

MINISTÉRIO DA SAÚDE
FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ
ESCOLA NACIONAL DE SAÚDE PÚBLICA SÉRGIO AROUCA
em convênio com o
ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA DE ESTADO DA SAÚDE
ESCOLA DE SAÚDE PÚBLICA

PÓS-GRADUAÇÃO *LATO SENSU* EM SAÚDE PÚBLICA

**Uso de Bioindicadores para a detecção de processos de poluição atmosférica
decorrente da ação humana: Uma proposta de monitoramento da qualidade do ar no
município da Guaíba/RS**

Janice da Silva Karpinski

Porto Alegre
Outubro/ 2009

MINISTÉRIO DA SAÚDE
FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ
ESCOLA NACIONAL DE SAÚDE PÚBLICA SÉRGIO AROUCA

em convênio com o

ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA DE ESTADO DA SAÚDE
ESCOLA DE SAÚDE PÚBLICA

PÓS-GRADUAÇÃO *LATO SENSU* EM SAÚDE PÚBLICA

**Uso de Bioindicadores para a detecção de processos de poluição atmosférica
decorrente da ação humana: Uma proposta de monitoramento da qualidade do ar no
município da Guaíba/RS.
(Revisão Bibliográfica)**

Orientador: Prof. Antonio Leite Ruas Neto

Autor: Janice da Silva Karpinski
Porto Alegre- RS
Outubro / 2009

RESUMO

Atualmente a poluição do ar tornou-se quase que parte da vida urbana, expondo a maior parte da população a níveis de poluição acima dos máximos recomendados. Embora tenha havido progressos no controle dos poluentes principalmente nas regiões desenvolvidas, estimativas sugerem que, em todo o mundo, cerca de 4000.000 mortes são atribuídas à poluição. Devido a sofisticação e os altos custos de implantação, operação e manutenção dos métodos físico-químicos convencionais, os sistemas de monitoramento usados atualmente são pouco abrangentes ou mesmo inexistentes. A adoção de metodologia complementar de biomonitoramento pode amenizar estes custos, pois permite avaliar áreas amplas e por longos períodos de tempo, além de avaliar elementos químicos em baixas concentrações ambientais. O biomonitoramento é um método experimental que possibilita avaliar a resposta de organismos vivos à poluição, com eficiência e custos reduzidos. As medidas e registros efetuados pelas redes convencionais de monitoramento da qualidade do ar permitem verificar se as normas e limites estabelecidos ou recomendados pela legislação, agências ambientais e órgãos de promoção da saúde humana estão sendo respeitados. Todavia, estas medições não possibilitam conclusões imediatas sobre os efeitos dos poluentes nos seres vivos. Por isso, o biomonitoramento pode ser considerado um método complementar na análise de poluentes. Este trabalho teve o objetivo de identificar, através da revisão bibliográfica espécies vegetais, utilizadas como bioindicadores da qualidade do ar, em estudos experimentais e observacionais, associadas a contaminantes atmosféricos. Esta investigação ressaltou os dados obtidos quanto à especificidade do uso de bioindicadores vegetais relacionados à poluição atmosférica. Observou-se que diversos estudos foram desenvolvidos visando o monitoramento da qualidade do ar através do uso de bioindicadores. Constatou-se ainda, que a poluição atmosférica afeta principalmente a saúde humana. Todavia, também se observam impactos negativos nos processos vegetativos das plantas, na corrosão de matérias e na saúde de animais. Os resultados obtidos nesta investigação sobre o uso de bioindicadores vegetais em processos de poluição atmosférica revelaram a existência de uma grande diversidade de espécies utilizadas em ensaios de biomonitoramento, conduzidos por centros de pesquisa de diversos países. Observou-se que muitos bioindicadores vegetais encontrados estavam associados a um determinado poluente atmosférico, tais como: *Nicotiana tabacum* bioindicador de O₃, musgos de metais, líquens de metais, SO₂ e NO_x, bromélias do gênero *Tillandsia* como bioindicador de metais e hidrocarbonetos e variedades e clones híbridos de *Tradescantia* no biomonitoramento de agentes genotóxicos. As espécies *Nicotiana tabacum*, *Tradescantia pallida* cv *purpurea*, espécies tropicais de *Tibouchina pulchra* e manacá-da-serra, bromélias do gênero *Tillandsia*, espécies de musgos *Hypnum cupressiforme*, *Pleurozium schereberi*, espécies de líquens *Usnea amblycolada* e *Xanthoria parietina* destacaram-se com potencialidade de uso em sistemas de biomonitoramento, para as condições climáticas brasileiras. Tendo em vista que determinados bioindicadores já estão consagrados para o monitoramento de poluentes atmosféricos e que em Guaíba não há nenhum tipo de monitoramento contínuo da qualidade do ar propõe-se a implantação de um futuro estudo com bioindicadores vegetais no monitoramento da qualidade do ar neste município. Tal iniciativa poderá colaborar para o desenvolvimento da educação ambiental, bem como a busca de soluções alternativas mais viáveis para complementar e aperfeiçoar os sistemas de monitoramento da qualidade do ar já existentes.

Palavras-chave: poluição atmosférica, bioindicador vegetal, biomonitoramento.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES E TABELAS

Figura 1 – Padrões Nacionais de Qualidade do Ar.	01
Figura 2 – Critérios para episódios agudos de poluição do ar.	02
Tabela 1 – Padrões Nacionais de Qualidade do Ar – OMS	03

LISTA DE SÍMBOLOS SIGLAS E ABREVIATURAS

Ag	Mercúrio
As	Arsênio
Br	Bromo
Cd	Cádmio
Cr	Cromo
C ₆ H ₆	Benzeno
Ni	Níquel
NO ₂	Dióxido de Nitrogênio
NO _x	Óxidos de Nitrogênio
Hg	Mercúrio
H ₂ S	Ácido Sulfídrico
HPAs	Hidro-carbonetos Aromáticos Policíclicos
O ₃	Oxônio
PAN	Nitrato de Peroxiacetila
Pb	Chumbo
PM	Material Particulado
SO ₂	Dióxido de Enxofre
V	Vanádio
Zn	Zinco
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CGVAM	Coordenação Geral de Vigilância Ambiental
DATASUS	Banco de Dados do Sistema Único de Saúde
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
EUA	Estados Unidos da América
IAP	Índice de Pureza Atmosférica
IBAMA	Instituto Brasileiro de Meio Ambiente
PRONAR	Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar
VIGIAR	Política Nacional de Vigilância da Qualidade do Ar e Saúde

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	07
1.1 INFLUÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO NA POLUIÇÃO AMBIENTAL E NA SAÚDE HUMANA	07
1.2 POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA	09
1.2.1 Legislação e Padrões dos Poluentes atmosféricos	09
1.2.2 Relação entre os poluentes atmosféricos e a saúde humana	13
1.3 VEGETAIS COMO BIOINDICADORES DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA	15
1.3.1 Espécies mais usadas como bioindicadores ambientais	17
1.3.1.1 <i>Angiospermas</i>	17
1.3.1.2 <i>Coníferas</i>	19
1.3.1.3 <i>Musgos</i>	20
1.3.1.4 <i>Líquens</i>	20
1.3.1.4.1 <i>Gênero Parmelia</i>	20
1.3.1.4.2 <i>Gênero Usnea</i>	21
1.3.1.4.3 <i>Gênero Xanthoria</i>	22
1.4 MUNICÍPIO DE GUAÍBA E O MONITORAMENTO AMBIENTAL	22
2 PROBLEMA	25
3 TEMA	25
4 OBJETIVOS	26
4.1 OBJETIVO GERAL.....	26
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	26
5 JUSTIFICATIVA	27
6 METODOLOGIA	28
7 RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS	31
REFERÊNCIAS	36

1 INTRODUÇÃO

1.1 INFLUÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO NA POLUIÇÃO AMBIENTAL E NA SAÚDE HUMANA

Dentre os diversos problemas ocasionados pelo modelo de desenvolvimento capitalista podemos mencionar a poluição atmosférica, problema esse cada vez mais eminente nos grandes centros urbanos. No começo da era capitalista, no período da revolução industrial, grande parte (senão a totalidade) da poluição atmosférica era proveniente das indústrias, classificadas como fontes estacionárias. No entanto, o surgimento dos motores de combustão interna provocou o surgimento de uma fonte móvel que se disseminaria ao longo das décadas como objeto de desejo de todos os seres humanos: o automóvel (ESTEVES *et. al.*, 2006).

A princípio, os problemas relacionados à degradação ambiental, são muito graves e complexos nos países desenvolvidos, onde o desequilíbrio é provocado diretamente pelo aumento exagerado e desordenado da industrialização e concentração urbana, que provocam uma acentuada degradação do ambiente natural. No em tanto, os países considerados subdesenvolvidos também devem se preocupar, e muito com a poluição e degradação do meio, pois esse não é apenas um conjunto de elementos materiais que, interferindo continuamente uns nos outros, configuram os mosaicos das paisagens geográficas. O meio é bem mais abrangente, é o conjunto das estruturas econômicas e mentais dos diferentes grupos humanos que habitam diferentes espaços geográficos (CASTRO, 2008).

