando uma análise mais sofisticada do ambiente, para se obter dados mais exatos. A avaliação qualitativa dos riscos se vale mais da experiência do profissional e de seus conhecimentos sobre o assunto, quando ele faz, por exemplo, analogias com outras situações de exposição. Juridicamente, porém, é solicitada a comprovação quantitativa para verificar se os limites de tolerância foram mantidos ou ultrapassados.

Aspectos Legais

A avaliação ambiental está inserida no contexto legal desde as Convenções da Organização Internacional do Trabalho (OIT) até as normas regulamentadoras (NR). Na Convenção nº 155 da OIT, no que diz respeito a ações em nível de empresa, para os membros ratificadores como o Brasil, determina que deve ser exigido dos empregadores, na medida que for razoável e possível, a garantia de que substâncias e os agentes químicos, físicos e biológicos que estiverem sobre o seu controle, não envolvam riscos para a saúde. WEBSTER (2005)

“O Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional (PCMSO) da NR-7 é parte integrante do conjunto mais amplo de iniciativas da empresa no campo da saúde dos trabalhadores, devendo estar articulado com o disposto nas demais NR, principalmente com o Programa de Prevenção de Riscos Ambientais (PPRA) da NR-9”. GRUENZNER (2003)

Para WEBSTER (2005), o PPRA nada mais é do que ratificação, na prática, pelo Brasil, da Convenção 148 da OIT, que trata de critérios técnicos para a proteção dos trabalhadores contra os riscos profissionais devido à contaminação do ar, ruído e às vibrações no local de trabalho. O PPRA representa procedimentos técnicos correlacionados que deverão estar dispostos em um documento base. “ O programa tem caráter de prevenção, rastreamento e diagnóstico precoce dos agravos à saúde relacionados ao trabalho. Embora o programa não possua um modelo a ser seguido, nem uma estrutura rígida, alguns aspectos devem contemplar o documento, entre eles, programação anual dos exames clínicos e complementares específicos para os riscos detectados, definindo-se quais trabalhadores ou grupos de trabalhadores, quais são os exames e o momento adequado”.GRUENZNER (2003)

As outras duas Normas Regulamentadoras NR-9 e NR-22 estabelecem a obrigatoriedade da elaboração e implementação de programas de gerenciamento de riscos.

Segundo GRUENZNER (2003), a NR-9 estabelece a obrigatoriedade e implementação, por parte de todos os empregadores, do Programa de Prevenção de Riscos Ambientais PPRA, visando à preservação da saúde e da integridade dos trabalhadores, por meio da antecipação, reconhecimento, avaliação e conseqüente

controle da ocorrência de riscos ambientais existentes ou que venham a existir no ambiente de trabalho, levando-se em consideração a proteção do meio ambiente e dos recursos naturais. Embora essa NR também não estabeleça um modelo, cabe a empresa, estabelecer o modelo mais conveniente à sua realidade. O programa da NR define uma estrutura mínima contendo:

- a) planejamento anual com estabelecimento de metas, prioridades e cronograma;
- b) estratégia e metodologia de ação;
- c) forma do registro, manutenção e divulgação dos dados;
- d) periodicidade e forma de avaliação do desenvolvimento do PPRA.

Dentre as etapas do desenvolvimento do PPRA se incluem:

- a) antecipação e reconhecimento dos riscos;
- b) estabelecimento de prioridades e metas de avaliação e controle;
- c) avaliação dos riscos e da exposição dos trabalhadores;
- d) implantação de medidas de controle e avaliação de sua eficácia;
- e) monitoramento da exposição aos riscos;
- f) registro e divulgação dos dados.

A NR-9 estabelece, entre outros, que a avaliação quantitativa deverá ser realizada sempre que necessária para:

- 1) comprovar o controle da exposição ou a inexistência dos riscos identificados na etapa de reconhecimento;
- 2) dimensionar a exposição dos trabalhadores;
- 3) subsidiar o equacionamento das medidas de controle.

Assim, conforme o apresentado, a realização de avaliações quantitativas não é empregada somente para comprovar a existência de risco, mas passa a ser mais aplicada às ações de implantação de medidas de prevenção. Sob essas premissas é que se inserem as avaliações e monitoramentos ambientais.

4 AS BROMÉLIAS

“O Brasil é considerado o país de maior diversidade do planeta, possuindo a flora mais rica do globo, com cerca de 60.000 espécies das cerca de 220.000 reconhecidas entre as Angiospermas. Isto está relacionado à vasta extensão do país (8.500.000 km²) e grande diversidade de clima e geomorfologia, fatores que, juntos, são responsáveis por essa grande variedade de vegetação” (GIULIETTI, 1992).

De acordo com levantamentos fitossociológicos, a família Bromeliaceae é uma das mais freqüentes, apresentando grande diversidade de espécies, principalmente na Parcela Permanente do Parque Estadual Carlos Botelho (PECB) (BREIER et al. 2002 apud ELIAS, 2006).

A família *Bromeliaceae* conta com aproximadamente 50 gêneros e quase 4000 espécies. Encontra-se, atualmente, dividida em três subfamílias: *Bromelioideae*, *Pticaoirnioideae* e *Tillandsioideae*. Esta divisão é baseada em caracteres florais e na morfologia dos frutos e sementes (ELIAS, 2006).

Geralmente, suas folhas têm base mais alargada, bainha foliar, tornando-a capacitada para acumular água das chuvas e detritos orgânicos. Por isso, a roseta foliar é chamada de tanque ou cisterna. As cisternas desempenham um papel de charcos e lagos suspensos, com microfauna e microflora especiais, além de macroflora e macrofauna. As bromélias coabitam com as orquídeas, sendo que estas últimas introduzem suas raízes entre as folhas das bromélias onde têm suprimento constante de água e alimento. Existem outras plantas aeráceas que dependem do meio aquário das bromélias. A capacidade de adaptação a fatores ambientais muito variáveis permitiu que as bromélias habitassem os meios mais diversos. Algumas espécies tiveram suas populações limitadas a áreas restritas. São indicadoras importantes da degradação do meio ambiente. A ocupação humana, os incêndios e a poluição dos carros, por exemplo, foram alguns dos fatores que fizeram com que algumas bromélias fossem extintas na cidade, como por exemplo, o gravatá roxo (Figura 3). Por isso, o endemismo é marcante nessa família (ELIAS, 2006).

A família Bromeliaceae é composta por um grupo de plantas com características próprias e, quanto ao hábito, podem ser epífitas (vegetal que vive sobre um outro sem parasitismo), terrestres ou rupícolas (que vive nas rochas).

Algumas podem ser bioindicadoras de poluição provocadas por determinados elementos químicos (CALASANS & MALM, 1997).



Fig. 3 Gravatá Roxo (ADEJA, 2007)

4.1 A Bromélia *Tillandsia Usneoides*

4.1.1 Nomes Populares

A *Tillandsia usneoides* é popularmente conhecida como Barba-de-velho, Barba-de-pau, Samambaia, Barba-espanhola, Barba-de-macaco, Barba-de-pai-ventura, Cabelos-do-rei, Camambaia, Crina-vegetal, Erva-dos-bardanos, Samambaia-de-norte (BRA), Hirahuasso, Huahuasso, Barba-de-monte, Barba de tabaquilla, Barbón, Peluca, Cabello del ángel (Argentina, Chile); Greybeard, Three Hair, Spanish moss, Horsehair (Estados Unidos); Payun-mamell (indígenas mapuches, Argentina) (ARAMBARRI, 1997 apud FRACARO, 2004).

4.1.2 Distribuição Geográfica

A *Tillandsia usneoides* ocorre em praticamente todo o continente americano. No Brasil, está presente desde o Pará até o Rio Grande do Sul. Nas Américas, presente também em áreas úmidas desde o Sudoeste dos Estados Unidos até o sul da Argentina e Chile. (GARTH, 1964 apud FRACARO, 2004).

4.1.3 Descrição

‘A “barba-de-velho” é assim chamada devido ao aspecto filamentoso dessa planta, que dá a impressão de serem longos fios de cabelos encaracolados da barba de um ancião.

Os indígenas a utilizam nos seus rituais como adereços que os ajudava a aparentar-se com as figuras idealizadas por seus pajés.

Na época da escravidão os negros africanos no Brasil confeccionavam uma espécie de roupagem e máscara, simbolizando os deuses pagãos de sua terra natal, também com o uso da bromélia. Essa prática ainda hoje é utilizada em alguns cultos afro-brasileiros.

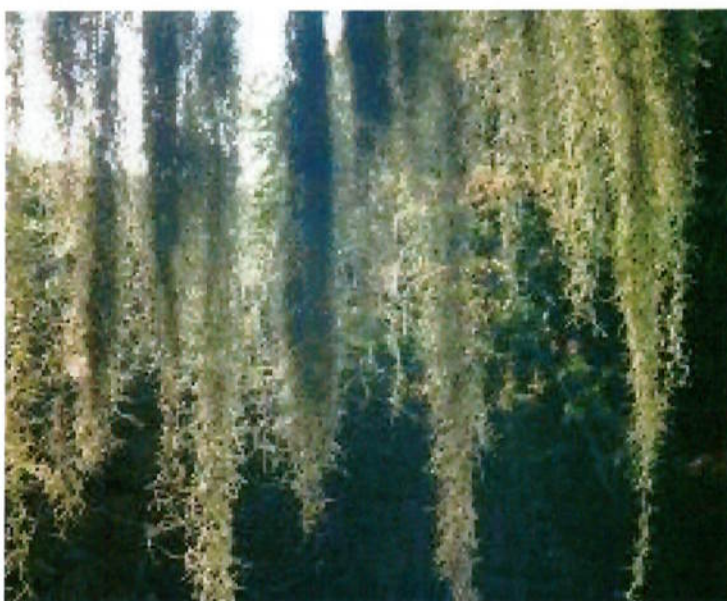


Fig. 4 Bromélia *Tillandsia Usneoides* (ADEJA, 2007)

Na Reserva Ecológica de Jacarepiá essas plantas crescem penduradas nas árvores, formando extensas colônias.’ Associação de Defesa do Meio Ambiente de Jacarepiá (ADEJA, 2007).

A ADEJA (2007) descreve que algumas plantas chegam a ter mais de dois metros de comprimento, alcançando o chão. Quando arrancadas pela força do vento, caem sobre os arbustos mais baixos. Muitas delas sobrevivem, outras apodrecem ou secam ao relento.

Suas flores são minúsculas e surgem a partir de um involúcro no formato de vagem. Essa planta é facilmente encontrada dependurada nas árvores da restinga.

Após a maturação, a vagem se abre, liberando uma finíssima paina, que é espalhada pelo vento, semeando novas plantas em árvores mais distantes.

