



PUC GOIÁS

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS

PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA

COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU*

MESTRADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E SAÚDE



**MESTRADO EM CIÊNCIAS
AMBIENTAIS E SAÚDE**

**Potencialidade de uso do fungo liquenizado *Parmotrema wrightii* Ferraro & Elix
como biomonitor para metais poluentes na região metropolitana de Imperatriz – MA.**

MAUKERS ALEM LIMA DIAS

Goiânia - Goiás

Janeiro de 2015



PUC GOIÁS

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS

PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA

COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU*

MESTRADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E SAÚDE



**MESTRADO EM CIÊNCIAS
AMBIENTAIS E SAÚDE**

**Potencialidade de uso do fungo liquenizado *Parmotrema wrightii* Ferraro & Elix
como biomonitor para metais poluentes na região metropolitana de Imperatriz – MA.**

MAUKERS ALEM LIMA DIAS

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Sandra Regina Longhin

Co-Orientador: Prof.^o Dr.^o Jorge Diniz de Oliveira

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Saúde, da Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre.

Goiânia – Goiás

Janeiro de 2015

Dados Internacionais de Catalogação da Publicação (CIP)
(Sistema de Bibliotecas PUC Goiás)

Dias, Maukers Alem Lima.

D541p Potencialidade de uso do fungo liquenizado *Parmotrema wrightii* Ferraro & Elix como biomonitor para metais poluentes na região metropolitana de Imperatriz – MA [manuscrito] / Maukers Alem Lima Dias – Goiania, 2015.
67 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Programa de Mestrado em Ciências Ambientais e Saúde, 2015.

“Orientadora: Profa. Dra. Sandra Regina Longhin”.
Bibliografia.

1. Meio Ambiente. 2. Ar – Poluição. 3. Metais – Toxicologia.
I. Título.

CDU 502.3(043)



DISSERTAÇÃO DO MESTRADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E SAÚDE
DEFENDIDA EM 31 DE JANEIRO DE 2015 E CONSIDERADO

Aprovada PELA BANCA EXAMINADORA:

1)

Sandra Regina Longhin
Prof. Dra. Sandra Regina Longhin / PUC Goiás (Presidente)

2)

Armando Garcia Rodrigues
Prof. Dr. Armando García Rodrigues / UFG (Membro Externo)

3)

Graziela Torres Blanch
Prof. Dra. Graziela Torres Blanch / PUC Goiás (Membro)

4)

Cleonice Rocha
Prof. Dra. Cleonice Rocha / PUC Goiás (Suplente)

“Dedico a Deus que me deu a vida, a meus pais Manoel de Paiva e Maria Oneide pela minha educação, a minha amada esposa Iane pela ajuda e minha filha Ana pela inspiração”

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, autor da vida que creio me guiou e me concede a grande vitória de estar concluindo esse mestrado, pois sem sua proteção não conseguiria chegar aqui.

A meus pais, Manoel de Paiva e Maria Oneide, que me ensinaram os primeiros passos e as primeiras letras, obrigado por acreditarem em mim e me ensinarem todos os dias com seu amor incondicional.

A minha querida e amada esposa, Iane Paula, por sua paciência, pois nos momentos de maior dificuldade durante esta dissertação foi quem sempre leu comigo, corrigiu e me ajudou “botando a mão na massa”. Você foi minha companheira nesse processo tão difícil de crescimento. Eu te amo.

A minha princesa Ana minha maior inspiração, pois quando olho pra você minha filha me dá vontade de crescer, de ser uma pessoa melhor, eu faço qualquer esforço pra te dar uma melhor qualidade de vida hoje e no futuro.

A minhas irmãs Romenha, Claudia e Pábula e meus sobrinhos principalmente o João Pedro, pois é uma grande responsabilidade ver o quanto se orgulham e confiam em mim. Obrigado.

A minha orientadora Profa. Dra. Sandra Regina, que acreditou no meu potencial. Sempre disponível e disposta a ajudar, mesmo com a distância, mas nunca se esquivou de fazer as correções em finais de semana e até em sua casa, mesmo não sendo sua obrigação. Obrigado pelos conselhos profissionais e pessoais, pelos exemplos mostrados através das histórias dos seus alunos. Cresci muito graças a seus ensinamentos. Muito obrigado.

Ao meu co-orientador Prof. Dr. Jorge Diniz de Oliveira, pois sem sua ajuda não seriam possíveis as análises no laboratório da UEMA sem as quais não seria possível desenvolver a pesquisa, muito obrigado pelo apoio e colaboração. Agradeço também aos colegas de laboratório Geovane e Márcia pelo companherismo e ajuda nas análises.

A todos os professores do programa com os quais tive a oportunidade de aprender muito. Tudo que estudei levarei pra minha vida profissional de pesquisador.

Ao Jader muito competente e sempre prestativo, não tenho uma reclamação de você, pois você é muito “desenrolado”. Obrigado.

A meus amigos do mestrado, pelos momentos divididos juntos, espeicalmente à Regina Célia, Cristina Limeira, Aline, Mylene, Josely, Mauro, Neyla, Vanessa e Nicolý, “os mestrandos do Hotel Metrópole”, foi uma honra ter estudado com vocês o curso acabou, mas nossa amizade continua. Obrigado a todos.

A todos que me ajudaram do IFTO, agradeço primeiramente na pessoa do Diretor do Campus Araguatins, Prof. Décio Dias dos Rei por ter sido muito prestativo, também a todos os professores em especial aos meus colegas de Química: Pedrosa e Brito que “seguraram a barra” quando precise e também a todos os professores que me ajudaram trocando horário comigo o que possibilitou eu poder viajar e repor minhas aulas. Muito obrigado a todos.

Agradeço ao acadêmico de Agronomia Rudney Maranha meu ex-aluno por ter processado os dados do GPS para contrução da figura via satélite com os pontos das amostras a margem da BR-010.

Agradeço a CAPES pelo apoio finaceiro. Obrigado.

Ao Álvaro pela colaboração nas coletas na BR – 010. A Shirley pela ajuda na revisão e no manuseio das imagens.

A Pontifícia Universidade Católica – PUC GOIÁS essa tão grande instituição de tão grande respeito no meio científico. Obrigado por abrirem as portas para que eu pudesse realizar este sonho que era crescer com a obtenção do título de Mestre. Obrigado pela enorme contribuição no meu desenvolvimento. Obrigado.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar a potencialidade de uso do fungo liquenizado *Parmotrema wrightii* Ferraro & Elix como biomonitor para metais poluentes na região metropolitana de Imperatriz – MA. As coletas dos fungos liquenizados foram realizadas na fazenda São Paulo localizada a 5 km de Itaguatins no estado do Tocantins. As amostras foram transplantadas para 10 pontos em árvores ao longo da BR-010 que corta a cidade de Imperatriz e, coletadas com 15 e 30 dias de exposição. Após este período as concentrações de metais nos fungos liquenizados foram quantificadas através de espectroscopia de absorção atômica por chama (EAA). As leituras foram feitas em duas etapas. Além disso, foram realizadas análises anatômicas para observar se a camada de algas diminuía, visto que esta camada é responsável pela alimentação da simbiose, se ela diminui ou desaparece, significa que o fungo liquenizado está morrendo. As concentrações de chumbo foram maiores nos primeiros 15 dias, a variável que influenciou nesse resultado foram às chuvas que precipitaram nesse intervalo. Em relação às concentrações de ferro, foram altas tanto nas amostras dos 15 dias quanto dos 30 dias, destacando-se alguns pontos que ficam em áreas com loteamentos nas proximidades. Quanto ao cromo e ao cádmio, as concentrações foram muito baixas. Os dados obtidos mostram que o fungo liquenizado *Parmotrema wrightii* Ferraro & Elix tem potencialidade de retenção de agentes contaminantes atmosféricos.

Palavras-chave: Meio Ambiente, Poluição do ar, Metais Tóxicos.

ABSTRACT

This study aimed to assess the potential use of the lichen *Parmotrema wrightii* Ferraro & Elix as biomonitor for pollutants metals in the metropolitan region of Imperatriz - MA. The collections of the lichens were held in São Paulo farm located 5 km far from Itaguatins in the state of Tocantins. The samples were transferred to 10 points on trees along the road, BR-010, which crosses the city of Imperatriz and collected with 15 and 30 days of exposure. After this period, the concentrations of metals in the lichens were quantified by Flame Atomic Absorption Spectrometry (FAAS). The readings were performed in two stages. In addition, anatomical analyzes were performed to observe if the layer of algae decreased, since this layer is responsible for the power supplies of symbiosis, if it decreases or disappears, it means that the lichen is dying. The lead concentrations were higher at the first 15 days, the variable that influenced this result were the rains that precipitated at this time interval. In relation to the iron concentrations, they were high as in samples of 15 days as in the ones of 30 days, highlighting some points that are in the air with nearby settlements. About the chromium and cadmium, their concentrations were very low. The data obtained shows that the lichen *Parmotrema wrightii* Ferraro & Elix has the capacity to retain the atmospheric contaminants.

Keywords: Environment, Air Pollution, Toxic Metals.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	iv
AGRADECIMENTOS.....	v
RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	viii
LISTA DE QUADROS.....	xii
LISTA DE TABELAS	xiii
LISTA DE FIGURAS	xiv
LISTA DE GRÁFICOS	xv
LISTA DE ABREVIATURAS E ACRÔNICOS.....	xvi
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1. Conceito de poluição atmosférica	3
2.2. Poluição atmosférica	4
2.3. Fontes de poluição atmosférica.....	6
2.4. Principais elementos tóxicos.....	7
2.5. Padrões de qualidade do ar.....	9
2.6. Poluição do ar por ferro.....	11
2.7. Poluição do ar por cromo.....	11

2.8. Poluição do ar por cádmio.....	12
2.9. Poluição do ar por chumbo.....	13
3. POLUIÇÃO E A SAÚDE HUMANA.....	15
3.1. Efeitos respiratórios.....	17
3.2. Efeitos cardiovasculares.....	20
3.3. Efeitos reprodutivos.....	22
4. BIOMONITORAMENTO.....	24
5. FUNGOS LIQUENIZADOS.....	25
5.1. Líquens como bioindicadores.....	27
6. ESPECTROSCOPIA ATÔMICA.....	30
6.1 Princípios básicos de Espectroscopia Atômica.....	30
7. OBJETIVOS.....	32
7.1. Objetivo Geral.....	32
7.2. Objetivos Específicos.....	32
8. MATERIAL E MÉTODOS.....	32
8.1. Área de estudo.....	32
8.2. Área de controle de coleta dos fungos liquenizados.....	34

8.3. Coleta das amostras e transplante das amostras.....	34
8.4. Análises morfológica, anatômica e química.....	36
8.5. Pontos de Estudo	36
8.6. Descrição dos arredores dos locais de estudo.....	38
8.7. Preparo das amostras e determinação analítica.....	38
9. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39
9.1 Análises morfológicas e anatômicas do fungo liquenizado.....	39
9.2 Determinações de metais tóxicos nos fungos liquenizados por EAA.....	43
10. DISCUSSÃO FINAL.....	53
11. REFÊNCIAS.....	54

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Principais elementos tóxicos, sua origem e seus efeitos	7
Quadro 2: Padrões de qualidade do ar em vigor no Brasil.....	10
Quadro 3: Poluição do ar e efeitos respiratórios.....	17
Quadro 4: Poluição do ar e efeitos cardiovasculares.....	20
Quadro 5: Descrição dos arredores dos pontos em estudo.....	38
Quadro 6: Equações das retas para curva de calibração.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Classificação dos Métodos Espectroscópicos Atômicos.....	31
Tabela 2 – Concentrações (mg L^{-1}) de ferro (Fe), cromo (Cr), cádmio (Cd) e chumbo (Pb) em fungos liquenizados transplantados para a área de estudo e expostos por 15 dias.....	44
Tabela 3 – Concentrações (mg Kg^{-1}) de ferro (Fe), cromo (Cr), cádmio (Cd) e chumbo (Pb) em fungos liquenizados transplantados para a área de estudo e expostos por 15 dias.....	45
Tabela 4: Concentrações (mg L^{-1}) de ferro (Fe), cromo (Cr), cádmio (Cd) e chumbo (Pb) em fungos liquenizados transplantados para a área de estudo e expostos por 30 dias.....	46
Tabela 5: Concentrações (mg Kg^{-1}) de ferro (Fe), cromo (Cr), cádmio (Cd) e chumbo (Pb) em fungos liquenizados transplantados para a área de estudo e expostos por 30 dias.....	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Possíveis mecanismos envolvidos nos efeitos cardiovasculares.....	22
Figura 2: Mapa do Maranhão com destaque para Imperatriz.....	33
Figura 3: Fungo liquenizado já transplantado.....	35
figura 4: vista aérea da área de estudos e os dados de posicionamento global dos pontos, incluindo a BR-010, e a área urbana no seu entorno.....	36
Figura 5: (A): Imagem microscópica de corte do fungo liquenizado da área controle (amostra controle). (B): Imagem microscópica de corte do fungo liquenizado no ponto 3 antes de exposição. (C): Imagem microscópica de corte do fungo liquenizado no ponto 3 após 15 dias de exposição. (D): Imagem microscópica de corte do fungo liquenizado no ponto 8 antes da exposição. (E): Imagem microscópica de corte do fungo liquenizado no ponto 8 após 15 dias de exposição. (F): Imagem microscópica de corte do fungo liquenizado no ponto 8 após 30 dias de exposição, indicando partes da camada de alga ausente.....	40
Figura 6: (A): Imagem microscópica de corte do fungo liquenizado no ponto 10 antes da exposição. (B): Imagem microscópica de corte do fungo liquenizado no ponto 10 após 15 dias de exposição. (C): Imagem microscópica de corte do fungo liquenizado no ponto 10 após 30 dias de exposição.....	42

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Leituras das concentrações de Ferro nos pontos de 1 a 10 em 15 e 30 dias de exposição na BR-010, em Imperatriz-MA	47
Gráfico 2: Leituras das concentrações de Cádmiio nos pontos de 1 a 10 em 15 e 30 dias de exposição na BR-010, em Imperatriz-MA	48
Gráfico 3: Leituras das concentrações de Crômo nos pontos de 1 a 10 em 15 e 30 dias de exposição na BR-010, em Imperatriz-MA	48
Gráfico 4: Leituras das concentrações de Chumbo nos pontos de 1 a 10 em 15 e 30 dias de exposição na BR-010, em Imperatriz-MA	50

LISTA DE ABREVIATURAS E ACRÔNIMOS

Abreviaturas

ATSDR – Agency for Toxic Substances and Disease Registry

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

FMUSP – Faculdade de medicina da Universidade de São Paulo

HSDB – Hazardous Substances Data Bank

IARC – International Agency for Research on Cancer

IBAMA – Instituto Brasileiro de Meio Ambiente

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e estatística

EUA – Estados Unidos da América

EPA – Environmental Protection Agency

ILO – International Labour Organization

LP AE – Laboratório de poluição atmosférica experimental

NAAQS – National Ambient Air Quality Standards

OMS – Organização Mundial de Saúde

WHO – World Health Organization

Acrônimos

µg – microgramas

µg m⁻³ – micrograma por metro cúbico

Al – Alumínio

Ar – Argônio

As – Arsênio

ATP – Adenosina trifosfatase

B – Boro

Cd – Cádmio

CDD – Cromatografia em camada delgada

Co – Cobalto

CO – Monóxido de Carbono

CO₂ – Gás carbônico ou dióxido de carbono

Cr – Crômio

Cr – Crômio

Cu – Cobre

CVF – Capacidade vital forçada

DPOC – Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica

EEA – Espectroscopia de Absorção Atômica

FC – Frequência cardíaca

Fe – Ferro

FeCr₂O₄ – Cromita

HC – Hidrocarboneto

HCl – Ácido clorídrico

He – Hélio

Hg – Mercúrio

HNO₃ – Ácido nítrico

ICPAES – Espectroscopia de omissão em plasma acoplado indutivamente

ICP-MS – Espectroscopia de massa com plasma acoplado indutivamente

IQA - Índice de Qualidade do Ar

Kr – Kriptônio

m³ – metros cúbicos

MA – Maranhão

mg – miligrama

mg Kg⁻¹ – micrograma por quilograma

mg L⁻¹ – micrograma por litro

MGA – Média geométrica anual

Mn – Manganês

Mo – Molibdênio

MP=PM – material particulado

PM_{2,5} – Material particulado com diâmetro aerodinâmico menor do que 2,5 micrômetros

PM₁₀ – Material particulado com diâmetro aerodinâmico menor do que 10 micrômetros

N₂ – Gás nitrogênio

Ne – Neônio

Ni – Níquel

NO_x – Óxidos de Nitrogênio

O₂ – Gás Oxigênio

O₃ – Gás ozônio

P – Fósforo

PA – Pressão arterial

PAN – Nitrato de peroxiacetila

Pb – Chumbo

pH – Potencial Hidrogeniônico

ppm – Partes por milhão

PTS – Partículas Totais em Suspensão

Se – Selênio

SNP – Sistema nervoso parassimpático

SNS – Sistema nervoso simpático

SO₂ – Dióxido de enxofre

SO₄⁻² – Sulfato

SO_x – Óxidos de enxofre

UV – Ultra violeta

v/v – Volume por volume

VEF – Volume expiratório forçado

VFC – Variabilidade de frequência cardíaca

Xe – Xenônio

Zn – Zinco

1. INTRODUÇÃO

A atmosfera é um compartimento de extrema importância tendo em vista que o mesmo contém gases essenciais para a sobrevivência dos organismos aeróbios. A contaminação deste compartimento terrestre é preocupante devido ao seu pequeno volume e as propriedades físico-químicas dos diversos gases nele contidos. O monitoramento da composição química atmosférica é fundamental para a garantia da qualidade de vida da população humana bem como do meio ambiente.

O biomonitoramento da qualidade do ar pode ser entendido como o acompanhamento das reações químicas realizadas por seres vivos mediante a presença de poluentes atmosféricos. Os bioindicadores são importantes ferramentas do biomonitoramento, pois correlacionam um fator antrópico ou um fator natural com um potencial impactante. Eles fornecem sinais rápidos sobre problemas ambientais, mesmo antes de o homem perceber sua ocorrência e amplitude; permitindo que se identifiquem as causas e efeitos entre os agentes estressores e as respostas biológicas.

