

**PROJETOS DE MONITORAMENTO  
DA QUALIDADE DO AR  
EM PORTO ALEGRE**

Prefeitura Municipal de Porto Alegre  
Secretaria Municipal do Meio Ambiente

PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE

José Fortunati  
Prefeito

SECRETARIA MUNICIPAL DO MEIO AMBIENTE

Cláudio Dilda  
Secretário

Sônia Mauriza Vaz Pinto  
Secretária Adjunta

Léo Antônio Bulling  
Supervisor de Praças, Parques e Jardins

Mauro Gomes de Moura  
Supervisor do Meio Ambiente

# PROJETOS DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR EM PORTO ALEGRE

GLÁUBER ZETTLER PINHEIRO  
Coordenador

Porto Alegre, abril 2013

ISBN

Tiragem: 50

Planejamento Gráfico: Gustavo Fussieger de Lima

Impressão: Gráfica Ideograf

Impresso em papel couchê certificado com recursos financeiros do

Fundo Pró-Defesa do Meio Ambiente de Porto Alegre

(Decreto nº 15.679/2007)

Catologação na fonte: bibliotecária da SMAM - Carmem Maria Lapolli  
von Hoonholtz CRB 10ª/473

P853m Porto Alegre. Secretaria Municipal do Meio Ambiente.

Projetos de Monitoramento da Qualidade do Ar em Porto Alegre / coordenado por Gláuber Zettler Pinheiro - Porto Alegre: Secretaria Municipal do Meio Ambiente, 2013.

48p. il. ; 23 cm

1. Poluição do ar - Porto Alegre. 2. Qualidade do ar - Porto Alegre. I. Pinheiro, Gláuber Zettler, Coord. II. Título.

CDU (Edição-Padrão Internacional) 614.7(816.51)

Permitida a reprodução desde que citada a fonte conforme a referência da obra no todo, a seguir:

PINHEIRO, GLÁUBER ZETTLER (Coord.). Projetos de Monitoramento da Qualidade do Ar em Porto Alegre. Porto Alegre: Secretaria Municipal do Meio Ambiente, 2013.

Encaminhado à Biblioteca Nacional para depósito legal – Lei Federal nº 10.194/2004

SECRETARIA MUNICIPAL DO MEIO AMBIENTE (SMAM)  
Av. Carlos Gomes, 2120 – Bairro Três Figueiras CEP: 90480-002  
PORTO ALEGRE, RS Tel.: (51) 3289-7500 e-mail:  
smam@smam.prefpoa.com.br  
site: <http://www.portoalegre.rs.gov.br/smam>

COORDENADOR

**GLÁUBER ZETTLER PINHEIRO** - ENGENHEIRO QUÍMICO, CRQ Nº 13300842, MATRÍCULA Nº 92935-1 - EQUIPE DE CONTROLE E COMBATE À POLUIÇÃO HÍDRICA E ATMOSFÉRICA (ECCPHA), SUPERVISÃO DO MEIO AMBIENTE (SUMAM) - SECRETARIA MUNICIPAL DO MEIO AMBIENTE (SMAM)

AUTORES

**ARMANDO MOLINA DIVAN JUNIOR** - BIÓLOGO, CRB Nº 09265-03D, CENTRO DE ECOLOGIA, UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL (UFRGS)

**DÉRI CALVETE DA ROCHA** - ENGENHEIRA QUÍMICA, CREA Nº 126550

MATRÍCULA Nº 714218, ECCPHA - SUMAM - SMAM

**FABIANO PORTO DA FONTOURA** - ENGENHEIRO QUÍMICO, CREA RS Nº 153545, MATRÍCULA Nº 14661-7, ECCPHA - SUMAM - SMAM

**GLÁUBER ZETTLER PINHEIRO** - ENGENHEIRO QUÍMICO, CRQ Nº

Nº.13300842 MATRÍCULA Nº. 92935-1, ECCPHA - SUMAM - SMAM.

**JAQUELINE LESSA MACIEL** - BIÓLOGA, CRBIO Nº 34254/03D. MATRÍCULA.

Nº15932-6, COORDENADORA DO CENTRO DE EDUCAÇÃO E INFORMAÇÃO AMBIENTAL - SMAM

COLABORADORES

**Aline Czarnobay da Silva** (revisão ortográfica), servidora, matrícula 47401.3, Técnica em Comunicação Social - SMAM

**Aline Scheid Martins** (auxílio na busca de elementos para as referências bibliográficas) estagiária de Engenharia Química matrícula nº. 1082280 - ECCPHA - SUMAM - SMAM

**Carmem M. L. von Hoonholtz** (adequação da publicação de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), bibliotecária CRB 10º/473 - matrícula nº. 09072.7, Equipe de Bibliotecas (EBIB), Centro de Educação e Informação Ambiental (CEIA) - SMAM

**Catarina da Silva Pedrozo** - (Coordenação e assessoria técnica do projeto junto à UFRGS) Bióloga, Professora do Departamento de Ecologia da UFRGS, Coordenadora do Projeto de Extensão junto à Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

**Fernanda Trindade da Silveira** (auxílio nas formatações de gráficos, mapas e tabelas) estagiária de Engenharia Química , matrícula. nº. 1081225 - ECCPHA - SUMAM - SMAM

**Joel Oliveira Lisboa** (auxilio à bibliotecária quanto a consulta de fontes e recursos de pesquisa existentes na EBIB), servidor, matrícula nº 197431, EBIB - CEIA - SMAM

**Maria Teresa Raya-Rodriguez** - (Coordenação e assessoria técnica do projeto junto à UFRGS) Engenheira Química, Docente do PPG-Ecologia da UFRGS e Coordenadora da Linha de Pesquisa em Ecotoxicologia e Bioindicação.

**Mônica Baldauf** (orientações quanto às normas gerais de comunicação da Prefeitura Municipal), servidora, matrícula nº 33638.8, Coordenação de Eventos - SMAM



## SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO .....	9
INTRODUÇÃO.....	11
EDUCAÇÃO AMBIENTAL.....	13
<b>1º PROGRAMA DE BIOMONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR DE PORTO ALEGRE ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DE PSIDIUM CATTLEYANUM (ARAÇÁ).....</b>	<b>15</b>
1.1 INTRODUÇÃO.....	17
1.2 OBJETIVOS.....	18
1.3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	18
1.4 ESTAÇÕES AMOSTRAIS E CONDIÇÕES DE EXPOSIÇÃO.....	19
1.5 METODOLOGIA.....	23
1.6 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	23
1.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	30
REFERÊNCIAS.....	30
GLOSSÁRIO.....	33
<b>2º PROGRAMA DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR DE PORTO ALEGRE.....</b>	<b>37</b>
2.1 INTRODUÇÃO.....	39
2.2 OBJETIVOS.....	39
2.3 PADRÕES DE QUALIDADE.....	40
2.4 PERIGOS À SAÚDE.....	40
2.5 MATERIAIS E MÉTODOS.....	41
2.6 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	41
REFERÊNCIAS.....	45



## APRESENTAÇÃO

Ao apresentar dois projetos de medição dos poluentes atmosféricos, desenvolvidos pela Secretaria Municipal do Meio Ambiente (Smam), esta publicação compila importantes informações sobre a qualidade do ar da capital gaúcha. O estudo da qualidade do ar é fundamental para o planejamento urbano de políticas públicas que promovam o desenvolvimento e a preservação da saúde da população.

Os projetos descritos iniciaram-se em 2007. A técnica de biomonitoramento foi desenvolvida em parceria com a UFRGS, a partir de análises físico químicas em mudas de araquá (*Psidium cattleianum*) pelos pesquisadores do Centro de Ecologia. A utilização do araquá para avaliação dos danos causados por poluentes atmosféricos constituiu-se em uma fonte valiosa de informação para o monitoramento da qualidade do ar, uma vez que as plantas são os organismos mais abundantes no ambiente natural.

O outro projeto descrito refere-se ao monitoramento realizado a partir dos dados fornecidos pelas estações de medição da qualidade do ar, através de analisadores de material particulado, que são partículas muito pequenas compostas desde materiais biológicos como grãos de pólen, a poeira do solo ou resíduos da combustão veicular. A Smam analisou dados de duas estações de monitoramento de material particulado. Um estação está localizada na Avenida Borges de Medeiros esquina, esquina com a Avenida Salgado Filho e a outra situa-se na Avenida Princesa Isabel.

Monitorar a qualidade do ar significa verificar se as concentrações dos poluentes estão atendendo aos padrões estabelecidos pela legislação. No caso de Porto Alegre, os padrões devem atender ao que estipula a Resolução nº 03/1990, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama).

Os projetos apresentados são frutos do trabalho e dedicação dos técnicos envolvidos, especialmente o biólogo ARMANDO MOLINA DIVAN JUNIOR, DA UFRGS, e o engenheiro químico FABIANO PORTO DA FONTOURA, da Smam. Importante também foi a contribuição do Centro de Educação e Informação Ambiental da Smam no processo de sensibilização e informação junto aos alunos e professores das escolas participantes do projeto de biomonitoramento.

Embora a qualidade do ar seja de vital importância, não se debate o tema tanto quanto se fala na qualidade da água, por exemplo. A utilização dos veículos automotores como indústrias individuais do movimento humano constitui-se na maior fonte difusa de poluição atmosférica em áreas urbanas. Diante deste quadro, a publicação reúne conhecimento e um relato dos trabalhos realizado na Secretaria Municipal do Meio Ambiente, almejando iniciar o processo de transformação dessa realidade.

Cláudio Dilda  
Secretário Municipal do Meio Ambiente



## INTRODUÇÃO

Um ser humano normal pode sobreviver muitos dias sem comer, poucos dias sem beber, mas apenas poucos minutos sem respirar. O ar é fundamental para os seres vivos. Assim como comida e água de boa qualidade, os seres humanos e outros organismos necessitam de ar de boa qualidade para o seu perfeito funcionamento e para a manutenção de sua saúde.

O ar que respiramos é uma mistura homogênea de gases, dos quais o nitrogênio, o oxigênio e a água estão presentes em maior percentual (78%, 21% e até 4%, respectivamente). Em condições naturais, o ar contém ainda uma grande quantidade de outros gases em concentrações muito pequenas, dos quais os mais importantes são o argônio (0,934%) e o dióxido de carbono, (0,039%). Estas concentrações estão aumentando gradualmente como resultado da emissão para atmosfera devido a inúmeras atividades humanas.