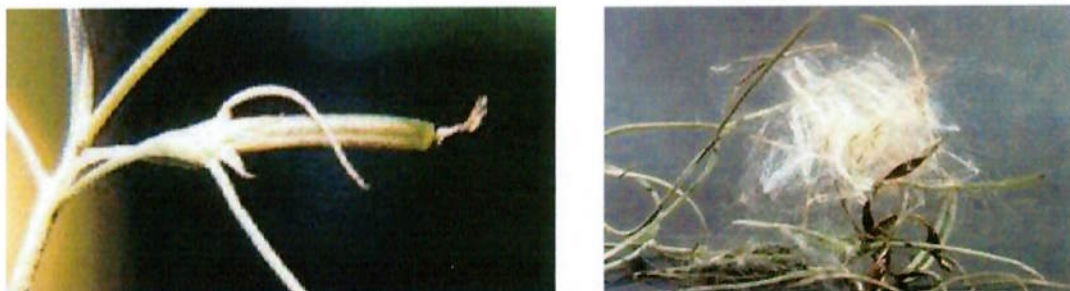


Fig. 5 Aparelho Reprodutor da *Tillandsia Usneoides* (ADEJA, 2007)

‘Alguns pássaros, como o “Risadinha” (*Camptostoma obsoletum*), da família *Tyrannidae*, constroem seus ninhos dentro dos blocos mais fechados dos ramos da “barba-de-velho”. Utilizam a própria paina que envolve a semente da planta. Normalmente colocam um só ovo, do qual nasce o filhote que cresce rápido ocupando praticamente toda a dimensão do ninho feito em forma de túnel com uma única abertura.



Fig. 6 Pássaro Risadinha (ADEJA, 2007)

Outro pássaro, cujo nome popular é Arredio (*Certhiaxis palida*), da família Furnariidae, constrói o ninho dentro da “barba-de-velho” fazendo um túnel com acesso lateral até uma câmara da ovipostura, onde são colocados quatro ovos. O “Cambacica” ou “cebinho” também costuma visitar a planta a procura de insetos.

A barba-de-velho também é tida, popularmente, por uma planta medicinal. Acredita-se que o uso tópico de seus ramos macerados alivia a inflamação e alguns outros tipos de pruridos.

É muito utilizada também como arranjo em conjunto com plantas decorativas. Após um processo de desidratação, torna-se um “enfeite” durável, podendo seus ramos, inclusive, serem coloridos artificialmente. Em quase todas as partes do mundo existem bromélias brasileiras sendo comercializadas, mas nenhuma tem tanta aplicabilidade como a barba-de-velho.’ ADEJA (2007)

Tillandsia usneoides é uma planta epífita, angiosperma e monocotiledônea, da família *Bromeliaceae*. Não possui raízes e absorve água e sais por intermédio de pequenos pêlos existentes nas folhas, acumulando umidade entre elas. Têm flores do tipo trímeros e sementes com um só cotilédono, com albúmen cujo parênquima acumula reservas. É uma espécie cinérea, pendente, com folhas finas e alongadas que formam extensos fios, que se distribuem por todo forófito, formando verdadeiras “cortinas”. (GARTH, 1964 apud FRACARO, 2004)

As plantas epífitas são responsáveis por grande parte da diversidade florística das florestas tropicais úmidas, incluindo a Mata Atlântica. Cerca de dez por cento de todas as plantas vasculares são epífitas. Estas pertencem, geralmente, a famílias consideradas avançadas em termos morfológicos. Como exemplos, a família *Orchidaceae* possui setenta por cento de seus membros epífitos e a *Bromeliaceae* em torno de cinquenta por cento. Em termos fisiológicos, tem se verificado que as epífitas apresentam várias adaptações que as capacitam a ocupar o dossel da floresta. Este contém uma variedade muito grande de microhabitats, desde os que possuem disponibilidade contínua de nutrientes e de umidade, até os mais instáveis, oligotróficos e secos. Neste último caso, as epífitas que o habitam necessitam ter mecanismos fisiológicos/bioquímicos eficientes para aquisição de nutrientes e de água. Além disso, modificações morfológicas permitiram a redução do corpo da

planta, chegando, em alguns casos extremos, à redução total das raízes, como em *Tillandsia usneoides* (Bromeliaceae) que só possui ramos ou à inexistência desses na forma vegetativa de orquídeas ditas acaules do gênero *Campylocentrum*, onde só há raízes (MERCIER, 2004 apud FRACARO, 2004).

As epífitas, geralmente, encontram na atmosfera sua fonte de nutrientes que podem resultar da deposição seca ou úmida. No último caso, os nutrientes ficam disponíveis às plantas por meio da água de chuva, da água de gotejamento, isto é, aquela que atravessa o dossel, e da água de escoamento do caule. Há dados que demonstram que o nitrato e o amônio, oriundos do escoamento do caule, são as principais fontes de nitrogênio para as orquídeas. Vários estudos têm mostrado que grande parte das epífitas estão sujeitas a períodos extensos de seca nos dosséis das florestas tropicais. Há, portanto adaptações importantes que permitem com que as epífitas sejam capazes de sobreviver em condições de estresse hídrico, como a existência de mecanismo de ajuste osmótico celular (acúmulo de sais, ácidos orgânicos e/ou açúcares), mudança na conduta estomática, fixação noturna do CO₂ e aumento da elasticidade da parede celular, o qual permite um maior ajuste dessa parede ao volume do protoplasma, à medida que ocorre perda d'água, evitando a plasmólise irreversível e a conseqüente morte celular (MERCIER, 2004 apud FRACARO, 2004).

A *Tillandsia usneoides* aparentemente se desenvolve melhor em árvores mortas do que em vivas; e demonstra preferência por árvores que crescem em solos ricos em calcáreo. Essa espécie procura terrenos mais secos, necessitando de períodos regulares de secas. O gênero *Tillandsia* é considerado o mais primitivo e mais xerófito entre as *Bromeliaceae* (GARTH, 1964 apud FRACARO, 2004). Seu nome científico foi ditado por Carolus Linnaeus (Carl Von Linné, 1707-1778, pai do Sistema de classificação Binomial). O nome do gênero, *Tillandsia*, deriva do nome de outro cientista, Elias Tillands; e o nome da espécie, *usneoides*, significa “semelhante a musgo” (ADAMS, 2004 apud FRACARO, 2004).

4.1.4 Aspectos Etnofarmacológicos

HOEHNE (1939) apud FRACARO (2004) descreve o uso popular de *Tillandsia usneoides* contra engorgitamento do fígado; em forma de banhos como anti-hemorroidal. Segundo ele, quimicamente foi constatada a presença de boa percentagem de cumarina presente na planta. BALBACH (1972) também cita o uso do suco da planta, de maneira tópica, contra hemorróidas.

Entre suas aplicações, o chá de *Tillandsia usneoides* é referido por WITHERUP et al. (1995) apud FRACARO (2004) no tratamento da dor reumática e abscessos. No passado, já se referiu o seu uso no tratamento de diabetes tipo *mellitus*, principalmente no sul de Louisiana. KORBES (1995) apud FRACARO (2004) descreve o uso popular de *Tillandsia usneoides* em forma de infusão para rins, catarro da bexiga, blenorragias, e seu xarope contra bronquite crônica. Externamente, como cataplasmas sobre o fígado. SENA et al. (1996) apud FRACARO (2004) descrevem seu uso popular como anti-reumática e desobstruente do fígado, e COSTA et al. (1989) apud FRACARO (2004) propõe seu uso na medicina popular como analgésico.

5 INDICADORES DE DESEMPENHO AMBIENTAL

Segundo a FEDERAÇÃO E CENTRO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – FIESP/CIESP (2003), os indicadores são expressões quantitativas ou qualitativas que fornecem informações sobre determinadas variáveis e suas inter-relações. Diferentes indicadores têm sido formulados para qualificar ou quantificar a situação das mais diversas áreas de interesse humano, tais como na saúde (índice de natalidade, índice de mortalidade), educação (índice de repetência, índice de analfabetismo), economia (renda per capita), sociologia (índice de desenvolvimento humano) e no meio ambiente (qualidade do ar). Estes indicadores não espelham a qualidade dos temas em sua totalidade, mas indiretamente servem de referência para abordá-los e tratá-los em seus aspectos mais sensíveis.

“O desempenho ambiental de uma indústria também não pode ser quantificado de forma absoluta, tendo em vista a diversificada relação que existe entre a atividade

industrial e o meio ambiente. Este é, simultaneamente, fonte de matéria-prima, energia, água e outros insumos, além de ser o depositário dos resíduos e efluentes que dela saem e onde ocorrem os impactos, positivos ou negativos, sobre os diversos fatores ambientais”.

“Dessa forma, os indicadores de desempenho ambiental da indústria devem ser formulados considerando os diversos aspectos dessa relação de dependência e interferência. Na construção desses indicadores, pode-se ponderar variáveis com dados da própria dinâmica industrial, que dizem respeito à quantidade ou valor de sua produção, quantidade de mão-de-obra, valor agregado, entre outros. A análise dessas relações possibilita realizar avaliações não só de desempenho ambiental, mas também de produtividade e competitividade”. FIESP/CIESP (2003)

6 MONITORAMENTO

Segundo AZAMBUJA, DEPONTI e ECKERT (2002) a partir da década de oitenta, o termo sustentabilidade começa a aparecer com muita frequência, tornando-se tema importante no debate social. A grande discussão em torno da sustentabilidade dirige-se à construção de indicadores e instrumentos que permitem mensurar as modificações nas características de um sistema e que permitem avaliar a sustentabilidade dos diferentes sistemas, ou seja, realizar um monitoramento. Portanto, o monitoramento de um sistema é a base de sustentabilidade do mesmo, retro-alimentando-o de informações para haver controle sobre as suas variáveis.

O monitoramento depende da construção de indicadores e, para estes, há algumas características importantes a serem consideradas nas suas definições. O indicador deve:

- ser significativo para a avaliação do sistema;
- ter validade, objetividade e consistência;
- ter coerência e ser sensível a mudanças no tempo e no sistema;
- ser centrado em aspectos práticos e claros, fácil de entender e que contribua para a participação da população local no processo de mensuração;
- permitir enfoque integrador, ou seja, fornecer informações condensadas sobre vários aspectos do sistema;

- ser de fácil mensuração, baseado em informações facilmente disponíveis e de baixo custo;
- permitir ampla participação dos atores envolvidos na sua definição;
- permitir a relação com outros indicadores, facilitando a interação entre eles.

Para que a escolha de indicadores seja coerente com os propósitos da avaliação, é necessário ter clareza sobre:

- O que avaliar, como avaliar, por quanto tempo avaliar e por que avaliar;
- De que elementos consta a avaliação;
- De que maneira serão expostos, integrados e aplicados os resultados da avaliação para o melhoramento do perfil dos sistemas analisados.

A clareza quanto a esses aspectos é fundamental, pois são eles que deverão orientar a definição quanto ao tipo de indicador recomendado para o monitoramento do objeto proposto.

6.1 Monitoramento Convencional

6.1.1 Avaliação da Exposição a Particulados

Segundo TORLONI; VIEIRA (2003), na avaliação da exposição a particulados, são fatores importantes: o tipo de partícula, o tempo de exposição (meses, anos), a concentração e a dimensão das partículas na zona respiratória. Esses fatores estão relacionados entre si, por exemplo, partículas muito tóxicas, mas com dimensão muito grande, não atingirão os pulmões se estiverem em baixa concentração e a exposição for curta. Enquanto nos gases ou vapores a concentração do contaminante que chega aos pulmões é a mesma existente no ar, na poeira somente as partículas menores de 10 μ m chegam aos alvéolos, uma vez que as maiores ficam retidas nas vias aéreas superiores.