Os seres vivos podem ser considerados indicadores de modificação natural ou antrópica aos ambientes devido a sua sensibilidade a alterações ocorridas no meio, o que pode conferir uma escala útil às variações que estes fatores extrínsecos podem causar. No entanto, nem todos os indicadores biológicos (bioindicadores) são considerados eficientes nos ensaios de biomonitoramento. Para que um organismo seja considerado um bioindicador eficiente, ele deve fornecer respostas mensuráveis, dentro de certo nível de confiabilidade.

O monitoramento da poluição atmosférica pode ser efetuado com a utilização de bioindicadores a curto, médio e longo prazo sem a necessidade de utilizar equipamentos sofisticados e de alto custo, além de mostrar os resultados da ação de poluentes sobre organismos vivos, é uma abordagem relevante para a determinação do impacto da tecnologia sobre a biosfera.

A poluição atmosférica no ambiente urbano é um problema que aumenta a cada ano, devido a fatores antrópicos como queima de combustíveis fósseis e as descargas industriais. Os efeitos nocivos da poluição do ar vêm sendo mais claramente vivenciados a partir da Revolução Industrial (1789), quando começaram a ser adotadas técnicas baseadas na queima de grandes quantidades de carvão, lenha e, posteriormente, óleo combustível.

As técnicas e pesquisas de investigação acerca do biomonitoramento da qualidade do ar são empregadas desde Nylander (1866) que estudou os fungos liquenizados¹ no jardim de Luxemburgo, mas no nordeste do Brasil os estudos foram iniciados há menos de uma década, na busca de aperfeiçoar e adequar metodologias apropriadas para ambientes de clima temperado.

Os fungos liquenizados são reconhecidos como indicadores biológicos de ambientes e, por excelência, também biomonitoradores da qualidade do ar. Por isso, é possível, através do seu uso, o estabelecimento de escalas quantitativas e qualitativas para avaliação dos índices de contaminação de áreas com as mais diversas características de poluição atmosférica.

Face à comprovada eficácia do uso de algumas espécies de fungos liquenizados como biomonitoradores, adequação das técnicas de avaliação, baixo custo para montagem dos experimentos e disponibilidade da espécie para transplantes, o biomonitoramento demonstra ser uma técnica relevante na gestão do ambiente urbano.

Este trabalho consistiu em avaliar a potencialidade de uso do fungo liquenizado *Parmotrema wrightii* Ferraro & Elix como biomonitor para metais poluentes na região metropolitana de Imperatriz – MA. A organização deste encontra-se da seguinte forma: o referencial teórico apresenta o conceito de poluição atmosférica, as fontes de poluição atmosférica, os principais elementos tóxicos poluentes, a poluição do ar por metais tóxicos ferro (Fe), cromo (Cr), cádmio (Cd), chumbo (Pb), as questões pertinentes a poluição e a saúde humana, os efeitos respiratórios, cardiovasculares e no sistema reprodutivo e apresenta também o biomonitoramento como forma de avaliação de condições ambientais e a possibilidade de uso do fungo liquenizado como biomonitoradores e sua eficiência como indicadores de condições ambientais.

A concentração de metais totais nas amostras foi determinada por Espectrometria de Absorção Atômica em Chama (FAAS) VARIAN-modelo Spectra AA240. Para o controle foram utilizadas amostras retiradas de uma área de baixo impacto.

A relevância da pesquisa também está comprovada, porque este é o primeiro trabalho realizado no Maranhão, pois não há registro de pesquisa quantificando metais tóxicos no ar no estado com o uso de fungo liquenizado como biomonitor. Diante disso, o trabalho buscou avaliar a potencialidade de uso do fungo liquenizado *Parmotrema wrightii* Ferraro & Elix como biomonitor para metais poluentes na região metropolitana de Imperatriz – MA.

¹ o nome do líquen refere-se ao fungo, sendo, portanto, mais correto falar em fungos liquenizados e algas liquenizadas. O fotobionte (alga ou cianobactéria) tem seu próprio nome. O termo “líquen” refere-se à estrutura resultante de um processo biológico de associação entre espécies (SPIELMANN, 2006).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Conceito de Poluição atmosférica

A atmosfera é a camada essencial para a vida e o funcionamento ordenado dos processos físicos e biológicos sobre a Terra. A atmosfera protege os organismos da exposição a níveis arriscados de radiação ultravioleta, contém os gases necessários para os processos vitais de respiração celular e fotossíntese e fornece a água necessária para a vida.

Protege a Terra e todas as suas formas de vida do espaço cósmico, um ambiente hostil, que contém radiações extremamente energéticas. É um compartimento de deposição e acumulação de gases e particulados e atua como um condensador constituindo-se assim como um importante componente do ciclo hidrológico do planeta. Manaham (2001) trás a composição química do ar seco por vários quilômetros na relação v/v de 78,8% de nitrogênio (N_2), 20,95% de oxigênio (O_2) e em menor concentração de 0,934% de argônio (Ar), 0,036% de dióxido de carbono (CO_2) além de alguns gases nobres como neônio (Ne) $1,818 \times 10^{-3}\%$, hélio (He) $5,24 \times 10^{-4}\%$, criptônio (Kr) $1,14 \times 10^{-4}\%$ e xenônio (Xe) $8,7 \times 10^{-6}\%$. A atmosfera pode conter ainda de 1 a 5% (v/v) de água, normalmente encontramos de 1 a 3% (v/v).

Considerando o previsto na resolução CONAMA n.º 003 de 28 de junho de 1990, RESOLVE:

Art. 1º - Parágrafo Único - 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:

I – impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde;

II - inconveniente ao bem-estar público;

III - danoso aos materiais, à fauna e flora.

IV - prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade.

2.2. Poluição da atmosfera

Ainda ocorre entre os pesquisadores divergências quanto o conceito de poluição atmosférica, alguns atribuem o fato somente à ação das atividades humanas, porém como ressaltou Cavalcanti (2003), uma definição desta natureza seria um pouco limitada.

Os agentes contaminantes são lançados na atmosfera principalmente por automóveis, motocicletas, aviões, indústrias, queimadas, centrais termoeletricas, geradores movidos a combustíveis fósseis, vulcões, cigarros e diversas outras fontes. Dentre os diversos poluentes encontramos o carvão mineral e os derivados do petróleo. A queima desses produtos libera um alto nível das substâncias monóxido de carbono e dióxido de carbono no ar, responsáveis pelos diversos danos ao meio ambiente e a saúde humana (LUCIO, 2009).

Teixeira et al (2008) afirma que as emissões causadas por veículos automotores carregam uma grande variedade de substâncias tóxicas, as quais quando em contato com o sistema respiratório, podem ter os mais diversos efeitos negativos sobre a saúde. Essas emissões, devido ao processo de combustão e queima incompleta do combustível, são compostas de gases como: óxidos de carbono (monóxido de carbono – CO e dióxido de carbono – CO₂), óxidos de nitrogênio (NOx), hidrocarbonetos (HC), dentre os quais estão alguns considerados cancerígenos, óxidos de enxofre (SOx), partículas inaláveis (MPx), entre outras substâncias.

Segundo Degobert (1995), a frota de veículos automotores, de um modo geral, emite poluentes primários, tais como: compostos de carbono, óxidos de nitrogênio, compostos de enxofre, compostos halogenados (principalmente os halogênios de brometos e cloretos de chumbo, compostos metálicos, partículas finas com diâmetros menores que 100 micra e partículas grossas com diâmetros maiores que 100 micra, influenciando significativamente na saúde das pessoas e no clima do planeta.

De acordo com o Decreto-Lei nº 276/99, de 23 de Julho, Poluente Atmosférico define-se como “substâncias introduzidas, direta ou indiretamente, pelo homem no ar ambiente, que exercem uma ação nociva sobre a saúde humana e ou meio ambiente”. O acréscimo das concentrações atmosféricas destas substâncias, a sua deposição no solo, nos vegetais e nos materiais é responsável por danos na saúde, pela redução da produção agrícola, por danos nas florestas, pela degradação de construções e obras de arte e, de uma forma geral, origina desequilíbrios nos ecossistemas (WHO, 2014).

Milhares de óbitos foram registrados na literatura devido às condições atmosféricas favoráveis à concentração de poluentes e a falta de controle da poluição atmosférica. Apesar das perdas de vida humana, os estudos para se prever as condições atmosféricas, favoráveis à

concentração de poluentes, só tiveram início a partir do trágico incidente ocorrido em Londres, em 1952, quando foram vitimadas 4.000 pessoas de bronquite e pneumonia, num intervalo de 4 dias (Henry & Heinke, 1989).

Para a Organização Mundial de Saúde (1992) a principal causa desses óbitos foi à alta concentração de aerossóis de ácido sulfúrico emitidos pela queima de carvão. Essa organização acredita que a fração respirável das partículas em suspensão (PM₁₀) gerada pela queima de óleo diesel, tenha efeitos similares aos das partículas geradas pela queima de carvão.

O representante da OMS destacou que a poluição atmosférica é um problema em praticamente todas as metrópoles do mundo devido à grande concentração de veículos automotores, enfatizando a necessidade de adoção de políticas públicas de médio e longo prazo e incremento do controle das emissões que levem à redução das concentrações de poluentes na atmosfera (CETESB, 2008).

As indústrias têm sido associadas aos problemas de todos os tipos desde o início da revolução industrial. Entretanto, somente no início dos anos setenta que se tem notado o esforço por parte do governo federal do EUA em preservar o meio ambiente, obrigando as indústrias a adotarem critérios de emissões mais restritos (SELL, 1992).

Segundo Manahan (2000), a poluição ambiental pode ser dividida em categorias, a saber: poluição da água, do ar e do solo as quais estão relacionadas entre si. Por exemplo, alguns gases emitidos para a atmosfera podem ser convertidos a ácidos fortes por processos químicos atmosféricos, precipitar sobre a terra na forma de chuva ácida, e poluir a água e o solo. Também descartes impróprios de resíduos perigosos que são lançados juntamente com águas poluídas nos rios podem ser lixiviados para águas subterrâneas.

Os problemas ambientais estão entre os assuntos diários da vida em todo o mundo, nos últimos 20 anos. Especialmente o crescimento de áreas e instalações industriais tem sido a razão para o aumento da poluição aérea (AISLAN *et al.*, 2004).

Um dos principais tipos de poluição é causado pelos metais tóxicos, eles se encontram distribuídos por toda a natureza.

Os solos, águas superficiais e a vegetação localizados próximos à rodovias podem ser contaminadas por metais tóxicos como chumbo, cobre, cádmio e zinco lançados à atmosfera e precipitados, a partir do desgaste de peças automotivas ou de névoas e fumaças geradas por veículos. O níquel pode ser contaminante da gasolina, cádmio e zinco de óleo diesel, manganês e chumbo de aditivos de combustíveis e, por combustão, ser liberados para a

atmosfera de áreas próximas de locais de circulação de veículos e repassados aos ecossistemas e entrar na cadeia trófica (CARLOSENA, 1998).

A agência especializada em câncer que integra a Organização Mundial da Saúde (OMS) anunciou que a poluição do ar é uma das principais causas ambientais de morte por câncer. Por meio de uma avaliação do Programa de Monografias da Agência Internacional para Pesquisa sobre o Câncer (IARC, na sigla em inglês) foram encontradas evidências suficientes de que a exposição ao ar poluído causa câncer de pulmão e aumenta o risco de câncer de bexiga (OMS, 2013).

2.3 Fontes de poluição atmosférica

Em algumas situações torna-se difícil a classificação de uma fonte como natural ou antropogênica.

A poluição do ar é produzida por muitas fontes e, com exceção das erupções vulcânicas, o homem é responsável por todas elas.

De acordo com Sell (2002) *apud* Fuga (2006, pag. 12) os poluentes atmosféricos podem ser gerados de seis grupos principais de fontes poluidoras:

- 1- Meios de transporte;
- 2- Aquecimento doméstico;
- 3- Geração de energia elétrica;
- 4- Queima de lixo;
- 5- Incêndio de pastagens e florestas;
- 6- Queima de combustíveis industriais e processos envolvendo emissão.

Entretanto as emissões surgem de fontes fixas, também conhecidas como estacionárias ou pontuais, e difusas, ou móveis, no qual Lucio (2009) as define como:

- Fontes estacionárias ou pontuais – Pontos de emissão contínua de um dado processo, cuja característica deste determina o perfil da emissão como: chaminés, tubulações, desgaseificação de equipamentos, processos de combustão decorrentes da produção industrial, de usinas termoelétricas ou da queima de resíduos sólidos em serviços urbanos de tratamento de resíduos e outras.

- Fontes difusas ou móveis – Pontos eventuais de emissão cuja característica é normalmente variável e influenciada pelas condições ambientais locais. Nesse caso, são citados como exemplos os tanques de estocagem, as emissões evaporativas de processos e as emissões fugitivas, principalmente pelos veículos automotores, as quais ele ressalta que nem sempre são consideradas nos inventários de emissões.

As principais fontes poluidoras do ar nas cidades são as indústrias e os veículos movidos a derivados de petróleo, pois apresentam em sua composição metais tóxicos.

2.4. Principais elementos tóxicos

Rocha e Shirota (1999) pesquisando sobre a temática dos elementos tóxicos e os riscos para o meio ambiente, apontam os elementos que merecem maior preocupação devido a possibilidade de contaminação, eles são arsênio (As), boro (B), cádmio (Cd), cobre (Cu), mercúrio (Hg), molibdênio (Mo), níquel (Ni), chumbo (Pb), zinco (Zn) e o selênio (Se).

Baird et al (2002) investigando ainda sobre os elementos tóxicos prejudiciais ao ambiente constatou que os principais são: mercúrio, chumbo, cádmio e arsênio (semi-metal). Vale destacar que, esses elementos apresentam maiores riscos ambientais em razão de seus usos intensos, da sua toxicidade e sua ampla distribuição.

Portanto, os principais elementos tóxicos pesados em concentrações elevadas podem causar danos ao ambiente, trazendo assim, sérios problemas ambientais e sociais, tais como: poluição e contaminação dos sistemas aquáticos, dos solos e da atmosfera, riscos a saúde humana (Quadro 1), alteração de ecossistemas e desvalorização de terras. Os elementos tóxicos têm diferentes formas de serem introduzidos ao ambiente, tanto de forma natural, quanto por atividades antrópicas.

Quadro 1-Principais elementos tóxicos, sua origem e seus efeitos.

ELEMENTOS TÓXICOS	ORIGEM	EFEITOS
Alumínio	Produtos de artefatos de alumínio; serralheria; soldagem de medicamentos e tratamento convencional de água	Anemia por deficiência de ferro; intoxicação crônica
Arsênio	Metalurgia, manufatura de vidros fundidos	Câncer (seios nasais)
Cadmio	Soldas; tabaco; baterias e pilhas	Câncer de pulmões, próstata; lesões nos rins

continua

ELEMENTOS TÓXICOS	ORIGEM	EFEITOS
Chumbo	Fabricação e reciclagem de baterias de autos; indústrias de tintas; pinturas em cerâmicas e soldagem	Saturnismo (cólicas abdominais, tremores, fraqueza muscular, lesões renal e cerebral)
Cobalto	Preparo de ferramentas de corte e furadoras	Fibrose pulmonar (endurecimento do pulmão) que pode levar a morte
Crômio	Indústrias de corantes, esmaltes, tintas, ligas com aço e níquel; cromagem de metais	Asma brônquica; câncer
Fósforo amarelo	Veneno para baratas; rodenticidas ou raticidas ² (com adição de inseticida mesmo que em quantidade estritamente suficiente para sua conservação) e fogos de artifício.	Náuseas; gastrite; odor de alho; fezes e vômitos fosforescentes; dor muscular; torpor; choque; coma e até a morte
Mercúrio	Moldes industriais; certas indústrias de cloro-soda; garimpo de ouro; lâmpadas fluorescentes	Intoxicação do sistema nervoso central
Níquel	Baterias; amados; fundidos de niquelagem de metais; refinarias	Câncer de pulmão e dos seios paranasais

continua

² É permitida a adição de inseticida e/ou fungicida às formulações de rodenticidas na quantidade estritamente necessária à sua conservação” (BRASIL, ANVISA, 2010).

ELEMENTOS TÓXICOS	ORIGEM	EFEITOS
Fumos metálicos	Vapores (de cobre, cádmio, ferro, manganês, níquel e zinco de soldagem industrial)	Febre dos fumos metálicos (febre, tosse, cansaço e dores musculares)
Ferro	Desgaste natural das rochas contendo minério de ferro, escoamento superficial do metal, atividades de mineração, fundição, soldagem, polimento de metais e o uso de compostos de ferro como agente antidetonante da gasolina, efluentes de esgotos municipais e industriais e o escoamento superficial urbano.	Morbidade pulmonar constituída de inflamação dos brônquios e bronquite crônica, irritante para pele.

Fonte: Adaptado de Cavalcanti (2003); CETESB (2014).

Os metais discutidos neste trabalho são Fe, Cr, Cd e Pb. As razões que levaram a escolha destes metais são: porque estes são muito prejudiciais a saúde e ao meio ambiente e os dados mostram que as possíveis fontes de contaminação estão presentes no local do estudo. São metais muito encontrados em combustíveis, lonas de freios que são muito encontrados na região de estudo.

2.5 Padrões de qualidade do ar

A legislação Brasileira de qualidade do ar segue o padrão o norte-americano. Nesta o órgão responsável pela definição de índices de qualidade é a *Environmental Protection Agency* (EPA), que estabelece o *National Ambient Air Quality Standards* (NAAQS), especificando o nível máximo permitido para poluentes atmosféricos. (BRAGA *et al.* 2005).

No Brasil os padrões de qualidade do ar foram estabelecidos pelo Instituto Brasileiro de Meio Ambiente (IBAMA) e aprovados pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente

(CONAMA) através da Resolução nº 003, de 28 de junho de 1990. São estabelecidos dois tipos de padrões de qualidade do ar, os primários e secundários:

Padrões Primários de Qualidade do Ar: são as concentrações de poluentes que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população. (Resolução CONAMA 003/1990)

Padrões Secundários de Qualidade do Ar: são as concentrações de poluentes abaixo das quais se prevê o mínimo 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. (Resolução CONAMA 003/1990).