A alteração indesejável nas características físicas ou químicas da atmosfera provocadas pelo homem e que causam ou possam causar prejuízo à saúde, à sobrevivência ou às atividades dos seres humanos e outras espécies, ou ainda deteriorar materiais, é conhecida como poluição atmosférica. A poluição não altera a composição dos compostos mais abundantes no ar, tais como o oxigênio, o nitrogênio e a água, mas sim a concentração de algumas substâncias que normalmente estão em quantidades muito pequenas no ar, o que torna difícil a medição e, principalmente, visualização por serem também incolores, com exceção da fuligem. Além disso, devido à própria origem da palavra, a poluição é associada com frequência unicamente à aparência visual, porém, muitas vezes, o ar poluído não apresenta nenhuma diferença visível em relação ao ar puro.

A maior parte da poluição do ar origina-se da queima de combustíveis fósseis, gerada, principalmente, para a geração de energia e para o transporte de pessoas e materiais. Cidades como Porto Alegre apresentam grande parte da poluição do ar causada pelo sistema de transporte. Dados reunidos a alguns anos atrás indicavam que o setor de transporte respondia por aproximadamente 60% do consumo final de energia em Porto Alegre, sendo responsável por 68% das emissões de dióxido de carbono, 97% de monóxido de carbono, 77% de hidrocarbonetos e 90% de óxidos de nitrogênio (KNIJNIK, PRUTTI, LOSS, 1994). É muito provável que tais valores já estejam subestimados, tendo em vista que nos últimos anos a frota de veículos cresceu em um ritmo mais veloz que o do número de habitantes da capital, alcançando a proporção atual de um veículo para cada dois habitantes (TRÂNSITO, 2010).

A poluição do ar atinge principalmente os indivíduos mais sensíveis da população, como crianças e os idosos. Os efeitos mais óbvios se manifestam sobre o sistema respiratório, podendo levar à morte por

insuficiência cardio-respiratória. Porém, efeitos menos óbvios podem se manifestar sobre a fertilidade humana. A poluição do ar pode também reduzir a biodiversidade, o crescimento e a colheita de espécies cultivadas, bem como causar danos a edificações e obras de arte.

Embora a qualidade do ar seja tão importante, não é dado ao tema a devida importância. Esta publicação tem por objetivo disponibilizar ao cidadão porto-alegrense dados relativos à qualidade do ar em alguns pontos do município, apresentar programas e projetos desenvolvidos pela Secretaria Municipal do Meio Ambiente, bem como servir de instrumento de fiscalização e de exercício da cidadania participativa em favor da melhoria da qualidade de vida em nossa cidade. Tais projetos têm sido desenvolvidos desde meados do ano de 2007.

## EDUCAÇÃO AMBIENTAL

As questões ambientais e educacionais se dão acerca do resgate da história do desenvolvimento da humanidade. A interferência dos homens no equilíbrio da natureza vem há séculos gerando impactos insustentáveis e desencadeando as problemáticas vivenciadas hoje. Neste contexto, a Educação Ambiental (EA) surge no final dos anos 70, com o objetivo de buscar soluções e caracterizando-se como um processo contínuo e dinâmico, para reinserir o ser humano na natureza e ressaltar a importância de sua atuação como cidadão consciente.

Através da EA buscamos estimular a iniciativa, a cooperação, o senso de responsabilidade e de solidariedade. É fundamental para a EA formar multiplicadores que irão promover a informação e a sensibilização a fim de garantir harmonia e a sustentabilidade nas ações humanas.

Com o passar dos anos, as pessoas atuantes no campo de EA têm percebido a riqueza e a amplitude dos projetos educativos que ajudaram a construir. Hoje se entende que o meio ambiente é muito mais que um objeto de estudo ou um tema tratado como tantos outros. Não se considera a EA apenas como uma ferramenta para resoluções de problemas, mas uma dimensão essencial para a transformação das interações homem/natureza que constituem a base do desenvolvimento humano:

Para tanto, nos projetos realizados pelo Centro de Educação e Informação Ambiental (CEIA) da Secretaria Municipal do Meio Ambiente (SMAM), buscamos:

- a) sensibilizar a população quanto aos problemas ambientais.
- b) formar multiplicadores.
- c) proporcionar Vivências integradoras com a natureza.
- d) inserir a EA na educação formal.
- e) trabalhar as questões ambientais globais através das locais.
- f) reconectar o homem ao ambiente através de uma visão holística.
- g) informar sobre assuntos específicos como ar, água, flora e fauna, principalmente do Município de Porto Alegre.
- h) promover a melhoria da saúde ambiental.

A poluição atmosférica é um problema específico e de grande dano a vida dos seres atingindo as grandes cidades, pois, a baixa qualidade do ar pode causar danos aos seres humanos, plantas e animais que vivem nestas cidades e arredores. Nos seres humanos, esta poluição pode ocasionar problemas referentes ao sistema respiratório, tais como asma, bronquite crônica, infecções nos pulmões, enfisema pulmonar, entre outros. É de fundamental importância que o CEIA seja um veículo de informação e de sensibilização com relação a este tema.

No ano de 2008 o CEIA foi integrante da parceria entre o Centro de Ecologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e a SMAM no projeto de biomonitoramento, que utilizou mudas de araquá na verificação

dos danos causados a esta planta quando exposta à poluição atmosférica.

Foram realizados primeiramente contato com 6 escolas do município de Porto Alegre e as escolas se encarregaram de escolher alguns alunos para participar ativamente deste projeto. Foram realizadas palestras para estes alunos explicando qual seria o papel destes no projeto antes mesmo que chegassem as mudas de araçá. Ao longo do projeto foram realizados encontros com estes alunos e discutidos temas trazidos por eles relacionados à poluição atmosférica.

**1º PROGRAMA DE BIOMONITORAMENTO DA QUALIDADE  
DO AR DE PORTO ALEGRE ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO  
DE PSIDIUM CATTLEYANUM (ARAÇÁ)**



## 1.1 INTRODUÇÃO

A poluição atmosférica nas regiões urbanas, tem aumentado devido, principalmente, ao crescente número de veículos automotores em circulação. A baixa qualidade do ar urbano agrava os problemas relacionados às condições de vida da população, bem como das plantas e dos animais que vivem nas cidades e seus arredores. Por isso, o estudo da qualidade do ar é fundamental para o planejamento urbano e para o estabelecimento de políticas públicas que promovam o desenvolvimento e a preservação da saúde da população.

Poluentes gerados pela combustão em veículos automotores, como os gases dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), partículas sólidas em suspensão, gotículas de óleo expelidas pelos motores e metais são algumas das causas da baixa qualidade do ar nas grandes cidades. Tais poluentes provêm de várias fontes emissoras, alguns emitidos diretamente pelos veículos, outros, como o ozônio (O<sub>3</sub>), formados indiretamente através de reações fotoquímicas destes poluentes na atmosfera.

Na última década do século passado, Knijnik, Protti, Loss (1994) estimaram que na cidade de Porto Alegre, 68% das emissões de CO<sub>2</sub>, 97% de CO, 77% de hidrocarbonetos e 90% de óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) eram decorrentes do sistema de transporte, incluindo automóveis, ônibus e caminhões. Atualmente, segundo dados reunidos pelo Detran e publicados na imprensa regional a frota de veículos em Porto Alegre apresenta uma proporção de um veículo para cada dois habitantes (TRÂNSITO, 2010). Além do sistema de transporte, a indústria, a agricultura e as queimadas também contribuem para a poluição atmosférica das grandes cidades, a qual é agravada pelas condições climáticas.

A poluição do ar causa danos aos seres humanos e demais seres vivos. Porém as plantas, de modo geral, são particularmente sensíveis aos poluentes atmosféricos, pois diferentemente dos animais elas não podem se mover para encontrar locais onde os níveis de poluição sejam mais adequados. Em geral, os poluentes do ar que causam danos às plantas são gases, como o SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> e substâncias oxidantes como o O<sub>3</sub>. O efeito, direto ou indireto, sobre as plantas depende da concentração do poluente e da duração da exposição. Quando expostas durante curtos períodos de tempo a concentrações elevadas de poluentes (exposição aguda), as plantas rapidamente exibem danos extensos, com sintomas exteriormente visíveis: degradação da clorofila levando à descoloração das folhas (clorose), seguida da morte de áreas de tecido e órgãos (necrose), a antecipação da senescência (perda das folhas por abscisão) ou a morte da planta. Já a exposição a concentrações mais baixas durante períodos prolongados de tempo (exposição crônica) induz a

redução no crescimento podendo haver a acumulação dos contaminantes na matéria seca em níveis tóxicos para a planta e aos organismos que dela se alimentam.

A coleta de dados relativos a esses sintomas representa o terceiro sistema de informação no controle da qualidade do ar, em adição aos inventários de emissões e de concentrações ambientais (KLUMPP et al., 2001). Assim, a utilização de plantas para avaliação dos danos causados por poluentes atmosféricos constitui-se em uma fonte valiosa de informação para o monitoramento da qualidade do ar, visto que as plantas, além de imóveis são os organismos mais abundantes no ambiente natural.

Como toda grande cidade, em Porto Alegre, a circulação de veículos constitui-se em uma importante fonte de poluentes atmosféricos e a proximidade das emissões geradas da população torna-se um problema de saúde pública. Neste sentido, a adoção de políticas públicas visando à melhoria da qualidade do ar deve contemplar ações contínuas de monitoramento e requer a efetivação de medidas específicas para que sejam minimizados os efeitos adversos produzidos pela poluição veicular.

## 1.2 OBJETIVOS

Este estudo teve como objetivo mapear a qualidade do ar de Porto Alegre através da utilização de bioindicadores vegetais. Com este trabalho almejou-se tornar possível a definição de áreas prioritárias do município a serem alvo de novos estudos quali-quantitativos dos principais poluentes que afetam estes locais, possibilitando assim a proposição de medidas mitigadoras para cada caso.