TORLONI; VIEIRA (2003) informam que para fins de amostragem e avaliação, os particulados podem ser divididos em: inorgânicos e orgânicos.

Os particulados inorgânicos podem ser metálicos (chumbo, cádmio, etc) e não metálicos, que, por sua vez, são divididos em particulados sem sílica (carvão) ou com sílica. A sílica pode estar combinada (talco), ou na forma de sílica livre. A sílica livre pode ser cristalina (areia) ou amorfa (terra diatomácea). Os particulados orgânicos podem ser sintéticos, como o dinitrobenzeno ou naturais. Os naturais podem ser de origem vegetal (grãos, fibras) ou de origem animal (pêlos, resíduos).

A avaliação quantitativa de um problema de aerodispersóides se torna bastante difícil já que, normalmente, se trata de misturas complexas, de diferentes tamanhos de partículas, formas, estado de agregação, velocidade de sedimentação e composição. Por esse motivo, nenhuma magnitude pode definir completamente uma concentração de um aerodispersóide, diferentemente de uma concentração de gás ou vapor. Por outro lado, determinações de concentrações da concentração de um aerodispersóide, feitas por diferentes métodos não “entregam” resultados concordantes. Por isso, o método escolhido deve ser adequado a cada problema particular, pois podemos afirmar que a concentração de um aerodispersóides no ambiente de trabalho varia com o espaço tempo, fazendo com que estes parâmetros tenham influência importante nos resultados da medição feita. FANTAZZINI; SAAD; SOTO (1980).

“Para coletar as amostras de aerodispersóides, em especial poeiras, foram criados inúmeros aparelhos, desde o mais simples aos mais complexos, numa evolução constante, que é o reflexo da preocupação dos Higienistas na procura de melhores métodos, para avaliar a nocividade das atmosferas que contêm poeiras, como por exemplo, os conímetros, precipitadores térmicos, precipitadores eletrostáticos, impinger ou borbulhadores e filtros porosos.” (FANTAZZINI; SAAD; SOTO, 1980).

De todos os métodos de amostragem os mais utilizados são os baseados na filtração através de suporte poroso, que podem ser de pequeno porte, autônomos e portáteis de baixo fluxo, até os de grande fluxo, de tamanho maior e que precisam de conexão com a rede elétrica ou acionamento por ar comprimido. Um dos que tem grande utilidade na determinação dos riscos potenciais que as diversas poeiras apresentam para os trabalhadores é o “amostrador gravimétrico portátil”.

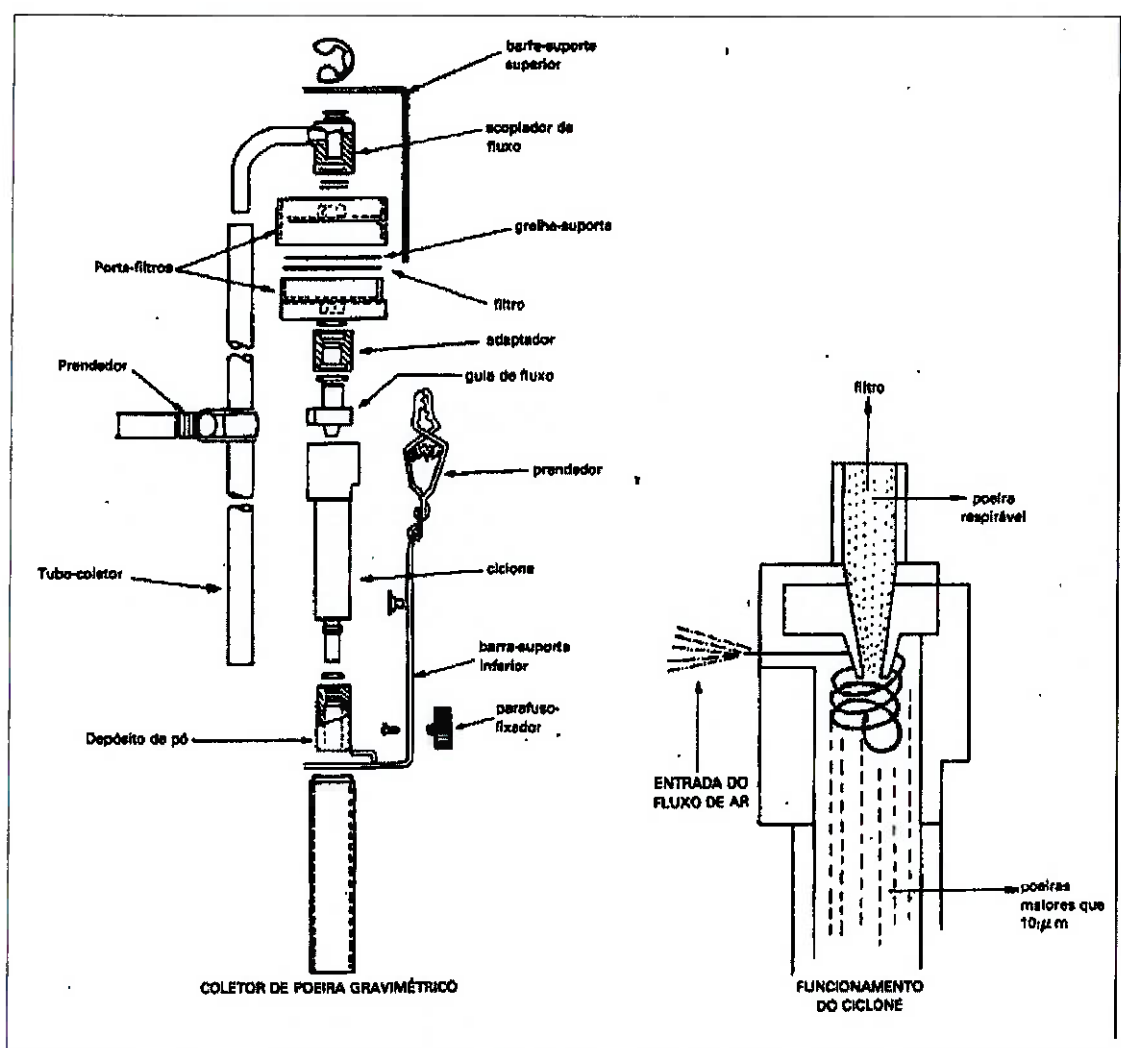


Fig. 7 Amostrador Gravimétrico de Partículas Respiráveis (FANTAZZINI; SAAD; SOTO, 1980).



Fig. 8 Monitores de Partículas com Leitura Direta. (www.hazdust.com)

6.1.2 Avaliação da Exposição de gases e Vapores

TORLONI e VIEIRA (2003) expõem que a ocorrência de danos ao organismo depende da concentração do contaminante ao nível respiratório, do tempo de exposição, das características físico-químicas do agente e da suscetibilidade pessoal. E que a exposição a gases e vapores pode ser avaliada por instrumentos de leitura direta que coletam e analisam a mostra dentro do próprio instrumento no local de trabalho. Outra técnica de avaliação da exposição envolve duas etapas separadas: a coleta do agente em amostradores e, na segunda etapa, a análise em laboratório.

“Os aparelhos de leitura direta utilizam métodos químicos ou métodos físicos. São exemplos de indicadores colorimétricos que utilizam métodos químicos aqueles que indicam a concentração no local de trabalho por meio da alteração de cor causada por a uma reação química. Nestes indicadores colorimétricos, uma quantidade conhecida de ar é obrigada a atravessar um tubo com reagente sólido granulado provocando uma alteração de cor no reagente quando o contaminante está presente. O tubo que contém o reagente é de vidro e, no momento da amostragem, as suas extremidades são quebradas e o tubo é ligado a um sistema que obrigue o ar a atravessá-lo. O agente químico presente no ar reage com o conteúdo do tubo e tem-se a concentração do contaminante por comparação da cor obtida com uma série de cores padrões ou pela extensão da coloração ao longo do tubo que contém uma escala gravada. O volume de ar amostrado que passa através do reagente contido no tubo é determinado pelo número de vezes que é acionado um fole manual ou um pistão calibrado. Existem tubos para aproximadamente duzentos contaminantes diferentes. São relativamente baratos e permitem uma quantificação rápida das condições do ambiente. Sua aparente simplicidade pode levar a medições incorretas se for realizada por pessoa que não conheça as limitações do método as quais são apresentadas, para cada substancia, com muitos detalhes nas instruções que acompanham cada caixa de tubos. É importante utilizar bomba de aspiração e tubos colorimétricos de um mesmo orifício interno para garantir uma determinada vazão de ar durante a amostragem. Se esses cuidados não são tomados, os erros na concentração podem atingir 50%. Na figura 9 é mostrada uma bomba de amostragem da ação manual”. (TORLONI; VIEIRA, 2003)

Os aparelhos de leitura direta que utilizam métodos físicos muitas vezes são versões daqueles para análise em laboratório e dão indicação precisa, como os analisadores infravermelhos e os cromatógrafos a gás. Alguns instrumentos, como o mostrado na figura 9, detectam até cinco substâncias presentes, e a indicação é por deflexão de ponteiro ou leitura digital. Alguns possuem alarme para alertar o operador que um valor prefixado da concentração foi ultrapassado, como, por exemplo, o monitor de monóxido de carbono, de oxigênio e de gás sulfídrico.

O método com os amostradores ativos é reconhecido como padrão de avaliação e incluem uma bomba calibrada para respirar o ar contaminado e um meio de coleta. Os gases ou vapores são retidos no meio de coleta por adsorção e por absorção, e depois em laboratório são recuperados, identificados e quantificados, por exemplo, por cromatografia.

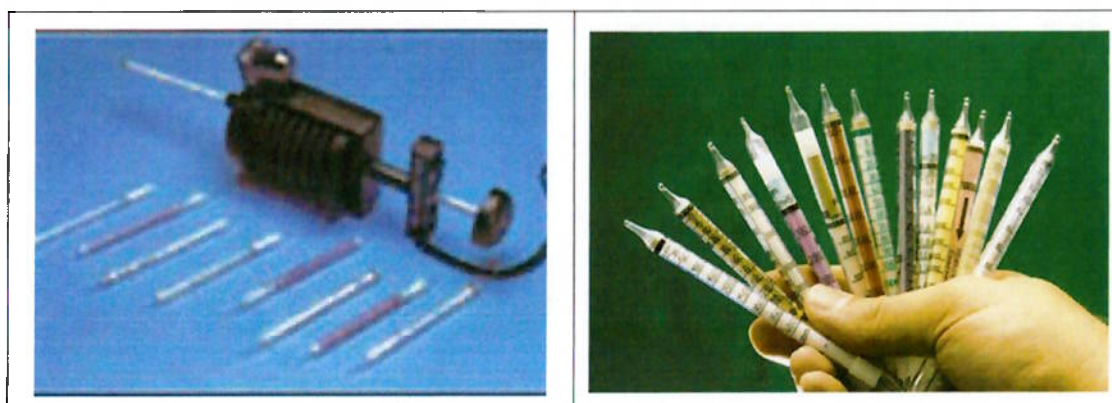


Fig. 9 Bomba de Amostragem de Ação Manual e Tubos Colorimétricos (www.msanet.com)



Fig. 10 Instrumento de Leitura Direta para Multi-gás. (www.jjramb.com.br)

“A coleta por adsorção utiliza um tubo contendo carvão ativado o qual fixa na sua superfície as moléculas dos gases e vapores (hidrocarbonetos clorados, cetonas e éteres). Para certos vapores reativos ou polares, como aminas, fenóis, aldeídos e álcoois de baixo peso molecular, no lugar do carvão ativo é empregada a sílica gel”. (TORLONI; VIEIRA, 2003).