Apesar de todo o progresso alcançado na proteção do meio ambiente durante as últimas décadas, a poluição do ar ainda representa um dos principais problemas ambientais nos centros urbanos da Europa (KLUMPP *et. al.*, 2001).

Com o intenso processo de urbanização mundial que vem ocorrendo de maneira cada vez mais acelerada, as cidades passaram a ser o foco das atenções do mundo contemporâneo. Dentro de poucos anos, mais da metade da população mundial estará vivendo em cidades. Uma urbanização sem precedentes em nossa história, que com seus desdobramentos físicos, sociais e econômicos, está tendo um impacto importante na saúde da população. Hoje, com os

grandes tormentos da poluição, da violência e da pobreza, as cidades deixaram de assegurar uma boa qualidade de vida e tornaram-se ambientes insalubres (GOUVEIA, 1999).

O impacto da poluição ambiental é mais observado em populações que residem nas proximidades de áreas industrializadas, quando comparadas com populações de áreas isoladas. Diversos estudos relatam estes efeitos na saúde humana. Os problemas provenientes da poluição atmosférica começaram a ser considerados como uma questão de saúde pública a partir da Revolução Industrial, quando teve início o sistema de urbanização hoje conhecido. A poluição atmosférica tem afetado a saúde da população, mesmo quando seus níveis encontram-se aquém do que determina a legislação vigente (BAKONYI, 2004).

Como é sabido que os componentes da contaminação atmosférica antropogênica atingem o organismo predominantemente por via inalatória, é de se esperar que seus principais efeitos se manifestem no trato respiratório. Atualmente, a incidência de doenças respiratórias confirma a forte influência da qualidade do ar na saúde e qualidade de vida da população. As manifestações biológicas dos efeitos da poluição sobre a saúde, aparentemente, apresentam um comportamento que mostra uma defasagem em relação à exposição do indivíduo aos agentes poluidores, ou seja, os atendimentos efetuados em um determinado dia provavelmente estão relacionados à poluição do referido dia, mas também com a poluição existente em dias anteriores. A exposição aos poluentes ambientais é reconhecida como um importante fator de risco para a ocorrência das internações hospitalares em crianças, absenteísmo escolar, mortalidade intrauterina e também para defeitos congênitos. Há fortes evidências de que a poluição atmosférica está associada com aumentos importantes no risco de morte e doenças crônicas em crianças, resultados desastrosos na gravidez e agravamento de doenças. (BAKONYI, 2004; NASCIMENTO et al., 2006).

A relação entre danos à saúde e poluição atmosférica foi estabelecida a partir de períodos, onde foram detectados altos níveis de poluição do ar. É bastante conhecido na literatura o excesso de mortes ocorrido em Londres nos anos de 1948 e 1952, onde foram descritos incrementos de aproximadamente 300 e 4.000 mortes, respectivamente. Outros desastres decorrentes da poluição do ar ocorreram anteriormente no Vale de Meuse, Bélgica e Donora nos Estados Unidos (FREITAS, 2004).

É interessante notar que a poluição atmosférica, a presença de ácaros no domicílio e mesmo a utilização de creches são fatores cuja frequência tende a aumentar (e não a diminuir) com o progresso econômico das sociedades e dos indivíduos, o que bem ilustra a complexidade da epidemiologia das doenças respiratórias e pode ajudar a compreender o paradoxo inicial constatado com o crescimento simultâneo do nível socioeconômico da população e das doenças respiratórias infantis (BENECIO, *et. al.*, 2000).

1.2 POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

Nos últimos anos, a contaminação do ar tem sido um tema de grande preocupação para a população devido aos possíveis efeitos adversos à saúde, particularmente nos grandes centros urbanos (GOUVEIA *et. al.*, 2003).

Entende-se como poluente atmosférico qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos e que tornem ou possam tornar o ar:

- Impróprio nocivo ou ofensivo à saúde;
- Inconveniente ao bem estar público;
- Danoso aos materiais, à fauna e flora;
- Prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade (DUCHIADE, 1992).

1.2.1 Legislação e Padrões dos Poluentes atmosféricos

O controle das emissões e da concentração de poluentes no ar foram ambos regulamentados pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente, sob a forma das Resoluções CONAMA n° 018/ 86 (de 06/ 05/ 1986), n° 005/ 89 (de 15/ 06/ 1989), n° 003/ 90 (de 28/ 06/ 1990) e n°008/ 90 (de 06/ 12/ 1990). A Resolução CONAMA n° 005/ 89, datada de 15/ 06/ 1989, instituiu o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar – PRONAR, como um

dos instrumentos básicos de gestão ambiental para a proteção da saúde e bem estar das populações e melhoria da qualidade de vida (CARNEIRO, 2004).

O nível de poluição atmosférica é medido pela quantidade de substâncias poluentes presentes no ar. A variedade das substâncias que podem ser encontradas na atmosfera é muito grande, o que torna difícil a tarefa de estabelecer uma classificação. Para facilitar esta classificação, os poluentes são divididos em duas categorias: Poluentes primários - aqueles emitidos diretamente pelas fontes de emissão e Poluentes secundários – aqueles formados na atmosfera através da reação química entre poluentes primários e componentes naturais da atmosfera. A qualidade do ar, mesmo mantidas as emissões, pode mudar em função das características meteorológicas, que determinam o grau de dispersão dos poluentes (LEITE, 2009).

Hoje em dia, uma grande quantidade de diferentes poluentes ocorre em concentrações variáveis. As mais importantes fontes de poluentes atmosféricos são indústrias, usinas termoelétricas, incineradores de lixo, calefação doméstica e, especialmente, tráfego de automóveis. Emissões oriundas dos diversos meios de transporte têm uma crescente importância (EEA 1998). Entre os inúmeros poluentes emitidos para a atmosfera, em áreas urbanas, ou gerados por processos secundários, dióxido de enxofre, óxidos de nitrogênio, ozônio, materiais particulados e compostos orgânicos como benzeno ou hidro-carbonetos aromáticos policíclicos são os mais significativos. Particularmente, os compostos fotoquímicos (ozônio, por exemplo) e, em algumas regiões, também os materiais particulados, têm uma importância cada vez maior, devido ao aumento do tráfego de automóveis. Possíveis efeitos mutagênicos das complexas misturas de poluentes atmosféricos nas cidades têm recentemente causado preocupação pública (Klumpp *et. al.* , 2001).

Baseados nos achados decorrentes de diversos estudos epidemiológicos e experimentais, vários países estabeleceram padrões de qualidade, ou seja, os limites máximos tolerados, a partir dos quais, a população exposta sofreria danos à saúde. No Brasil, em 1990, o Conselho Nacional de Meio Ambiente adotou os mesmos padrões. Vale ressaltar que esses não são os únicos, mas os principais poluentes atmosféricos. Posteriormente, novos estudos mostraram que não existem níveis seguros de concentração de poluentes para a saúde humana, questionando a segurança dos padrões de qualidade do ar estabelecidos (CANÇADO *et. al.*, 2006).

São estabelecidos dois tipos de padrões de qualidade do ar: Padrões primários: concentrações de poluentes que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população. São os níveis máximos toleráveis. Padrões secundários: concentrações abaixo da qual se prevê o mínimo efeito adverso para a população (LEITE, 2009).

Os padrões de qualidade do ar definem legalmente o limite máximo para a concentração de um poluente na atmosfera, que garanta a proteção da saúde e do meio ambiente. Os padrões de qualidade do ar são baseados em estudos científicos dos efeitos produzidos por poluentes específicos e são fixados em níveis que possam propiciar uma margem de segurança adequada. Os padrões nacionais foram estabelecidos pelo IBAMA - Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e aprovados pelo CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente, por meio da Resolução CONAMA 03/90. Os padrões nacionais de qualidade do ar são apresentados a seguir, na figura 1.

Padrões nacionais de qualidade do ar
(Resolução CONAMA nº 03 de 28/06/90)

Poluente	Tempo de Amostragem	Padrão Primário $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Padrão Secundário $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Método de Medição
partículas totais em suspensão	24 horas ¹ MGA ²	240	150	amostrador de grandes volumes
		80	60	
partículas inaláveis	24 horas ¹ MAA ³	150	150	separação inercial/filtração
		50	50	
fumaça	24 horas ¹ MAA ³	150	100	refletância
		60	40	
dióxido de enxofre	24 horas ¹ MAA ³	365	100	pararosanilina
		80	40	
dióxido de nitrogênio	1 hora ¹ MAA ³	320	190	quimiluminescência
		100	100	
monóxido de carbono	1 hora ¹	40.000	40.000	infravermelho não dispersivo
	8 horas ¹	35 ppm	35 ppm	
		10.000 9 ppm	10.000 9 ppm	
ozônio	1 hora ¹	160	160	quimiluminescência

1 - Não deve ser excedido mais que uma vez ao ano. 2 - Média geométrica anual. 3 - Média aritmética anual.

Fonte: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

Figura 1. Padrões nacionais de qualidade do ar.