## 1.3 MATERIAIS E MÉTODOS

Espécie utilizada e preparo das mudas:

O Araçá (*Psidium cattleianum*) é uma espécie arbórea perenifólia, nativa do Brasil desde Minas Gerais até o Rio Grande do Sul (LORENZI, 2000). Pertencente à família Myrtaceae, a mesma da goiaba, da pitanga e do eucalipto, o araçá apresenta frutos comestíveis apreciados por aves e pela população em geral, sendo bastante utilizada na arborização das ruas de Porto Alegre. A família Myrtaceae conta com várias espécies frutíferas de importância ecológica e econômica em nosso estado, sendo a família botânica mais numerosa, floristicamente, em nosso município (BRACK et al., 1998).

Para realização do biomonitoramento, mudas de araçá, com altura em torno de 40 a 50 cm, foram adquiridas no Jardim Botânico de Porto Alegre (Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul (FZB-RS)). As mudas foram transferidas para vasos com capacidade de três litros, os

quais permaneceram em casa de vegetação por um período aproximado de 20 dias para que as mudas se adaptassem ao transplante, antes de serem expostas nas estações de amostragem.

#### 1.4 ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM E CONDIÇÕES DE EXPOSIÇÃO

As estações de amostragem foram definidas levando-se em consideração a área do município e a pressão antrópica. Para esta finalidade, foi estabelecida uma rede de locais de amostragem, distribuídos nas principais regiões do município que apresentavam maior tráfego de veículos. O quadro 1 apresenta a localização geográfica das estações e o mapa 1 ilustra a localização das estações de amostragem no município de Porto Alegre. Optou-se por estabelecer algumas estações de amostragem junto a Escolas Municipais, para utilizá-las como uma atividade de Educação Ambiental do município e também por medida de segurança visando evitar o vandalismo sobre os equipamentos.

Em cada estação de amostragem foi instalado um suporte em metal contendo um reservatório plástico para água sobre o qual foi disposta uma chapa de isopor com orifícios nos quais foram encaixados três vasos, cada um contendo uma muda de arazá (Foto 1). As mudas foram abastecidas de água por capilaridade através do emprego de segmentos de corda de nylon sedoso passando através de orifícios no fundo dos vasos e em contato com a água do reservatório. As mudas foram expostas nas estações de amostragem por períodos aproximados de três meses.

Quadro 1 - Localização geográfica das estações de amostragem

<b>Estação de amostragem</b>	<b>Localização</b>	<b>Coordenadas geográficas</b>
1.Lami	Beco do Pontal, 50 - Bairro Lami	30°14'12.92" S 51° 5'43.92" O
2.Escola Artur Costa e Silva	Rua Baden Powell, 409 - Bairro Sarandi	29°59'59.64" S 51° 8'16.03" O
3.Escola Ceará	Rua Arnaldo Boher, 98 - Bairro Teresópolis	30° 4' 41,5" S 51° 12' 26,8" O
4.Escola Eliseu Paglioli	Rua Butuí, 221 - Bairro Cristal	30° 5'12.93" S 51°14'16.85" O
5.Escola Lions	Rua Dona Teodora, 1156 - Bairro Humaitá	29°59'35.99" S 51°11'36.58" O
6.Escola Tiradentes	Avenida Coronel Aparício Borges, 2001 - Bairro Glória	30°4'5.32" S 51°11'17.61" O
7.Escola Girafinha	Praça Jayme Telles, 1 - Bairro Santana	30° 2'49.04" S 51°12'24.89" O
8.Hospital Conceição	Avenida Francisco Trein, 596 - Bairro Cristo Redentor	30° 0'57.36" S 51° 9'31.92" O
9.Praça XV	Praça Quinze de Novembro - Bairro Centro	30° 1'40.55" S 51°13'35.97" O
10.Rodoviária	Largo Vespasiano Veppo, s/nº - Bairro Centro	30° 1'22.76" S 51°13'7.98" O
11.Secretaria Municipal do Meio Ambiente (SMAM)	Avenida Carlos Gomes, 2120 - Bairro Três Figueiras	30° 2'14.48" S 51°10'25.96" O
12.Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre (UFCSPA)	Avenida Osvaldo Aranha, 245 - Bairro Bonfim	30° 1'54.03" S 51°13'12.86" O

Mapa 1 - Mapa ilustrativo da localização das estações de biomonitoramento.

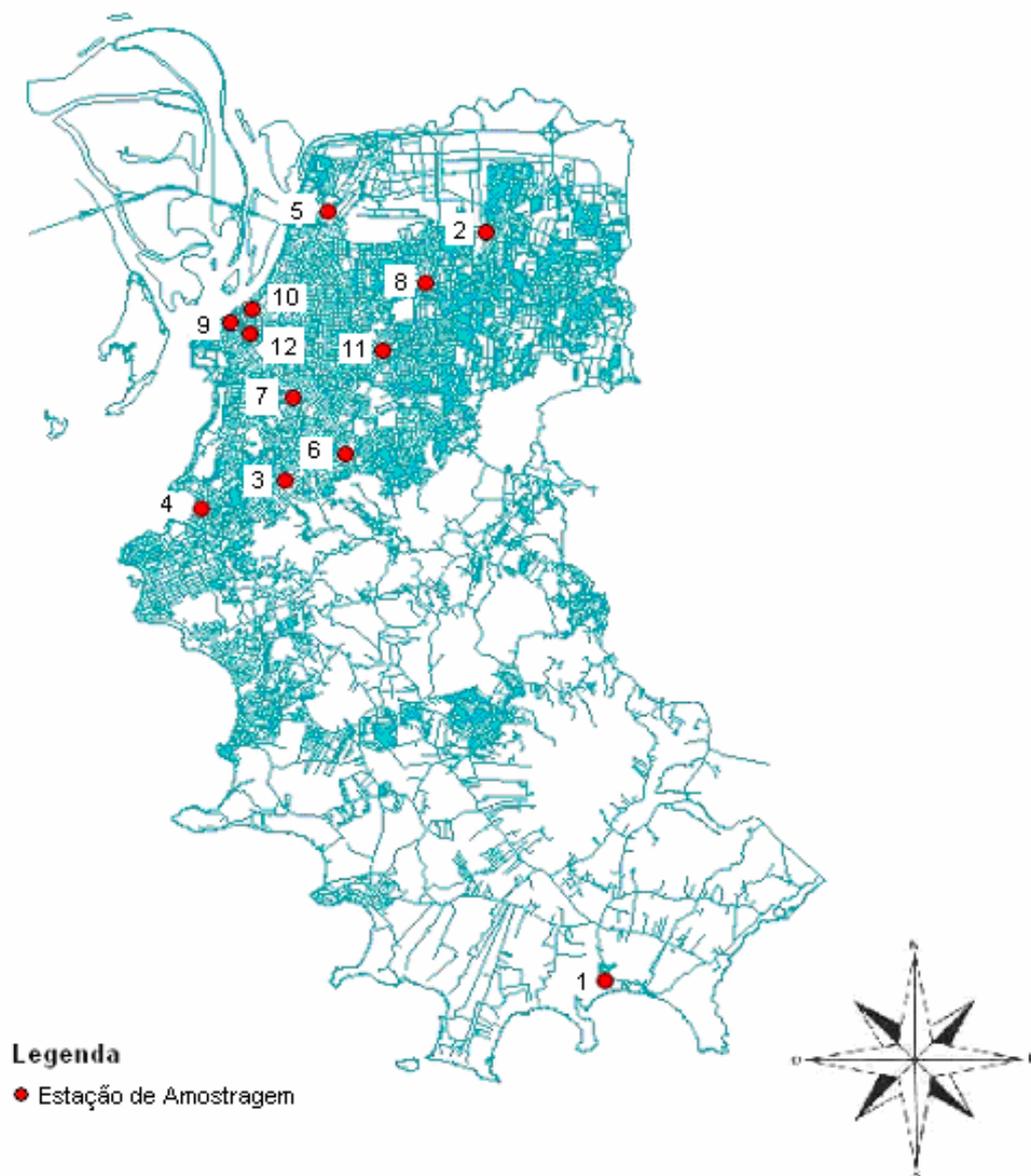


Foto 1 - Detalhe das estações de amostragem para exposição de *Psidium cattleianum*



## 1.5 METODOLOGIA

Após cada período de exposição as folhas das plantas expostas foram examinadas quanto aos seguintes parâmetros indicadores: assimetria foliar, teores de zinco (Zn) e cádmio (Cd) na matéria seca e dano às membranas celulares.

A assimetria flutuante (AF) mede o desvio aleatório da perfeita simetria morfológica bilateral ou radial dos organismos (PALMER, STROBECK, 1986), a qual pode desviar-se consideravelmente da condição ideal em organismos sujeitos a situações de estresse (ZVEREVA, KOZOLOV, HAUKIOJA, 1997; KOZLOV, 2002). As medições das folhas foram realizadas até 48 horas após a coleta das plantas, utilizando-se uma régua com precisão de 0,5 mm.

Os teores dos metais zinco e cádmio acumulados nas folhas foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica após digestão ácida (EPA 3052, 1996) de amostras pulverizadas de folhas após desidratação por um período mínimo de 72 horas em estufa a 60°C.

O grau de peroxidação de lipídios de membrana (danos às membranas celulares) foi estimado pela formação de malondialdeído, o qual é determinado pela reação com ácido tiobarbitúrico e conhecido como ensaio de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico. Este ensaio é um indicador de estresse oxidativo resultante da exposição a substâncias oxidantes (CAREGNATO et al., 2010).