“Amostradores passivos. Permitem a avaliação da exposição para comparar com o valor do limite de exposição média ponderada no tempo. Nos amostradores passivos, como o apresentado na figura 11, as moléculas do contaminante movem-se por difusão até a camada de adsorvente onde são retidas, dispensando, portanto, o uso da bomba”. (TORLONI; VIEIRA, 2003).



Fig. 11 Amostrador Passivo (TORLONI; VIEIRA, 2003)

6.2 O Biomonitoramento

Segundo KLUMPP et al (2001), o biomonitoramento é uma maneira de avaliar a “saúde” de ecossistemas. Consiste no uso sistemático de respostas biológicas para avaliar as mudanças ambientais.

FONSECA (2002) descreve que os bioindicadores, tanto da fauna quanto da flora, fornecem informações indiretas acerca das alterações ambientais. Seres vivos como insetos, crustáceos, etc, podem ser utilizados como bioindicadores. Por

exemplo, a coloração ferruginosa encontrada no crustáceo *Daphnia magna* habitante das águas paradas nas adjacências de uma siderúrgica, indica acúmulo dos metais Fe, Ni e Cr. Isto foi confirmado por microanálise por raio-X. Em situações extremas, espécies sensíveis ao poluente são gradualmente excluídas enquanto a ocorrência das mais resistentes tende a ser mantida.

“O método de biomonitoração, por outro lado, deve ser entendido como sendo uma abordagem mais quantitativa e, nesta metodologia, não somente espécies sensíveis são utilizadas. Ao contrário, a escolha de espécies resistentes pode ser interessante. Esta visa gerar informações da magnitude do acúmulo de poluentes e sua redistribuição no organismo, assim como uma análise geográfica da poluição pesquisada. Utilizando-se da biota como objetos-teste, a exposição dos organismos é analiticamente mensurada” (FONSECA, 2002). KLUMPP et al (2001) também relata a existência de duas formas de uso de plantas bioindicadoras, que são as indicadoras de reação, que respondem a poluentes definidos ou grupos de poluentes com danos visíveis ou alterações anatômicas, e indicadoras de acumulação, que são relativamente resistentes à poluição aérea, mas acumulam substâncias tóxicas nos tecidos foliares permitindo a detecção do poluente através de análises químicas.

“Uma relação dose-resposta entre a concentração dos poluentes e seus efeitos no organismo, pode ser feita, por exemplo, na biomonitoração de Hg inorgânico em uma fábrica sendo conduzida com utilização de coelhos domésticos. Em um estudo deste tipo, as concentrações do metal no animal foram determinadas e os valores mais altos foram encontrados nos pulmões, rins, cérebro, coração e ossos após 6 meses de exposição ao ar contaminado. Histopatologicamente, o impacto de Hg inalado foi detectado principalmente nos pulmões, rins e coração. Os achados histológicos pulmonares evidenciaram espessamento dos septos resultando em aparente redução no espaço respiratório assim como estreitamento do lúmen vascular. Alterações morfológicas importantes foram encontradas no território renal em nível tubular assim como no relevo da mucosa traqueal visto por microscopia eletrônica”. (FONSECA, 2002).

O sucesso do desenvolvimento de um programa de biomonitoração depende em grande medida do biomonitor utilizado, uma vez que a grande variabilidade inerente ao organismo vivo pode condicionar o nível de confiança dos resultados obtidos.

Esta variabilidade pode ser minimizada se o organismo utilizado cumprir o conjunto de propriedades com que se pode definir o biomonitor ideal (MARTIN; COUGHTREY, 1982; WITTIG, 1993 apud FIGUEIRA, 2002):

- capacidade de acumulação mensurável do elemento químico;
- distribuição generalizada na área de estudo, permitindo a amostragem alargada e não enviesada;
- ausência de variações sazonais na quantidade disponível para amostragem;
- capacidade de acumulação diferenciada do poluente, relacionada com a intensidade de exposição ao fator ambiental. Esta relação deve poder ser descrita de uma forma quantitativa ou semi-quantitativa;
- ausência de variações sazonais na capacidade de acumulação;
- identificação taxonômica fácil;
- ser suficientemente estudado (fisiologia, ecologia, morfologia).

Entre as características identificadas por WITTIG (1993) apud FIGUEIRA (2002), é referida a ausência de perda do elemento a ser monitorado, por lixiviação ou excreção. Esta pode ser, no entanto, uma característica penalizadora. O equilíbrio entre a concentração de um elemento no biomonitor e a concentração envolvente garante a indicação, não enviesada, da concentração ambiental num determinado momento. Este fator torna-se importante quando se pretende realizar a biomonitoração de um elemento em diferentes períodos, pois permite acompanhar a evolução da concentração ao longo do tempo.

Organismos biomonitores podem ser utilizados para avaliar o impacto da poluição atmosférica em ecossistemas, permitindo estudar amplas áreas com a vantagem de esforço amostral reduzido (WOLTERBEEK, 2002 apud ELIAS, 2006). Para tal avaliação, espécies podem ser selecionadas a partir da capacidade acumuladora de elementos químicos (LUOMA & RAINBOW, 2005 apud ELIAS, 2006). A biomonitoração pode ser passiva, quando o organismo empregado é nativo da área a ser avaliada, ou ativa, quando o biomonitor é transferido para o local (MARKERT 1991 apud ELIAS, 2006).

PEREIRA, et al (2002), em seus estudos, determinaram os teores de Hg, Pb, Cd, Cu e Zn nos moluscos bivalves *C. brasiliana*, *P. perna* e *M. falcata* coletados em vários bancos naturais do litoral da Baixada Santista. Os moluscos bivalves quando ingeridos podem oferecer risco à saúde pública por serem organismos filtradores e bioacumuladores de resíduos químicos e biológicos (Tabela 1).

Tabela 1 Concentrações médias, medianas, valores mínimos e máximos de Pb, Cd, Hg, Cu e Zn os bivalves nas diferentes localidades em mg/kg (PEREIRA, 2002)

<i>Localidade</i>	<i>[Pb]</i>	<i>[Cd]</i>	<i>[Hg]</i>	<i>[Cu]</i>	<i>[Zn]</i>
Guarau	0,20-0,19-	0,12-0,13	0,025-0,025	1,48-1,47	20,0-07-
	0,15-0,29	0,08-0,13	0,020-0,030	1,26-1,90	16,9-21,8
Prainha	0,20-0,18-	0,08-0,08-	0,018-0,020-	1,37-1,24-	18,8-19,2-
	0,11-0,30	0,06-0,11	0,010-0,020	1,22-1,61	13,7-23,8
Ponta do forte	0,18-0,17-	0,08-0,08-	0,029-0,030	1,59-1,55	19,1-19,3-
	0,10-0,30	0,06-0,09	0,020-0,040	1,51-1,81	16,20-21,9
Paranapuã	0,15-0,15-	0,06-0,06	0,028-0,030	2,08-1,95	19,4-19,1-
	0,09-0,18	0,05-0,07	0,020-0,040	1,79-2,78	16,0-23,0
Urubuqueçaba	0,15-0,15	0,05-0,05	0,023-0,020	1,78-1,75-	17,8-18,6-
	0,10-0,20	0,4-0,07	0,020,-0,030	1,49-2,08	12,7-23,4
Ilha Palmas	0,14-0,13-	0,06-0,06-	0,023-0,020	1,93-1,92-	21,2-20,7-
	0,10-0,20	0,05-0,07	0,020-0,030	1,53-2,29	20,2-22,4
Pompeva	0,13-0,12-	0,09-0,09	0,020,0,020-	1,52-1,54	21,8-22,8-
	0,12-0,16	0,07-0,11	0,020-0,020	1,34-1,63	19,2-24,01
Guaiba	0,15-0,16	0,10-0,10	0,022-0,020	1,49-1,48	20,7-20,3-
	0,11-0,20	0,09-0,11	0,010-0,030	1,44-1,55	16,7-25,0
Candinho	0,20-0,20	0,02-0,02	0,20-0,20	3,22-3,8	13,0-12,4-
	0,15-0,26	0,01-0,02	0,010-0,030	2,17-4,09	10,0-15,4
Pta Selada	0,12-0,012-	0,09-0,10	0,023-0,025	1,65-1,70-	20,9-20,06-
	0,07-0,17	0,09-0,10-	0,023-0,025-	1,65-1,70-	20,9-20,6-
Itaguaré	0,07-0,07-	0,24-0,30-	0,020-0,020-	3,40-3,73-	245-232
	0,04-0,09	0,06-0,43	0,020-0,020	2,04-4,08	180-318

Organismos epifíticos não apresentam contato direto com o solo e formam um compartimento especial do ecossistema no contexto de estudos de ciclagem de elementos químicos. No caso de florestas tropicais, a aplicação desses organismos é recomendada dada a grande diversidade de espécies epifíticas, incluindo as famílias *Bromeliaceae* e *Orchidaceae*. Dentre as espécies biomonitoras de poluição, a bromeliácea *Tillandsia usneoides* já vem sendo utilizada, principalmente devido à sua adaptação morfológica para retirada de nutrientes da atmosfera por meio de escamas (CALASANS; MALM, 1997; PYAT et al. 1999 apud ELIAS, 2006). A

composição elementar, ou seja, a concentração do elemento químico nos tecidos do organismo, tem sido investigada por diversos autores, especialmente para avaliar a contaminação ambiental por metais pesados. Este tipo de abordagem permite uma análise semi-quantitativa dos níveis de poluentes presentes no meio. Benzing e Bermudes (1991) analisaram a concentração de 13 elementos em 13 espécies de *Tillandsia*. Shacklette e Connor (1973) analisaram a concentração de 38 elementos em *Tillandsia usneóides* em áreas de ocorrência da espécie no sudeste dos Estados Unidos e verificaram que as amostras coletadas em áreas industriais e rodovias apresentavam concentrações acima dos níveis de base para vários metais.



Fig. 12 Detalhe de célula de *Tillandsia. usneoides* com depósito de partículas de Mercúrio (CALASANS; MALM, 1997)

O caráter conservacionista da pesquisa em parcelas permanentes não recomenda a introdução de uma espécie exótica como *Tillandsia usneoides*, já que essa espécie não ocorre naturalmente no interior da floresta (BREIER et al. 2002 apud ELIAS, 2006).