Pela mesma resolução, foram determinados ainda os métodos de amostragem e análise a serem utilizados para diversos poluentes; os valores medidos em concentração de poluentes, dos padrões nacionais de qualidade do ar para Partículas Totais em Suspensão (PTS), Fumaça, Partículas Inaláveis (MP₁₀), Dióxido de Nitrogênio (NO₂) Dióxido de Enxofre (SO₂), Monóxido de Carbono (CO) e Ozônio (O₃) (Quadro 2).

Quadro 2 – Padrões de qualidade do ar em vigor no Brasil:

Poluente	Concentração (violações aceitas por ano)		
	Tempo Médio de Amostragem	Padrão Primário	Padrão Secundário
PTS* (µg/m ³)	24 horas	240	150
	Média anual (MGA**)	80	60
Fumaça (µg/m ³)	24 h	150	100
	Média anual	60	40
Partículas inaláveis MP ₁₀ - (µg/m ³)	24 h	150	150
	Média anual	50	50
SO ₂ (µg/m ³)	24 h	365	100
	Média anual	80	40
CO (µg/m ³)***	1 h	40.000 (35 ppm****)	40.000 (35 ppm)
	8 h	10.000 (9 ppm)	10.000 (9 ppm)
O ₃ (µg/m ³)***	1 h	160	160
NO ₂ (µg/m ³)	1 h	320	190
	Média anual	100	100

*PTS: Partículas Totais em Suspensão;**MGA: Média Geométrica Anual;
***Concentração média (micrograma por metro cúbico) que não devem ser excedida mais de uma vez por ano; ppm: partes por milhão.

Fonte: Resolução CONAMA 003/1990

A Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), do estado de São Paulo faz uso do índice de qualidade do ar (IQA), ferramenta matemática desenvolvida para simplificar o processo de divulgação da qualidade do ar para o público. Esse índice é utilizado

desde 1981, e foi criado usando como base uma longa experiência desenvolvida no Canadá e nos EUA. Para cada poluente medido é calculado um índice. O índice obtido para a concentração de poluente no ar recebe uma qualificação, que é uma espécie de nota, classificada em boa, regular, inadequada, má e péssima.

2.6 Poluição do ar por ferro

Constitui fonte natural de contaminação da atmosfera por ferro o desgaste natural das rochas contendo minérios de ferro, meteoritos, e escoamento superficial do metal (KROSCWITZ, 1995). Entre as fontes antropogênicas de ferro de origem industrial estão as emissões pelas atividades de mineração, fundição, soldagem, polimento de metais e o uso de composto de ferro como agente antidetonante da gasolina (ILO, 1997). Quanto as fontes antropogênicas de ferro de origem urbana estão os efluentes de esgotos municipais e industriais e o escoamento superficial urbano (ABUHILAL, BADRAN, 1990). O uso de fertilizantes na agricultura é outro fator relevante de contaminação ambiental de origem antropogênica (SHARMA *et al.*, 2000).

O ferro e seus compostos (principalmente na forma de óxidos) são liberados para atmosfera, principalmente na forma de material particulado (CERCASOV *et al.*, 1998). As concentrações de ferro no ar geralmente tendem a serem maiores em áreas urbanas comparativamente às áreas rurais. Nas áreas urbanas, próximo às atividades de mineração e próximo às indústrias do ferro e do aço, as concentrações de ferro tendem a ser superiores àquelas encontradas em locais afastados dessas atividades (WHO, 1996).

2.7. Poluição do ar por Crômio

O metal crômio é branco, duro e brilhante (ponto de fusão 1903 ± 10 °C). É extremamente resistente aos agentes corrosivos normais. O metal dissolve fácil e prontamente em ácidos minerais oxidantes, como por exemplo, ácidos clorídrico e sulfúrico, mas não em água régia³ fria ou ácido nítrico, mesmo diluído ou concentrado. Em temperaturas elevadas o crômio se une prontamente aos halogênios, enxofre, silício, boro, nitrogênio, carbono e oxigênio. A temperaturas baixas é bastante resistente. Não é oxidado pelo ar mesmo em presença de umidade. O crômio metálico é principalmente usado na fabricação de aços

³A água régia é comumente obtida pela mistura de ácido nítrico (HNO₃) e de ácido clorídrico (HCl), geralmente em uma proporção de 1:4.

especiais e na produção de camadas protetoras por eletrodeposição sobre peças metálicas. O mais importante minério é a cromita (FeCr_2O_4). (OHWIELER, 1973).

As fontes de contaminação podem ser divididas em naturais e antropogênicas. Entre as fontes naturais de contaminação ambiental estão os incêndios florestais e as erupções vulcânicas. Em áreas onde ocorrem depósitos significativos de crômio, as fontes de água podem apresentar concentrações superiores a 50,0 $\mu\text{g/L}$, valores estes que ultrapassam os padrões nacionais e internacionais para água potável (WHO, 1988).

As principais atividade humanas na qual o crômio e seus compostos são liberados para o meio ambiente, são (HSDB, 2000; ATSDR, 2012; WHO, 1988):

- ✓ Emissões decorrentes de fabricação do cimento;
- ✓ Construção civil, devido aos resíduos provenientes do cimento;
- ✓ Soldagem de ligas metálicas;
- ✓ Fundições;
- ✓ Manufatura do aço e ligas;
- ✓ Indústria de galvanoplastia;
- ✓ Lâmpadas;
- ✓ Minas;
- ✓ Lixos urbano e industrial;
- ✓ Incineração de lixo;
- ✓ Cinzas de carvão;
- ✓ Curtumes;
- ✓ Preservativos de madeiras;
- ✓ Fertilizantes.

Nestes processos ou fontes de contaminação, o crômio aparece nas formas trivalentes, hexavalente e elementar.

A concentração de cromo no ar pode ser maior em áreas vizinhas a indústrias. Em 1973, as concentrações variam de 1 a 100 mg/m^3 para usina de carvão mineral, de 100 a 1.000 mg/m^3 para fabricação de cimento de 10 a 100 mg/m^3 para indústria de aço e ferro e de 100 a 1.000 mg/m^3 para incineradores de lixo municipal (WHO, 1988).

2.8. Poluição do ar por cádmio

O Cd é um elemento metálico branco- azulado, muito dúctil e que pode facilmente se reduzir a folhas ou fios delgados (FERNANDES *et al*, 1996).

É um dos metais mais tóxicos para plantas e animais (ALLOWAY, 1990), sendo conhecido por não apresentar papel metabólico nesses organismos (BARCELÓ & POSCHENRIEDER, 1998).

Contaminações ambientais são freqüentes em áreas de rejeito de minério de Zn, composto de lixo e lodo de esgoto, indústrias de plástico e lubrificante e, em alguns casos, na aplicação de fertilizantes fosfatados ricos em Cd (BERGMANN, 1992).

A bioacumulação do cádmio pode ser realizada tanto pelos organismos aquáticos como pelos terrestres. A absorção deste metal aumenta nos períodos de alguma deficiência de outros metais como o ferro, e com o aumento de gorduras. Os animais que se alimentam em ecossistemas poluídos por cádmio correm o risco de acumular quantidades tais que sejam perigosas para os animais que se encontram no patamar seguinte da cadeia alimentar, normalmente, o homem (OLIVEIRA, 2008).

Foram constatados ainda a contaminação de animais, leite, ovos e outros produtos agrícolas, resultando em um enorme prejuízo para os proprietários. Um dos casos mais interessantes foi o de uma criança de 10 anos, moradora de um Núcleo Habitacional localizado próximo à fonte poluidora. Desde os sete meses de idade sofria de diarreia e de deficiência mental. Somente após suspeitas dessa contaminação, em 1999, quando amostras do seu sangue foram enviadas a dois centros toxicológicos nos Estados Unidos, é que foi constatada a intoxicação por chumbo, urânio, alumínio e cádmio (ACEITUNO, 18-04-2002).

A cidade de Paulínia, em SP, e o bairro Vila Carioca foram contaminados pela Shell Química do Brasil. Dos 166 moradores submetidos a exames, 53% apresentaram contaminação crônica e 56% das crianças revelaram altos índices de cobre, zinco, alumínio, cádmio, arsênico e manganês. Em adição observou-se também, a incidência de tumores hepáticos e de tiróide, alterações neurológicas, dermatoses, rinites alérgicas, disfunções gastro-intestinais, pulmonares e hepáticas (GUAIME, 23-08-2001).

2.9 Poluição do ar por chumbo

O chumbo é reconhecido pela OMS como um dos elementos químicos mais perigosos para a saúde humana (WHO, 1999). Após a proibição parcial ou total da adição do chumbo tetraetil na gasolina de alguns países, a concentração do chumbo particulado no ar das zonas urbanas diminuiu, mas não determinou o desaparecimento do problema da poluição por esse metal (COCHRAN *et al.*, 1998). Outras fontes são responsáveis pela poluição atmosférica por chumbo particulado nas zonas industriais e urbanas, colocando em risco a saúde das

populações. Em muitos países, o chumbo é o único metal cuja presença no ar é controlada por legislação (STERN, 1977).

O chumbo se encontra naturalmente na crosta terrestre em concentrações de aproximadamente 13 mg kg^{-1} . Acredita-se que sua concentração venha aumentando significativamente como resultado da atividade humana. A mineração de chumbo já era conhecida pelos gregos e romanos. Durante a Revolução Industrial e nos princípios do século XX, ocorreu um maior incremento da produção e utilização deste metal, particularmente com o seu uso como antidetonante de gasolina e produção de baterias para automóveis (FREITAS, 2009).

O chumbo é um dos metais pesados mais tóxicos e perigosos à saúde e ao meio ambiente, uma vez que é estável, não dissipa, e não biodegrada. Sob condições naturais a absorção do chumbo por outros materiais é muito lenta, e pode se constituir em fonte de exposição por longos períodos (DIAS *et al.*, 2009).

É um elemento abundante na natureza, e foi muito utilizado na antiguidade para revestir encanamentos de água, fabricação de objetos de adorno, transporte e armazenamento de alimentos. Atualmente, pode ser encontrado em grande número de produtos: baterias, latão e bronze, radiadores, soldas, cabos, tintas e corantes, cerâmicas, munição, gráficas (MINOZZO, 2008) e em pequenas porcentagens nas gasolinas para automóveis e aviação, e na folha do tabaco.

No Brasil, boa parte da contaminação ambiental dada pelo chumbo continua a ser mantida através de pequenas indústrias de reciclagem de baterias (PAOLIOLLO & DE CAPITANI, 2005). Estas oficinas operam, geralmente, na própria residência do trabalhador ou em região próxima a residências (SILVA, 1981; KOPLAN *et al.*, 1997; *apud* MINOZZO, 2008. p.5). Desta forma, além de contaminar o trabalhador, esta operação pode contaminar o meio ambiente, inclusive os alimentos de consumo humano, constituindo uma fonte de exposição significativa para os membros das famílias residentes na região, particularmente para as crianças. Evitar a exposição ao chumbo é a medida mais eficiente em termos de proteção. No entanto, na maioria dos casos, medidas somente são tomadas após a exposição ter ocorrido (SILVEIRA & MARINE, 1991; *apud* MINOZZO, 2008. p.5).

O chumbo também é encontrado em tintas para paredes comercializadas no Brasil, inclusive em concentrações acima do estabelecido por lei. No Brasil começa a ser tratada timidamente do problema do chumbo em tintas, muitos países vêm estabelecendo legislações bem mais restritivas, com o intuito de proteger a saúde de seus cidadãos e o meio ambiente. É o caso dos EUA, que desde 1978 já restringiam o limite máximo permitido de chumbo nas

tintas imobiliárias em 600 ppm, e reconheceram recentemente que a sua lei estava defasada em relação aos avanços da ciência, e sob recomendações médicas decidiram baixar para 90 ppm. Limite que passou a vigorar em agosto de 2009 (NYCZ, 2009).

Segundo NYCZ (2009) outras fontes de contaminação pelo chumbo são:

- | | |
|--------------------------------------|--|
| ✓ Inseticidas | ✓ Indústria de radiadores |
| ✓ Água poluída | ✓ Indústria química |
| ✓ Aditivos da gasolina | ✓ Demolições |
| ✓ Vernizes | ✓ Canos de água |
| ✓ Soldas de chumbo | ✓ Construção naval |
| ✓ Construção civil | ✓ Restauração de obras de arte |
| ✓ Osso moído (alto teor de chumbo) | ✓ Cerâmicas vitrificadas (copos, jarras, pratos) |
| ✓ Produtos manufaturados da borracha | ✓ Galerias de tiro ao alvo |
| ✓ Indústria do vidro | ✓ Pesticidas |
| ✓ Mineração de chumbo | ✓ Cinzas e fumaça de madeiras pintadas |
| ✓ Polidores de metais | ✓ Fabricação caseira de baterias |
| ✓ Manufatura de plásticos | |
| ✓ Indústria de tecidos | |
| ✓ Oficinas mecânicas | |

O caso ocorrido em Bauru, SP, é um dos exemplos de contaminação por elementos tóxicos. Uma Indústria de Acumuladores, contaminou com chumbo expelido pelas suas chaminés 113 crianças, sendo encontrados índices superiores a 10 miligramas/decilitro (ACEITUNO, 18-04-2002).

3. POLUIÇÃO E A SAÚDE HUMANA

A ANVISA (2009) adota a definição de saúde estabelecida pela Organização Mundial da Saúde – OMS, sendo está “o completo estado de bem-estar físico, mental e social, e não simplesmente a ausência de enfermidade”. Esse conceito relaciona o desenvolvimento e o associa a qualidade de vida e saúde da população, sendo a saúde o resultado de um processo de produção social que sofre influencia de condições adequadas de bens e serviços.

Em humanos, uma exposição breve ao ar poluído pode causar alterações na visibilidade, no olfato, irritações nos olhos, pele e nasofaringe, náuseas, dores de cabeça,

fadiga e outras alterações; uma exposição mais prolongada poderá causar doenças respiratórias, afetar a circulação e, ao longo dos anos, doenças respiratórias crônicas e câncer pulmonar (BOUBEL, 1994).

Relatos de estudos epidemiológicos diversos apontam efeitos adversos dos poluentes atmosféricos na saúde humana. Em episódios de aumento acentuados nas concentrações de poluentes, como no de Meuse Valley na Bélgica, em Donora, Pennsylvania em 1948 e em Londres, Inglaterra em 1952, foram documentados aumentos na morbidade e mortalidade por doenças respiratórias. Peters et al. (1997) estudaram a relação entre episódios pico de partículas ultrafinas e crises de grupos de asmáticos.

A resposta dos organismos vivos à poluição atmosférica varia com o tempo e o tipo de exposição. A tolerância por um organismo de determinada espécie, depende se a exposição ocorre a concentrações muito elevadas por um espaço de tempo muito curto “com danos muitos baixos” ou com danos mais acentuados com concentrações muito baixas do poluente, se o tempo de exposição for muito prolongado, ou seja, cada organismo reage de uma maneira diferente, sendo os dois fatores mais importantes: o tempo e a concentração do poluente ou poluentes, é importante avaliar se o tempo de exposição é o adequado, pois se o organismo já estiver morto torna-se ineficaz seu uso como biomonitor por um período superior ao seu tempo de vida (NEBEL, 1998).

Segundo Saldiva et al. (2010), alguns metais em concentração a nível de traço são essenciais ao ser humano, por mostrarem efeitos importantes nas funções celulares e imunológicas. São os casos de Fe, Zn, Cu e Mn. Entretanto, independentemente de o metal-traço ter ou não importância vital, quando acumulado, pode causar sérios danos ao organismo. Elementos como Cd, Pb e níquel Ni não têm função biológica definida e são reconhecidamente imunotóxicos. Medições feitas em gases de escapamento de veículos brasileiros a etanol, a gasolina e a diesel em concentração a nível de traço apresentaram diversos metais tóxicos que conseqüentemente serão também encontrados no ar das cidades.

Estimativas globais segundo Cohen et al. (2006) atribuem aos efeitos da poluição do ar ambiente externo, apenas por material particulado fino (PM_{2,5}), cerca de 3% dos óbitos por doenças cardiopulmonares, 5% dos cânceres de pulmão e 3% de óbitos de crianças até cinco anos de idade (1% a 3% por infecções respiratórias), totalizando cerca de 800 mil óbitos prematuros e 6,4 milhões de anos de vida perdidos por morte prematura.

Os efeitos poluentes dependem das suas características físico-químicas, da sua concentração no ar que respiramos, da quantidade inalada – que tem relação com esforço

físico, do tempo em que os indivíduos permanecem expostos e, no caso do material particulado, das dimensões, com a maioria dos estudos sugerindo que as partículas finas e ultrafinas são mais nocivas (POPE *et al.*,2004). Partículas menores têm, proporcionalmente, maior número de átomos na superfície, aumentando exponencialmente abaixo de 30 nanômetros, o que as torna mais reativas em contato com a camada de revestimento das vias aéreas segundo Auffan et al. (2009).

Os efeitos da poluição do ar têm sido estimados por meio de estudos que exploram a variação temporal em curto espaço de tempo, horas ou dias, e de estudos que avaliam os efeitos decorrentes da exposição prolongada no tempo (anos ou décadas), em diferentes cidades ou áreas geográficas definidas. Os primeiros, chamados de efeitos agudos, se manifestam principalmente em indivíduos mais suscetíveis, como crianças, idosos e naqueles com morbidade segundo pesquisa WHO (2005). Têm sido avaliados por estudos de séries temporais (cujos desfechos mais analisados são a mortalidade e as admissões hospitalares ou consultas de urgência ou emergência), de estudos de painel, nos quais em um grupo de indivíduos são estudados determinados desfechos (sintomas, sinais e marcadores fisiológicos), ou ainda experimentais.

Para Saldiva (2010) os principais efeitos da poluição do ar têm sido observados nos sistemas cardiovascular e respiratório, muito embora diversos estudos tenham demonstrado efeitos sobre o sistema nervoso central, metabólicos – aumentando o risco de exacerbação e da incidência de diabetes, exacerbação de anemia falciforme e de colagenosas.