## 1.6 RESULTADOS & DISCUSSÕES

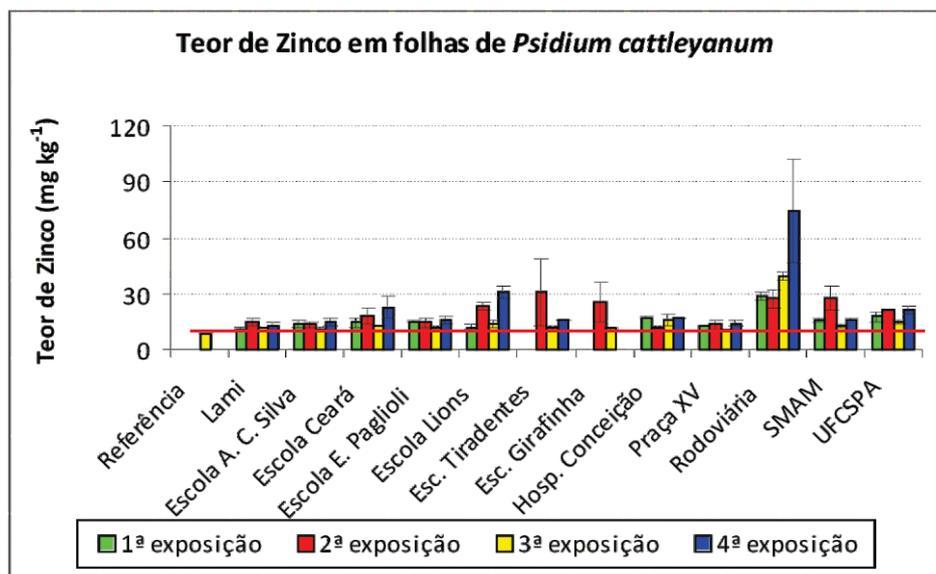
O teor de zinco e de cádmio em folhas de araquá antes da exposição das plantas nas estações de amostragem foi representado nos gráficos 1 e 2, respectivamente, pela coluna denominada Referência. Em todas as estações de amostragem, o teor de zinco nas folhas de araquá foi maior que o teor de referência, indicando que houve um aumento do teor desse metal nas folhas pela exposição das plantas no meio urbano (Gráfico 1).

Embora tenham sido encontradas diferenças no acúmulo de zinco nas folhas entre os períodos de exposição e entre as estações de amostragem, em todos os períodos os maiores valores foram encontrados na estação de amostragem RODOVIÁRIA. Nas estações de amostragem LAMI, ESCOLAA. C. SILVA, ESCOLA ELISEU PAGLIOLI e PRAÇA XV os teores de zinco foram levemente superiores ao de referência, apresentando pouca variação entre os períodos de exposição.

Em comparação ao zinco, os teores de cádmio nas folhas de araquá apresentaram uma maior variabilidade entre os períodos de exposição e as estações de amostragem (Gráfico 2). Entretanto, também para o cádmio presente nas folhas de araquá, as estações de amostragem LAMI e ESCOLA A. C. SILVA apresentaram os valores mais próximos aqueles encontrados nas amostras de referência, isto é, foram as

estações de amostragem nas quais as plantas acumularam menor quantidade desse metal durante o período de exposição das mesmas nesses locais.

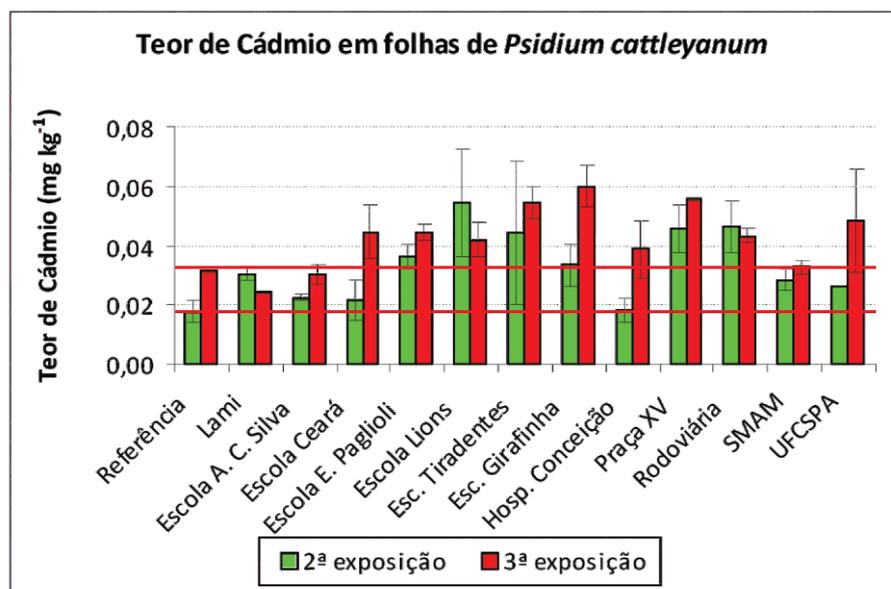
Gráfico 1 - Teor de zinco em folhas de *Psidium cattleianum* expostas em diferentes locais do município de Porto Alegre, RS.



Nota: A linha vermelha indica o teor de referência para essas amostras, isto é, o teor de zinco nas folhas desses exemplares antes da exposição nas estações de amostragem.

Os metais na atmosfera, de origem natural ou antrópica, estão associados principalmente com o material particulado, com exceção do mercúrio, que ocorre predominantemente na forma gasosa. Estes elementos estão adsorvidos a particulados, inorgânicos e orgânicos, com diâmetros, principalmente, entre 0,01 µm a 100 µm (KABATA-PENDIAS, MUKHERJEE, 2007).

Gráfico 2 – Teor de cádmio em folhas de *Psidium cattleyanum* expostas em diferentes locais do município de Porto Alegre, RS.



Nota: As linhas vermelhas indicam os teor de referências para essas amostras, isto é, os teor de cádmio nas folhas desses exemplares antes da exposição nas estações de amostragem em cada uma das exposições.

No meio urbano, o sistema de transporte é uma fonte importante de metais para o ambiente, visto que os veículos automotores são fontes de emissão de metais pesados através dos gases de escapamento, pelo sistema de frenagem, pelo desgaste de pneumáticos, pela corrosão dos veículos e devido a lubrificantes e combustíveis (MÜNCH, 1993). O desgaste dos pneus é uma importante fonte de emissão de cádmio e zinco, enquanto o gases de escape, o sistema de freios e os lubrificantes e combustíveis contribuem para a emissão de zinco, dentre outros metais.

A maior quantidade de zinco nas plantas em comparação ao cádmio, decorre de sua essencialidade para as plantas. O zinco é um nutriente requerido pelas plantas em pequenas concentrações, por isso denominado micronutriente (TAIZ, ZEIGER, 2012). Enquanto o cádmio não parece ter nenhum papel conhecido no metabolismo (BENAVIDES, 2005). Porém, acima de uma determinada concentração ambos podem ser tóxicos para as plantas e demais organismos (KABATA-PENDIAS, MUKHERJEE, 2007).

Além das emissões veiculares, o Zn apresenta outras fontes de emissão, como a indústria siderúrgica e a queima de carvão e de resíduos hospitalares. Todos essas modalidades de emissão estão presentes na região metropolitana de Porto Alegre. Assim, segundo BRAGA et al.(2005)

em um estudo para avaliar a composição elementar e a origem do material particulado menor do que 10  $\mu\text{m}$  (PM10) e menor do que 2,5  $\mu\text{m}$  (PM2,5) na região metropolitana de Porto Alegre, o Zn foi o elemento metálico com maior fator de enriquecimento no particulado devido a ocorrência dessas várias fontes emissoras.

A chuva é um processo importante de remoção de gases poluentes e dos elementos associados com o material particulado. Através da taxa de deposição ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ) pode-se estimar a contribuição da precipitação para a entrada de elementos no ambiente. Em um estudo para caracterização da precipitação da região metropolitana de Porto Alegre, ferro, mangânes e zinco apresentaram as maiores taxas de deposição, com o Zn exibindo valores na faixa entre 65 a 130  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$  (MIGLIAVACCA et al., 2009).

É importante salientar, que nos teores de metais nas folhas de araquá apresentados acima, nem todo o metal estava acumulado nas folhas. Uma fração, tanto do Zn como do Cd, pode ter sido depositada sobre as folhas na forma de material particulado, visto que as folhas não foram lavadas antes da análise. Os metais associados ao material particulado depositado sobre as folhas podem ser absorvidos pelas plantas diretamente pelas folhas (KABATA-PENDIAS, MUKHERJEE, 2007), mas uma fração destes pode ser removida pela chuva e depositada no solo em volta da planta, possibilitando sua absorção pelas raízes. Sob condições específicas, e especialmente com poluição atmosférica, uma elevada proporção de metais podem ser absorvidos pelos tecidos das plantas. Segundo outros autores, citados em Kabata-Pendias, Mukherjee (2007), entre 73 e 95% do conteúdo total de chumbo de culturas agrícolas provém do metal depositado sobre a superfície das folhas. Além disso, os metais emitidos pelas atividades antrópicas apresentam-se em formas mais solúveis (CHESTER et al., 1993) e, portanto, mais biodisponíveis, isto é, mais facilmente assimiláveis pelos seres vivos.

Devido a reterem as partículas de poeira e fuligem transportadas pelo ar, as folhas são bastante adequadas para o uso no monitoramento com propósitos de proteção à saúde. Dessa maneira, Monaci et al. (2000) utilizaram folhas de carvalho (*Quercus ilex*) para identificar metais marcadores das emissões veiculares na cidade de Florença na Itália. Segundo esses autores, atualmente, o bário (Ba) e o zinco são, os principais poluentes metálicos emitidos pelos veículos automotores. Segundo os autores (SANT' ANNA, RINALDI, DOMINGOS, 2004) utilizaram o teor foliar de metais acumulados em plantas para estabelecer classes de níveis de poluição para a cidade de São Paulo (Quadro 2). Para este fim, os autores utilizaram uma cultivar de azevém (*Lolium multiflorum*), espécie de gramínea bastante utilizada em nosso estado como forrageira. O método da cultura de gramíneas (Grasskultur, em alemão) utilizando a cultivar 'Lema' utilizada neste estudo foi padronizada

pela Associação de Engenheiros Alemães (Verein Deutscher Ingenieure) para o estudo da acumulação de metais devida à poluição atmosférica. A comparação entre os teores encontrados nos dois estudos deve ser vista com cautela, por tratarem-se de espécies diferentes e com formas de crescimento diferentes. Entretanto, a ordem de grandeza dos valores encontrados foi similar, assim, como foram similares os valores encontrados neste estudo e aqueles encontrados por Monaci et al. (2000) em folhas de carvalho.

Quadro 2 Classes de níveis de poluição estabelecidos por meio da concentração foliar de zinco em folhas de *L. multiflorum* cv. Lema (adaptado de SANT'ANNA, RINALDI, DOMINGOS, 2004).