Aproveitando-se da biodiversidade existente para gerar conhecimentos a serem revertidos para a sua própria preservação, a seleção de epífitas nativas da região com

capacidade de acumulação promove a sustentabilidade da pesquisa científica em unidades de conservação, possibilitando seu emprego em estudos de biomonitoração de elementos químicos em ecossistemas naturais. Baseando-se na biomonitoração empregando folhas das espécies arbóreas mais relevantes, baixo nível de poluição foi encontrado na Parcela Permanente do PECB, embora algumas árvores tenham apresentado concentrações apreciáveis de elementos relacionados com a poluição atmosférica, como é o caso de bromo, cobalto e zinco (França et al. 2004 apud ELIAS, 2006).

6.2.1 Estudos de Biomonitoramento para Avaliação da Qualidade do Ar

Existem inúmeros estudos já realizados de determinação da quantidade de poluentes no ar através do biomonitoramento. Um exemplo, segundo KLUMPP et al (2001), é o estudo da Agência Européia do Meio Ambiente, o qual foi realizado pela rede européia para a avaliação da qualidade do ar usando plantas bioindicadoras (EuroBionet), que comprova e demonstra os efeitos negativos da poluição em seres vivos de uma maneira facilmente inteligível, inclusive para leigos. Em uma rede de municípios, o projeto pan-europeu EuroBionet utilizou plantas bioindicadoras para a avaliação de possíveis efeitos da poluição aérea. Através de um conceito de comunicação específico, os resultados científicos do projeto foram traduzidos e divulgados de uma forma que chama a atenção do público em geral e que sensibiliza a população urbana. Para desenvolver técnicas já conhecidas e estudadas na tentativa de padronizá-los, foram escolhidos alguns autores, evitando assim gastos de tempo e dinheiro com o desenvolvimento de novas metodologias. As plantas selecionadas a partir dessa análise foram o tabaco, o choupo, a tradescantia, o azevém e a couve. Houve também uma seleção das cidades e municípios que receberiam os bioindicadores para a avaliação, que foram as seguintes: os municípios e regiões de Edimburgo e Sheffield (Reino Unido), Copenhagen (Dinamarca), Düsseldorf (Alemanha), Grande Nancy e Grande Lyon (França), Klagenfurt (Áustria), Verona (Itália) e Catalunha/Barcelona (Espanha).

A figura 13 apresenta os resultados obtidos pela exposição do Azevém para o biomonitoramento, de forma acumulativa, do enxofre na atmosfera das regiões estudadas pelo programa EuroBionet.

Tabela 2 Métodos de biomonitoramento empregados no projeto EuroBionet
(KLUMPP et al, 2001)

Espécie indicadora	Nome científico	Poluente	Parâmetro estudado	Tempo de exposição	Referências
Tabaco	<i>Nicotiana tabacum</i> cv. Bel-W3	Ozônio	Necrose foliar	2 semanas	Arndt <i>et al.</i> (1985). Heggstad (1991)
Choupo	<i>Populus nigra</i> (clone Brandaris)	Ozônio	Necrose foliar, crescimento, perda de folhas	14 semanas	Bařlach (1997)
Tradescantia	Híbrido entre <i>Tradescantia subcaulis</i> e <i>T. hirsutifolia</i> (clone # 4430)	Substâncias genotóxicas	Mutações em células-mãe de grãos de pólen (bioensaio Trad-MCN)	30 horas	Ma <i>et al.</i> (1994) Fornu <i>et al.</i> (1995)
Cultura padronizada de gramíneas (azevém)	<i>Lolium multiflorum</i> ssp. <i>italicum</i> cv. Lema	Metais pesados (Cd, Cr, Cu, Pb, Ni, Zn), elementos-traço (Pt, Sb), enxofre	Acúmulo	4 semanas	VDI (1978), Peřchl (1997)
Couve	<i>Brassica oleracea acephala</i>	Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos	Acúmulo	8 semanas	Peřchl (1997), VDI (2000)

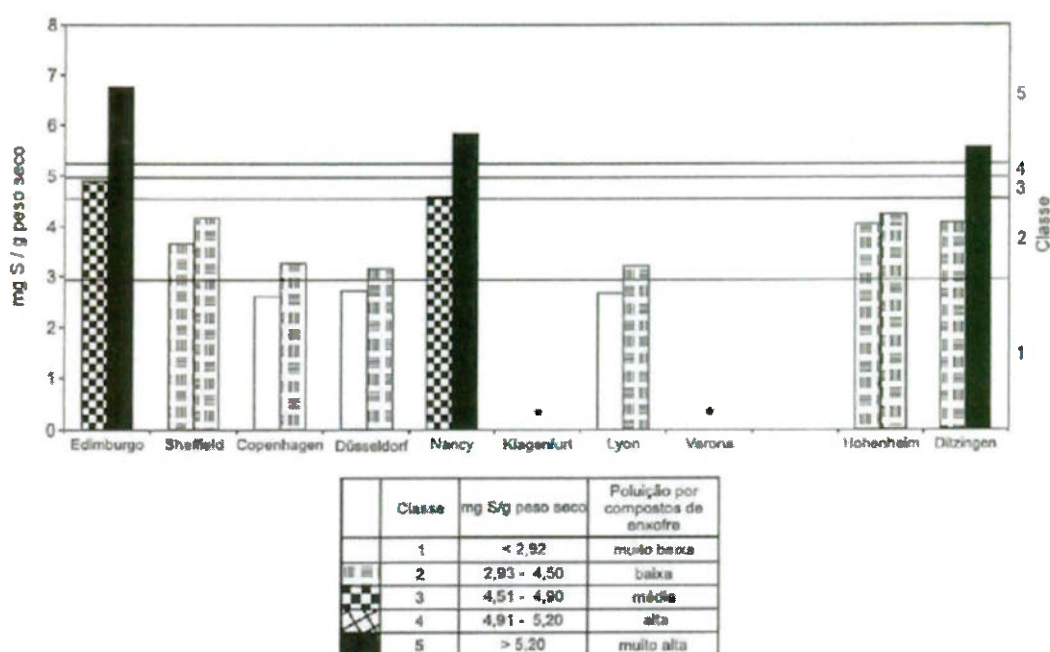


Fig. 13 Resultados da exposição de azevém em 81 sítios experimentais no projeto EuroBionet (KLUMPP et al, 2001)

6.2.2 A Técnica dos Transplantes Vegetais

Dependendo dos objetivos, o monitoramento biológico pode ser feito utilizando-se a vegetação natural ou através da técnica de transplantes vegetais. Em locais poluídos a vegetação natural é freqüentemente ausente ou encontra-se danificada. Em tais casos pode ser necessário o uso de transplantes CALASANS (1994).

Os transplantes vegetais consistem em transferir em áreas coletadas sem influência de fontes poluidoras para um local a ser monitorado. A Figura 14 mostra os passos da técnica de transplantes vegetais utilizada por CALASANS, (1994), na monitoração de Mercúrio numa indústria de cloro-soda.

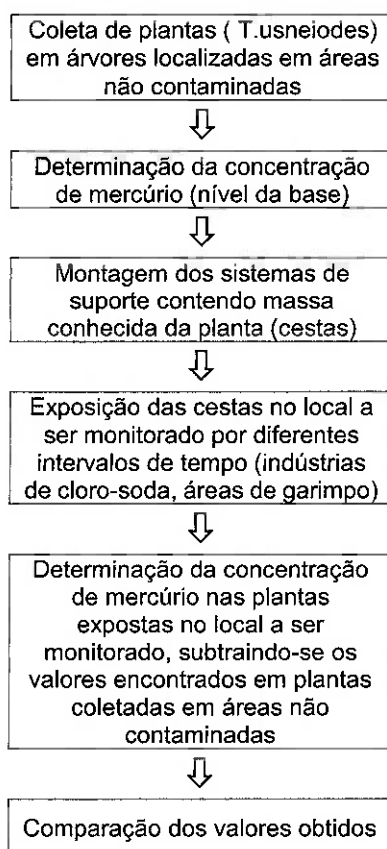


Fig. 14 Técnica de transplantes vegetais para determinação da concentração de mercúrio (CALASANS, 1994)

Esta técnica também se aplica quando se deseja avaliar a contaminação ambiental recente, durante um intervalo de tempo menor que o período de exposição (idade) da vegetação natural.

As principais vantagens dos transplantes são o período de exposição uniforme e bem definido e a flexibilidade de escolha dos locais de investigação.

Inicialmente os vegetais eram transplantados fixos ao seu substrato natural. Ao ser verificada a transferência potencial de metais pesados para as plantas através do substrato contaminado, os vegetais começaram a ser removidos de seus substratos e transplantados suspensos em bolsas ou redes de “nylon”.

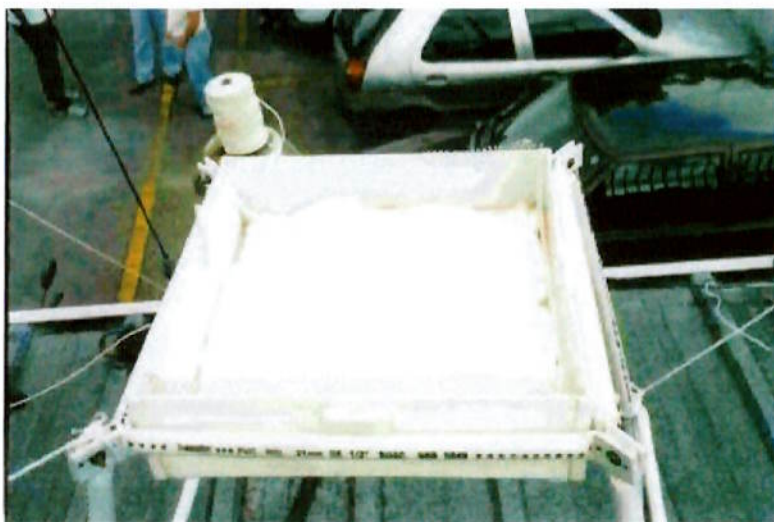


Fig. 15 Bolsas de Redes de “Nylon” (CALASANS, 1994).

6.2.3 Biomonitoramento com a Bromélia *Tillandsia Usneoides*

Em testes utilizando a planta como mensuradora de contaminação atmosférica, CALASANS e MALM (1997) descrevem *Tillandsia usneoides* como bioindicadora de qualidade de ar atmosférico. Isso ocorre devido à sua capacidade de retirar nutrientes diretamente da atmosfera, sem contacto com o solo. De acordo com CALASANS e MALM (1997), quando essa espécie absorve os nutrientes, concomitantemente incorpora vários poluentes. Como essa espécie se adapta bem a climas secos e quentes, pode ser usada como biomonitor em regiões tropicais. CALASANS e MALM (1997) descrevem concentrações aumentadas de mercúrio

(Hg) presente principalmente nas partes mais velhas da planta, quando esta foi transplantada para regiões onde havia índices aumentados de mercúrio na atmosfera.