3.1. Efeitos Respiratórios

A exposição à poluição do ar está associada agudamente a alterações da função pulmonar, ao aumento de atendimentos de urgência e emergência, de internação e de mortalidade por doenças respiratórias, como apresentado no Quadro 3 a seguir:

Quadro 3: Poluição do ar e efeitos respiratórios

Efeitos associados a exposições agudas (horas ou dias após elevação da poluição)
<ul style="list-style-type: none"> • Aumento da mortalidade por doenças respiratórias
<ul style="list-style-type: none"> • Exacerbação dos sintomas em indivíduos com doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC) e asma
<ul style="list-style-type: none"> • Maior frequência de infecções respiratórias agudas
<ul style="list-style-type: none"> • Aumento da prevalência de sintomas e sinais de irritação nos olhos, narinas e garganta
<ul style="list-style-type: none"> • Aumento da prevalência de sintomas respiratórios agudos (sibilância, tosse, expectoração)
<ul style="list-style-type: none"> • Necessidade de aumentar a dose de uso de medicamentos
<ul style="list-style-type: none"> • Alterações agudas na função pulmonar
<ul style="list-style-type: none"> • Aumento do número de consultas, médicas, de atendimento de emergência, de internação e da mortalidade por doenças respiratórias
<ul style="list-style-type: none"> • Maior taxa de absenteísmo no trabalho e escola
Efeitos associados à exposição crônica (anos de exposição acumulada)
<ul style="list-style-type: none"> • Aumento da mortalidade por doenças respiratórias
<ul style="list-style-type: none"> • Aumento da incidência e prevalência de asma e doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC)
<ul style="list-style-type: none"> • Aumento da incidência e mortalidade por câncer de pulmão
<ul style="list-style-type: none"> • Aumento da incidência e de mortalidade por pneumonia e influenza
<ul style="list-style-type: none"> • Aumento do número de internações hospitalares por pneumonia
<ul style="list-style-type: none"> • Alterações crônicas na função pulmonar: <ol style="list-style-type: none"> 1. Redução crônica do VEF, e CVF. 2. Menor desenvolvimento pulmonar em crianças e jovens 3. Aumento da prevalência de pessoas com VEF, abaixo da normalidade 4. Aumento na taxa de declínio do VEF₁

Fonte: OMS (WHO, 2005). DPOC = doença pulmonar obstrutiva crônica; VEF₁ = volume expiratório forçado no 1.º segundo; CVF = capacidade vital forçada

As análises dos estudos realizados em diversos países quanto aos efeitos de variações agudas da poluição sugerem:

- 1) Segundo Pope et al. (2004) um aumento médio de 1% em adultos (0,5% a 1,6%), de 1,6% em crianças abaixo de cinco anos (0,34% a 3%) e de 2% em idosos (acima de 65 anos) na mortalidade para cada elevação de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na concentração de PM_{10} ;
- 2) que crianças e idosos são mais suscetíveis;
- 3) não existir um limiar de segurança para material particulado;
- 4) que o efeito dos poluentes depende da concentração; quanto maior a concentração, maior o efeito.

Um dos primeiros e importante estudo envolveu seis grandes cidades dos Estados Unidos (DOCKERY *et al.*, 1993), com diferentes níveis de poluição. Ele revelou um risco 26% maior de morte por doenças cardiopulmonares entre os moradores das cidades mais poluídas, com relação às menos poluídas, e um incremento de 8% na mortalidade por doenças respiratórias, associado à elevação de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na concentração de $\text{PM}_{2,5}$. Esses dados foram confirmados por outras pesquisas, entre elas, um estudo prospectivo envolvendo 500 mil adultos nos EUA (POPE *et al.*, 2004), que encontrou um aumento de 9% e 14% do risco de mortalidade para doenças cardiopulmonares e câncer de pulmão, respectivamente, associados à elevação de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na concentração de material particulado ($\text{PM}_{2,5}$). Também foi encontrado aumento em 20% na mortalidade por pneumonia e influenza, em não fumantes (POPE *et al.*, 2004).

Segundo Morgenstern et al. (2008) estudos recentes demonstram risco de desenvolvimento de asma em crianças residentes próximas a vias de grande tráfego de veículos, bem como associado à realização de exercícios em ambientes poluídos.

Diversos mecanismos têm sido sugeridos para explicar os efeitos respiratórios da poluição do ar. A maioria deles converge para o papel central do estresse oxidativo (WHO, 2005), processo potencialmente nocivo que ocorre quando há um desequilíbrio decorrente do excesso de radicais livres com relação às defesas antioxidantes. Os poluentes inalados, por conterem radicais livres (como os óxidos nitrosos) ou por induzirem a sua formação ao entrar em contato e reagir com substâncias presentes na camada fluida de revestimento do epitélio pulmonar, são neutralizados pelas defesas antioxidantes nela presentes. Se a exposição a poluentes for ainda mais elevada e/ou persistente amplia-se o desbalanço entre os radicais livres e as defesas oxidantes, levando à progressão do estresse oxidativo. Como consequência, os radicais livres em excesso atacam e oxidam componentes celulares como lipídeos, proteínas e ácidos nucleicos (SALDIVA *et al.*, 2010).

Segundo Saldiva et al. (2010) estudos epidemiológicos e experimentais também sugerem uma relação entre a internação e a presença de poluentes e alérgenos, que poderia

estar na origem do aumento da incidência e prevalência de asma em locais com maiores níveis de poluente. A hipótese sugerida é de que o estresse oxidativo leva a alterações na memória adaptativa do sistema imunológico, tornando os indivíduos mais precocemente sensíveis a alérgenos. Por outro lado, alérgenos ambientais podem ser absorvidos pelo material particulado e assim permanecer por mais tempo nas vias aéreas.

3.2. Efeitos cardiovasculares

Os efeitos da poluição do ar – especialmente do material particulado –, sobre o sistema cardiovascular (Quadro 4), têm sido demonstrados por vários estudos. Tanto efeitos decorrentes de variações agudas dos poluentes como da exposição crônicas (POPE & DOCKERY, 2006).

A elevada prevalência das doenças cardiovasculares, em particular as doenças cardíacas e cerebrovasculares, conferem mais relevância ao tema, uma vez que efeitos de pequenas dimensões podem apresentar grande impacto na morbi-mortalidade (SALDIVA *et al.*, 2010).

Estudos de série temporais estimam entre 0,4 % e 1,0 % o aumento da mortalidade associada à elevação de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} ³⁰ (BROOK *et al.*, 2010).

Estudos prospectivos estimam que indivíduos que se expõem por períodos prolongados a níveis elevados de PM apresentam risco elevado de óbito (risco relativo, o risco de ocorrência do evento, entre 1,06 a 1,76, associado a um aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{PM}_{2,5}$), muito superior ao encontrado nos estudos sobre efeitos agudos (BROOK *et al.*, 2010).

No quadro 4 são apresentados os principais efeitos sobre os quais existem evidências de associação com a exposição à poluição do ar.

Quadro 4: Poluição do ar e efeitos cardiovasculares

Principais efeitos associados a exposições agudas (horas ou dias após elevação da poluição)
<ul style="list-style-type: none"> • Aumento da morbidade, mortalidade e hospitalização por doenças cardiovasculares
<ul style="list-style-type: none"> • Aumento de internação e óbitos por arritmia cardíaca, insuficiência cardíaca e doença isquêmica do coração
<ul style="list-style-type: none"> • Aumento da internação e óbitos por doença cerebrovascular
<ul style="list-style-type: none"> • Redução da variabilidade da frequência cardíaca – fator associado a maior risco de arritmia e morte súbita
<ul style="list-style-type: none"> • Aumento da internação por doença vascular periférica
<ul style="list-style-type: none"> • Aumento da viscosidade, da agregação plaquetária e da coagulação sanguínea
<ul style="list-style-type: none"> • Aumento de marcadores inflamatórios sistêmicos (proteína C reativa, fibrinogênio)
<ul style="list-style-type: none"> • Disfunção endotelial
<ul style="list-style-type: none"> • Aumento da pressão arterial
Principais efeitos associados à exposição crônica (meses a anos de exposição acumulada)
<ul style="list-style-type: none"> • Aumento da mortalidade por doenças cardiovasculares
<ul style="list-style-type: none"> • Aumento da incidência e mortalidade por doença isquêmica do coração
<ul style="list-style-type: none"> • Aumento da incidência e progressão de aterosclerose
<ul style="list-style-type: none"> • Aumento do risco de trombose venosa profunda

Fonte: Saldiva et al. (2010).

A inalação de material particulado induziria ao estado estresse oxidativo, responsável pela inflamação pulmonar que, de um lado, estimularia receptores do sistema nervoso autônomo levando ao desequilíbrio autonômico, em favor do sistema simpático. E, em decorrência, à elevação da pressão arterial, redução da variabilidade da frequência cardíaca, ampliação do estresse oxidativo e aumento da agregação plaquetária. Uma segunda hipótese está associada à inflamação pulmonar, que orquestraria inflamação e estresse oxidativo sistêmicos, responsáveis por disfunção vascular, elevação da pressão arterial, dislipidemia, progressão da arteriosclerose e ruptura de placas de ateroma,

redução da fibrinólise e aumento da coagulação. A terceira hipótese decorreria da passagem direta de partículas ultrafinas para a circulação sistêmica, onde exerceria seus efeitos sobre o sistema vascular (Figura 1). Provavelmente, vários destes mecanismos coexistem e são concomitantes (BROOK *et al.*, 2010).

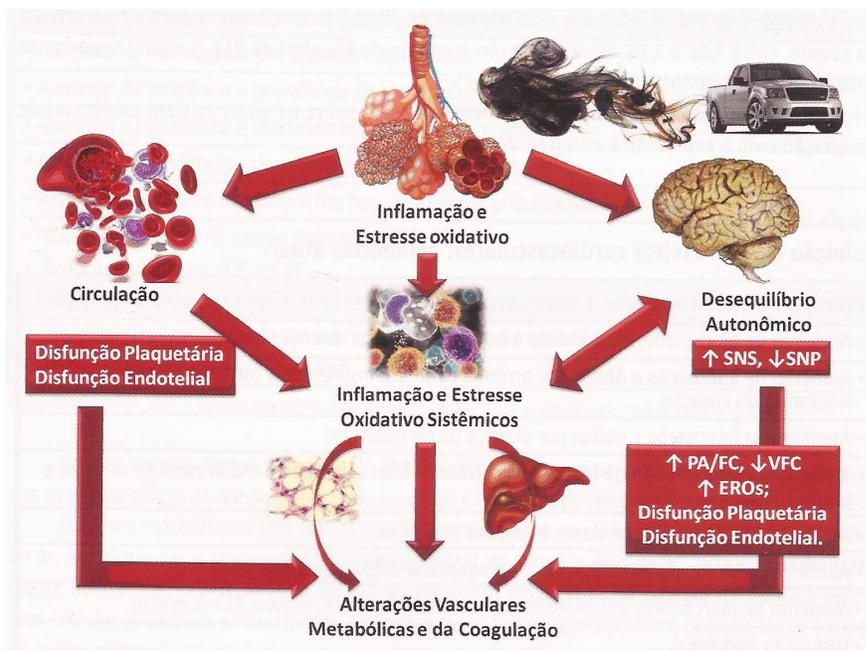


Figura 1: Possíveis mecanismos envolvidos nos efeitos cardiovasculares

Fonte: Brook et al. (2010) com adaptações

3.3. Efeitos encontrados no sistema reprodutivo

Pesquisas recentes realizadas em diversos países concentram os efeitos da poluição atmosférica sobre o sistema reprodutivo. A associação entre a exposição aos poluentes atmosféricos urbanos e desfechos relacionados à gestação está documentada em diversos estudos, inclusive na Região Metropolitana de São Paulo. Baixo peso ao nascer e prematuridade têm sido associados à exposição aos poluentes atmosféricos urbanos em janelas de exposição de acordo com a idade gestacional. Os três trimestres de gestação parecem estar relacionados ao maior risco de ocorrência desses efeitos (SALDIVA *et al.*, 2010).

Estudos experimentais com animais expostos a condições ambientais reais na cidade de São Paulo, realizados no Laboratório de Poluição Atmosférica Experimental (LPAE), da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (FMUSP), mostraram uma redução no número de fetos viáveis e grande quantidade de falhas de implantação

embrionária no grupo exposto, revelando também que o desenvolvimento fetal com redução no peso ao nascer estava associado aos aumentos de PM₁₀, inclusive nos animais cuja exposição ocorreu somente no período anterior à gestação (MOHALLEM, 2008).

Esses resultados conferem uma plausibilidade biológica aos estudos epidemiológicos e apontam três mecanismos potenciais de ação para a explicação dos efeitos do material particulado sobre a morbidade e mortalidade na fase adulta: resposta inflamatória que altera a coagulação sanguínea, resposta alérgica e alteração na função autonômica cardíaca, resultando na redução da variabilidade da frequência cardíaca. Eles ressaltam, ainda, que todos esses mecanismos podem ser relevantes também para o feto. Contudo, talvez o mais importante mecanismo que contribui para os desfechos indesejáveis da gravidez seja a inflamação placentária provocada pela poluição, que implica a redução da eficiência da função placentária, com reflexos diretos sobre o crescimento e o desenvolvimento fetal (MOHALLEM, 2008).

Outros poluentes atmosféricos podem estar fortemente associados a alterações do sistema reprodutivo feminino. A endometriose representa uma afecção ginecológica comum, atingindo de 5% a 15% das mulheres no período reprodutivo e até 3% - 5% na fase pós-menopausa (VIGANO *et al.*, 2004), tendo maior prevalência em países industrializados. Essa doença é definida pelo implante de estroma e/ou epitélio glandular endometrial em localização extra-uterina e a associação com diversos compostos clorados e dioxinas presentes nos poluentes tem sido uma hipótese levantada e respaldada pela capacidade que esses compostos têm de alterar o tecido endometrial, devendo ser mais bem investigada por meio de estudos experimentais.

A capacidade reprodutiva masculina também pode ser alterada frente à exposição aos diversos poluentes atmosféricos. Há algumas evidências de que a proporção sexual masculina (proporção de nascidos vivos do sexo masculino sobre os do sexo feminino) pode ser alterada em áreas urbanas, além de haver diminuição da qualidade do sêmen. Esses desfechos de menor prevalência ainda necessitam de mais estudos que estabeleçam evidências mais sólidas (SALDIVA *et al.*, 2010).

A OMS (2013) estima que ocorram 3,5 milhões de mortes prematuras causadas todo ano pela poluição do ar doméstico, e 3,3 milhões de mortes todo ano causadas pela poluição atmosférica.

4. BIOMONITORAMENTO

Segundo Carminitti (2008), o biomonitoramento é um conjunto de técnicas que avalia a qualidade ambiental, através de uma inspeção continuada de respostas específicas dos organismos vivos presentes no meio ambiente. A técnica fundamenta-se no fato que organismos vivos reagem a estímulos ambientais, assim como a estímulos provocados por um poluente ou mistura de poluentes, promovendo respostas específicas e mensuráveis, que podem ser utilizadas como indicadora da qualidade do meio ambiente. Os organismos vivos com essas características são denominados bioindicadores.

Alterações físico-químicas do ambiente frequentemente causam alterações morfológicas e fisiológicas nos seres vivos. O grau de alteração depende da intensidade e do potencial deletério dessas alterações ambientais. Com isso, todos os organismos podem ser considerados bioindicadores, pois a resposta a estímulos ambientais é uma das condições para classificá-lo como vivente (KLUMPP, 2001).

Segundo Lima et al. (2005) o biomonitoramento realizado empregando-se organismos vivos como plantas, representa efeitos de poluentes integradamente. É de reconhecimento mundial a utilização do biomonitoramento como ferramenta imprescindível na avaliação da qualidade ambiental. O biomonitoramento atmosférico (uso de vegetais como ferramentas na avaliação da qualidade do ar) recorre a metodologias simples e baratas e reproduz de maneira mais fiel a qualidade do ar de uma localidade, uma vez que avalia respostas de sistemas biológicos de modo integrado. As medições podem ser feitas com a ajuda de plantas indicadoras, com baixo custo de manutenção e monitoramento (GRODZINSKA 1982; PRADO FILHO, 1992 e 1993). O uso de vegetais como bioindicadores de poluição atmosférica é mais econômico e prático do que muitas análises de solo, água ou ar (STREHL, 1983 *apud* SANTOS, 2011).

A questão da poluição atmosférica vem se agravando nos últimos anos devido principalmente à expansão populacional e industrial. Esse problema atinge não apenas os grandes aglomerados urbanos e industriais, mas também centros urbanos menores. A degradação da qualidade do ar pode causar sérios problemas à condição de vida das pessoas e ecossistemas (JACOMINO *et al.*, 2009).

Apesar da eficiência apresentada pelos métodos tradicionais de monitoramento da qualidade do ar, em alguns casos a aplicação destes pode ser insuficiente. Segundo Fuga (2006), as medições e os registros que são efetuados pelas redes de monitoramento convencionais permitem verificar se as normas e os limites estabelecidos ou recomendados estão sendo respeitados, porém, não permite a obtenção de conclusões imediatas sobre as

consequências dos poluentes aos seres vivos, o que justifica o uso de métodos alternativos, como o biomonitoramento, como uma medida complementar na análise de contaminantes.

O biomonitoramento consiste numa alternativa cada vez mais utilizada para o acompanhamento da qualidade do ar atmosférico. Este pode ser descrito como sendo um método experimental indireto, que permite a verificação da existência de poluentes em uma área determinada através do uso de organismos vivos que respondem ao estresse a que se encontram submetidos, por modificações nos ciclos vitais ou pela acumulação de poluentes (CARNEIRO, 2004; NOGUEIRA, 2006).