<b>Zn (<math>\mu\text{g g}^{-1}</math>)</b>	<b>Nível de poluição</b>
$x < 64,35$	Baixo
$64,35 < x < 106,17$	Médio
$106,17 < x < 147,99$	Alto
$x > 147,99$	Muito alto

Outro problema preocupante da poluição atmosférica em áreas urbanas é causado por substâncias oxidantes resultantes de reações fotoquímicas na atmosfera. Entre estas, o O<sub>3</sub> e o NO<sub>2</sub> são capazes de produzir efeitos adversos na saúde humana e ao ambiente (TEIXEIRA et al., 2009; BORREGO et al., 2010). O interesse nos efeitos do O<sub>3</sub> tem aumentado nas últimas décadas em razão do crescimento de suas concentrações em escala global (CAREGNATO et al., 2010). Os ácidos graxos poli-insaturados das membranas celulares são os alvos primários da ação do O<sub>3</sub>, o qual estimula a peroxidação lipídica e altera as propriedades seletivas da membrana celular (CAREGNATO et al., 2010). O NO<sub>2</sub> também pode levar ao aumento da peroxidação lipídica, como demonstrado em *P. cattleyanum* por Perry (2007).

O dano lipídico às membranas celulares nas folhas de araçá apresentou variações maiores entre os períodos de exposição do que propriamente entre as estações de amostragem (Quadro 3). Na primeira exposição, o valor para a estação de amostragem LAMI foi maior do que o das outras estações de amostragem, resultado similar aquele encontrado para a assimetria foliar. O terceiro período de exposição foi o que apresentou os maiores valores para o dano lipídico, sendo que as estações de amostragem ESCOLA CEARÁ, ESCOLA LIONS, ESCOLA TIRADENTES, HOSPITAL CONCEIÇÃO e SMAM foram as que apresentaram os maiores valores para esse parâmetro de medição.

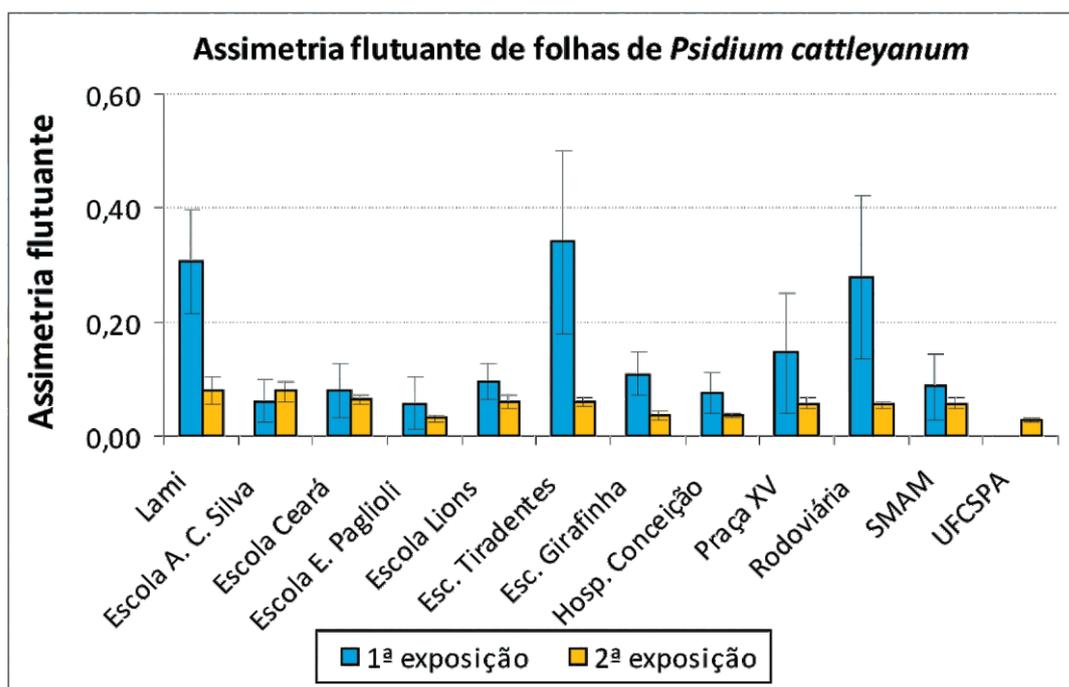
A estação de amostragem de referência (LAMI) apresentou os menores valores para o dano lipídico em três das quatro exposições realizadas. Porém, na primeira exposição, o valor deste parâmetro para as plantas expostas foi o mais alto, equivalendo aos valores mais altos apresentados pelas plantas de outras estações de amostragem nos demais períodos de amostragem. Este resultado é, aparentemente, anômalo, pois a escolha deste ponto como estação de referência, foi devido a maior distância do centro da cidade, ao impacto reduzido do trânsito de veículos e a direção oposta aos dos ventos predominantes que sopram do quadrante sudeste, e que poderiam trazer as emissões de Porto Alegre a maior distância, caso a estação estivesse situada na direção do vento. Não se pode descartar um eventual erro experimental, uma vez que as plantas nessa estação, em mais de uma ocasião, foram severamente atacadas por formigas cortadeiras.

A assimetria foliar apresentou uma grande variação entre os dois períodos amostrados nos quais foram tomados dados desse parâmetro, sendo que no primeiro período de exposição as plantas das estações de amostragem LAMI, ESCOLA TIRADENTES e RODOVIÁRIA apresentaram os maiores valores (Gráfico 3). No segundo período de exposição as diferenças na assimetria foliar entre as plantas das diferentes estações de amostragem não foram tão perceptíveis quanto o primeiro período de exposição. Embora, a assimetria foliar seja um parâmetro bastante sensível aos efeitos do estresse a que as plantas estão submetidas devido à poluição em geral, ela também é influenciada pela ação de herbívoros, os quais podem alterar significativamente a forma da folha. Dessa maneira, devido a não terem sido tomadas medidas para evitar a ação de pragas e a baixa qualidade das mudas obtidas, os dados referentes à assimetria foliar foram bastante prejudicados e podem não representar uma tendência relacionada a condições de estresse associadas a poluição ambiental e sim às condições fitossanitárias a que as plantas estiveram submetidas antes da exposição das mesmas nas estações de amostragem.

Quadro 3 - Dano lipídico em folhas de *Psidium cattleianum* expostas em diferentes locais do Município de Porto Alegre, RS.

Estações de Amostragem	nmol MDA g <sup>-1</sup> peso fresco			
	1ª Exposição	2ª Exposição	3ª Exposição	4ª Exposição
1.Lami	25,5 ± 5,79	4,99 ± 0,51	10,8 ± 1,21	4,58 ± -
2.Escola Artur da Costa e Silva	11,0 ± 2,09	6,11 ± 0,75	-	5,95 ± 0,10
3.Escola Ceará	11,7 ± 0,53	4,79 ± 1,29	17,8 ± 3,34	7,53 ± 2,17
4.Escola Eliseu Paglioli	11,1 ± 2,30	12,0 ± 2,91	-	8,21 ± 0,67
5.Escola Lions	8,63 ± 2,29	9,80 ± 0,88	17,5 ± 1,07	9,30 ± 1,67
6.Escola Tiradentes	-	7,18 ± 0,16	25,9 ± 8,76	4,73 ± 0,80
7.Escola Girafinha	-	8,14 ± 2,49	-	8,71 ± 1,51
8.Hospital Conceição	12,2 ± 6,07	7,11 ± 1,55	24,5 ± 7,90	7,72 ± 2,53
9.Praça XV	8,16 ± 3,40	6,03 ± 0,26	11,4 ± 2,08	11,5 ± 2,26
10.Rodoviária	8,28 ± 8,21	7,41 ± 1,40	13,2 ± 4,55	9,73 ± 1,52
11.Secretaria Municipal do Meio Ambiente ( SMAM)	17,2 ± 2,08	7,44 ± 0,40	24,0 ± 12,6	9,56 ± 3,45
12.Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre ( UFCSPA)	4,80 ± 0,73	-	16,5 ± 6,97	10,5 ± 5,73

Gráfico 3 - Assimetria flutuante de folhas de *Psidium cattleianum* expostas em diferentes locais do Município de Porto Alegre, RS.



## 1.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora não se possa afirmar que as concentrações de cádmio e zinco encontradas nas folhas de *Psidium cattleianum* sejam prejudiciais a esta espécie ou mesmo, indiretamente, possam trazer risco ao ser humano nos locais onde as plantas de araçá foram expostas é necessário que haja continuidade de estudos como esse para que se possa corroborar ou contradizer tal hipótese, bem como para que se possa compreender sua distribuição no ambiente urbano, bem como seus aspectos toxicológicos no ambiente e especificamente no ser humano.

## REFERÊNCIAS

BENAVIDES, M. P.; GALLEGOS, S. M.; TOMARO, M. L. Cadmium toxicity in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, Londrina, v. 17, n. 1, p.21-34, jan./mar.2005.

BORREGO, C. et al. Modelling the photochemical pollution over the metropolitan area of Porto Alegre, Brazil. *Atmospheric Environment*, Oxford, v. 44, n. 3, p.370-380, Jan.2010.

BRACK, Paulo et al. Árvores e arbustos na vegetação natural de Porto Alegre. *Iheringia: Série Botânica*, Porto Alegre, v. 51, p.139-166, 1998.

BRAGA, C. F. et al. Elemental composition of PM10 and PM2.5 in urban environment in South Brazil. *Atmospheric Environment*, Oxford, v. 39, n. 10, p.1801–1815, March 2005.

CAREGNATO, Fernanda F. et al. Ozone exposure differentially affects oxidative stress parameters in distinct *Phaseolus vulgaris* L. varieties. *Journal of Plant Interactions*, v. 5, n. 2, p.111-115, March 2010. Disponível em:<<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/17429140903518455#preview>>

CHESTER, R. et al. Factors controlling the solubilities of trace metals from non-remote aerosols deposited to the sea surface by the 'dry' deposition mode. *Marine Chemistry*, Liverpool, v. 42, n. 2, p.107-126, April 1993.

EPA. Method 3052: Microwave assisted acid digestion of siliceous and organically based matrices. Washington, [s.n.], 1996. Disponível em:<<http://www.epa.gov/wastes/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3052.pdf>>

KABATA-PENDIAS, Alina; MUKHERJEE, Arun B. Trace elements from Soil to Human. Berlin: Springer-Verlag, 2007.