PYATT et al. (1999) comprovaram que a *Tillandsia usneoides* acumula íons de sódio, cloretos, alumínio, silício, potássio, cromo, manganês, ferro, níquel e cádmio, além de enxofre, quando exposta a altos índices destes na atmosfera. Magnésio não foi detectado, assim como aumento da quantidade de fósforo, enxofre e cálcio com relação à atmosfera onde foram analisadas. Em estudos comparativos sobre poluentes atmosféricos em Lousiana, PYATT et al. (1999) comprovaram ser a *Tillandsia usneoides* mais eficiente do que o *Parmotrema praesorediosum* como bioindicador de poluição atmosférica.

ELIAS (2006) apresentou a relação das concentrações de duas epífitas, já estudadas, com potencial para o biomonitoramento, conforme a Tabela 3.

Tabela 3 Comparação entre as concentrações (mg kg^{-1}) nas espécies de Bromélias Canistropsis billbergioides e Tillandsia usneoides (ELIAS, 2006)

<i>Canistropsis billbergioides</i>			<i>Tillandsia usneoides</i>		
			Figueiredo (2004)	Figueiredo (2001)	Calasans (1997)
Média	Inc.	Controle	São Paulo	Rio de Janeiro	
Ba	22 \pm 2	16	49	-	
Br	16,9 \pm 0,8	10,1	6,43	-	
Ca	5930 \pm 350	3303	-	-	
Ce	0,35 \pm 0,04	1,4	5,1	-	
Co	0,16 \pm 0,01	0,61	1,1	-	
Fe	168 \pm 5	650	2536	-	
Hg	0,043 \pm 0,019	-	-	2,1	
K	25.100 \pm 830	5850	4713	-	
Na	6020 \pm 220	421	601	-	
Rb	38,1 \pm 1,8	37	89	-	
Sc	0,0133 \pm 0,0007	0,13	0,18	-	
Se	0,19 \pm 0,05	0,25	-	-	
Sm	0,007 \pm 0,002	0,083	0,26	-	
Zn	29,7 \pm 1,0	41	73	-	

6.2.4 Estudo de Casos

Segundo KLUMPP et al (2001), a medição de um determinado poluente através de um biomonitor é realizada estatisticamente dependendo do método utilizado. Nos casos de

utilização do bioindicador de forma reativa, a medição depende de uma análise visual ou microscópica para a identificação de alterações como necrose foliar, mudanças no crescimento normal, mutações celulares, etc. Quando o bioindicador é utilizado de forma acumulativa, esta análise passa a ser química, com base numa amostra retirada.



Fig. 16 As etapas principais do uso de plantas bioindicadoras no monitoramento da qualidade do ar (KLUMPP et al, 2001)

CALASANS e MALM (1997) em seus estudos de biomonitoramento de Mercúrio (Hg) com o uso da bromélia *Tillandsia usneoides*, utilizaram uma metodologia com base em técnicas de transplantes vegetais e análise espectrofotométrica da acumulação deste contaminante, cujas etapas estão descritas abaixo:

- Coleta de plantas (*Tillandsia. usneoides*) em árvores localizadas em áreas não contaminadas;
- Determinação da concentração do contaminante a ser monitorado nas plantas coletadas (nível base);
- Montagem dos sistemas de suporte contendo massa conhecida da planta (cestas);

- d) Exposição das cestas no local a ser monitorado por intervalos de tempo determinados;
- e) Retirada das plantas dos locais expostos;
- f) Armazenagem, por tempo máximo limitado, das plantas em potes de vidro hermeticamente fechados com tampa de metal revestida internamente por plástico, para evitar perdas ou contaminações cruzadas;
- g) Lavagem das plantas no ultra-som para retirar o contaminante adsorvido às partículas que se depositam sobre o biomonitor;
- h) Enxágüe com água deionizada;
- i) Secagem em estufa a 40°C;
- j) Mineralização (digestão);
- k) Determinação do contaminante por espectrofotometria;
- l) Comparação do valor obtido com o nível de base.

FONSECA (2002) descreve que os períodos de exposição variam dependendo da situação, intensidade de poluição e proposta de monitoramento. É importante assegurar que a capacidade de retenção de metais do biomonitor não seja ultrapassada. A capacidade de retenção de um biomonitor pode ser avaliada através da exposição do mesmo no local que se deseja monitorar, por diferentes intervalos de tempo. Neste caso, o ponto de saturação é estabelecido quando começa a haver um decréscimo nas concentrações de metal no biomonitor.

‘A partir da necessidade de um suporte para transplante e exposição de uma planta epífita, desenvolveu-se um sistema de monitoração que consiste em cestas de tela plástica costurada com corda de “nylon”. Nos pontos de exposição localizados nas áreas externas, as cestas são cobertas com uma placa de acrílico a fim de eliminar, pelo menos parcialmente, a influência da chuva na concentração de contaminantes no biomonitor.’ CALASANS (1994)

Segundo a Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMARH 2007), três quilos de exemplares da bromélia *Tilandsia usneoides*, comumente chamada de barba-de-velho, foram instalados no dia 14 de fevereiro, para monitorar a presença e a proporção de metais pesados e partículas poluentes no ar, durante os cinco dias de Carnaval em Salvador. A pesquisa, inédita no país, foi feita em 15 pontos

selecionados, nos circuitos Campo Grande/Castro Alves, Barra/Ondina e Pelourinho. A primeira amostra foi colocada no posto da Emtursa, localizado em frente à Casa da Itália, no Centro, mobilizando uma equipe de especialistas. As espécies foram trazidas do Jardim Botânico do Rio, pelo biólogo Leonardo Andrade, do Departamento de Histologia e Embriologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).



Fig. 17 Cesta de bromélias *T. usneoides* instaladas em Salvador (SEMARH, 2007)

CALASANS (1994) conta que dentro de cada cesta são colocados aproximadamente 5g (peso úmido) de *Tillandsia usneóides*, coletada em áreas sem interferência de fontes pontuais emissoras do contaminante a ser monitorado.

As plantas coletadas são divididas em três partes: ramos novos (verdes), brotos e ramos velhos (secos/marrons). As concentrações são determinadas nas diferentes partes de *Tillandsia usneoides* bem como na planta inteira (partes novas e partes velhas), visando observar seu contaminante distribui-se de forma uniforme na planta. Como as partes mais velhas apresentaram maiores concentrações de contaminantes,

são utilizadas no preparo dos sistemas de exposição apenas as partes verdes do vegetal.

A Tabela 4 mostra os pontos de uma fábrica de cloro-soda monitorados por CALANSAS (1994) com o uso da bromélia *Tillandsia usneoides* no biomonitoramento das concentrações de mercúrio no ar.

Tabela 4 Distribuição dos sistemas com as plantas em uma indústria de cloro-soda (FONSECA, 2002)

Sistemas	Local	Detalhes
1	Eletrólise 1	Corredor central entre as células eletrolíticas
2	Eletrólise 1	Em cima das células eletrolíticas 1 e 2
3	Eletrólise 1	Interior da sala dos operadores
4	Eletrólise 1	Em cima das células eletrolíticas 13 e 14
5	Eletrólise 1	Escada de acesso – frente
6	Eletrólise 1	Interior da sala dos operadores
7	Eletrólise 1	Escada de acesso – fundos
8	Área externa	Interior do laboratório de análise de urina
9	Área externa	Manutenção de bombas (fundos da eletrólise 1)
10	Área externa	Interior do laboratório de controle de qualidade

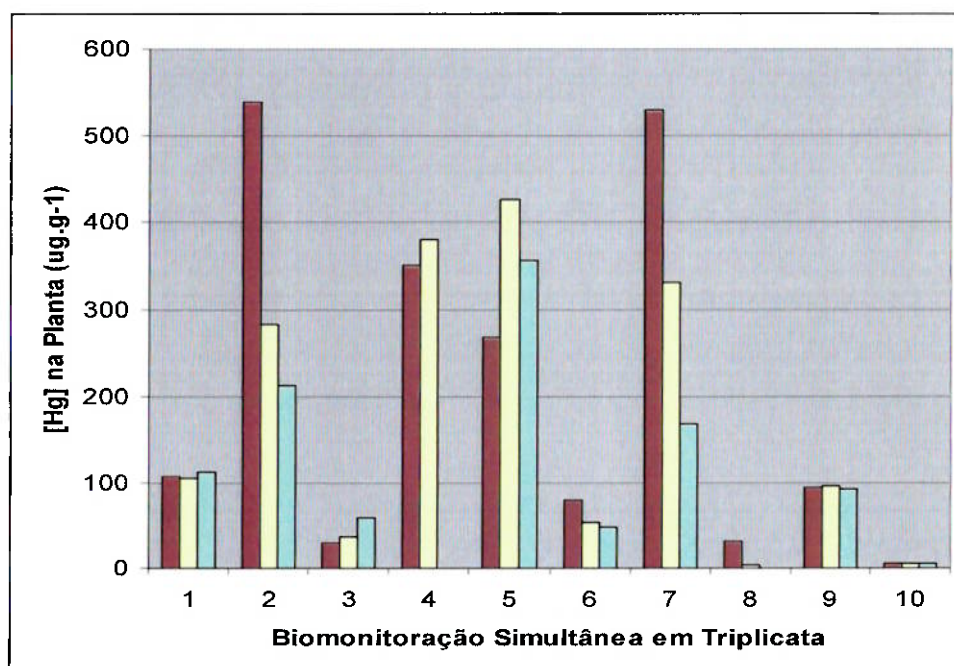


Fig. 18 Plantas com 15 Dias de Exposição em Indústria de Cloro-soda (FONSECA, 2002)

A concentração de Hg determinada em cada uma das três cestas é exibida em um gráfico para cada um dos 10 pontos monitorados (figura 18).

Em estudos realizados para monitoramento do mercúrio, FONSECA (2002) afirma que no gráfico de calibração (Figura 19) baseado no empirismo, sua construção se deu com experimentos de laboratório nos quais atmosferas controladas com concentrações de Hg conhecidas foram utilizadas para exposição das plantas por período de 15 dias. A partir daí foi encontrada a equação da reta que descreve a correlação das variáveis. Devido a limitações experimentais, esta curva deve ser utilizada ainda com cautela enquanto outros experimentos de campo forneçam informações mais próximas da realidade. Portanto, esta curva não deve ser utilizada para efeito de conclusões precipitadas e, menos ainda, terem seus limites excedidos, ou seja, ser empregada para estimar concentrações no ar com plantas que apresentam concentrações maiores que $3\mu\text{g.g}^{-1}$ (microgramas por grama). Além disso, a bromélia deve ter sua utilização limitada a áreas impactadas, ou seja, áreas com concentrações de Hg acima de $5\mu\text{g.m}^{-3}$ (microgramas por metro cúbico) para fins de estimativas na concentração de Hg no ar (quantificação).