O Art. 5º da Resolução CONAMA 03/90 estabelece critérios para a elaboração do Plano de Emergência para Episódios Críticos de Poluição do Ar, visando providências dos governos de Estado e dos Municípios, assim como de entidades privadas e comunidade geral, com o objetivo de prevenir grave e iminente risco à saúde da população. Definindo como Episódio Crítico de Poluição do Ar a presença de altas concentrações de poluentes na atmosfera em

curto período de tempo, resultante da ocorrência de condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos mesmos. Também estabelece os Níveis de Atenção, Alerta e Emergência, para a execução do Plano, bem como as providências a serem tomadas a partir da ocorrência dos Níveis de Atenção e de Alerta tendo como objetivo evitar que o Nível de Emergência seja atingido. Quando uma ou mais das condições listadas abaixo (figura 2) for atingida, prevendo-se a manutenção das emissões, bem como condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos poluentes nas 24 (vinte e quatro) horas subsequentes, o Nível de Atenção será declarado (CONAMA 03/90).

Critérios para episódios agudos de poluição do ar
(Resolução CONAMA nº 03 de 28/06/90)

Parâmetros	Atenção	Alerta	Emergência
partículas totais em suspensão ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24h	375	625	875
partículas inaláveis ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24h	250	420	500
fumaça ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24h	250	420	500
dióxido de enxofre ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24h	800	1.600	2.100
SO ₂ X PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24h	65.000	261.000	393.000
dióxido de nitrogênio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 1h	1.130	2.260	3.000
monóxido de carbono (ppm) - 8h	15	30	40
ozônio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 1h	400*	800	1.000

* O nível de atenção é declarado pela CETESB com base na Legislação Estadual que é mais restritiva ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Fonte: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

Figura 2. Critérios para episódios agudos de poluição do ar.

A Organização Mundial da Saúde (OMS) também recomenda limites máximos de concentração de alguns contaminantes presentes na atmosfera, como SO₂, NO₂, CO, MP₁₀ e O₃, conforme apresentado na tabela 1 (GOMES, *et. al.*, 2008).

Tabela 1. Padrões Nacionais de Qualidade do Ar – OMS

Poluente	Período	Concentração média máxima permitida ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)*
MP ₁₀	24h	50
SO ₂	24h	20
O ₃	1h	100
NO ₂	1h	190
CO	8h	10000

*Uma vez ao ano. Fonte: GOMES, *et. al.*, 2008

1.2.2 Relação entre os poluentes atmosféricos e a saúde humana

O ambiente dos grandes centros urbanos, devido à elevada concentração de indústrias e intenso tráfego veicular, apresenta uma atmosfera complexa formada de inúmeras substâncias orgânicas e inorgânicas, incluindo substâncias com características mutagênicas e carcinogênicas, como benzeno, metais pesados, hidrocarbonetos e outros (Skov et al.,2001; Colvile et al,2001). O potencial de risco decorrente dessa exposição ainda não é completamente conhecido, mas diversos estudos epidemiológicos mostram correlações significativas entre diferentes níveis de poluição do ar e efeitos agudos e crônicos na saúde humana (WHO 2000; Saldiva et al.,1995 e Wilson et al 2004).

O transporte é amplamente reconhecido por ser uma significativa e crescente fonte de poluição do ar em todo o mundo. Diversas revisões têm focado no modo de transporte individual e o impacto desse na poluição ambiental. As emissões de poluentes do ar geradas durante o uso de qualquer forma de transporte são apenas uma parte da quantidade total de poluição do ar gerada por este tipo de atividade (COLVILE *et. al.*, 2001).

Por um longo período, não se observaram os efeitos da poluição do ar na saúde humana, devido às medidas instituídas, em diversos centros urbanos, principalmente em países da América do Norte e Europa depois de alguns episódios famosos de alta concentração de poluentes atmosféricos, como os observados no Vale Meuse, na Bélgica, em 1930; em Donora, na Pensilvânia, em 1948; em Londres, Inglaterra, no inverno de 1952-1953 e em outros menos famosos, visando controlar os níveis ambientais de poluição do ar (GOUVEIA *et. al.*, 2003).

Mesmo com valores abaixo do nível permitido pelos órgãos responsáveis, a poluição atmosférica tem afetado de forma significativa a vida dos seres vivos. Embora o mecanismo biológico específico ainda esteja em estudo, diversos autores sustentam que o efeito deletério da poluição atmosférica na saúde da população é causal (MARTINS, *et. al.*, 2002).

Atualmente, diversos estudos vêm usando o número de internações hospitalares como um indicador dos efeitos da poluição na saúde da população. Recentemente, vários estudos demonstraram a existência da associação entre os efeitos da poluição do ar na saúde, mesmo

quando os níveis médios de poluentes não são tão altos. Esses efeitos têm sido observados tanto na mortalidade geral quanto por causas específicas como doenças cardiovasculares e doenças respiratórias. Efeitos na morbidade também têm sido observados e incluem aumentos em sintomas respiratórios em crianças, diminuição na função pulmonar, aumento nos episódios de doença respiratória ou simplesmente aumento no absenteísmo escolar (GOUVEIA *et. al.*, 2003).

Os estudos sobre os efeitos da poluição do ar na saúde humana, têm se multiplicado desde os episódios dramáticos, já citados anteriormente, que alertaram as autoridades para as graves conseqüências causadas por períodos agudos de poluição. Entretanto, apesar dos numerosos estudos laboratoriais e populacionais já terem demonstrado o papel lesivo da poluição do ar para as vias respiratórias, esta preocupação ainda não se traduz em propostas concretas nas recomendações oficiais (DUCHIDE, *et. al.*, 1992).

No Brasil, alguns estudos investigatórios dos efeitos da poluição do ar na saúde encontraram associações estatisticamente significantes com mortalidade infantil, mortalidade em idosos, além de hospitalizações em crianças e adultos por causas respiratórias (GOUVEIA *et. al.*, 2003).

Estima-se que a exposição à *particulate matter* (PM), uma mistura de partículas líquidas e sólidas em suspensão no ar, classificadas de acordo com o seu diâmetro, causa 800.000 mortes em todo o mundo, das quais 35.000 ocorrem na América Latina. Crianças, idosos e portadores de doenças cardiorespiratórias prévias, incluindo os asmáticos, compõem a população mais suscetível aos efeitos da poluição atmosférica (MASCARENHAS *et. al.*, 2005).

Estudos recentes realizados em diferentes contextos urbanos, incluindo a cidade de São Paulo, têm mostrado associações importantes entre níveis de poluição do ar e atendimentos ambulatoriais, hospitalizações e óbitos por doença respiratória. Nesses estudos, material particulado inalável e óxidos de nitrogênio têm sido os poluentes mais consistentemente relacionados com os efeitos deletérios sobre o aparelho respiratório (BENECIO, *et. al.*, 2000).

Os fatores de risco para internação hospitalar por doenças respiratórias incluem: exposição a poluentes ambientais, especialmente o tabagismo, a aglomeração domiciliar, déficit no estado nutricional, sazonalidade climática, esquemas de imunização incompletos, baixa condição sócio-econômica e exposição a agentes biológicos, como o pólen. Tais fatores atingem principalmente os indivíduos nos extremos de idade, como crianças menores de cinco anos ou idosos maiores de 65 anos (ROSA *et. al.*, 2008) .

Em países em desenvolvimento, estima-se que 25% a 30% do total das mortes observadas nos cinco primeiros anos de vida sejam causadas por infecções respiratórias agudas. No Brasil as doenças respiratórias são responsáveis por aproximadamente 16% de todas as internações, sendo 50% delas devido à pneumonia. Porém, em grupos mais vulneráveis como as crianças, as doenças respiratórias compreendem mais de 50% das internações hospitalares (ROSA *et. al.*, 2008).

Estes fatos, bem como outros, onde se identificam os efeitos da contaminação atmosférica por agentes poluentes sobre ecossistemas, e a relação com doenças humanas diversas, fortaleceram a necessidade de se buscar alternativas de controle através de monitoramento.

1.3 VEGETAIS COMO BIOINDICADORES DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

Bioindicadores são espécies, grupos de espécies ou comunidades biológicas cuja presença, quantidade e distribuição indicam a importância de impactos ambientais em um determinado ecossistema. As plantas bioindicadoras, devido sua sensibilidade às alterações no ambiente, oferecem significativa resposta aos poluentes, apresentando modificações em suas estruturas. Essas mudanças podem ser observadas tanto em nível macroscópico, através do aparecimento de cloroses, necroses, queda de folhas ou diminuição no seu crescimento, como pode ocorrer em nível genético, estrutural, fisiológico ou bioquímico, não sendo visualmente observadas (ALVES *et al.*, 2001).

Com o aumento dos problemas ambientais, foram desenvolvidos métodos voltados para o seu monitoramento, utilizando-se, dentre outras possibilidades, plantas ou animais como bioindicadores (Ellenberg *et al.* 1991). Esses passam a apresentar reações específicas quando

expostos aos diferentes tipos de poluentes, fornecendo informações difíceis de serem obtidas e/ou quantificadas de outra forma (Flores 1987). Os biomonitoramentos, passivo e ativo, têm sido amplamente utilizados no Brasil nas últimas décadas para estudos diversos da qualidade do ar e efeito dos poluentes sobre as espécies vegetais (Flores 1987, Domingos *et al.* 1998, Klumpp *et al.* 2000, Mazzoni-Viveiros 2000) (Mayer *et al.* 2000).