KLUMPP, Andreas et al. Um novo conceito de monitoramento e comunicação ambiental: a rede européia para a avaliação da qualidade do ar usando plantas bioindicadoras (EuroBionet). Revista Brasileira de Botânica, São Paulo, v. 24, n. 4, p. 511-518, dez.2001. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-84042001000500005](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-84042001000500005)>

KNIJNIK, Roberto; PROTTI, Rosa Maria; LOSS, José Enoir. Balanço Energético de Porto Alegre e sua Região Metropolitana: Aspectos Sócio-Econômicos e Ambientais. In: KNIJNIK, Roberto (Org.). Energia e Meio Ambiente em Porto Alegre – Bases para o Desenvolvimento. Porto Alegre: DMAE, 1994. p. 75-79.

KOZLOV, Mikhail V.; NIEMELÄ, Pekka; JUNTILA, Johanna. Needle fluctuating asymmetry is a sensitive indicator of pollution impact on Scots pine (*Pinus sylvestris*). Ecological Indicators, v. 1, n. 4. p. 271-277, Aug.2002.

LORENZI, Harri. Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 3. ed. Nova Odessa: Plantarum, 2000. v.1.

MIGLIAVACCA, Daniela M. et al. Characterization of wet precipitation by X-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscopy (SEM) in the metropolitan area of Porto Alegre, Brazil. Journal of Hazardous Materials, v. 171, n. 1/3. p. 230–240, Nov.2009.

MONACI, F. et al. Biomonitoring of airborne metals in urban environments: new tracers of vehicle emission, in place of lead. Environmental Pollution, n. 107, 321-327, 2000

MÜNCH, D. Concentration profiles of arsenic, cadmium, chromium, copper, lead, mercury, nickel, zinc, vanadium and polynuclear aromatic hydrocarbons (PAH) in forest soil beside an urban road. The Science of the Total Environment, Umweltschutz, v. 138, n. 1/3. p. 47-55, Sept.30, 1993.

PALMER, A. Richard; STROBECK, C. Fluctuating asymmetry: measurement, analysis, patterns. Annual Review of Ecology and Systematics, v. 17: 391-421, 1986.

PERRY, Carolina T. Avaliação do potencial bioindicador de *Psidium guajava* e *Psidium cattleianum* para avaliação da qualidade do ar em área industrial. 2007. 67 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Biociências, Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/10968/000601773.pdf?sequence=1>>

SANT'ANNA, Silvia Maria R.; RINALDI, Mirian Cilene S.; DOMINGOS, Marisa. Biomonitoring of air pollution in São Paulo city (Brazil) with *Lolium multiflorum* ssp. *italicum* "Lema" In: KLUMPP, Andreas; ANSEL, Wolfgang;

KLUMPP, Gabriele (Eds.) Urban Air Pollution, Bioindication and Environmental Awareness. Göttingen: Cuvillier Verlag, 2004. p. 303-308.

TAIZ, Lincoln; ZEIGER, Eduardo. Fisiologia Vegetal. Tradução Armando Molina Divan Junior [et al.]. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2012.

TEIXEIRA, Elba C. et al. Measurement of surface ozone and its precursors in an urban area in South Brazil. *Atmospheric Environment*, Oxford, v. 43, n. 13. p. 2213–2220, April 2009.

TRÂNSITO da Capital está saturado. *Correio do Povo*, Porto Alegre, 11 agosto 2010. Capa, p. 1. Disponível em: <<http://www.correiodopovo.com.br/Noticias/?Noticia=181024>>

ZVEREVA, Elena L.; KOZLOV, Mikhail V.; HAUKIOJA, Erkki. Stress responses of *Salix borealis* to pollution and defoliation. *Journal of Applied Ecology*, London, v. 34, n. 6. p. 1387-1396, Dec. 1997.

## GLOSSÁRIO

**Abscisão:** queda das folhas, flores e frutos da planta viva através de um processo de diferenciação de células específicas do pecíolo que permite ao órgão senescente/morto se separar da planta.

**Bioindicador:** organismo cuja presença, ausência, aspecto externo ou características como o acúmulo de contaminantes ou os efeitos desses sobre determinadas propriedades do organismo podem ser usadas para indicar a qualidade de um determinado ambiente onde esse organismo está presente ou que tenha sido colocado por um período de tempo suficiente para tais efeitos se manifestem de modo a poderem ser quantificados.

**Biomonitoramento:** monitoramento ambiental utilizando organismos vivos ou bioindicadores.

**Camada de ozônio:** região situada entre 20 e 25 km de altitude na estratosfera onde a concentração de ozônio atinge um máximo devido às reações químicas que ocorrem nessa região após a radiação ultravioleta, componente altamente energética da radiação solar, atingindo as moléculas de oxigênio da atmosfera terrestre.

**Cultivar:** qualquer variedade de planta produzida por meio de técnicas de cultivo, normalmente não encontrada em estado silvestre.

**Emissões:** mistura de gases e partículas muito finas emitidas por uma fonte pontual, móvel ou difusa.

**Estratosfera:** camada da atmosfera situada imediatamente acima da troposfera e separada desta pela tropopausa. Atinge até 50 km de altitude. Na estratosfera a temperatura sobe com a altitude chegando ao máximo na camada de ozônio quando novamente a temperatura decresce com a altitude.

**Fator de enriquecimento:** razão entre os teores de um elemento em uma amostra e em um material de referência, normalizados com base nos teores de alumínio, silício ou sódio, cuja presença no ambiente é predominantemente por causas naturais. O fator de enriquecimento fornece informações sobre a origem do elemento, assim, elementos com um fator de enriquecimento próximo a unidade tem um forte componente natural, enquanto que elementos com fator de enriquecimento maiores do que a unidade geralmente são de origem antrópica.

**Fonte emissora:** as fontes emissoras podem ser classificadas como pontuais quando apresentam um grande volume de emissões atmosféricas concentradas em um único ponto como uma indústria, refinaria ou termoeletrica. As fontes móveis referem-se as fontes veiculares relacionadas aos meios de transporte e as fontes área ou

difusas aquelas fontes que pequenas quando tomadas individualmente tornam-se consideráveis quando tomadas em conjunto como postos de gasolina, etc.

**Material particulado:** partículas muito pequenas compostas desde materiais biológicos como grãos de pólen, a poeira do solo ou resíduos da combustão veicular. Apresenta diferentes frações, em geral classificadas segundo o diâmetro das partículas e que apresentam diferentes propriedades. As partículas maiores (acima de  $10\ \mu\text{m}$  – 1 micrômetro ( $\mu\text{m}$ ) corresponde à milionésima parte do metro) depositam-se junto às fontes emissoras. As partículas menores do que  $10\ \mu\text{m}$  mantêm-se em suspensão no ar por mais tempo podendo ser inaladas durante a respiração, porém são retidas nas vias aéreas superiores. Já as partículas menores do que  $2,5\ \mu\text{m}$  alcançam os alvéolos pulmonares podendo ser um meio de transporte de metais pesados para o interior dos pulmões.

**Monitoramento:** acompanhamento periódico ou contínuo das propriedades físicas, químicas e biológicas de ambiente com o objetivo de avaliar tendências mediante a comparação com as normas estabelecidas na legislação ambiental ou pelo conhecimento científico atual.

**Oxidante:** substância que ao participar de uma reação química se reduz, isto é, perde elétrons, provocando a oxidação de outra substância, que por sua vez, ganha elétrons.

**Ozônio:** gás levemente azulado, altamente reativo, oxidante forte e irritante das mucosas respiratórias, formado por três átomos de oxigênio. Sua presença na atmosfera pode ser devida tanto a fenômenos naturais como à poluição atmosférica.

**Ozônio troposférico:** ozônio presente na troposfera, o qual pode ter origem natural proveniente de fenômenos como incêndios na vegetação e de reações fotoquímicas entre compostos orgânicos voláteis emitidos pelas plantas ou intensificado por reações entre compostos provenientes da queima de combustíveis fósseis pelas atividades humanas.

**Perenifólia:** que tem folhas perenes, persistentes durante todo o ano, desenvolvendo novas folhas em todas as estações. Contrasta com as plantas que têm folhas caducas (caducifólias) as quais perdem suas folhas nas estações frias ou secas.

**Precipitação:** todos os processos meteorológicos como chuva, nevoeiro, neve, granizo são formas de precipitação. A deposição por via úmida, ou simplesmente, deposição úmida é um sinônimo de precipitação, a qual se distingue da deposição por via seca.

**Poluição:** dentre outras possíveis definições, poluição pode ser definida como a alteração indesejável ocasionada pela atividade humana nas

características físicas, químicas ou biológicas da atmosfera, litosfera ou hidrosfera que cause ou possa causar prejuízo à saúde, à sobrevivência ou às atividades dos seres humanos e outras espécies ou ainda deteriorar materiais.

**Troposfera:** camada da atmosfera situada imediatamente acima da superfície terrestre, alcançando até 17 km de altitude no equador e 7 km nos polos. Na troposfera, a temperatura diminui à medida que nos afastamos da superfície terrestre. A palavra troposfera provém do grego tropos (movimento, girar) por ser a camada onde ocorrem a movimentação das massas de ar e os fenômenos relacionados ao clima.



**2º PROGRAMA DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE  
DO AR DE PORTO ALEGRE**



## 2.1 INTRODUÇÃO

Monitorar a qualidade do ar significa verificar se as concentrações dos poluentes nele presentes estão atendendo os padrões estabelecidos pela legislação. A Secretaria Municipal do Meio Ambiente de Porto Alegre monitora em suas duas estações o poluente denominado material particulado. Sob a denominação geral de material particulado encontra-se um conjunto de poluentes constituídos de poeiras, fumaças e todo tipo de material sólido e líquido que se mantém suspenso na atmosfera por causa de seu pequeno tamanho. As principais fontes de emissão de particulado para a atmosfera são: veículos automotores, processos industriais, queima de biomassa, ressuspensão de poeira do solo, entre outros. O material particulado pode também se formar na atmosfera a partir de gases como dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e compostos orgânicos voláteis (COVs), que são emitidos principalmente em atividades de combustão, transformando-se em partículas como resultado de reações químicas no ar.

O tamanho das partículas está diretamente associado ao seu potencial para causar problemas à saúde, sendo que, quanto menores, maiores os efeitos provocados. O material particulado pode também reduzir a visibilidade na atmosfera.