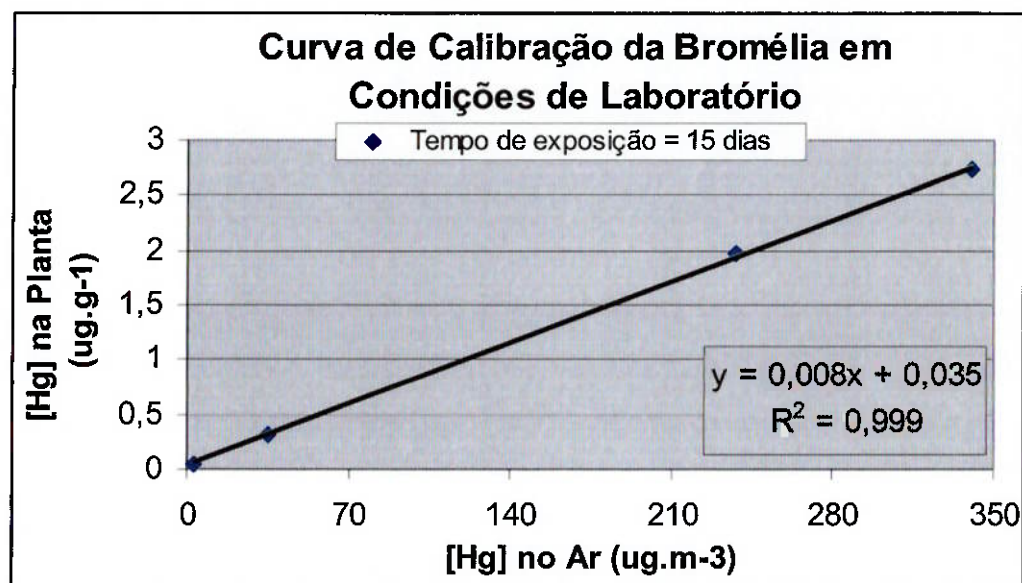


Fig. 19 Curva de Calibração de Bromélia *Tillandsia usneoides* para Hg (FONSECA, 2002)

CALASANS (1994) apresenta que os resultados obtidos através da técnica de coloração indicam que após o período de exposição, as células de *Tillandsia usneoides* continuam viáveis, portanto fazendo fotossíntese. Entretanto, o estado metabólico destas só pode ser avaliado através de testes específicos, outros que não o realizado (ex: síntese de aminoácidos, carboidratos e pigmentos).

7 VANTAGENS E DESVANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DA *TILLANDSIA USNEOIDES* NO MONITORAMENTO AMBIENTAL

O uso da *Tillandsia usneoides* no monitoramento ambiental tem, segundo CALASANS (1994), FONSECA (2002), CNEA (2001) e NOGUEIRA (2001), as seguintes vantagens:

- A concentração de poluentes no Biomonitor é, freqüentemente, maior quando aumentada no sistema que é monitorado;
- Abundância na área de interesse, independentemente das condições locais;
- Disponibilidade para amostras em todas as estações;
- Tolerância aos agentes contaminantes nos níveis relevantes;
- Resposta às concentrações que se presume serem monitoradas;
- Acumulação do elemento não influenciada por mecanismos de regulação biológica ou efeitos sinérgicos;
- Ter um alto fator de concentração para o contaminante de estudo para permitir a análise direta, sem pré-concentração;
- Concentração de baixas propriedades;
- Preparação de fácil amostra e demonstração;
- Acumulação do elemento em níveis de concentração acessíveis por técnicas analíticas rotineiras;
- Custos reduzidos;
- Ter o mesmo nível de correção do contaminante em todo local de estudo e sob as mesmas condições.

Porém o método possui também algumas desvantagens, segundo CALASANS (1994):

- A exposição do biomonitor tem valor relativo, visto que se refere ao que foi acumulado e não à concentração ambiental;
- Necessita de estudos para elaboração de Curvas de Calibração dose-resposta;
- Há uma carência de padronização das metodologias estudadas, na busca por centralizar as pesquisas;
- Exige treinamento e capacitação do pessoal de Segurança do Trabalho na aplicação da metodologia;
- Há variações nas concentrações ocasionadas por parâmetros meteorológicos como ventos, temperatura e umidade relativa.

8 A Proposta do Biomonitoramento na Segurança do Trabalho

A avaliação ambiental realizada pela Segurança do Trabalho depende de três sistemas de informação da qualidade do ar para a coleta de dados, as quais proporcionam o monitoramento das fontes de risco aos trabalhadores e populações adjacentes. O primeiro deles é o sistema de monitoramento da emissão dos contaminantes, que se baseia no controle das emissões de máquinas, equipamentos e atividades humanas, como os que executam combustões, os que vaporizam óleo, sublimam metais, reagem substâncias químicas, entre outros. O segundo sistema de informação é o da medição da concentração, que identifica no ambiente qual a alteração provocada pela emissão desses contaminantes na distribuição normal de gases na atmosfera, através de monitores de partículas, amostradores de gases, etc. O terceiro sistema de informação é o da análise dos efeitos que esses contaminantes emitidos e dispostos em determinada concentração no ar ambiente produzem nos organismos vivos presentes. Organismos vivos que podem ser de qualquer espécie, inclusive podem ser os próprios seres humanos, como é o caso da monitorização biológica, hoje muito difundida nas empresas na forma de exames periódicos para a identificação de alterações fisiológicas e que nada mais é do que um biomonitoramento que tem o homem como biomonitor de sua própria exposição.

Baseado nesse conceito a proposta de biomonitoramento pode ser encarada como a complementação da avaliação ambiental hoje realizada, abrangendo de forma integral os três sistemas de informações da qualidade do ar e, além disso, dependendo dos resultados dos estudos ainda em andamento, podendo minimizar os gastos com o monitoramento da concentração de agentes químicos nocivos no ar pelo uso mais diversificado de todos os controles, visto que os equipamentos de avaliação de concentração têm custo mais elevado que as metodologias de biomonitoramento pesquisadas. (CALASANS, 1994; KLUMPP et al, 2001; NOGUEIRA, 2006).

Os estudos de CALASANS (1994), FONSECA (2002) e NOGUEIRA (2006), comprovaram a eficiência da *Tillandsia usneoides* na determinação de variações das concentrações de metais no ambiente de trabalho e principalmente a sua excelente capacidade de mapeamento de grandes áreas.

Conforme descreve KLUMPP et al (2001), esse sistema permite ainda um meio de divulgação e conscientização da importância da saúde do ar, não só para os seres humanos, como também para a manutenção da vida como um todo. Esta contribuição se torna de grande valor para ajudar os membros da Saúde e Segurança do Trabalho na difícil tarefa de levar aos trabalhadores a importância de se manter o ambiente saudável, despertando o interesse dos trabalhadores através da sua própria curiosidade com relação ao biomonitor.

9 CONCLUSÃO

Os crescentes estudos de uso do biomonitoramento como forma de controle da poluição ambiental têm demonstrado que este processo se mostra eficiente para o monitoramento ambiental com o uso das epífitas. A bromélia *Tillandsia usneoides* vem sendo estudada há muitos anos para esse fim e tem se mostrado um bom bioindicador, principalmente, de metais pesados. O uso dessa metodologia no controle da exposição de trabalhadores pode ser uma excelente alternativa para mapear os riscos e complementar as informações da qualidade do ar, mas ainda há estudos a serem feitos para garantir a análise quantitativa dos contaminantes acumulados.

O biomonitoramento utilizando a técnica de transplantes vegetais para a avaliação ambiental apresenta diversas vantagens em relação aos instrumentos medidores tradicionais, como por exemplo, a praticidade, a eficiência e os custos reduzidos. Porém a metodologia tem sido usada apenas semi-quantitativamente, com resultados de concentrações atmosféricas inferidos através da exposição do biomonitor e têm valor relativo, pois a quantidade de contaminante acumulado não indica a distribuição de sua concentração no ar. Este objetivo só será alcançado com a construção de uma curva de calibração que relacione essas duas variáveis. Por isso, essa metodologia se torna mais aplicável, nas condições atuais, como forma de complementação das informações da qualidade do ar. Para tornar a espécie *Tillandsia usneoides* o mais próxima possível de um biomonitor quantitativo, fazem-se necessários experimentos de calibração para a obtenção de uma curva dose-resposta mais precisa.

Portanto, pode-se considerar a bromélia como um bioindicador promissor para a avaliação ambiental necessária à Higiene Ocupacional e Segurança do Trabalho, nas empresas onde são requeridas, principalmente para o mapeamento de contaminantes, monitoramento de variações de exposição e como complementação das informações, juntamente com as medições de emissão e concentração, apesar de os estudos para possibilitar o seu uso qualitativa e quantitativamente ainda dependerem de muito tempo e investimento.

10 LISTA DE REFERÊNCIA

- ADAMS, D. **Spanish Moss: Its Nature, History and Uses**. Disponível em: <http://www.co.beaufort.sc.us/bftlib/Spanish.htm#origin%20of%20the%20Scientific%20Name,Tillandsia%20usneoides>. Acesso em: 30 nov.2004.
- ADEJA, Associação de Defesa do Meio Ambiente de Jacarepiá, **Barba-de-Velho**. Rio de Janeiro, Disponível em: <http://www.adeja.org.br/barbadevelho.htm>. Acesso em: 22 fev. 2007.
- ARAMBARRI, A.M. *Tillandsia* L. (Bromeliaceae): anatomy and ethno-pharmacology. **Acta horticulturae**. Argentina: 1997. vol. 503, p.133-139.
- AZAMBUJA, J. L. B; DEPONTI, C. M; ECKERT, C. **Estratégia para Construção de Indicadores para Avaliação da Sustentabilidade e Monitoramento de sistemas**. 2002. 52p. Artigo da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: v.3, n.4, out/dez 2002
- BALBACH, A. **A flora nacional na medicina doméstica**, 2a. ed. São Paulo: Ed. A Edificação do Lar, vol. 2, 1972.
- BREIER, T.B; SEMIR, J; RODRIGUES, R.R. 2002. **Diversidade e Estrutura do Componente Epifítico Vascular em Quatro Formações Florestais do Estado de São Paulo**. In III Simpósio do Programa Biota-Fapesp. Apresentações orais. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, p.289-291.
- CALASANS C.F. **Utilização da *Tillandsia usneoides* (Bromeliaceae) Como Biomonitor da Contaminação Atmosférica por Mercúrio**. 1994. 84p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Biofísica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 1994.
- CALASANS, C.F.; MALM, O. **Elemental Mercury Contamination Survey In A Chlor-Alkali Plant By The Use Of Transplanted Spanish Moss, *Tillandsia Usneoides* (L.)**. Sci. 1997Total Environ. 208:165-177.

CARVALHO, **Deposição Atmosférica e Composição Química da Água de Chuva**. Revista Tecnologia , Fortaleza, v. 25, n. 2, p. 61-71, 2004.

CNEA, COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, **Biomonitorio: Caracterización Espacial De La Concentración De Plomo Em Asunción**, Assunção: 2001.

COSTA M; STASI L.C; KIRIZAWA M; MENDACOLLI S.L; GOMES C; TROLIN G. Screening in mice of some medicinal plants used for analgesic purposes in the state of Sao Paulo. Part II. **Journal of ethnopharmacology**. Brasil: Vol.27, no.1, p.25-33, 1989 .