Os biomonitores fornecem respostas qualitativas e/ou quantificáveis de elementos estranhos ao ambiente, através da mensuração desses contaminantes, ou alteração no teor e estrutura de produtos e/ou subprodutos do metabolismo, danos estruturais internos e externos, entre outros (MOTA FILHO *et al.*, 2007). Esta técnica apresenta diversas vantagens quando comparada aos métodos tradicionais de verificação dos níveis de poluição, como o baixo custo de instalação e acompanhamento, a eficiência em monitorar amplas áreas geográficas e por períodos longos de tempo, e a possibilidade de avaliar poluentes químicos presentes em baixas concentrações no ambiente (FUGA, 2006)

Dentre os biomonitores mais utilizados para o acompanhamento dos níveis de poluição atmosférica, podem ser citadas as plantas superiores como as espermatófitas, as briófitas e os líquens. Coccaro (2001) aponta que vários são os estudos que indicam os líquens como um dos melhores indicadores da qualidade do ar, principalmente para o acompanhamento das concentrações do íon sulfato (SO_4^{2-}) e de metais tóxicos. Chant et al. (1996) afirmam que pesquisas realizadas mostram que os líquens apresentam uma capacidade de retenção de componentes poluentes até cinquenta vezes maior que outros bioindicadores. De acordo com Carneiro (2004), os líquens possuem características morfológicas e fisiológicas que permitem que estes organismos acumulem em suas estruturas interiores quantidades de elementos minerais superiores às suas necessidades vitais, além de tornarem certas espécies bastante tolerantes à poluição, características que os qualificam como bons bioindicadores da qualidade do ar.

5. FUNGOS LIQUENIZADOS

Os fungos liquenizados são definidos como organismos simbióticos compostos por um fungo (micobionte) e uma ou mais algas (fotobionte) (NASH, 1996). Estima-se que existam 13.500 espécies (aproximadamente 600 gêneros) de fungos liquenizados, o que corresponde a 20% dos fungos conhecidos (HAWKSWORTH, 1984; SMITH &

DOUGLAS, 1987). A grande maioria (98%) dos fungos são Ascomicetos e 46% desses são liquenizados, de modo que a liquenização é uma grande regra e não uma exceção nesse grupo de fungos. Os Deuteromicetos ou fungos imperfeitos são representados por apenas uma dezena de gêneros, ou pouco mais. Os Basidiomicetos formam diversas associações semelhantes a líquens em regiões tropicais e são encontrados com algas azuis. Algumas espécies do gênero *Dictyonema* ocorrem como Basidiomiceto (HAWKSWORTH, 1984).

Os fungos liquenizados conseguem sobreviver em condições de vida muito adversas devido à sua capacidade de dessecação rápida, oferecendo resistência a condições ambientais extremas de temperatura e luz (RAVEN *et al.*, 1996).

A morfologia do talo líquênico é bastante peculiar, onde o micobionte e o fotobionte se dispõem em camadas sucessivas. No talo destaca-se o córtex superior, composto de hifas entrelaçadas, que serve de proteção para camada das algas. Centralmente encontra-se uma camada de hifas frouxas, a medula, seguida de outro feixe de hifas, o córtex inferior (PURVIS, 2000).

De maneira geral, existem três tipos de talo líquênico, podendo ser crostoso, folioso ou fruticoso, e estes variam muito em aparência, existindo desde formas muito simples até estruturas morfológicas e anatomicamente complexas. A maior parte dos talos líquênicos pode ser medida em centímetros (1 até 30 cm), entretanto, existem talos adultos de poucos milímetros, que crescem em frestas de troncos ou de rochas, assim como enormes formas foliosas, com mais de um metro de diâmetro, ou longas barbas-de-velho de até quatro metros de comprimento (MARCELLI, 2006).

Os fungos liquenizados são importantes sob o ponto de vista ecológico, visto que se constituem em elos fundamentais para a sucessão vegetal e são pioneiros nos locais rochosos desprovidos de vegetação (VALENCIA & CEBALLOS, 2002 *apud* MARTINS *et al.*, 2008 pag.2).

Apesar do lento crescimento, seu desenvolvimento possibilita a acumulação de poeira atmosférica e de partículas minerais desprendidas do substrato que, junto com os fragmentos dos talos mortos, chegam a formar um substrato que serve para o estabelecimento de vegetais como musgos e pequenas plantas vasculares (VALENCIA & CEBALLOS, 2002 *apud* MARTINS *et al.*, 2008, p. 1).

São usados como bioindicadores de poluição, devido à capacidade de absorverem e acumularem metais tóxicos, ao fato de que muitas espécies têm larga distribuição geográfica, e a constatação de que a morfologia não varia de maneira marcante ao longo das estações (HONDA & VILEGAS, 1998).

5.1. Fungos liquenizados como bioindicadores

Segundo Hawksworth (1992) são considerados como bioindicadores organismos que expressam sintomas particulares ou respostas que indiquem mudanças em alguma influência ambiental, geralmente de forma qualitativa. Biomonitorios são os organismos, cuja distribuição e populações são estudados durante um certo espaço de tempo, e comparados com um modelo, onde os desvios do esperado são avaliados. Organismos com íntimas relações ecofisiológicas com a atmosfera, ao invés de com o seu substrato, são particularmente candidatos promissores para a bioindicação e, conseqüentemente, biomonitoramento da poluição do ar.

A utilização de organismos cosmopolitas para a avaliação da poluição no meio ambiente vem sendo consideravelmente desenvolvida nas últimas décadas (CONTI & CECCHETTI, 2001). Esses organismos, que absorvem contaminantes ambientais, podem ser utilizados como indicadores da biodisponibilidade de certo contaminante durante um determinado período de tempo, permitindo, inclusive, a comparação entre níveis de contaminantes em áreas geograficamente diferentes (FUGA, 2006).

A pureza do ar atmosférico é fator crucial à sobrevivência de algumas espécies de líquens, já que estes se alimentam higroscopicamente, fixando elementos neles presentes, notadamente o nitrogênio, mas também foi observado por estudos que estes seres absorvem e retêm elementos radioativos, íons metálicos, dentre outros poluentes, e isto faz com que algumas espécies sejam utilizadas como indicadores biológicos de poluição atmosférica (NIEBOER *et al.*, 1972; SEAWARD, 1977 *apud* MARTINS *et al.*, 2008, p. 47).

As espécies bioindicadoras são escolhidas por sua sensibilidade ou tolerância a vários parâmetros, como poluição orgânica ou outros poluentes (WASHINGTON, 1984). O contaminante é todo elemento ou composto que ocorre em concentrações mais elevadas que as naturais. A presença de contaminantes pode alterar qualitativa ou quantitativamente as características naturais do ambiente, e também sua utilização, provocando sequelas. Sob este aspecto, o contaminante é considerado então um poluente (RUCKERT, 2010).

Estes organismos são reconhecidos mundialmente como muitos sensíveis à poluição atmosférica, contudo alterações na estrutura da comunidade líquênica como frequência, cobertura, diversidade e vitalidade das espécies estão relacionadas com a concentração de poluentes na atmosfera (HAWKSWORTH, 1973; VAN HALUWYN & VAN HERK, 2002 *apud* MARTINS *et al.*, 2008, p. 52).

Os fungos liquenizados são utilizados desde o século XIX como biomarcadores, sendo artifício de vários trabalhos que estudam o controle das alterações atmosféricas em diferentes locais (MUNZI *et al.*, 2007). Sua utilização se baseia na alta afinidade que estes organismos possuem com o ambiente em que vivem, indicando desde a umidade do ar, acidez do substrato rochoso e pH, além da alta sensibilidade a diversos tipos de poluentes, principalmente à ação do SO_4^{2-} , fluoretos, ozônio, óxidos nitrogenados, nitrato de peroxiacetil (PAN) e elementos traço (MOTA FILHO *et al.*, 2007).

A grande sensibilidade dos líquens a poluição está estreitamente relacionada com sua biologia. A alteração do balanço simbiótico entre o fotobionte e o micobionte pode ser evidenciada com rapidez, através da ruptura desta associação. Anatomicamente, os líquens não possuem estômatos nem cutículas, o que significa que gases e aerossóis podem ser absorvidos pelo talo e difundir-se rapidamente pelo tecido onde está o fotobionte. A ausência destas estruturas tampouco permite excretar as substâncias tóxicas, ou selecionar as que são absorvidas (VALENCIA & CEBALLOS, 2002).

Dentre os efeitos que os poluentes podem ocasionar nos líquens, estão: inibição de crescimento e desenvolvimento do talo, alterações nos processos metabólicos e mudanças anatômicas e morfofisiológicas (BARKAMAN, 1958; BADDELEY *et al.*, 1973; COPPINS, 1973; GRIES, 1996).

O fotobionte é o primeiro a ser afetado pela poluição, ocorrendo desenvolvimento das anormalidades no talo, branqueamento da clorofila e desenvolvimento de áreas pardas nos cloroplastos. A clorofila degrada-se em feofitina pela ação de soluções de dióxido de enxofre, ainda que em baixas concentrações (BARKMAN, 1958; BARGAGLI & MIKHAILOVA, 2002).

Além de identificar as fontes poluidoras e permitir a avaliação dos impactos ambientais, os líquens podem ainda servir para estimar o grau de contaminação de vastas áreas, incluindo áreas remotas bem como do grau de contaminação através da cadeia alimentar (THOMAS & GATES, 1999).

Numerosos estudos utilizando os líquens como bioindicadores têm sido realizados desde que (Nylander em 1896 *apud* SEAWARD & LETROUIT-GALINOU, 1991, p.1) correlacionou a poluição do ar com o desaparecimento de espécies de líquens (SOMMERFELDT & JOHN, 2000), e foi com essas conclusões que este liquenologista escandinavo sugeriu a utilização de líquens como bioindicadores da qualidade do ar (SEAWARD, 1993 *apud* MCCUNE *et al.*, 1997, p. 1), no qual realizou os primeiros trabalhos sobre biomonitoramento, mas apenas em meados do século XX, com registros de

alta concentração de poluentes na atmosfera que se intensificaram os trabalhos com métodos de biomonitoramento usando organismos vivos.

Ao ser utilizado como bioindicadores de poluição podem acumular muitas partículas nos quais, estas podem conter elementos tóxicos como o arsênico (As), o chumbo (Pb), o cobre (Cu) e o níquel (Ni) e também aerossóis emitidos pela combustão (FREEDMAN, 1995 *apud* PEDROSO, 2009. p.3).

De acordo com Raven (2007) quando testes nucleares eram conduzidos na atmosfera, os líquens foram utilizados como monitores da precipitação radioativa.

Como organismos simbióticos excepcionais, os fungos liquenizados são encontrados em todas as regiões do mundo e, geralmente, em áreas submetidas a condições climáticas severas. Mesmo com a capacidade de sobreviverem nos mais diversos ambientes, eles são muito sensíveis à poluição do ar atmosférico (SEAWARD, 1993), são muito utilizados como bioindicadores porque diferentemente dos vegetais superiores, não dependem de um sistema radicular para a absorção de nutrientes, e por possuírem cutícula reduzida ou, em geral, ausente, incorporam com facilidade altos níveis de poluentes (PILEGAARD, 1978 *apud* MOTA FILHO *et al.*, 2005).

Efeitos danosos do SO₂ na fisiologia dos líquens foram estudados em vários aspectos, incluindo degradação da pigmentação, fotossíntese, respiração, síntese de proteínas e lipídeos, níveis de adenosina trifosfatase (ATP), exalação de potássio, fixação de nitrogênio, conteúdo de aldeído malônico e níveis endógenos de auxina e etileno (GARTY *et al.*, 1993).

A vantagem do biomonitoramento se dá pela estreita relação que existe entre o biomonitor e o ecossistema estudado, pois o primeiro pode fazer parte do segundo e interagir com os poluentes que ciclam no ambiente. Em contrapartida, as medições físicas apesar de precisas, necessitam ser interpretadas sob um complexo de fatores que atuam sobre o ambiente. Normalmente, são interpretadas à luz de experimentos sob condições controladas de laboratório, onde se avalia a relação - dose x resposta. Isto, raramente, pode extrapolar as condições de campo, já que o efeito de um poluente sobre um organismo varia enormemente em função dos elementos ambientais, que podem provocar efeitos sinérgicos, aditivos ou antagônicos (MARKERT, 1993).

O valor dos líquens no monitoramento da poluição atmosférica é incontestável por duas razões: A sua grande sensibilidade aos poluentes pode ser mensurada através de seu desempenho; Análises do talo liquênico refletem precisamente a carga de poluição a que estiveram submetidos (SEAWARD, 1993).

Esta sensibilidade à poluição atmosférica tem sido estudada há mais de cem anos, entretanto avaliações críticas vêm sendo realizadas há pouco mais de duas décadas, com programas de pesquisa conduzidos na Bélgica, Canadá, Reino Unido, França, Alemanha, Hungria, Japão, Nova Zelândia, Polônia, Escandinávia, EUA e Venezuela (SEAWARD, 1976), e recentemente no Brasil.

6. ESPECTROSCOPIA ATÔMICA

6.1 Princípios básicos de Espectroscopia Atômica

Os métodos espectroscópicos atômicos são empregados na determinação qualitativa e quantitativa de mais de 70 elementos, alguns deles podem ser vistos na tabela 1. Tipicamente, esses métodos podem detectar quantidades de partes por milhão a partes por bilhão e, em alguns casos, concentrações ainda menores. Os métodos espectroscópicos são, além disso, rápidos, convenientes e geralmente de alta seletividade. Podem ser divididos em dois grupos espectrometria atômica óptica e espectrometria de massas atômicas (SKOOG *et al.*, 2006).

A determinação de espécies atômicas somente é feita em meio gasoso no qual os átomos individuais ou íons elementares se encontram muito bem separados uns dos outros. Conseqüentemente, a primeira etapa de todos os procedimentos de espectroscopia atômica é a atomização, um processo no qual a amostra é volatilizada e decomposta de forma que produza uma fase gasosa de átomos e íons. A eficiência e a reprodutibilidade da etapa de atomização podem ter grande influência na sensibilidade, precisão e exatidão do método.

Como mostra a tabela 1, muitos métodos são empregados para atomizar as amostras para estudos espectroscópicos atômicos. Os plasmas indutivamente acoplados, chamas e atomizadores eletrotérmicos são os métodos de atomização mais amplamente usados; consideramos esses três métodos, bem como os plasmas de corrente direta. As chamas e os atomizadores eletrotérmicos são amplamente utilizados em espectrometria de absorção atômica, enquanto o plasma acoplado indutivamente é empregado em emissão óptica e em espectrometria de massa atômica.

Tabela 1- Classificação dos Métodos Espectroscópicos Atômicos

Métodos Atomização	Temperatura Típica de Atomização	Tipos de Espectroscopia	Nome Comum e Abreviado
Plasma acoplado indutivamente	6.000 – 8.000	Emissão Massa	Espectroscopia de emissão em plasma acoplado indutivamente, ICPAES Espectroscopia de massa com plasma acoplado indutivamente, ICP-MS
Chama	1.700 – 3.150	Absorção Emissão Fluorescência	Espectroscopia de absorção atômica, EAA Espectroscopia de emissão atômica, EEA Espectroscopia de fluorescência atômica, EFA
Eletrotérmica	1.200 – 3.000	Absorção Fluorescência	EAA eletrotérmica EFA eletrotérmica
Plasma de corrente contínua	5.000 – 10.000	Emissão	Espectroscopia de plasma CC, DCP
Arco elétrico	3.000 – 8.000	Emissão	Espectroscopia de emissão com fonte de arco
Centelha elétrica	Varia com o tempo e posição	Emissão	Espectroscopia de emissão com fonte de centelha
		Massa	Espectroscopia de massas com fonte de centelha

Fonte: Skoog et al. (2010).

Segundo Mendham (2002), o princípio básico da espectroscopia de absorção atômica é baseado no fato de um grande número de átomos do metal na fase gasosa não sofrer excitação, ou seja, permanece no estado fundamental. Estes átomos são capazes de absorver energia radiante em um determinado comprimento de onda de ressonância que é, em geral, o comprimento de onda da radiação que os átomos emitiriam se fossem excitados a partir do estado fundamental.

Assim, se fizermos uma luz de comprimento de onda de ressonância igual a daqueles átomos passar por uma chama que contém os átomos em questão, parte da luz será absorvida. A quantidade de luz absorvida é proporcional ao número de átomos que estão no estado fundamental presente na chama (MENDHAM, 2002).

A espectroscopia de absorção atômica é a principal ferramenta da química analítica, especialmente na indústria, pois a técnica é empregada para a realização de várias determinações tais como, a de magnésio e cálcio na água encanada, de elementos traços em

solos contaminados, de vanádio em óleo lubrificante, de estanho em suco de fruta enlatado, devido a sua alta sensibilidade, capacidade de distinguir um elemento de outro numa atmosfera complexa, capacidade de executar amostras multielementares simultaneamente e a facilidade com que várias amostras podem ser analisadas automaticamente (HARRIS, 2001).

7. OBJETIVOS

7.1. Objetivo Geral

Avaliar a potencialidade de uso do fungo liquenizado *Parmotrema wrightii* Ferraro & Elix como biomonitor para metais poluentes na região metropolitana de Imperatriz – MA.

7.2. Objetivos Específicos

- Verificar a presença de fungo liquenizado no entorno da BR-010;
- Transplantar os fungos liquenizados da área controle para a área de pesquisa;
- Quantificar os metais tóxicos Fe, Cr, Cd e Pb nos fungos liquenizados por meio de espectrometria atômica (FASS);
- Avaliar a potencialidade do fungo liquenizado como biomonitor para metais poluentes.

8. MATERIAL E MÉTODOS

8.1. Área de estudo

O município de Imperatriz localiza-se no sudoeste do Estado do Maranhão, na microrregião nº 38. Tem limites com os municípios de Cidelândia, São Francisco do Brejão, João Lisboa, Davinópolis, Governador Edison Lobão e com o Estado do Tocantins. O município encontra-se a 629,5 quilômetros da capital do Estado. A área total do município é de 1.538,1 km², o que corresponde aproximadamente a 0,46% do território do Estado (333.365,6) km² (PORTAL DA PREFEITURA DE IMPERATRIZ, 2014). A figura 2 a seguir apresenta um mapa do estado do Maranhão tendo em destaque a cidade de Imperatriz.