O material particulado pode ser classificado como:

a) Partículas Totais em Suspensão (PTS), que podem ser definidas de maneira simplificada como aquelas cujo diâmetro aerodinâmico é menor que 50 µm. Uma parte destas partículas é inalável e pode causar problemas à saúde, outra parte pode afetar desfavoravelmente a qualidade de vida da população, interferindo nas condições estéticas do ambiente e prejudicando as atividades normais da comunidade.

b) Partículas Inaláveis (PM<sub>10</sub>) Podem ser definidas de maneira simplificada como aquelas cujo diâmetro aerodinâmico é menor que 10 µm. As partículas inaláveis podem ainda ser classificadas como partículas inaláveis finas – MP<sub>2,5</sub> (<2,5µm) e partículas inaláveis grossas (2,5 a 10µm). As partículas finas, devido ao seu tamanho diminuto, podem atingir os alvéolos pulmonares, já as grossas ficam retidas na parte superior do sistema respiratório.

## 2.2 OBJETIVOS

O objetivo do Programa de Monitoramento da Qualidade do Ar é verificar continuamente a concentração de partículas inaláveis, MP<sub>10</sub>, nas proximidades das estações. Os pontos escolhidos são considerados pontos críticos em termos de circulação de veículos e por isto fazemos o monitoramento nestes locais. As estações que a SMAM possui são classificadas como sendo de abrangência local, ou seja, a representatividade das medições abrange um raio aproximado de 100

metros a partir da estação.

Monitorando continuamente a concentração de partículas inaláveis na atmosfera a SMAM tem condições de constatar episódios críticos de poluição, podendo estabelecer níveis de atenção, alerta ou emergência, conforme critério fixados pela Resolução CONAMA nº 03/1990. Atualmente nossas estações também auxiliam nas pesquisas realizadas por diversas entidades, como por exemplo, Universidades, a respeito do mesmo tema.

## 2.3 PADRÕES DE QUALIDADE

Conforme o artigo 1º da Resolução CONAMA nº 03/1990, são padrões de qualidade do ar as concentrações de poluentes atmosféricos que, ultrapassadas poderão afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, bem como ocasionar danos à flora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral.

São apresentados nesta Resolução alguns conceitos importantes:

a) padrões primários: são as concentrações de poluentes que, ultrapassadas poderão afetar a saúde da população.

b) padrões secundários: São as concentrações de poluentes abaixo das quais se prevê o mínimo de efeito adverso sobre o bem-estar da população, assim como o mínimo dano à fauna, à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral.

No Brasil, para o material particulado, PM<sub>10</sub>, essa Resolução estabelece como valores máximos desejáveis dois padrões: concentração média aritmética anual máxima de 50 µg/m<sup>3</sup> de ar e também a concentração média de vinte e quatro horas no valor máximo de 150 µg/m<sup>3</sup>, que não deve ser excedido mais de uma vez por ano.

No plano internacional, outros parâmetros somam-se aos presentes na Resolução 03/1990, como por exemplo, o PM<sub>2,5</sub>, chamado de Partículas Inaláveis Finas. É interessante ressaltar as diferenças entre os padrões. A Organização Mundial da Saúde (OMS) estabelece como padrão para PM<sub>10</sub> uma média aritmética anual de 20 µg/m<sup>3</sup> e média diária de 50 µg/m<sup>3</sup>, que não pode ser excedida mais que uma vez ao ano. Os países do bloco europeu seguem os padrões da OMS enquanto que os EUA utilizam os mesmos padrões para PM<sub>10</sub> que adotamos no Brasil (LINDAU, KRAHL, 2011).

## 2.4 PERIGOS A SAÚDE

Na atmosfera, em qualquer ar por mais limpo que seja, existe material particulado. São partículas de diversos tamanhos: se muito grandes caem logo ao solo pela força da gravidade, se menores flutuam no ar e podem ser inalados pelos seres vivos. No homem essas são retidas nas vias respiratórias superiores pelo aparelho mucociliar, porém,

algumas partículas muito pequenas (menores do que 10 micrômetros), penetram até a intimidade do pulmão e depositam-se nos alvéolos.

O material particulado, liberado na sua maior parte pelos veículos, pode provocar mal estar, dor de cabeça, enjôo, problemas oftálmicos, gastrointestinais e cardiovasculares, doenças dermatológicas, pulmonares e infecciosas, alguns tipos de câncer e também afetar o sistema nervoso.

## 2.5 MATERIAIS E MÉTODOS

Atualmente a Secretaria Municipal do Meio Ambiente de Porto Alegre conta com duas estações de monitoramento de material particulado. Uma estação está localizada na Av. Borges de Medeiros esquina com a Av. Salgado Filho e a outra está na Av. Princesa Isabel, na praça de mesmo nome.

As concentrações de material particulado são medidas por um analisador cujo princípio de funcionamento é por atenuação de radiação beta, modelo SM200 marca Opsis. O Material Particulado menor do que 10  $\mu\text{m}$  (PM10) é medido ciclicamente a cada hora e no final das 24 o equipamento informa a média diária. Há um conjunto de filtros que são trocados automaticamente todos os dias e os dados armazenados pelo equipamento são coletados e avaliados semanalmente pela Secretaria do Meio Ambiente de Porto Alegre, através da Equipe de Controle e Combate à Poluição Hídrica e Atmosférica.

## 2.6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nos anos de 2009, 2010 e até julho de 2011, a média anual das concentrações de material particulado PM10 não ultrapassaram o limite máximo aceitável de 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , conforme a Resolução CONAMA nº 03/1990.

Com relação às médias diárias, cujo padrão é de 150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , apresenta-se como exemplo o mês de julho de 2011. Como percebe-se, os valores das concentrações permaneceram abaixo do máximo aceitável.

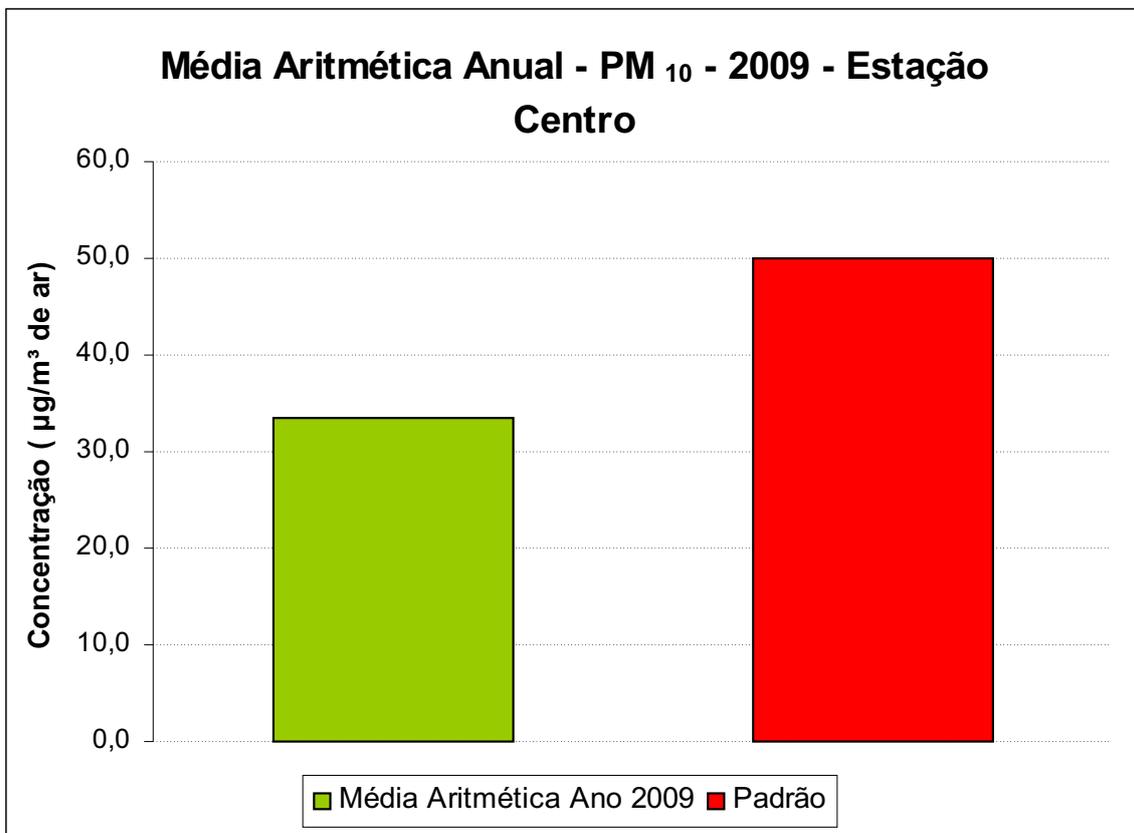
De um modo geral, a qualidade do ar próxima das estações de monitoramento pode ser considerada como sendo entre boa e regular, de acordo com os padrões estabelecidos com a Resolução CONAMA nº 03/1990. No entanto não podemos esquecer que Porto Alegre, sendo uma metrópole com alto poder poluidor, tendo em vista principalmente o crescente número de veículos que circulam pela cidade, deve primar por ações de monitoramento e melhorias da qualidade do ar. Tais ações devem ser de caráter educativo, preventivo e fiscalizatório.

Atualmente Porto Alegre está recebendo, por intermédio de compensação ambiental, uma estação completa de monitoramento da

qualidade do ar, acompanhada de uma estação meteorológica. A estação contempla analisadores de monóxido de carbono, dióxido de enxofre, dióxido de nitrogênio, ozônio e material particulado. Também estamos em processo de manutenção de um dos analisadores de material particulado, utilizado na estação centro.