A partir de meados do século passado, iniciou-se o processo de utilização de organismos vivos, como método auxiliar de detecção de alterações perigosas da qualidade do ambiente o qual foi denominado monitoramento. Os organismos vivos utilizados nesse trabalho foram mais tarde, identificados como bioindicadores (AKSOY; ÖRTÜRK, 1997; GARTY, KLOOG; COHEN, 1998; XIAO *et al.*; 1998).

Nas últimas quatro décadas várias pesquisas têm mostrado os efeitos da poluição do ar em diferentes ecossistemas. Muitas dessas pesquisas enfocaram a resposta de bioindicadores ambientais em lagos, florestas e, estuários a elevados níveis de depósitos de enxofre e nitrogênio (LOVETT, 2009).

Com o processo de urbanização, o acréscimo de veículos automotores e de indústrias aumentou significativamente a concentração de poluentes atmosféricos em áreas urbanas. Destaca-se o dióxido de enxofre (SO₂), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x), material particulado, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HPAs), metais pesados, oxidantes fotoquímicos como o ozônio (O₃) e o nitrato de peroxiacetila (PAN). Em função disso, nos últimos anos, o emprego de métodos físicos, químicos e biológicos para monitorar a qualidade do ar tem se intensificado (MARTINS *et al.*, 2008).

De uma maneira geral, as plantas são mais sensíveis à poluição que os animais, incluindo o homem e, portanto, estudos sobre os efeitos dos poluentes na vegetação fornecem subsídios importantes para os programas de controle da poluição do ar. Várias espécies vegetais têm sido utilizadas como bioindicadoras em programas de biomonitoramento da qualidade do ar. Bennett & Buchen (1995) afirmam que centenas de espécies já foram testadas incluindo líquens, fungos, briófitas, gimnospermas e angiospermas (ALVES *et al.*, 2001).

1.3.1 Espécies mais usadas como bioindicadores ambientais.

Dentre as diferentes espécies de bioindicadores vegetais, as plantas superiores também são muito úteis para programas de biomonitoramento da qualidade do ar. Sendo organismos eucarióticos, com complexidade genética similar à do homem e por serem facilmente cultivadas, mantidas e utilizadas nos estudos, em relação a espécies indicadoras animais. Além disso, muitas plantas possuem ciclos de vida curtos, o que permite uma avaliação dos efeitos causados por perturbações ambientais em curto prazo (Arndt & Schweiger 1991, Ellenberg 1991).

Dentre os organismos utilizados como bioindicadores destacam-se pela frequência de uso, as que seguem:

1.3.1.1 Angiospermas

Nicotiana tabacum (tabaco) pertence à Família *Solanaceae*, com ampla distribuição geográfica, natural ou introduzida, na América Central, Estados Unidos da América (EUA) e Brasil. Possui hábitos arbustivos, com importância econômica na produção do tabaco é frequentemente utilizada em estudos científicos voltados para a avaliação dos efeitos oxidantes do O₃ troposférico sobre o vegetal, através de métodos que estimam, visualmente, a porcentagem da área foliar com lesões como clorose, necrose e bronzeamento. Além de danos foliares, alguns autores verificam alterações metabólicas, como concentração de clorofila **a** e **b** e proporções entre elas, bem como parâmetros de crescimento (CARNEIRO, 2004).

Tillandsia gênero de plantas pertencentes à família *Bromeliaceae*, subfamília *Tillandsioidiaceae*, que inclui principalmente espécies epífitas que vivem em ambientes urbanos, com ampla distribuição na América Central e do Sul é usada como bioindicador de metais pesados (PIGNATA et. al. 2002).

Tillandsia usneoides espécie de Bromélia. Foi utilizada pela primeira vez como biomonitor para a avaliação do flúor na água da chuva, e agora tem sido utilizada como biomonitor

atmosférico para analisar a composição de metais no Material Particulado (PM). Também conhecida como barba-de-velho, adapta-se facilmente a ambientes secos e quentes, demonstrou ser um eficiente acumulador de mercúrio (Hg), segundo Calasans e Malm (1997).

Tillandsia capillaris respondeu adequadamente aos ensaios de biomonitoramento da qualidade do ar conduzido em diversas localidades da Argentina, permitindo o mapeamento da distribuição de metais pesados na região de estudo. É recomendada no biomonitoramento da qualidade do ar devido às respostas fisiológicas e concentrações de metais em amostras desta espécie (PIGNATA *et. al.*, 2002).

Tillandsia caput-medusae e *Tillandsia bulbosa* a espécie *T. caput-medusae* demonstrou-se um bom bioindicador da qualidade do ar por sua eficiência em acumular metais pesados, enquanto que a espécie *T. bulbosa* demonstrou-se eficiente em acumular progressivamente hidrocarbonetos. O uso de plantas do gênero *Tillandsia* é recomendado nos países da América Latina e Sudeste dos Estados Unidos, onde crescem espontaneamente (BRIGHINA *et. al.*, 1997).

Tradescantia pallida e *Tradescantia púrpura* gênero pertencente à Família *Commeliaceae*, com cerca de 70 espécies, além de diversos híbridos. Distribuído em toda a América. Possui hábitos herbáceos, sendo algumas espécies, como a *T. pallida*, frequentemente usadas no paisagismo de jardins urbanos. Usadas como bioindicadores de CO, SO₂, NO₂ e PM-10. *T. pallida* tem sido utilizada na avaliação dos efeitos genotóxicos de poluentes atmosféricos e demais substâncias tóxicas, devido as suas características genéticas favoráveis, pois é constituída de apenas seis pares de cromossomos, facilmente observáveis em todas as células da plantas (RODRIGUES *et al.*, 1997).

Dentre as diferentes reações provocadas sobre as espécies, podem ser observados, também, efeitos clastogênicos da poluição. O clone híbrido 4430 de *Tradescantia* (*T. subcaulis* Bush x *T. hirsutiflora* Bush), por exemplo, tem sido muito utilizado no exterior para avaliar o efeito genotóxico de poluentes, pesticidas e herbicidas (Ma 1983, Rodrigues *et al.* 1997). A avaliação é feita através de bioensaios, em que se observam mutações em pêlos estaminais (bioensaio Trad-SH) e em células-mãe dos grãos de pólen na fase de tétrades (bioensaio Trad-MCN) (Ma 1981, Rodrigues *et al.* 1996, 1998) (ALVES *et al.*, 2001).

Tibouchina pulchra (manaca-da-sera) espécie arbórea pioneira pertencente à Família *Melastomataceae*, frequentemente em formações secundárias da floresta Pluvial da Encosta Atlântica, com registro de ocorrência natural nos estados de São Paulo e Paraná, sendo facilmente observadas nos períodos de floração, pela cor rosa das flores que se destacam em meio à densa massa verde da mata. Esta espécie é usada como bioindicador de metais pesado, óxidos de enxofre e fluoretos. Apresentando importantes alterações fisiológicas e bioquímicas, sem apresentar sintomas visíveis na planta. Devido a sua alta capacidade de sobrevivência em ambientes poluídos é considerada espécie tolerante (KLUMPP *et. al.*, 1998).

1.3.1.2 Coníferas

Pinus sylvestris pertence à Família *Pinaceae*, ocorrendo de forma natural na Europa e Ásia Temperada podendo ser encontrada ainda nos EUA, México, Rússia e Nova Zelândia, porém sem registro de cultivo em território brasileiro. Seu uso está associado ao biomonitoramento de metais, NO_x, SO₂ e hidrocarbonetos presentes na atmosfera de áreas poluídas. A influência da poluição atmosférica sobre a composição química foliar e sobre a anatomia do caule de indivíduos desta espécie é avaliada em amostras de acículas coletadas em árvores de florestas sob a influência de atividades poluidoras (KURCZYNSKA *et. al.*, 1997).

Picea abies Pertence à Família *Pinaceae*, habitando as regiões montanhosas da Ásia e Europa, podendo ser encontrada na região Sul do Brasil, na América do Norte e na China. Está associada ao biomonitoramento de SO₂, O₃ e metais pesados. Quanto maiores as concentrações de S na planta maiores são os danos físicos a sua cera epicuticular (TRIMBACHER e WEIS, 1999).

Pinus pinea (pinheiro litorâneo) pertence à Família *Pinaceae*, encontrado no Sul da Europa, existindo relatos de registro de coleta nos EUA e Nova Zelândia. Segundo Alaimo *et. al.* (2000) e Alessio *et. al.* (2002) as acículas de pinheiros são consideradas um interessante indicador de poluição atmosférica. Constatam que os elementos chumbo (Pb), bromo (Br), antimônio (Sb) e zinco (Zn) encontrados em acículas de *Pinus pinea*, estão associados com

atividades antropogênicas, verificando uma forte influência dos combustíveis fósseis na composição foliar de Carbono.