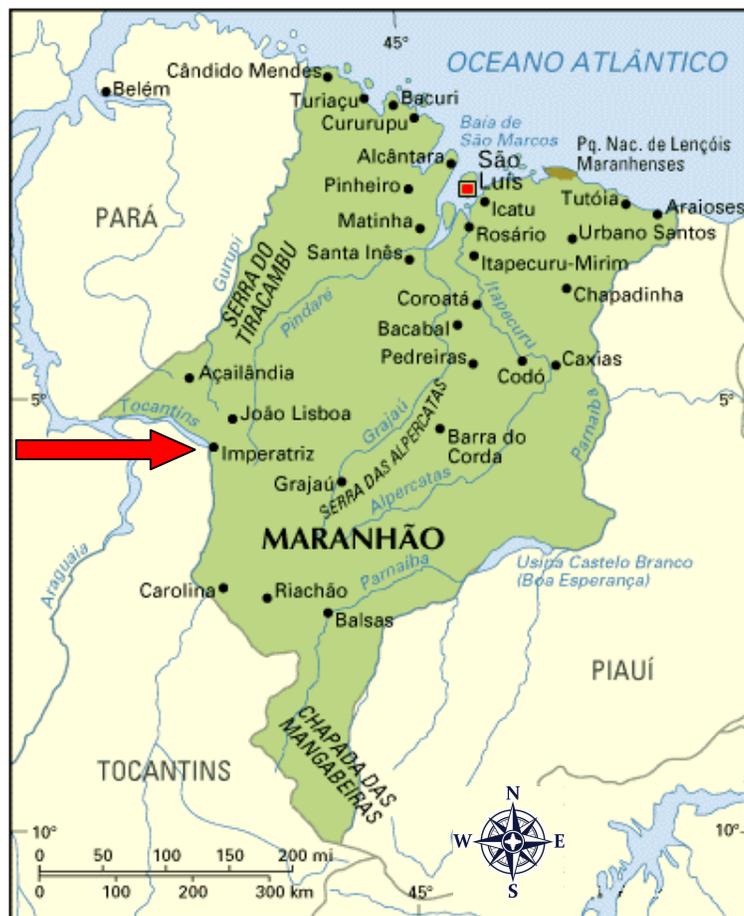


Figura 2: Mapa do Maranhão com destaque para Imperatriz.

Fonte: IBGE

A cidade conta com 247.553 habitantes. Sua economia baseia-se no comércio, construção civil e agropecuária e é cortada pela rodovia federal BR-010 conhecida como Belém-Brasília. Detém excelente potencial hidrográfico, sendo banhada pelos riachos Cacau, Bacuri, Santa Teresa, Capivara, Barra Grande, Cinzeiro, Angical, Grotão do Basílio e Saranzal e o Tocantins, o principal, com extensão de 2.850 km o que possibilitando integração multimodal (IBGE, 2010).

A média pluviométrica do município é de 1.660 mm anuais. Seu relevo é formado basicamente de planícies e sua vegetação predominam florestas latifoliadas do tipo amazônico de terra firme e cerrado. Quanto aos aspectos físicos, sua superfície é de 1.531 km², 80 metros de altitude, 5.526,39 de latitude e -47.489.72 de longitude. A temperatura média no município oscila entre 23 e 38 °C, com picos de até 40 °C em dias mais quentes (IBGE, 2010).

A cidade de Imperatriz fica a 68 Km da cidade de Açailândia, onde é desenvolvido parte do Projeto Grande Carajás, onde ocorre o transporte de minério de ferro em estado bruto do município de Piquiá para o polo siderúrgico de Açailândia, onde existem cinco guseiras que transformam o minério em ferro-gusa. A empresa responsável é a Fergumar que possui fornos com capacidade de produção de 216.000 toneladas por ano, produzindo cerca de 47 mil toneladas de carvão vegetal ao ano. O armazenamento do minério de ferro bruto e ferro gusa é feito ao ar livre, o que faz com que esses minérios se espalhem pelo ar. Além, disso as emissões das chaminés dos fornos e caldeiras das guseiras funcionam 24h por dia (FILHO *et al*, 2012).

8.2. Área de controle de coleta dos fungos liquenizados

Os fungos liquenizados, foram coletados no mês de janeiro de 2013, na Fazenda São Paulo. A análise morfológica indicou que pertencem ao grupo dos foliosos, extremamente abundantes na região. Devido a vários fatores limitantes ao desenvolvimento das espécies, as coletas foram realizadas em área de cerrado aberta por apresentavam maior diversidade e número das espécies em relação aos outros locais. Trata-se também de uma área considerada de menor impacto ambiental devido ao pequeno tráfego automotivo no entorno e ausência de indústrias.

A fazenda São Paulo se localiza a 5 km antes do município de Itaguatins-TO, na rodovia TO126, entre os quilômetros 39 e 40, no nordeste da região do Bico do Papagaio com a latitude 05°44'47'' e longitude 47°33'41'' apresentando uma altitude de 161 m. A fazenda abrange cerca de 174 hectares, dividida em pastagem e área nativa de cerrado. Essa fazenda é recortada pelo riacho São Domingos afluente do rio Angico e deságua no rio Tocantins sendo sua vegetação característica de cerrado composta de área de mata fechada, arbóreo-arbustivo, e de solo escuro. O clima do Estado do Tocantins é tropical, com temperaturas médias anuais de 26 °C nos meses de chuva (outubro-março), e 32 °C na estação seca (abril-setembro). Apresentando duas estações bem definidas, inverno seco, e verão chuvoso contribuindo de maneira precisa para o crescimento dos fungos liquenizados.

8.3. Coleta das amostras e transplante das amostras

A coleta das amostras foi realizada no dia 25 de janeiro de 2013 na área controle sendo em seguida transplantados para os 10 pontos definidos como área de estudo, ao longo da BR-010 (Belém – Brasília) no dia 1 fevereiro de 2013. As amostras foram

transplantadas para a área de estudo e ficaram expostas às condições ambientais locais, sendo coletas após 15 e 30 dias de exposição. A coleta consistiu da retirada de massa dos fungos liquenizados expostos nos pontos em quantidade suficiente para realização da análise de metais tóxicos por meio da FAAS.

A metodologia de coleta para fungos liquenizados foliosos baseou-se nas descritas por Hale (1987), Malcolm & Galloway (1997) e Benatti & Marcelli (2007).

Técnicas de transplante de fungos liquenizados foram desenvolvidas em conexão com estudos sobre poluição atmosférica, utilizando também espécies terrícolas de líquens. Estas técnicas consistem em se transplantar os líquens envoltos em malhas de nylon para ao local onde será realizado o biomonitoramento da qualidade do ar (SEAWARD, 1993).

Fotos dos líquens transplantados para as margens da BR – 010 (Belém – Brasília) para ficarem expostos a poluição durante o período de 30 dias.



Figura 3: Fungo liquenizado já transplantado.

A metodologia tradicional de Lichenologia descrita em Hale (1987) e Galloway (1997) propõe a coleta de fungos liquenizados foliosos por meio da remoção dos talos de seus substratos (córtices, galhos e ramos de árvores e superfícies de rochas) utilizando-se de instrumento de corte para retirada da base de modo que se obtenha o espécime inteiro. Cada exemplar coletado foi colocado em um recipiente de papel pardo para evitar a degradação, onde foram anotados os dados da coleta tais como substrato, data e número de coletor. As amostras são então conservadas a uma temperatura de $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante o período de uma semana garantindo assim a eliminação de outros organismos vivos, seus ovos e/ou

larvas. Após esta etapa as amostras foram colocadas para secar em temperatura ambiente, quando então encontram-se prontas para as análises morfológica e anatômica.

8.4 Análises morfológica, anatômica e química

As análises morfológicas foram feitas sob o microscópio estereoscópico Motic SMZ – 140, onde foram analisados aspectos do talo, tais como mudanças na forma, bordas e cor.

Para observação das estruturas anatômicas, foram feitos cortes do talo a mão livre com lâmina de inox e em seguida montados sob lamina e lamínula para observação em microscópio óptico com retículo acoplado, visando a verificação da camada de alga. Todas as mensurações foram realizadas em água e na objetiva de 100X.

Para identificação de metabólicos secundários de importância taxonômica, foram realizados teste de coloração (teste K: hidróxido de potássio a 10% e teste C: hipoclorito de sódio a 40%) realizados diretamente no talo de acordo com a metodologia de Hale (1979). Também foram realizados testes de microcristalização com reagentes G.E. e G.A.W., e cromatografia em camada delgada (CCD) com solvente C, seguindo Asahina & Shibata (1954), Walker & James (1980), White & James (1985), Huneck & Yoshimura (1996), Bungartz (2001) e Orange et al. (2001). Após estas análises, todos os talos foram expostos a lâmpada ultra violeta (UV) para detecção de substâncias fluorescente.

8.5. Pontos de estudo

A figura 4 a seguir apresenta uma imagem da área de estudos construída a partir dos dados de posicionamento global dos pontos utilizando a ferramenta produto educacional da autodesk, incluindo a BR-010 e a área urbana no seu entorno. Os dados foram processados por Rudney Maranha.

CRIADO POR UM PRODUTO EDUCACIONAL DA AUTODESK



P1	47°28'18,048"O	05°30'25,46"S
P2	47°28'17,799"O	05°30'43,91"S
P3	47°28'17,372"O	05°31'06,102"S
P4	47°28'17,747"O	05°31'26,176"S
P5	47°28'17,067"O	05°31'50,029"S
P6	47°28'14,748"O	05°32'02,403"S
P7	47°28'07,127"O	05°32'12,684"S
P8	47°28'01,161"O	05°32'22,73"S
P9	47°27'56,708"O	05°32'29,647"S
P10	47°27'52,314"O	05°32'34,903"S

CRIADO POR UM PRODUTO EDUCACIONAL DA AUTODESK

LOCAÇÃO DOS PONTOS	ICONE
	Rudiney Maranhã 63 99639148

CRIADO POR UM PRODUTO EDUCACIONAL DA AUTODESK

Figuras 4- Coordenadas geográficas dos pontos de fixação das amostras.

8.6. Descrição dos arredores dos locais de estudo.

Os fungos liquenizados coletados na área controle foram fixados na vegetação que se localiza as margens da BR – 010 sendo os pontos de fixação escolhidos em função da presença de condições de potencial poluente para metais

Quadro 5: Descrição dos arredores dos pontos em estudo.

Ponto	Descrição
P1	I. Posto de comando do Exército (50 BIS); II. Ponto de parada de transporte público (vans); III. Posto de combustíveis; IV. Lombada.
P2	I. Garagem de ônibus, II. Posto de combustíveis; III. Cruzamento de vias e III. Lombada.
P3	I. Viaduto, II. Garagem de ônibus, III. Ponto de venda e troca de lubrificantes, IV. BR-010: uma grande reta.
P4	I. Pontos de recauchutagem de pneus, II. Lojas de baterias e III. . BR-010: uma grande reta
P5	I. Cruzamento de vias, II. Lombada, III. Curva acentuada, IV. Ponto de parada de transporte público (vans)e V. Companhia energética.
P6	I. BR-010 em curva, II. Ponto de parada de transporte público (vans), III. Venda de agroquímicos, e V. Garagem de ônibus.
P7	I. Próximo a pista do aeroporto e II. Projeto cinturão verde.
P8	I. Viveiro de plantas, II. Lombada, III. Revendedora de pneus, IV. Correios e V. Próximo a pista do aeroporto.
P9	I. Posto de combustíveis, II. Comando da aeronáutica e III. Ferro velho.
P10	I. Entrada da cidade, vários cruzamentos de vias, II. Ponto de parada de transporte público (vans) e III. Residencial.

8.7. Preparo das amostras e determinação analítica

As amostras após a exposição foram recolhidas e secas em estufa com circulação de ar a 60 °C por 24 horas. As amostras de fungo liquenizado foram pesadas em balança analítica Bioprecisa FA2104N com precisão de 0,0001 g e em seguida transferidas para

Erlenmeyer de 250 mL e adicionado 20 mL de ácido clorídrico (HCl) PA juntamente com 10 mL de ácido nítrico (HNO₃) PA. O material foi então levado à chapa de aquecimento até a secura. Em seguida foi adicionado 20 mL de água deionizada e novamente aquecida até redução do volume para 50% do inicial.

Após esta etapa o material foi resfriado à temperatura ambiente. O sobrenadante foi filtrado em balões volumétricos de 25 mL com auxílio de papel de filtro quantitativo faixa preta e o avolumado com água desionizada. A concentração dos Fe, Cr, Cd e Pb metais totais nas amostras foi determinada por Espectrometria de Absorção Atômica em Chama (EAA) no equipamento VARIAN modelo Spectra AA240.

9. RESULTADOS E DISCUSSÃO

9.1 Análises morfológica e anatômica do fungo liquenizado

As amostras do fungo liquenizado foram analisadas de acordo com suas estruturas morfológicas e anatômicas. Para tanto foram escolhidos três pontos ao longo da BR-010 para seu transplante. Os fatores que determinaram a escolha dos pontos foram:

- Intensidade de tráfego de veículos;
- Presença de empreendimentos com potencial poluente;
- Proximidade do aeroporto.

Partido desses fatores os pontos estabelecidos foram P.3, P.8 e P.10.

Os fungos liquenizados transplantados para esses pontos foram acompanhados durante o período 30 dias, e amostras foram coletadas a cada 15 dias para as análises morfológica e anatômica. Os resultados foram comparados com o mesmo estudo realizado com amostras da área controle.

A fig. 5 a seguir apresenta as imagens obtidas por meio de microscópio com ampliação de 100X, com variação de zoom na imagem fotográfica.

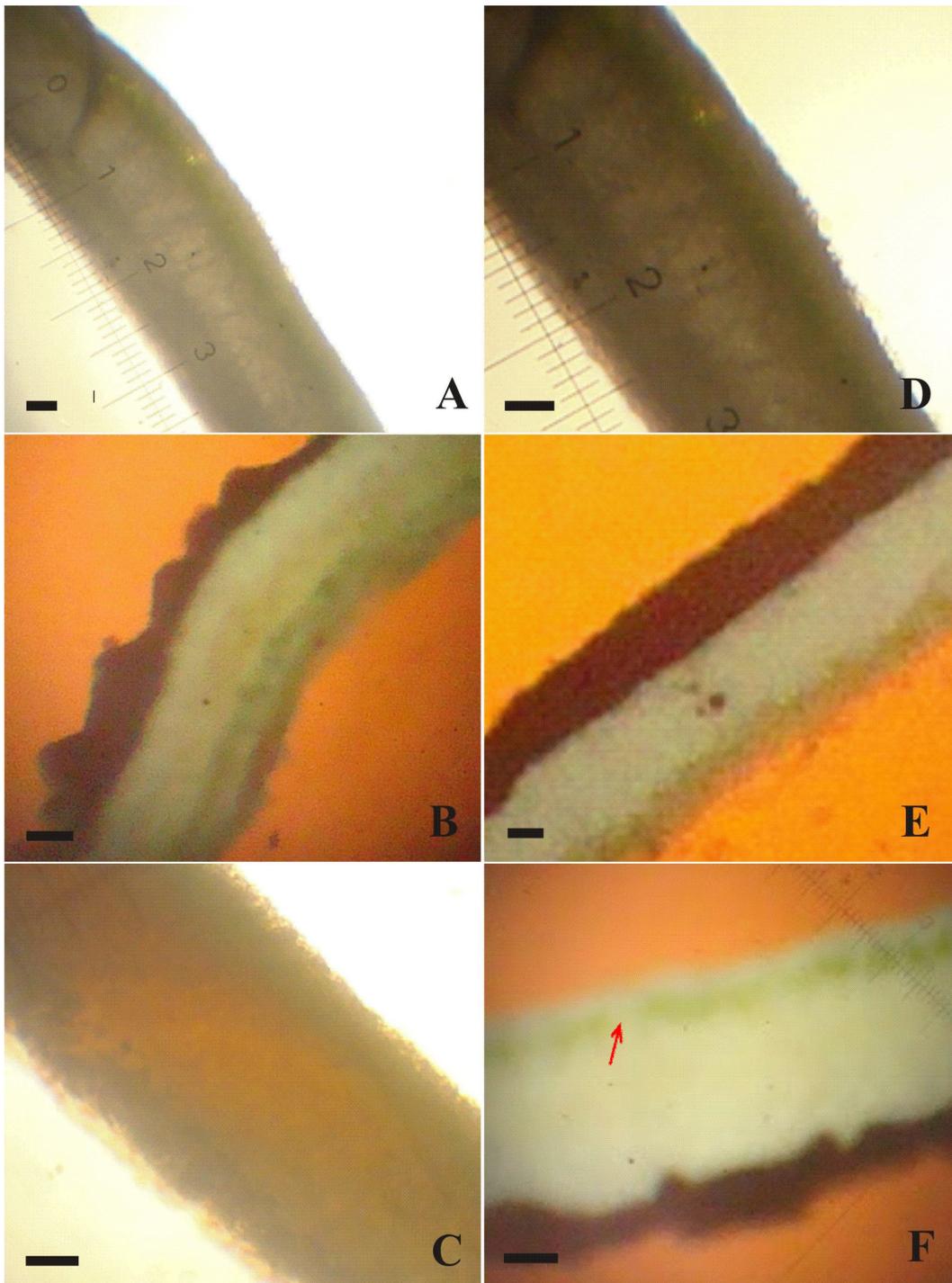


Figura 5: (A): Imagem microscópica de corte do fungo liquenizado da área controle; (B) Em P.3 (t = 0 dias); (C) Em P.3. (t = 15 dias); (D) Em P.8. (t = 0 dias); (E) P.8. (t = 15 dias); (F) Em P.8. (t = 30 dias) Escala: 150 μ m.

A amostra controle apresentava talo branco acinzentado, distribuição de algas regular por todo o talo, medula branca e a camada de algas variando entre 125-150 μm como pode ser observado na figura 5 (A). Este resultado confere com a descrição da espécie de *Parmotrema wrightii* de Ferrari & Elix, (1993). Por se tratar de táxons com talo heterômero (talo organizado em camadas) foi observado o córtex superior pouco compacto o que pode influenciar na absorção da substância a que serão submetidas.