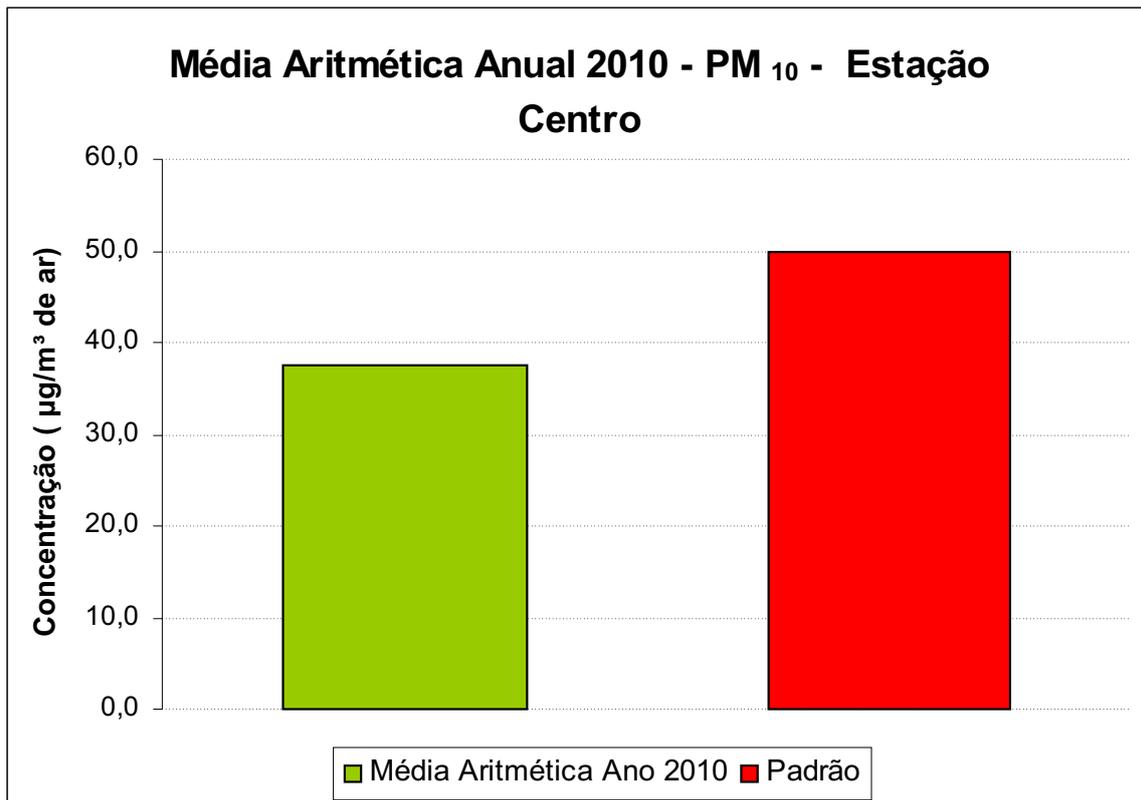
No Gráfico 4, tem-se a média aritmética referente ao ano de 2009 da estação Centro, para o parâmetro partículas inaláveis menores que 10 micrômetros (PM<sub>10</sub>). Como podemos verificar a média dos valores está abaixo do valor máximo estabelecido pela Resolução CONAMA nº 03/1990.

Gráfico 4 - Média aritmética dos valores de PM<sub>10</sub> do ano de 2009.



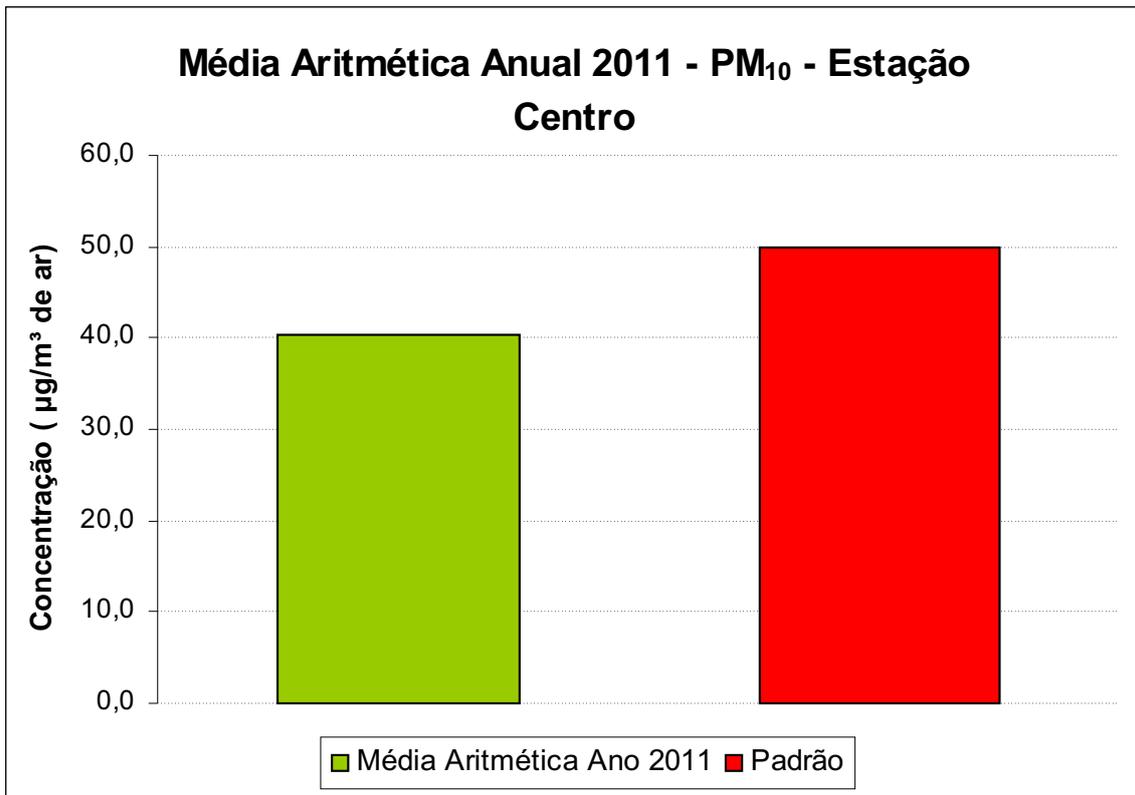
No Gráfico 5, tem-se a média aritmética referente ao ano de 2010 da estação Centro, para o parâmetro partículas inaláveis menores que 10 micrômetros. Como podemos verificar a média dos valores, apesar de ter aumentado em relação ao ano de 2009, continua abaixo do valor máximo estabelecido pela Resolução CONAMA n° 03/1990

Gráfico 5 - Média aritmética dos valores de PM<sub>10</sub> do ano de 2010.



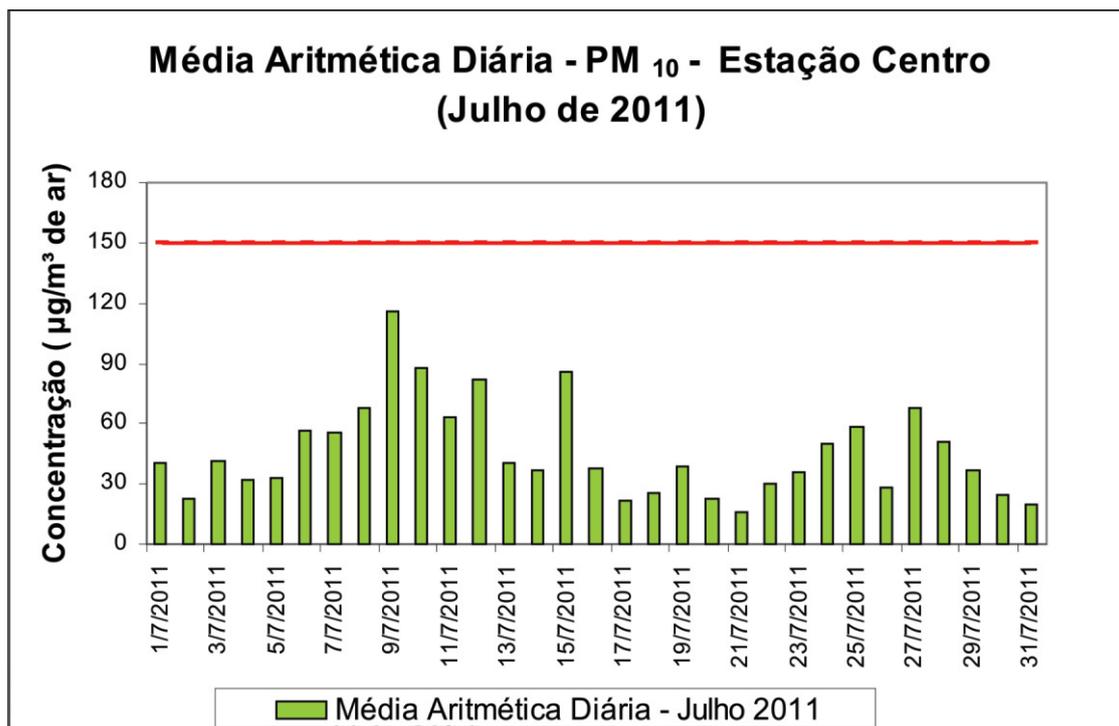
No Gráfico 6, tem-se a média aritmética, de janeiro a julho, referente ao ano de 2011 da estação Centro, para o parâmetro partículas inaláveis menores que 10 micrômetros. Como podemos verificar a média dos valores, apesar de ter aumentado em relação ao ano de 2009 e 2010, continua abaixo do valor máximo estabelecido pela Resolução nº CONAMA03/1990

Gráfico 6 - Média aritmética dos valores de PM<sub>10</sub>, de janeiro a julho, referente ao ano de 2011.



No Gráfico 7, tem-se a média aritmética diária referente ao mês de julho de 2011 da estação Centro, para o parâmetro partículas inaláveis menores que 10 micrômetros. Todos os valores apontados estão abaixo do valor máximo estabelecido pela Resolução nº CONAMA 03/1990, que é de 150 µg/m<sup>3</sup>, como média diária.

Gráfico 7 - Média aritmética diária dos valores de PM<sub>10</sub> referentes ao me de julho de 2011.



## REFERÊNCIAS

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 3, de 28 de junho de 1990. Padrões de qualidade do ar. Diário Oficial da União, Brasília, 22.08.1990. p. 15937-15939.

LINDAU, Filipe Gaudie Ley; KRAHL, Carlos Abreu. Estudo da qualidade do ar na região urbana de Porto Alegre: variabilidade das concentrações do parâmetro partículas inaláveis. Porto Alegre, 43 f. TCC (Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011

PORTO ALEGRE. Secretaria Municipal do Meio Ambiente. A Qualidade do Ar em Porto Alegre. Porto Alegre, 2000. 103 p.

PORTO ALEGRE. Secretaria Municipal do Meio Ambiente. A qualidade do ar em Porto Alegre. Porto Alegre: SMAM, 2000. 103 p.

Realização