1.3.1.3 Musgos

Pleurozium schereberi e *Hylocomium splendens* ocorrem na América, Europa e Ásia. Utilizadas, juntas ou separadamente, no biomonitoramento de metais pesados e material particulado. As concentrações de 37 elementos químicos, em amostras coletadas de musgos, estão relacionadas a elementos presentes na atmosfera os quais provocam danos a saúde (WAPPELHORST *et. al.*, 2000).

Hipnum cupressiforme pertence à Família *Hypnaceae*, com ocorrência registrada na América, Europa, Ásia, África e Oceania. São utilizados na avaliação de metais pesados e hidrocarbonetos presentes na atmosfera (Holoubeck *et. al.*, 2000).

1.3.1.4 Líquens

Devido a sua biologia, os líquens mostram alta sensibilidade a poluentes, não somente pela diminuição da sua vitalidade, como por sintomas externos característicos. Eles são reconhecidos por serem muito sensíveis à poluição atmosférica e, desde o século IX, são utilizados como bioindicadores, sendo objeto de vários trabalhos que visam o controle das alterações atmosféricas em vários locais (MARTINS *et al.*, 2008).

1.3.1.4.1 Gênero *Parmelia*

Parmelia caperata são utilizados em diversos estudos de biomonitoramento da qualidade do ar para análise de metais, avaliando as variações intra e inter-específicas na capacidade de bioacumulação (LOPPI *et. al.*, 2000 NIMIS *et.al.*, 2001).

Parmelia sulcata espécies usadas para análise de metais acumulados. Através da análise da concentração de elementos-traço nesta espécie, foram avaliadas as contribuições de vapores de fontes geotérmicas naturais para a contaminação da atmosfera, em dois locais do Monte Amiata na Itália (LOPPI e BONINI, 2000).

Parmelia consparca Grasso *et. al.*, (1999) mostraram em seus estudos a particular importância dos líquens no monitoramento da qualidade do ar em áreas vulcânicas ativas, pois a composição do líquen reflete a contribuição de partículas de material vulcânico (elemento de maior traço) em sua constituição.

1.3.1.4.2 Gênero *Usnea*

Usnea amblyoclada espécies deste Gênero, coletadas nas proximidades de minas de extração de Pb, nas províncias do Canadá e no Vale de St. Lawrey, EUA permitiram avaliar a composição isotópica de Pb nestes locais, possibilitando o primeiro mapeamento da distribuição isotópica de Pb no Nordeste da América do Norte (CARIGNAN, *et. al.*, 2002).

Carreras e Pignata (2001) avaliaram parâmetros bioquímicos e de crescimento em amostras transplantadas da espécie *Usnea amblyoclada*, submetidas à ação de poluentes atmosféricos contidos em emissões veiculares e industriais, na cidade de Córdoba, Argentina. Verificaram que altas concentrações de clorofila e dos demais parâmetros analisados coincidem com a elevação dos níveis de partículas suspensas, hidrocarbonetos, ozônio (O₃) e ácido sulfídrico (H₂S) atmosférico.

1.3.1.4.3 Gênero *Xanthoria*

Xanthoria parientina gênero utilizado como bioindicador de metais pesados em emissões atmosféricas. Em amostras de deste gênero foram analisadas as concentrações de Hg e outros elementos-traço, coletados nas proximidades de uma usina geo-termoelétrica, em Bagnore,

Itália, verificando correlação linear entre os valores de concentrações de Hg nos líquens e nos ambientes expostos a emissões naturais e da usina (LUPPI, 2001).

Foram analisadas concentrações de 27 elementos químicos provenientes de emissões vulcânicas em amostras de líquens presentes em troncos e rochas, no Monte Etna e Ilha Vulcano, Itália, com resultados significativos sobre a importância de líquens no monitoramento da qualidade do ar sob influência de emissões vulcânicas (GRASSO, *et.al.*, 1999).

Amostras de líquens expostos a emissões atmosféricas industriais e ao tráfego de veículos foram analisadas para verificar as concentrações de metais como arsênio (As), cádmio (Cd), cromo (Cr), níquel (Ni), chumbo (Pb), vanádio(V), zinco (Zn) e mercúrio (Hg). Com base na frequência da espécie, considerada sensível ao poluente da área de estudo, foi verificado o Índice de Impureza Atmosférica (IAP) (SCERBO *et. al.*, 1999).

1.1.4 MUNICÍPIO DE GUAÍBA E O MONITORAMENTO AMBIENTAL.

O município de Guaíba está localizado na região metropolitana de Porto Alegre. Fundado em 14 de outubro de 1926, teve sua ocupação intensificada a partir da década de 1960, devido à construção da BR-116 e da ponte sobre o Rio Jacuí.

Segundo dados disponíveis no site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, em 2008, a área municipal está distribuída em 376.973 km². A população total do município é de 94.307 habitantes (registro de 2008) sendo que 2,49% encontram-se na área rural e 97,51% na área urbana. A cidade limita-se a Leste com o Estuário do Guaíba, ao Norte com Eldorado do Sul, ao Sul com os municípios de Barra do Ribeiro e Mariana Pimentel e a Oeste com Eldorado do Sul.

Em 2008, segundo a Secretária Municipal da Fazenda e a do Planejamento, o município de Guaíba possuía em seu cadastro 3 empresas de Extração de Minerais Não-Metálicos, 1 de Produção de Óleos e Gorduras Vegetais e Animais, 14 de Curtimento e outras preparações do

couro, 6 de fabricação de Celulose e Papel, 8 de Fabricação de Produtos Químicos, 3 de Fabricação de Cimento e 19 de Metalurgia e Siderurgia.

Em relação às fontes móveis, o Departamento Nacional de Transito (DENATRAN), informou que a frota veicular do município em 2007, era de 28.663 veículos. Segundo o Relatório de Identificação de Município de Risco para a Vigilância Ambiental em Saúde Relacionada à Qualidade do Ar – IIMR, a razão entre a frota veicular em dez/2007 e a população do município no ano de 2007 era de 0,26.

De acordo com o Art. 87 do Capítulo I do Código Municipal de Meio Ambiente, da Política Ambiental do Município de Guaíba, instituído pela Lei Municipal nº 1.730/2002 o licenciamento para instalação e operação de atividades de pessoas físicas ou jurídicas, de direito público ou privado, potencial ou efetivamente poluidoras, fica sujeito ao exame e parecer dos técnicos do órgão ambiental do Município, sendo que o pedido de licença deverá ser acompanhado pelo Estudo de Impacto Ambiental-EIA, se a legislação Federal ou Estadual exigir ou por solicitação do Poder Público Municipal.

Guaíba possui um elevado número de habitações irregulares situadas na periferia, em meio ao lixo doméstico e esgotos. Estas habitações estão localizadas nas vias marginais aos bairros e estradas que cortam o município, constituindo-se em áreas críticas de ocupação urbana. Por consequência, essas habitações contribuem para a ocupação desordenada dos espaços suburbanos. Já é conhecido o elevado número de comunidades carentes, dentre as quais, muitas oriundas de vilas e favelas de Porto Alegre e da migração das zonas rurais da região para a zona urbana do município. Esta população realiza atividades de catação informal e procura também alimento nos resíduos depositados nas ruas da cidade, fator que agrava a problemática ambiental que aflora por todos os lados da cidade, com sérios entraves para o desenvolvimento sustentável (NEDEL, 2008).

A taxa de mortalidade por agravos respiratórios, conforme (Capítulo J-CID 10), para o município de Guaíba nos anos de 2003, 2004 e 2005 foi de 0,80, 0,90 e 0,83 respectivamente e a taxa de internação hospitalar, neste período, pelo mesmo agravo foi de 14,02, 14,93 e 11,50 (Banco de Dados do Sistema Único de Saúde (DATASUS)).

As taxas de internação hospitalar e mortalidade por doenças respiratórias, bem como a frota veicular e o considerável número de empresas com atividades potencialmente poluidoras associadas ao fato de que o município de Guaíba não possui nenhum sistema de monitoramento da qualidade do ar, desperta o interesse em buscar a construção de conhecimento sobre o uso de vegetação, cujas alterações por agentes poluidores sejam facilmente observáveis, servindo-nos como indicadores da qualidade do ar. Assim, o uso de bioindicadores vegetais poderá servir ao processo de avaliação, percepção e comunicação de riscos ambientais decorrentes da ação de poluentes atmosféricos em Guaíba.

2 PROBLEMA

Quais as espécies de bioindicadores mais utilizados no monitoramento da qualidade do ar?

3 TEMA

Bioindicadores e Poluição Atmosférica. Um levantamento bibliográfico, sobre as espécies de bioindicadores mais utilizados no monitoramento da qualidade do ar.

4 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Relacionar o uso de bioindicadores na detecção de processos de poluição com o monitoramento da qualidade do ar e a saúde humana.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Levantar, na literatura dos anos de 1990 a 2009 as diferentes espécies de vegetais utilizados como bioindicadores de poluição atmosférica, bem como suas diferentes formas de utilização experimental.

Identificar, dentre as espécies encontradas, as mais utilizadas como bioindicadores da qualidade do ar.

Conhecer os contaminantes atmosféricos que mais afetam a saúde humana.

Relacionar a poluição atmosférica aos danos causados à saúde humana.