As amostras transplantadas (Fig. 5B e 5D) depositadas em $t = 0$ dias, apresentam-se em acordo com a descrição da amostra controle (Fig. 5 A), onde observa-se a camada de alga contínua.

Após a exposição de 15 dias, a amostra P. 3, que encontrava-se localizada ao lado do viaduto que liga uma parte da cidade a outra, apresentou como alteração morfológica a cor do talo sem alteração da camada de alga (Fig. 5 C).

Os estudos para 30 dias com essa amostra não ocorreram devido ao fato de que a mesma não foi encontrada.

Em P.8, localizado próxima ao aeroporto que tem ao seu redor o projeto cinturão verde, área entorno da pista utilizada para o plantio de hortas e hortaliças, apresento mudança de coloração, com parte do talo ausência de camada de alga, deixando-o com partes necrosadas (Fig. 4: E), Com 30 dias a camada de algas diminui de 150 μm para 75 μm e aumentaram as partes sem esta camada de algas (Fig. 4: F),

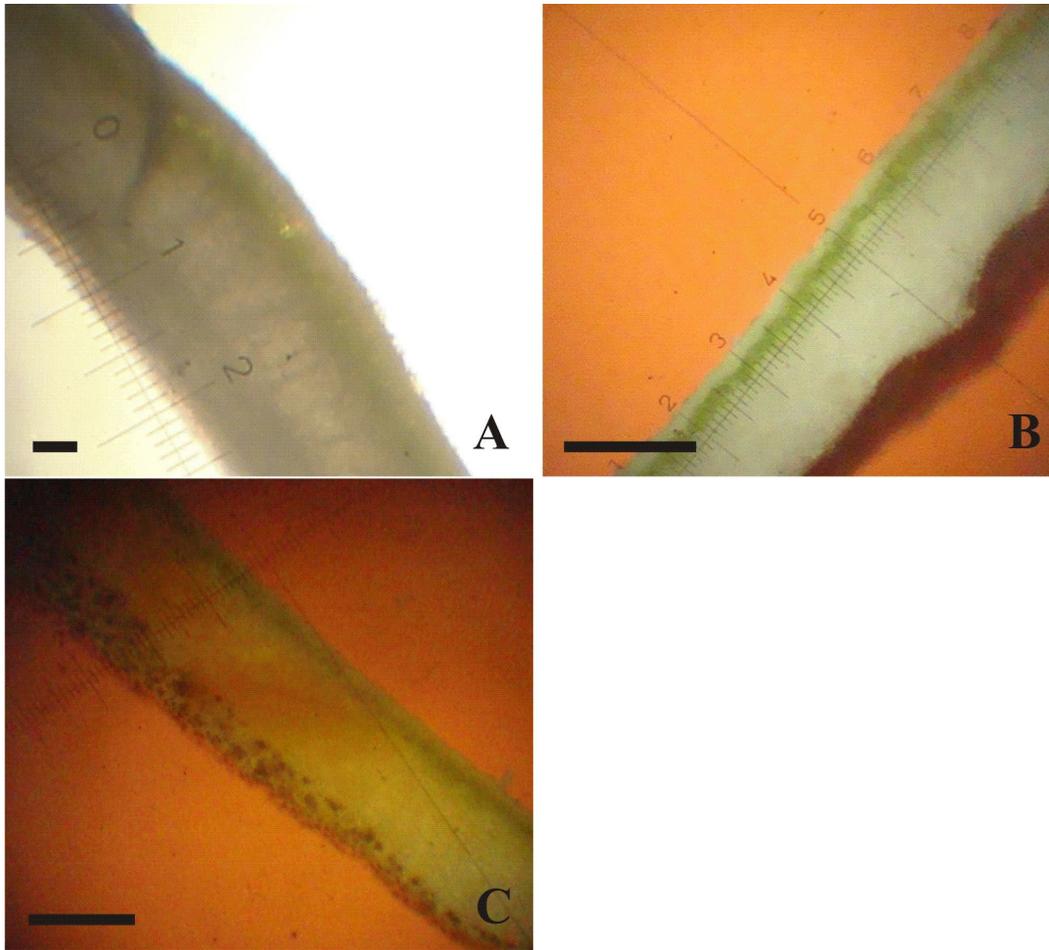


Figura 6: (A): Imagem microscópica de corte do fungo liquenizado no ponto 10 antes da exposição. (B): Imagem microscópica de corte do fungo liquenizado no ponto 10 após 15 dias de exposição. (C): Imagem microscópica de corte do fungo liquenizado no ponto 10 após 30 dias de exposição. Ampliação 100X. Escala: 150 μ m.

No ponto 10, saída da cidade, ao lado de um posto de gasolina, o talo ficou parcialmente avermelhado e a camada de algas reduziu para 25 μ m após 15 dias de exposição (Fig. 5: B), os dados mostram que houveram alterações nas concentrações dos metais: Fe (de 2,793 para 3,556 mg/L), Cd (de um valor abaixo do limite de detecção para 0,003 mg/L) e Pb (de 0,036 para 0,057 mg/L) e após 30 dias atingiu 15 μ m (Fig. 5: C), os dados mostram que houveram alterações nas concentrações dos metais: Fe (de 2,793 para 1,967 mg/L), Cr (de um valor abaixo do limite de detecção para 4,054 mg/L), Cd (de um valor abaixo do limite de detecção para 0,007) e Pb (de 0,036 para 0,005 mg/L).

Alterações em seu fotobionte ao longo dos dias podem acontecer visto que as mesmas não estão em seus habitat e sua capacidade fisiológica é totalmente influenciada por alterações no seu ambiente. Dados desse tipo são relatados por Cruz *et al.*,(2008), onde a mesma verificou que durante o experimento com *Cladia aggregata* (fungo liquenizado) sob ação de formaldeído em condições de laboratório, sofreu total desorganização metabólica e atribuiu a reação das amostras a uma mudança de microambiente, já que foram confinados em uma cúpula.

Em estudos realizados por Silva (2006) com *C. verticillaris* submetidas ao acetato de chumbo em condições de laboratório, também foi verificado prejuízos causados a espécie. Mota-Filho (2005), também realizou o mesmo tipo de experimento com PbO₂, também chegando a resultados similares, e constatando danos morfológicos e fisiológicos em *C. verticillaris*.

No trabalho realizado por Saipunkaew *et al.* (2005) cita a espécie *Dirinaria picta* como tolerante em regiões poluídas, e Martins *et al* (2008) destacou que a espécie apesar de ser um fungo liquenizado pertencente ao grupo dos foliosos considerados mais sensíveis às alterações ambientais, foi medianamente tolerante à poluição, comprovando a resistência da espécie.

9.2 Determinação de metais tóxicos nos fungos liquenizados por FAAS

A análise das amostras por FAAS para Fe, Cr, Cd e Pb foram obtidos a partir das leituras das amostras digeridas. Os dados das curvas analíticas para os metais estudados encontram-se no quadro 6.

Quadro 6: Equações das retas para curva de calibração.

Metal tóxico	Equação da reta (Y = a + bx)
Fe	Y = 0,00262 + 0,01794x, R= 0,999
Cr	Y = -0,00143 + 0,02787x, R = 0,999
Cd	Y = -0,0005 + 0,16679x, R = 0,998
Pb	Y = -0,00196 + 0,02255x, R = 0,999

R = coeficiente de correlação linear, a= coeficiente angular, b- coeficiente linear.

Nas tabelas 2 e 3 são mostrados os resultados obtidos com as determinações analíticas realizadas em amostras de líquens de *Parmotrema wrightii* transplantadas para 10 pontos ao longo da BR-010, a distância entre o ponto 1 e o ponto 10 é de 4,8 km aproximadamente, na cidade de Imperatriz-Ma no período de 01 de fevereiro a 02 de março, no período de intensas chuvas, com índice pluviométrico em média de 209 mm e acordo com Instituto Meteorologia Nacional (2014).

A análise da amostra controle (0,200 g) apresentou os seguintes resultados para metais: Fe = 2,793 mg L⁻¹, Cr = menor que limite de detecção, Cd = menor que limite de detecção e Pb = 0,036 mg L⁻¹.

Na tabela dois as concentrações estão na unidade miligrama por litro que é a unidade da leitura do equipamento.

Tabela 2 – Concentrações (mg L⁻¹) de Fe, Cr, Cd e Pb em fungos liquenizados transplantados para a área de estudo e expostos por 15 e 30 dias.

Pontos	Amostra (grama)	Fe (mg L ⁻¹)		Cr (mg L ⁻¹) **		Cd (mg L ⁻¹) ***		Pb (mg L ⁻¹)	
		15 d*	30 d	15 d	30 d	15 d	30 d	15 d	30 d
Controle	0,200	2,793	2,793	<LD	<LD	<LD	<LD	0,036	0,036
P.1	0,200	4,664	5,884	<LD	0,029	<LD	0,003	0,018	0,007
P.2	0,200	4,662	3,374	0,063	0,457	0,001	0,005	0,070	0,050
P.3	0,100	3,062	2,276	0,153	0,026	<LD	0,004	0,086	0,041
P.4	0,173	4,082	1,746	<LD	<LD	<LD	0,004	0,042	<LD
P.5	0,100	2,298	2,725	0,162	0,523	<LD	0,003	0,044	0,037
P.6	0,200	5,781	6,566	0,164	0,115	0,003	0,005	0,016	<LD
P.7	0,200	5,795	5,095	0,071	0,486	0,001	<LD	0,057	0,004
P.8	0,158	5,440	8,063	0,018	0,159	0,004	<LD	0,031	0,033
P.9	0,200	3,556	4,666	<LD	0,061	0,001	0,002	0,049	0,039
P.10	0,072	3,556	1,967	<LD	4,054	0,003	0,007	0,057	0,005

d* = dias. **: limite de detecção (LD) da curva segundo do especificação do fabricante (0,06 µg/L). ***: limite de detecção (LD) da curva segundo especificação do fabricante (0,00001)

Em relação ao Fe nos primeiros 15 dias a maior concentração está em P.7 que tem ao seu redor a pista do aeroporto cercado pelo projeto cinturão verde, enquanto a menor concentração foi encontrada em P.5 que tem ao seu redor cruzamento de vias, parada de transporte coletivo (vans) e está localizado próximo a uma lombada e uma curva. Os dois pontos têm como principal diferença a urbanização enquanto em P.7 há menos edificações por ser próximo ao aeroporto e o projeto cinturão verde já em P.5 encontra-se em uma área bastante urbanizada. Uma fonte de Fe é a ressuspensão do ar principalmente em áreas menos urbanizadas. Em 30 dias o P.7 continuou sendo o ponto com maior concentração mantendo a suspeita da influência da relação entre concentração de Fe na atmosfera e a ressuspensão.

O Cr apresentou maior concentração em 15 dias em P.6 que tem ao seu redor um ponto de parada de transporte coletivo (vans), venda de agroquímicos, garagem de ônibus e localiza-se próximo de uma curva, enquanto. Os resultados mostram que é possível utilizar o fungo liquenizado como biomonitor de Cr, visto que na amostra controle a concentração foi abaixo do limite de detecção já com 15 dias de exposição da amostra foi possível se obter leitura de concentração de cromo no equipamento. Já em 30 dias a concentração encontrada foi muito maior em P.10 que está localizado na entrada da cidade onde há vários cruzamentos de vias, ponto de parada de transporte público e residencial. O grande aumento da concentração em 30 dias pode indicar que o fungo liquenizado quando for usado para monitorar Cr é mais efetivo em um período maior de tempo no caso 30 dias.

Em relação ao Cd o ponto com maior concentração em 15 dias foi o P.8 que tem ao seu redor um viveiro de plantas, uma lombada, uma revendedora de pneus, os correios e a pista do aeroporto. O ponto que apresentou menor concentração foram os pontos P.2, P.7 e P.9. Com 30 dias as concentrações aumentaram em todos os pontos em relação a leitura de 15 dias o que pode indicar que o fungo liquenizado quando for usado para monitorar Cd é mais efetivo em um período maior de tempo no caso 30 dias.

Destaca-se em relação ao Pb nos primeiros 15 dias a maior concentração foi encontrada em P.3 que tem ao seu redor um viaduto, uma garagem de ônibus, um ponto de venda e troca de lubrificantes e localiza-se em uma grade reta. Sua menor concentração foi encontrada em P.6 que tem ao seu redor um ponto de parada de

transporte coletivo (vans), venda de agroquímicos, garagem de ônibus e localiza-se próximo de uma curva. Em relação a esses dois pontos destaca-se como diferença relevante a maior concentração foi encontrada em um ponto localizado em uma grande reta onde os veículos precisam acelerar mais, logo, aumentam o consumo e combustível e suas descargas despejam mais poluentes na atmosfera, enquanto, no ponto em que foi encontrada a menor concentração está localizado próximo a uma curva ponto de menor aceleração ou de redução da aceleração e menor consumo de combustível. As concentrações de Pb de 15 para 30 dias foram menores em praticamente todos os pontos.

A tabela 3 mostra os valores da tabela 2 convertidos para miligrama do metal tóxico por quilograma da amostra.

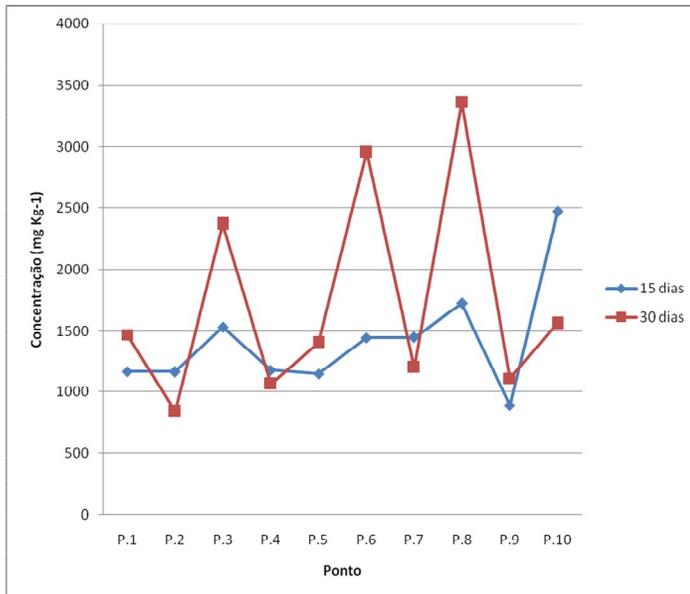
Tabela 3 – Concentrações (mg Kg^{-1}) de Fe, Cr, Cd e Pb em fungos liquenizados transplantados para a área de estudo e expostos por 15 e 30 dias.

Pontos	Massa da amostra (grama)	Fe (mg Kg^{-1})		Cr (mg Kg^{-1}) **		Cd (mg Kg^{-1}) ***		Pb (mg Kg^{-1})	
		15 d*	30 d	15 d	30 d	15 d	30 d	15 d	30 d
Controle	0,200	698,250		<LD		<LD		9,000	
P.1	0,200	1166,000	1471,000	<LD	1,750	<LD	0,750	4,500	1,750
P.2	0,200	1165,500	843,5000	15,750	12,5000	0,250	1,250	17,500	12,500
P.3	0,100	1531,000	2370,833	76,000	42,708	<LD	4,167	43,000	42,708
P.4	0,173	1179,769	1064,634	<LD	<LD	<LD	2,439	12,139	<LD
P.5	0,100	1149,000	1404,639	81,000	19,072	<LD	1,546	22,000	19,072
P.6	0,200	1445,250	2957,658	41,000	<LD	0,750	2,252	4,000	<LD
P.7	0,200	1448,750	1201,651	16,745	0,943	0,236	<LD	13,443	0,943
P.8	0,158	1721,519	3359,583	5,696	13,750	1,266	<LD	9,810	13,750
P.9	0,200	889,000	1110,952	<LD	9,286	0,250	0,476	12,250	9,286
P.10	0,072	2469,444	1561,111	<LD	3,968	2,083	5,556	39,583	3,968

d* = dias. **: limite de detecção (LD) da curva segundo do especificação do fabricante ($0,06 \mu\text{g/L}$). ***: limite de detecção (LD) da curva segundo especificação do fabricante (0,00001)

Para melhor observação dos dados eles foram colocados em gráficos.

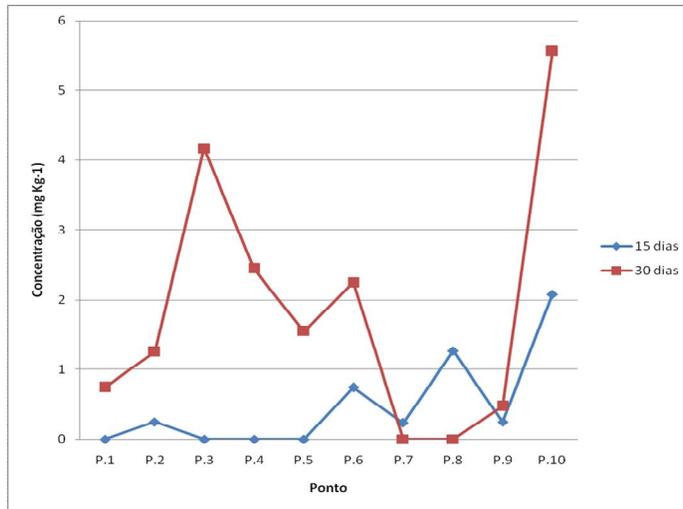
Gráfico 1- Leitura das concentrações de Ferro nos pontos de 1 a 10 em 15 e 30 dias de exposição na BR-010, em Imperatriz-MA



O ferro apresentou a menor taxa de concentração no ponto 9, localizado próximo a uma parada de transporte alternativo, uma região bastante urbanizada, logo, com pouca área verde. Taxas mais elevadas foram obtidas no ponto 10, este localizado nas proximidades de uma empresa de recauchutagem de pneus e um viveiro de plantas ornamentais, uma área com muito verde, pois está próximo a pista de pousos e decolagem que ao seu redor tem o projeto cinturão verde onde famílias cultivam hortaliças.