ELIAS, C; DE NADAI FERNANDES, E.A; FRANÇA, E.J; BACCHI, M.A. **Seleção de Epífitas Acumuladoras de Elementos Químicos Na Mata Atlântica**. *Biota Neotrop*. Jan/Abr 2006 vol. 6, no. 1, Disponível em: <http://www.biotaneotropica.org.br/v6n1/pt/abstract?article+bn02106012006>. Acesso em: 16 abr. 2007.

FANTAZZINI, M.L; SAAD, I.F.S.D; SOTO, J.M.O.G. **Riscos Químicos**. São Paulo, FUNDACENTRO, 1980. 100p.

FIESP/CIESP, Federação e Centro das Indústrias do Estado de São Paulo –; **Cartilha: Indicadores de Desempenho Ambiental na Indústria**, São Paulo, SP: julho e novembro de 2003. p. 11.

FIGUEIRA R. (2002). Características de um biomonitor. **Portal Biomonitor**., Disponível em: <http://www.jb.ul.pt/biomonitor>. Acesso em: 24 out. 2006.

FONSECA M.F. **Calibração do Biomonitor *Tillandsia usneoides* (Bromeliaceae), para Avaliação Ambiental e Ocupacional de Hg Atmosférico**. 2002. 116p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2002.

FRACARO, S.N. **Potencial de Toxicidade Reprodutiva do Extrato de *Tillandsia usneoides* Linnaeus, 1762 (barba-de-pau) Em Coelhas Gestantes**, 2004. 71p. Tese (Mestrado) – Ciências Veterinárias – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Paraná.

GARTH, R.E. The ecology of Spanish moss (*Tillandsia usneoides*): it's growth and distribution. **Ecology**, Louisiana: 1964. vol.45, n. 3, p.470 a 481.

GIULIETTI, M. Biodiversidade da Região Sudeste. In: **Anais do 2º Congresso Nacional sobre Essências Nativas**, volume 1, 1992, p. 125-129.

GRUENZNER G. **Avaliação da Poeira de Sílica: Um Estudo de Caso em uma Pedreira na Região Metropolitana de São Paulo**. 2003. 110p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.

GRUPO ALLTEC DO BRASIL LTDA; **Cartilha: Cartilha de Proteção Respiratória**, São Paulo, SP: 2005. p.7.

HOEHNE, F.C. **Plantas e Substâncias Vegetais Tóxicas e Medicinais**. São Paulo: Ed. Graphicals, 1939.

KLUMPP, A. et al. **Um Novo Conceito de Monitoramento e Comunicação Ambiental: a Rede Européia Para a Avaliação da Qualidade do Ar Usando Plantas Bioindicadoras**. (EuroBionet).Rev.Bras.Bot. v.24 n.4 p.511-518. 2001. Suplemento. São Paulo, 2001.

KORBES, C.V. **Plantas medicinais**. Francisco Beltrão: Ed. Grafit, 45a. ed.,1995.

LLEWELLYN, G. C.; SHERERTZ, P. C.; ARMSTRONG,C. W.; MILLER,G. B. An evaluation of kapok and spanish moss bedding for micotoxigenic potential using *Aspergillus flavus*, *A. parasiticus* and *Fusarium tricinctum*. **International biodeterioration**. Virginia,USA: 1988. Vol. 24, p.167- 174.

LUOMA, S.N.; RAINBOW, P.S. **Why is Metal Bioaccumulation so Variable?** Biodynamics as a unifying concept. Environ. Sci. Tech. 39(7): 2005. p.1921-1931.

MARKERT, B. **Inorganic chemical investigations in the Forest Biosphere Reserve near Kalinin, USSR**. I. Mosses and peat profiles as bioindicators for different chemical elements. . 1991. Vegetatio. 95: p.127-135.

MARTIN, M.H; COUGHTREY, P.J. **Biological monitoring of heavy metal pollution**. Applied Science Publishers, London. 1982.

MERCIER, H. **Epífitas da Mata Atlântica**. Disponível em: <http://www.rc.unesp.br/xivbsbp/mesa04THM.PDF> Acesso em: 30fev. 2004.

STRASBURGER, E. et al **Tratado de Botânica**. 8ª.ed. Barcelona: Editora Omega, 1994. p.292-293.

NIMIS, P.L. **Air Quality Indicators And Indices: The Use Of Plants As Bioindicators For Monitoring Air Pollution**. In: Colombo, A. G. & Premazzi, G. (Eds.), EUR 13060 EN: 1990. p. 93-126.

NOGUEIRA, C. A. **Avaliação da Poluição Atmosférica Por Metais na Região Metropolitana de São Paulo Utilizando a Bromélia *Tillandsia Usneoides* L. Como Biomonitor**. 2006. 16p, 102p. Dissertação (Doutorado) – Tecnologia Nuclear, Universidade Federal de São Paulo. São Paulo, 2006.

PEREIRA, O. M. et al; HENRIQUES, M.B; KIRA, C. S; SAKUMA, A; ZENEBON, O. Determinação dos Teores de Hg, Pb, Cd, Cu e Zn em MOLUSCOS (*Crassostrea asiliana*, *Perna perna* e *Mytella falcata*). **Ev. Inst. Adolfo Lutz**, 61(1):19-25, 2002.

PUCKETT, K.J. **Bryophytes And Lichens As Biomonitorers Of Metal Deposition**. *Bibl. Lichenol.* 30, 1988. p.231-268.

PYATT, F.B., GRATTAN, J.P., LACY, D., PYATT, A.J., SEAWARD, M.R.D. **Comparative effective of *Tillandsia usneoides* L. and *Parmotrema praesorediosum* (NYL.) Hale as Bioindicators of Atmospheric Pollution in Lousiana (USA)**. *Water, Air, Soil Pollut.* 1999. 111:317-326.

RAVEN, P., EVERT, R.F. EICHHORN, S.E. **Biologia Vegetal**. 5ª.ed. Rio de Janeiro, ed. Guanabara Koogan, 1996. p.107-108.

SEMARH Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Carnaval é Vitrine para o Biomonitoramento**. Disponível em: <http://www.semarh.ba.gov.br/>. Acesso em: 22 fev. 2007.

SENA, K.X.F.R; LIMA, R.M.O.C; LIMA, C.S.A; CHIAPETTA, A.A; ANDRADE, M. S.A. S; Primeiras observações sobre a atividade antitumoral e Estudo fitoquímico de *Tillandsia usneoides*. **Anais do XIV Simpósio de plantas medicinais do Brasil**. SC: 1996.

TORLONI, M; VIEIRA, A.V. Riscos Respiratórios: Agentes Químicos. **Manual de Proteção Respiratória**, São Paulo: ABHO, 2003, p. 145-182.

WEBSTER, M.F. Programa de Prevenção de Riscos Ambientais – PPRA: Proposta para Elaboração e Execução. In: VIEIRA, S.I. **Manual de Saúde e Segurança do Trabalho**. São Paulo: LTR Editora Ltda. 2005. v.2.p.139-150.

WITHERUP, K.M.; MCLAUGHLIN, J.L.; JUDD R.L.; ZIEGLER, M.H.; MEDON, P.J.; KELLER, W.J. Identification of 3-hydroxy-3-methylglutaric acid (HMG) as a hypoglycemic principle of Spanish moss (*Tillandsia usneoides*). **Journal of natural products**, 1995. vol. 58, no.8, p.1285-90.

WOLTERBEEK, B. **Biomonitoring Of Trace Element Air Pollution: Principles, Possibilities And Perspectives**. Environ. Pollut. (Amsterdam, Neth.). 2002. 120:p.11-21.

11 GLOSSÁRIO

Albúmem – Tecido onde se encontram as reservas das sementes.

Angiospermas – Grupo sistemático de plantas superiores, uma subdivisão do reino vegetal.

Bainha foliar – Base da folha, alargada, e que abraça, parcial ou totalmente, o ramo ou o caule.

Benzopirenos – Designação de certos hidrocarbonetos aromáticos isômeros, um deles extremamente cancerígeno, que ocorrem no alcatrão e podem estar presentes em ambientes poluídos.

Moluscos Bivalves – Classe de moluscos, que têm o corpo revestido por concha de duas valvas laterais, com charneira dorsal, sola pediosa em forma de machado, protraída do lado ventral quando o animal está em movimento, e desprovido de cabeça. São as ostras e os mexilhões.

Biota – O conjunto dos seres animais e vegetais de uma região.

Blenorragia – Eliminação excessiva de muco.

Cataplasma – Papa medicamentosa que se aplica, entre dois panos, a uma parte do corpo dorida ou inflamada.

Cinérea – Variedade de videira americana, muito vigorosa e resistente.

Cotilédone – Folha seminal ou embrionária, a primeira que surge quando da germinação da semente, e cuja função é nutrir a jovem planta nas primeiras fases de seu crescimento. As plantas floríferas angiospérmicas dividem-se em dois grupos segundo o número de cotilédones: monocotiledôneas, com um só, e dicotiledôneas, com dois. Só estas últimas exteriorizam o cotilédone ao germinar a semente.

Cumarina – Substância odorífera, cristalina, incolor, existente nas sementes do cumari

Endemismo – Ocorrência de uma dada espécie em área restrita.

Epífita – Planta que vive sobre outra, sem contudo, parasitá-la, isto é, sem retirar dela alimento.

Estômato – Pequena abertura na epiderme foliar e caulinar, que se abre, internamente, num sistema de canais aeríferos, que permitem as trocas gasosas necessárias à vida das plantas. É formado por duas células reniformes, que se afastam ou se aproximam, abrindo ou fechando, assim, o ostíolo

Forófito – Composição florística de epífitos vasculares no estreito de Augusto César, Floresta Estacional Decidual do Rio Uruguai, RS, Brasil

Geomorfologia – Ciência que estuda as formas do relevo terrestre.

Histopatologia – Estudo, em nível microscópico, de lesões orgânicas.

Lúmen – Designação genérica de interior de órgão, ou de canal de órgão.

Monocotiledônia – Que possuem um cotilédono

Oligotróficos – Que tem pobreza de um meio qualquer em nutrientes minerais.

Parênquima – Tecido constituído de células isodiamétricas ou paralelepipedais, que contêm pontuações simples. Relaciona-se principalmente com a armazenagem e distribuição de substâncias nutritivas.

Plantas vasculares – São as plantas com tecidos especializados - o xilema e o floema - para o transporte de água e seiva que alimentam as suas células.

Plasmólise – Contração, por perda de água, do protoplasma de célula viva, quando esta é colocada em meio hipertônico.

Protoplasma – O conteúdo celular vivo, formado principalmente de citoplasma e núcleo.

Roseta foliar – Disposição circular das folhas, a partir da extremidade de um caule

Trímeros – Dividido em três partes

Xerófito – Vegetais que têm uma estrutura especial, na qual domina o reforço das paredes celulares e há, portanto, abundância de tecidos mecânicos, tendo, ainda, adaptações funcionais contra a falta de água, razão por que resistem bem às carências de água disponível.