5 JUSTIFICATIVA

A poluição atmosférica consiste em uma das mais graves ameaças à sociedade moderna, visto que os efeitos da concentração de gases, a longo prazo, não são totalmente conhecidos.

O uso inadequado do recurso ar através do lançamento indiscriminado de substâncias poluentes na atmosfera tem provocado o deterioramento progressivo e contínuo de sua qualidade. É necessária a participação efetiva de toda a sociedade civil, para que as medidas de gestão da qualidade do ar tornem-se eficientes. É preciso também, desenvolver soluções alternativas para a questão das emissões provenientes de automóveis.

A qualidade do ar em áreas urbanas e industriais costuma apresentar níveis de contaminantes indesejáveis, com um monitoramento em sua maioria deficiente devido ao alto custo e a sofisticação dos equipamentos e métodos convencionais utilizados. Em função disto, a adoção de metodologias complementares, como o uso de bioindicadores vegetais apresenta-se como uma alternativa para a redução deste impacto econômico.

O Setor Saúde, a nível federal, através da Coordenação Geral de Vigilância Ambiental - CGVAM, da Secretaria de Vigilância em Saúde, do MS, coordena o processo de construção de uma *Política Nacional de Vigilância da Qualidade do Ar & Saúde - VIGIAR*, prioritariamente em Estados “pilotos”, entre os quais o Rio Grande do Sul. Para que o VIGIAR, no nosso Estado, atue de forma complementar, necessitamos de estudos que detectem a nossa real situação, propiciando uma eficaz intervenção na prevenção e promoção da saúde da população presente e futura.

Devido ao avanço de diversas pesquisas nessa área, surgiram novas formas de controle natural da poluição atmosférica, por isso é preciso conhecer e identificar os bioindicadores mais utilizados no monitoramento dos poluentes atmosféricos em função da diversidade de ecossistemas, poluentes e a variedade de bioindicadores,

6 METODOLOGIA

Revisão literária utilizando como ferramenta de busca os sites Pubmed Home, Scielo-Saúde Pública, CAPES periódicos, bem como o uso de legislações ambientais específicas do CONAMA relacionadas a contaminantes atmosféricos e ambientais. Esta revisão foi dividida em duas etapas: a primeira etapa foi a procura por descritores nos sites e a segunda o estabelecimento de critérios para refinar os resultados.

Os critérios utilizados para o refino da busca foram: abrangência temporal dos estudos definidos entre os anos de 1990 a 2009, o idioma, textos em português, inglês e espanhol.

Os descritores utilizados para as buscas foram: contaminantes ambientais e atmosféricos, bioindicadores ambientais e vegetais bioindicadores.

A busca foi feita por meio de palavras chaves encontradas em títulos e nos resumos dos artigos, bem como pelo nome de alguns autores.

As buscas foram realizadas no período de agosto a outubro de 2009 e a seleção dos artigos foi feita de acordo com o assunto proposto.

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta investigação ressaltou os dados obtidos quanto à especificidade do uso de bioindicadores vegetais relacionados à poluição atmosférica. Observou-se que diversos estudos foram desenvolvidos visando o monitoramento da qualidade do ar através do uso de bioindicadores. Constatou-se ainda, que a poluição atmosférica afeta principalmente a saúde humana. Todavia, também se observam impactos negativos nos processo vegetativos das plantas, na corrosão de matérias e na saúde de animais.

No mundo atual, a poluição do ar tornou-se quase parte da vida urbana cotidiana das pessoas. A Organização Mundial de Saúde calcula que mais de 1,5 bilhões de moradores urbanos estão expostos a níveis de poluição ambiental acima dos níveis máximos recomendados. Estimativas sugerem que, em todo o mundo, cerca de 400.000 mortes são atribuídas à poluição do ar, embora tenha havido progressos no controle dos poluentes, principalmente nas regiões desenvolvidas (GOUVEIA,1999).

O grau de concentração de um poluente emitido depende da sua interação com a atmosfera, que se realiza por diluição e por reações químicas. Este processo de interação está, assim, sujeito as variações relativas às condições climáticas e meteorológicas, portanto é de se esperar que em períodos de bruscas variações nas condições climáticas os agravos causados pelos poluentes atmosféricos a saúde da população, tornem-se mais evidentes.

Os resultados obtidos nesta investigação sobre o uso de bioindicadores vegetais em processos de poluição atmosférica revelarão a existência de uma grande diversidade de espécies utilizadas em ensaios de biomonitoramento, conduzidos por centros de pesquisa de diversos países.

Observou-se ainda, que muitos bioindicadores vegetais encontrados estavam associados a um determinado poluente atmosférico, tais como: *Nicotiana tabacum* bioindicador de O₃, musgos bioindicador de metais, líquens bioindicadores de metais, SO₂ e NO_x, bromélias do gênero *Tillandsia* como bioindicador de metais e hidrocarbonetos e variedades e clones híbridos de *Tradescantia* no biomonitoramento de agentes genotóxicos.

As espécies *Nicotiana tabacum*, *Tradescantia pallida* cv *purpúrea*, espécies tropicais de *Tibouchina pulchra* e manacá-da-serra, bromélias do gênero *Tillandsia*, espécies de musgos *Hypnum cupressiforme*, *Pleurozium schereberi*, espécies de líquens *Usnea amblycolada* e *Xanthoria parietina* destacaram-se com potencialidade de uso em sistemas de biomonitoramento, para as condições climáticas brasileiras.

Segundo MOTA FILHO, *et. al.*, (2005) a vantagem do biomonitoramento se dá pela estreita relação que existe entre o biomonitor e o ecossistema estudado.

Dados do Ministério da Saúde apontam que 1.936.444 pacientes foram internados em hospitais da rede pública brasileira no ano 2000, por problemas pulmonares, sendo 275.769 (14,24%) no estado de São Paulo. Uma das principais causas de acometimento respiratório é a poluição atmosférica, dentre outros fatores biológicos, ambientais, econômicos ou sociais. As emissões de poluentes produzidas pela indústria, transporte, atividades domésticas, gerenciamento de dejetos e agricultura se concentram no ambiente, tanto no ar, quanto na água, nos alimentos e no solo. Aliadas a essas fontes poluidoras, as atividades humanas contribuem também para a exposição do homem, provocando efeitos à saúde que podem ser sub-clínicos, com morbidade ou até mesmo mortalidade (ROSEIRO, 2002).

Neste estudo observou-se que os poluentes atmosféricos afetam de diferentes maneiras a saúde da população, portanto tais efeitos requerem medidas específicas a serem adotadas pela população afetada.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A degradação ambiental cada vez mais intensificada pela ação de contaminantes é uma dura realidade, pois os impactos ambientais gerados pelo próprio homem estão refletindo diretamente sobre o seu habitat.

O compartimento atmosférico tem sido fortemente afetado por emissões de poluentes oriundos tanto de fontes estacionárias quanto de fontes móveis. Sendo este um tema muito abordado hoje em diferentes espaços de debates, devido a sua importância no que diz respeito principalmente às questões que envolvem a saúde humana.

A qualidade do ar tem se tornado um dos principais temas de preocupação ambiental nas grandes cidades, pois o ar nas áreas urbanas e industriais tende a apresentar concentrações indesejáveis de contaminantes, sem que haja um sistema abrangente de monitoramento, dada à sofisticação, elevados custos de implantação, operação e manutenção dos métodos físico-químicos convencionais.

Segundo, VIANNA *et. al.*, (2008) o levantamento de indicadores ambientais constitui um requisito fundamental para a realização de estudos epidemiológicos locais de exposição à poluição atmosférica, bem como para a elaboração de políticas públicas que visem o controle da emissão dos poluentes.

A utilização de indicadores biológicos como método de detecção de mudanças no ambiente é eficaz e rápida, visto que são recursos mais econômicos, pois não requerem instalações prévias, não usam energia elétrica e podem ser distribuídos em diversos pontos em uma área de estudo. Isto não significa que o sistema de monitoramento mecânico deva ser descartado, pois qualquer alteração produzida no ambiente tem um efeito imediato e significativo na biota. Bioindicadores proporcionam respostas apenas a variações e/ou modificações do ambiente, seja por fatores antrópicos (como poluentes), ou naturais (variação de temperatura, umidade do ar, pH do solo etc.). Qualquer ser vivo pode ser utilizado como indicador. No entanto, espécies menos sensíveis respondem mais lentamente e com menor eficácia que espécies mais susceptíveis aos agentes impactantes (MOTA FILHO, *et. al.*, 2007).

As plantas bioindicadoras são utilizadas em programas de biomonitoramento, que é o método que faz uso da vida para identificar e/ou caracterizar mudanças ambientais induzidas pela ação humana (PODROSO, 2007).

A adoção de metodologia complementar de biomonitoramento, através de um método experimental que permite avaliar a resposta de organismos vivos à poluição, oferecendo vantagens como: eficiência para o monitoramento de áreas amplas e por longos períodos de tempo e, também, avaliação de elementos químicos em baixas concentrações ambientais podem auxiliar estes estudos, além de minimizar os custos do monitoramento.

Elevadas concentrações podem ocorrer devido a uma disponibilidade maior de elementos tóxicos ou devido a mudanças nas características de dispersão dos poluentes na atmosfera. No inverno, a qualidade do ar piora em relação aos níveis de material particulado (MP), óxidos de enxofre (SO_x), óxidos de nitrogênio (NO_x) e monóxido de carbono (CO) devido principalmente as inversões térmicas. Já em relação ao ozônio (O₃), na primavera e no verão, suas concentrações são mais elevadas devido à maior intensidade de luz solar, fator crucial para a geração de O₃. Desta forma a interação entre os poluentes e a condições meteorológicas (umidade, direção dos ventos, pluviosidade) pode influenciar diretamente sobre a qualidade do ar, que por sua vez determina o surgimento de efeitos adversos sobre os seres vivos (VIANNA *et. al.*, 2008).

As medidas e registros efetuados por redes convencionais de monitoramento da qualidade do ar permitem verificar se normas e limites estabelecidos ou recomendados pela legislação, agências ambientais e órgãos de promoção da saúde humana estão sendo respeitados. Entretanto, tais medições não permitem conclusões imediatas sobre as conseqüências de poluentes nos seres vivos.

Por estas e outras razões, o biomonitoramento deve ser considerado como um método complementar na análise de poluentes, podendo constituir-se em um terceiro sistema de informações, além dos inventários de emissões e de concentrações ambientais.

Tendo em vista os fatos acima descritos, o presente trabalho abordou a partir de uma revisão da bibliografia, as possibilidades existentes para o controle da poluição atmosférica, através do monitoramento da qualidade do ar com o uso de bioindicadores naturais.

Em relação aos objetivos deste estudo, através da revisão bibliográfica levantada no período estabelecido (últimos 20 anos), encontrou-se um bom acervo literário sobre o tema do trabalho, onde foram então identificados os bioindicadores mais utilizados no biomonitoramento de qualidade do ar, bem como os efeitos que a poluição atmosférica causa na saúde humana.

Pedroso (2007), conclui que algumas medidas são necessárias para que haja a diminuição dos níveis de poluentes no ar a longo prazo. Dentre elas podem ser citadas: maior rigor no controle das emissões, tanto móveis como estacionárias, por parte das agências de proteção ambiental; a melhoria e o incentivo do transporte público; revisão das concentrações limites estabelecidas com base em valores utilizados no hemisfério norte, adequando-as às realizações locais. Além disso, são necessários mais estudos que avaliem os efeitos dos poluentes em ecossistemas e também a seleção e padronização de plantas nativas a serem usadas como bioindicadoras em associação com plantas bioindicadoras já consagradas no hemisfério norte. Estudos que utilizem simultaneamente plantas nativas e bioindicadoras clássicas poderão gerar informações importantes e possíveis cooperações entre programas internacionais.

O Ministério da Saúde vem adotando ações que visam a prevenção de agravos à saúde relacionados à qualidade do ar, através de um Programa de Vigilância em Saúde e Qualidade do Ar – VIGIAR, a ser implementado pelos municípios (inicialmente em regiões metropolitanas e industriais), propondo um modelo de vigilância baseado em ações intersetoriais e interdisciplinares. Este programa foi formulado como parte da Vigilância em Saúde Ambiental que é parte integrante do Subsistema Nacional de Vigilância em Saúde Ambiental (SINVSA), cabendo à Secretaria de Vigilância em Saúde (SVS), por meio da Coordenação Geral de Vigilância em Saúde ambiental (CGVAM) a estruturação e gestão do sistema. A estruturação da Vigilância em Saúde relacionada à Qualidade do Ar no Brasil possibilita a criação de um programa com ações hierarquizadas e sistêmicas de vigilância da morbidade e da mortalidade relacionada à contaminação atmosférica, com base teórica e conceitual definida e que seja capaz de promover ações de saúde, bem como influenciar setores públicos (municipal, estadual e federal) e privados, em particular o setor ambiental, com o objetivo de evitar que as pessoas adoeçam (VIANNA, *et. al.*,2008).

Em Guaíba, não há nenhum tipo de monitoramento contínuo da qualidade do ar, o que inviabilizava a realização de estudos epidemiológicos para investigar os efeitos da poluição atmosférica sobre a saúde da população, bem como a implementação do VIGIAR, preconizada pelo Ministério da Saúde. Portanto toda ação que possibilite levantar indicadores ambientais e de saúde serão cruciais para a realização de futuros estudos que permitam avaliar localmente o real impacto da poluição atmosférica sobre a saúde humana.

Sendo assim, este trabalho propõe a implantação de um futuro estudo com bioindicadores vegetais no monitoramento da qualidade do ar, no município de Guaíba.

A sugestão é de fazer um estudo, a partir da criação de um projeto piloto para a implantação do monitoramento de qualidade do ar, com a utilização de vegetais bioindicadores (a serem definidos dentro do processo), no município de Guaíba.

As taxas de internação hospitalar e mortalidade por doenças respiratórias, bem como a frota veicular e o considerável número de empresas com atividades potencialmente poluidoras associadas ao fato de que o município de Guaíba não possui nenhum sistema de monitoramento da qualidade do ar, já justificaria a produção deste tipo de trabalho. Além disso, o baixo custo e a futura redução de gastos para saúde pública, com a diminuição das doenças relacionadas aos contaminantes atmosféricos viabilizariam o projeto.

O projeto deve contar com a participação de órgãos responsáveis pela regulação, fiscalização e acompanhamento das questões ambientais, envolvendo os contaminantes atmosféricos: Secretarias Estaduais e Municipais de Saúde, com seus setores técnicos e especialistas das vigilâncias (ambiental, sanitária, epidemiológica), Secretária do meio ambiente, FEPAM inclusive os gestores ambientais e de saúde. A participação dos Conselhos Municipais de Saúde e representações comunitárias, também é de extrema importância no sentido de manter a abordagem interdisciplinar e estimular a intersetorialidade para promover ações mitigadoras que por sua vez possam auxiliar na tomada de decisões para as políticas públicas de saúde e controle das fontes poluidoras.

Assim sendo, a viabilização deste projeto poderá colaborar para o desenvolvimento da educação ambiental, bem como a busca de soluções alternativas mais viáveis para complementar e aperfeiçoar os sistemas de monitoramento da qualidade do ar já existentes.

Por último, gostaríamos de ressaltar que é através destas iniciativas de biomonitoramento que surgirão os verdadeiros avanços em direção da obtenção de ambientes atmosféricos livres de poluentes, garantindo assim um desenvolvimento sustentável juntamente com um ambiente livre de poluição e conseqüentemente mais saúde e qualidade de vida à população.

REFERÊNCIAS

AKSOY, A.; ÖZTÜRK, M.A. **Nerium Oleander L. As A Biomonitor Of Lead and Other Heavy Metal Pollution In Mediterranean Environments.** *The Science of the Total Environment* 205 (1997) 145-150.

ALVES, E. S.; GIUSTI, P.M.; DOMINGOS M.; SALDIVA, P.H.N.; GUIMARÃES, E.T.; LOO, D.J.A. **Estudo Anatômico Foliar do Clone Híbrido 4430 de *Tradescantia*: Alterações Decorrentes da Poluição Aérea Urbana.** *Revista Brasileira Botânica*, São Paulo, V.24,N4 (Suplemento), DEZ. 2001,P 567-576.

ARNDT, U.; SCHWEIGER, B. **The use of Bioindicators for Environmental Monitoring in Tropical and Subtropical Countries.** In: **Biological Monitoring Signals From the Environment** (H. Ellenberg, Ed.). Vieweg, Braunschweig, 1991; P.199-298.

Banco de Dados do Sistema Único de Saúde (DATASUS). Disponível em: <WWW.datasus.gov.br> Acesso em 06/10/09.

BAKONYI, S. M. C.; DANNI-OIVEIRA, I. M.; MARTINS, L. C.; BRAGA, A. L. F. **Poluição Atmosférica e Doenças Respiratórias em Crianças na Cidade de Curitiba, Pr.** *Revista de Saúde Pública*. 2004; 38:695-700.

BENECIO, M. H.D'A.; CARDOSO, M. R. A.; GOUVEIA, N. C.; MONTEIRO, C. A. **Tendência secular da doença respiratória na infância na cidade de São Paulo (1984-1996).** *Revista de Saúde Pública*, 2000;34(6 supl): 91-101.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J.G.L.; BARROS, M.T.L. DE; VERAS JUNIOR, M. S. **O Meio Atmosférico. In- Introdução a Engenharia Ambiental.** São Paulo: Editora Printice Hall, 2002. Cap. 10, P.169-214.

BENNET, J.P. & BUCHEN, M.J. 1995. **Bioleff: Three Databases on Air Pollution Effects on Vegetation.** *Environmental Pollution* 88:262-265

CANÇADO, J. E. D.; BRAGA, A.; PEREIRA, L.A.; ARBEX, M. A.; SALDIVA, P. H. N.; SANTOS, U. DE P. **Repercussões Clínicas da Exposição à Poluição Atmosférica.** *Jornal Brasileiro de Pneumologia*. 2006, (supl 1): S5-S11.

CARNEIRO, R. M. A. **Bioindicadores vegetais de poluição atmosférica: uma contribuição para a saúde da comunidade.** Dissertação (Mestrado), *Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto*, Universidade de São Paulo, 2004.

CARRERAS, H.A.; PIGNATA, M. L.; **Comparison among air pollutants, meteorological Conditions and some chemical parameters in the transplanted lichen *Usnea amblyoclada***. *Environmental Pollution* 111 (2001) 45-52.

CASTRO, J. **Subdesenvolvimento: causa primeira da poluição**. 02 de setembro de 2008 *Eco & Ação: Ecologia e Responsabilidade*. Disponível em: <http://www.uff.br/geographia/rev_08/josue8.pdf> Acesso em 26-08-2009.

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, Secretaria de Estado do Meio Ambiente. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Ar/ar_indice_padroes.asp> Acesso em 18-09-2009.

Código Municipal de Meio Ambiente – Lei Nº 1.730/2002, da Prefeitura Municipal de Guaíba/RS. Disponível em: <http://srv00.tce.rs.gov.br:8081/blm/Municipios_A_ate_L/Guaiba/92-LEI-01730-2002.doc> Acesso em 06/10/2009.

DUCHIADE, M. P. **Air Pollution and Respiratory Diseases: A Review**. *Caderno de Saúde Pública*. Rio de Janeiro, jul/set, 1992, (3): 311-330.

ELLENBERG, H. **Bioindicators and Biological Monitoring**. In **Biological Monitoring. Signals from the Environment** (H. Ellenberg, Ed.). *Vieweg, Braunschweig*, 1991, P.13-127.

ESTEVES, G. R. T.; BARBOSA, S.R. da C. S. DA SILVA, E. P.; ARAÚJO, P. D. **Estimativa dos Efeitos da Poluição Atmosférica sobre a Saúde Humana: Algumas Possibilidades Metodológicas e Teóricas Para a Cidade de São Paulo**. *Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente*. Abril de 2007, V1; n. 3; Artigo 4.

FREITAS, C.; BREMNER, S.; GOUVEIA, N.; PEREIRA, L. A. A.; SALDIVA P. H. N. **Internações e Óbitos e sua Relação Com a Poluição Atmosférica em São Paulo, 1993 A 1997**. *Revista Saúde Pública*, 2004; 38(6): 751-7

GARTY, J., KLOOG, N.; COHEN Y. **Integrity of Lichen Cell Membranes in Relation to Concentration of Airborne Elements**. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* (1998)34, 136–144.

GOMES, C. A.; SERRANO, G. G. P.; JUNIOR, N. M. C.; BARRETO, T. K. **Estudo da relação do número de inalações com a concentração de poluentes medidos pela CETESB em São Paulo**. Universidade de São Paulo (USP) – *Instituto de Física (IF)* 11 de dezembro de 2008.

GOUVEIA, N.; MENDONÇA, G. A. S.; LEON, A. P.; CORREIA, J. E. M.; JUNGER, W. L.; FREITAS, C. U.; DAUMAS, R. P.; MARTINS, L. C.; GIUSSEPE, L.; CONCEIÇÃO, G. M. S.; MANERICH, A.; CUNHA-CRUZ, J. **Poluição do ar e efeitos na saúde nas**

populações de duas grandes metrópoles brasileiras. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, 2003; 12 –(1), pág. 29 – 40.

KNORST, M. M. Poluição Atmosférica E Saúde Humana. In: Zurita, M. L. L. & Toldo, A. M. (Ed.). *A Qualidade do Ar em Porto Alegre. Porto Alegre: Smam. 2000,P.103 .*

KLUMPP, A.; ANSEL, W.; KLUMPP, G.; FOMIN, A. Um Novo Conceito de Monitoramento e Comunicação Ambiental: A Rede Européia para a Avaliação da Qualidade do Ar Usando Plantas Bioindicadoras (Eurobionet). *Revista Brasileira Botânica.* São Paulo,V.24,N4 (supl), DEZ. 2001, P 511-518.

KLUMPP, A. A.; ANSEL,W., KLUMPP, G.; CALATAYUD, V.; GARREC, J. P.; HE, S.; PENUELAS, J.; RIBAS, A.; RO-POULSEN H.; RASMUSSEN, S.; SANZ, M. J.; VERGNE, P. Tradescantia Micronucleus Test Indicates Genotoxic Potential of Traffic Emissions in European Cities. *Environmental Pollution* 139 (2006), 515-522.

LEITE, H. T. C. Aspectos Ambientais de Reformas de Caldeiras. Disponível em: <<http://www.celuloseonline.com.br/imagembank/Docs/DocBank/Eventos/ParteVII.pdf>> Acesso em 18-09-2009.

LOPPI, S. Environmental distribution of mercury and trace elements in the geothermal área of Bagnore. (Mt. Amiata; Italy). *Chemosphere*, 45, (2001), 991-995.

LOVETT,G. M.; TEAR, T. H.; EVERS, D.C., FINDLAY, S.E.G.,; COSBY,B. J., DUNSCOMB, J. K;. DRISCOLL, C. T., WEATHERS, K. C. Effects of Air Pollution on Ecosystems and Biological Diversity in the Eastern United States. *The Year in Ecology And Conservation Biology*, 2009.

MA, T. H. Tradescantia Micronucleus Bioassay and Pólen Tube Chromatic Aberration Test for in Situ Monitoring and Mutagens Screening. *Environ. Health Perspect.* 1981, 37, 85, 90.

MASCARENHAS, M. D. M.; VIEIRA, L. C.; LANZIERI, T. M.; LEAL, A. P. P. R.; DUARTE, A. F.; HATCH, D. L. Poluição atmosférica devida à queima de biomassa florestal e atendimentos de emergência por doença respiratória em Rio Branco, Brasil – setembro de 2005. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*, 2008;34(1):42-46.

MARTINS, L. C.; LATORRE, M. R. D. O.; CARDOSO, M. R. A.; GONÇALVES, F. L. T.; SALDIVA, P. H. N.; BRAGA, A. L. F. Air Polluiton and Emerygency Room Visits due to Pneumonia and Influenza in São Paulo, Brazil. *Rev. Saúde Pública.*2002, 36, 88-24.

MARITNS S. M. A.; KÄFFER M. I.; LEMOS A. Liqueus como Bioindicadores da Qualidade do Ar numa Área de Termoelétrica, Rio Grande do Sul, Brasil. *Hoehnea* 2008, 35(3): 425-433, Tab.2 Fig.2.

NASCIMENTO L.F.C.; PEREIRA L.A.A.; BRAGA A.L.F.; MODOLO M.C.C.; CARVALHO JR J.A. **Efeitos da Poluição Atmosférica na Saúde Infantil em São José dos Campos.** *Sp. Rev. Saúde Pública.* 2006, 40(1):77-82.

NEDEL, R. A. **O Município de Guaíba, sua Política Ambiental de Reciclagem e o Desenvolvimento Sustentável.** Disponível em:
<<http://guaiba.ulbra.tcche.br/pesquisas/2008/artigos/direito/334.pdf>> Acesso em 06/10/2009.

Resolução CONAMA 03/90. Disponível em: < <http://www.lei.adv.br/003-90.htm>> Acessado em 27 -09-2009.

ROSA, A. M.; IGNOTTI, E.; HACON, S. S.; CASTRO, H. A. **Análise das interações por doenças respiratórias em Tangará da Serra – Amazônia Brasileira.** *Jornal Brasileiro de Pneumologia*, 2008, 34(8): 575-582.

RODRIGUES, G.S., MA, T.H., PIMENTEL, D. & WEINSTEIN, L.H. **In Situ Assessment of Pesticide Genotoxicity In an Integrated Pest Management Program I – *Tradescantia* Micronucleus Assay.** *Mutation Reserch* , 1998.412:235-244.

RODRIGUES, G.S. MADKOUR, S.A. & WEINSTEIN, L.H. 1996. **Genotoxic Activity of Ozone in *Tradescantia*.** *Environmental and Experimental Botany* 36:45-50.

SANTOS M. **A Urbanização Brasileira.** 1996, 3ª Ed. São Paulo: Hucitec.

SCERBO, U.; POSSENTI, L.; LAMPUGNANI, L.; RISTORI, T.; BARALE, R.; BARGHIGIANI, C. **Lichen – *Xanthoria parietinal* biomonitoring of trace element contamination and air quality assessment in Livorno Province (Tuscany, Italy).** *The Science of the Total Environment* 241, (1999), 91-106.

ULTRAMARI C, MOURA R. **Metrópole – Grande Curitiba: Teoria e Prática.** 1994, Curitiba: Ipardes.

VIANNA, N. A.; DE ANDRADE, L. R.; SOUZA-MACHADO, A.; SALDIVA, P. H. N. **Uma Proposta de Intersetorialidade para Investigar Poluição Atmosférica e Alergias Respiratórias.** *Gaz. méd. Bahia* 2008;78 (Suplemento 2):86-92

XIÃO, Z.; SOMMAR, J.; LINDQVISTA, O.; GIOULEKA, E. **Atmospheric Mercury Deposition to Grass in Southern Sweden.** *The Science of the Total Environment* 213 (1998) 85-94