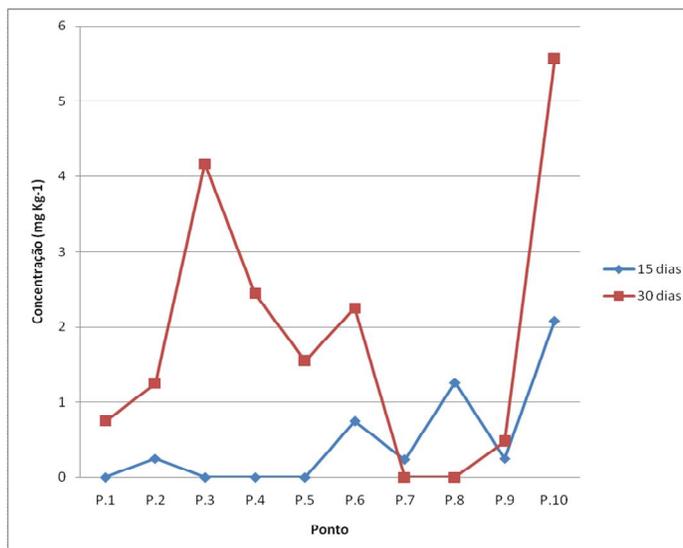
Por sua vez, o cromo apresentou menor índice no ponto 8, situado próximo a um posto de combustível, o comando da aeronáutica (residências) e um ferro velho. Sendo a maior concentração no ponto 5, que se localiza no cruzamento na entrada da cidade e que também funciona como um ponto de transporte alternativo.

Gráfico 2- Leituras das concentrações de Cádmiio nos pontos de 1 a 10 em 15 e 30 dias de exposição na BR-010, em Imperatriz-MA.



Para o cádmio, a menor taxa registrada foi no ponto 7, localizado em frente a uma garagem de ônibus e de uma retífica de motores, enquanto que o maior índice foi no ponto 10, situado próximo ao projeto Cinturão Verde, onde agricultores cultivam hortaliças, também é próximo a pista de pouso de decolagens do aeroporto.

Gráfico 3- Leituras das concentrações de Cromo nos pontos de 1 a 10 em 15 e 30 dias de exposição na BR-010, em Imperatriz-MA.



As concentrações obtidas para os metais analisados entre os diferentes pontos estudado revelaram que o Pb apresentou menor concentração no ponto 6, ponto este em frente a um posto de combustíveis, próximo a uma garagem de ônibus, uma empresa de

filtros e lubrificantes, um cruzamento muito movimentado e uma lombada. Sendo a maior concentração no ponto 3, que fica próximo ao viaduto, enfrente a uma garagem de ônibus, uma retífica de motores, no meio de uma grande reta. A concentração no ponto 6 é menor que a concentração da amostra controle, a redução da concentração pode ser justificado pelo excesso de chuva no período, amostra está em um ponto desprotegido ou a estabilidade do chumbo, visto que o mesmo não é dissolvido facilmente o que pode reduzir sua absorção por parte do fungo liquenizado.

Ao longo da BR-010 existem muitos postos de combustíveis. A contaminação humana: a contaminação humana pode ocorrer pela via dermal, via respiratória e via oral. De acordo com Gomes (1981) e Mello (1991) os funcionários de postos de serviços que trabalham em contato com os combustíveis, formam um grupo de risco devido a algumas características dos produtos, ou seja, estão suscetíveis a adquirir doenças na pele (dermatites) e conforme a natureza de alguns componentes serem classificados como carcinogênicos podem causar modificações cito genéticas e levá-los a câncer e leucemia.

Também podem ser observados empreendimentos de venda de óleo lubrificantes. São inúmeras as causas das agressões ao meio ambiente, a população mundial ainda não percebeu a importância do mesmo para sua sobrevivência, essa desvalorização tem consequências que são irreversíveis. Novas leis são criadas, acordos internacionais são feitos, mas os problemas ambientais continuam existindo. Dentre os existentes, destacam-se resíduos sólidos (domésticos e industriais, etc.), e um dos resíduos gerados que representam riscos de poluição ambiental são os filtros de óleo lubrificante.

As coletas e análises das amostras foram realizadas nos meses de fevereiro e março, estes são os meses com índice pluviométrico alto na cidade de Imperatriz, possivelmente isto explique o porquê às análises realizadas com as amostras após 30 dias apresentam concentrações de metais tóxicos menores do que as análises com 15 dias.

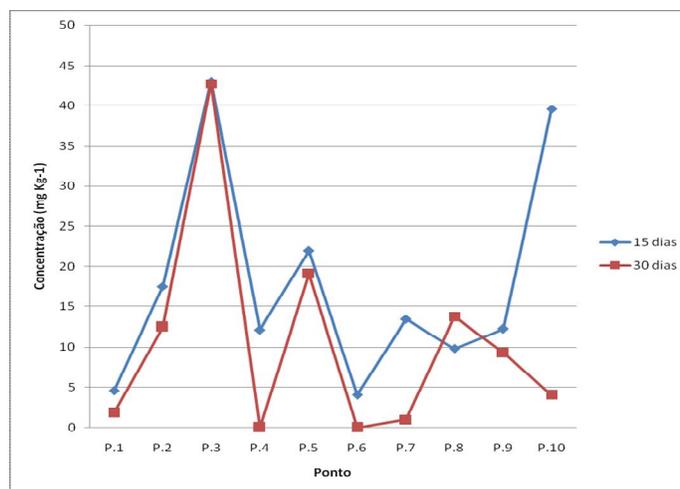
As concentrações de Pb foram maiores nos primeiros 15 dias, a variável que influenciou nesse resultado foram às chuvas que precipitaram nesse intervalo. Em relação às concentrações de Fe, foram altas tanto nas amostras dos 15 dias quanto dos 30 dias, destacando-se alguns pontos que ficam em áreas com loteamentos nas proximidades. Quanto ao Cr e ao Cd as concentrações foram muito baixas. Aos 30 dias

o Pb apresentou menor concentração no ponto 7 e maior no ponto 3. O Fe teve a menor concentração no ponto 2 e maior no ponto 8. O Cr apresentou menor concentração no ponto 9 e maior no ponto 10. O Cd teve menor concentração no ponto 9 e maior no ponto 10. A menor concentração nos 30 dias deve-se a ao aumento do índice pluviométrico e a falta de proteção no ponto.

Segundo os padrões de qualidade do ar em vigor nos Estados Unidos da America o Pb é avaliado segundo padrões primários e secundários. Os padrões primários devem permitir uma margem adequada de segurança para a proteção de saúde pública. Os padrões secundários devem ser adequados á proteção do bem-estar público, compreendendo, entre eles, os feitos sobre a vegetação, colheitas, solos, águas, fauna, sintéticos e visibilidade. Usando o tempo de amostragem de média móvel trimestral a concentração de chumbo não deve ultrapassar o limite que é de $0,15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (EPA, 2011b).

A União Européia, também adotou padrões de qualidade do ar formalizados como valores-limites e valores-alvo. Onde os valores-limites são de atendimento obrigatório a partir da data em que entram em vigor e os valores-alvo devem ser atendidos na medida do possível até a data estipulada para o atendimento. Na tabela de padrões são citados dois dos elementos estudados neste trabalho o chumbo que apresenta como valor limite $0,5 \mu\text{m}/\text{m}^3$, não apresenta valor-alvo e o cádmio que não apresenta valor-limite e a concentração de valor-alvo era de $6 \mu\text{m}/\text{m}^3$ em 31/12/2012.

Gráfico 4- Leitura das concentrações de Chumbo nos pontos de 1 a 10 em 15 e 30 dias de exposição na BR-010, em Imperatriz-MA.



O chumbo é um dos metais mais tóxicos e perigosos à saúde e ao meio ambiente, uma vez que é estável, não dissipa, e não biodegrada. Sob condições naturais a absorção do chumbo por outros materiais é muito lenta, e pode se constituir em fonte de exposição por longos períodos (DIAS *et al.*, 2009).

Há estudos que permitem inferir que, através do índice de pureza atmosférica, pode-se também verificar serem os fungos liquenizados sensíveis aos poluentes derivados da queima de hidrocarbonetos. Estudos feitos por Vieira *et al.* (1995) na área urbana de Garanhuns no Estado de Pernambuco, demonstram os fungos liquenizados com alta desordem fisiológica, através do desequilíbrio entre os teores de clorofilas e feofitinas. No ponto de estudo foi detectado um nível de feofitinas além do esperado. Tal fato pode ser atribuído à área ser de romaria, com inúmeras velas permanentes acesas e transportes de fumaça, através dos ventos, provenientes das queimadas praticadas por agricultores.

No trabalho de avaliação de concentrações de alguns íons metálicos em diferentes espécies de líquens do Mato Grosso do Sul (Raposo-Júnior *et al.*, 2007) o Fe também foi o mais abundante em todas as amostras.

Outros trabalhos já foram realizados utilizando fungo liquenizado como bioindicadores, porém com outra metodologia. *Cladonia verticillaris* foi usada para avaliação da qualidade do ar em Belo Jardim (PE), área caracterizada pela presença de indústrias de bateria e fundição. Os fungos liquenizados foram dispostos em onze locais diferentes para avaliar a dispersão de poluentes e seus efeitos como o biomonitor por mais de oito meses. A análise foi realizada com técnicas de cromatografia líquida de alta eficiência e microscopia eletrônica de varredura. *C. verticillaris* próximas as fontes de emissão mostraram alteração no seu metabolismo, diminuindo a produção do seu composto principal, ácido fumarprotocetrárico e deterioração das suas superfícies externas e internas e foi usado para a análise de metais em Pernambuco (FILHO, 2007, SILVA, 2002).

Usnea sp foi usado para realizar avaliação da concentração de dióxido de enxofre no ar de Santa Maria – RS foi realizada usando-se o fungo liquenizado do gênero *Usnea* como biomarcador. Coletou-se extratos acompanhados de substratos em área sem influência de poluentes e expostos em pontos da cidade com intenso tráfego de veículos automotivos. O procedimento foi repetido nas quatro estações do ano e o teor

de enxofre acumulado foi analisado pela técnica de turbidimetria. O gênero *Usnea* mostrou ser um bom monitor para dióxido de enxofre atmosférico (KEMERICH, 2011).

Valores elevados de concentração de íons metálicos nos fungos liquenizados têm sido atribuídos á poluição do ar, no entanto, solos contaminados e/ou a composição mineral do solo pode influenciar. Os processos naturais, como ressuspensão de partículas do solo pelos ventos, salugem e emanações vulcânicas podem também proporcionar o enriquecimento de íons metálicos nos fungos liquenizados (BERGAMASHI *et al.*,2004 ; RAPOSO'JUNIOR *et al.* ,2007).

10. DISCUSSÃO FINAL

As análises químicas para metais realizadas nas amostras do fungo liquenizado *Parmotrema wrightii* Ferraro & Elix apresentaram concentrações que permitem avaliar a presença dos metais Fe, Cd, Cr e Pb. O estudo da presença destes metais é fundamental para a identificação dos mesmos na atmosfera da região ao longo da BR – 010 que corta toda a cidade de Imperatriz.

A análise da anatomia do fungo liquenizado *Parmotrema wrightii* Ferraro & Elix possibilitou verificar que a camada de algas, que é a estrutura responsável pela fotossíntese da simbiose, diminui de acordo com o tempo de exposição, condição fundamental para a avaliação da condição de biomonitor.

Apesar de não contemplar uma comparação com valores legais, já que a legislação brasileira não dispõe sobre níveis mínimos aceitáveis, o estudo possibilitou avaliar a contribuição das potenciais fontes poluidoras presentes na área de estudo.

Este trabalho permitiu observar que o fungo liquenizado *Parmotrema wrightii* Ferraro & Elix tem potencial para ser utilizado como biomonitor e que a qualidade do ar na área urbana da BR – 010 na cidade de Imperatriz é impactada pelo trânsito, bem como pelos empreendimentos instalados nos arredores, empreendimento como garagens de ônibus, postos de combustíveis, empresas que trabalham com troca de filtros e de óleos lubrificantes, recauchutagem de pneus entre outros.

O fato de a cidade de Imperatriz localizar-se a 68 Km da cidade de Açailândia, onde é desenvolvido parte do Projeto Grande Carajás, com o transporte de minério de ferro para o polo siderúrgico de Açailândia com cinco guseiras que transformam o minério em ferro-gusa mostra a necessidade de estudos como este devido a possibilidade da dispersão de poluentes atmosféricos como metais tóxicos que podem atingir a população da região.

Portanto, o biomonitoramento com o fungo liquenizado é uma opção pela facilidade de amostragem, baixo custo e conhecimento prévio da eficiência de tal organismo em estudos de poluição atmosférica.

O desenvolvimento de mais estudos como este se faz necessário devido a relevância econômica da região, pois a mesma no momento não dispõe de nenhum método de monitoramento do ar e os resultados obtidos por meio de biomonitores possibilitam uma avaliação confiável da qualidade do ar o que pode levar a redução de danos a saúde humana e ao meio ambiente.

12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, CA; ABREU, MF; ANDRADE, JC. **Distribuição de chumbo no perfil de solos avaliada pelas Soluções de DTPA e Mehlich-3**. *Bragantia*, v.57, p.185-192, 1998.
- ABU – HILAL, A. H.; BADRAN, M. M. **Effect of pollution sources on metal concentrations in sediment cores from the Gulf of Aqaba (Red Sea)**. *Marine Poll. Bull.*, v.21, n.4, p. 190-197, 1990.
- Air quality guidelines [banco de dados na Internet]. Genebra: World Health Organization. WHO 1999 – [citado em 18 de julho de 2002]. Disponível em: <http://www.who.int/environmental-information/Air/Guidelines/chapter2.htm>. > Acesso em 14/11/2014.
- ACEITUNO, J. **Já são 76 crianças contaminadas por chumbo em Bauru**. O ESTADO DE SÃO PAULO. 18-04-2002. Disponível em <<http://ciencia.estadao.com.br/noticias/geral,ja-sao-76-as-criancas-contaminadas-por-chumbo-em-bauru,20020418p58914>> Acesso em 14/11/2014.
- AISLAN, A.; BUDKA, G.; KARABULUT, A. **The amounts Fe, Ba, Sr, K, Ca and Ti in some lichens growing in Erzurum province (Turkey)**. *Jornal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*, v. 88, p. 423-431, 2004.
- AKSOY, A. **Chicory (Cichorium intybusl.): A possible biomonitor of metal pollution**. *Pak. J. Bot.*, 40 (2): 791 – 797, 2008.
- ALLOWAY, B. J. **Heavy Metals in Soils**. New York: John Wiley & Sons, 1990. 339p.
- ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. A ANVISA na redução à exposição involuntária à fumaça do tabaco, 2009.
- ARAÚJO, C. U.; PIVETTA, F. R.; MOREIRA, J. C. Avaliação da exposição ocupacional ao chumbo: proposta de uma estratégia de monitoramento para prevenção dos efeitos clínicos e subclínicos. *Cad. Saúde Pública*, [S.l.], v. 15, p. 123-131, 1999.
- ASAHINA, Y. & SHIBATA, S. 1954. **Chemistry of Lichen Substances**. Japan Society for the Promotion of Science, Tóquio.
- [ATSDR] AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY. **Toxicological profile for chromium**. Syracuse: U.s. Department of Health & Human Services, 2012.

- AUFFAN, M, ROSE, J., BOTTERO, J.Y., JOLIVET, J.P., WIESNER, M.R. **Towardas a definition of inorganic nanoparticles from an environmental, health and safety perspective.** Nat Nanotechnol; 4:634-41; 2009.
- BADDEDLEY M. S.; FERRY B. W.; FINEGAN E. J. Sulphur dioxide and respiration in lichens. In: FERRY, B. W.; BADDELEY, M. S, HAWKSWORTH, D. L. (Org.) **Air Pollution and Lichens.** Ed. The Athlone Press, London, 1973. p. 299-313.
- BAIRD, C. Química Ambiental. 2. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2002. 622 p
- BALIGAR, V. C.; FAGARIA, N. K.; ELRASHIDI, M. A. (1998). **Toxicity and nutrient constraints on root growth.** HortSci., 33: 960 – 965.
- BARBETTA, P. A. **Estatística Aplicada às Ciências Sociais.** 5. ed. Florianópolis: Editora da UFSC. 2002.
- BARCELÓ, J.; POSCHENRIEDER, C. **Respuestas de las plantas a la contaminación por metales pesados.** Suelo y Planta, v.2, p.345-361, 1992.
- BARGAGLI, R.; MIKHAILOVA, I. Accumulation of inorganic contaminants. In: NIMIS, P. L.; SCHEIDEGGER, C.; WOLSELEY P. A. (Org.). **Monitoring with lichens – Monitoring lichens.** Ed. U.S.A., 2002. p. 65-84.
- BARKMAN. J. J. **Phytosociology and ecology of cryptogamic epiphytes.** Assen, Netherlands; Van Gorcum, 1958.
- BENATTI, M.N. & MARCELLI, M.P. 2007. **Gêneros de fungos liquenizados dos manguezais do Sul-Sudeste do Brasil, com enfoque no manguezal do Rio Itanhaém, Estado de São Paulo.** Acta Botanica Brasilica 21: 863-878.
- BERGMANN, W. **Nutrition disorders of plants: development, visual and analytical diagnosis.** Plant Soil, 66(3):229-316, 1982.
- BERGAMASHI, L.; RIZZIO, E.; GIAVERI, G.; PROFUMO, A.; LOPPI, S.; GALLORINI M.; **Chemosphere** 2004, 55, 933.
- BERGMANN, W. **Nutritional disorders of plants: developments, visual and analytical diagnosis.** New York: Gustav Fischer Verlag Jena, p.741, 1992.
- BOUBEL, R. W., FOX, D. L., TURNER, D. B., STERN, A. C., 1994 – **Fundamentals of Air Pollution** – 3.^a ed. – Academic Press, California, USA.
- BRAGA, B., HESPANHOL, I., CONEJO, J.G.L., MIERZWA, J.C., BARROS, M.T.L., BRANCO, S. M.; Murgel, **Poluição do ar.** Coleção Polêmica. São Paulo, Ed. Moderna, 1995, 87p.

BRASIL. ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 34, de 18 de agosto de 2010. **Dispõe sobre o Regulamento Técnico para produtos saneantes desinfetantes.** Diário Oficial da União - Ministério da Saúde, Brasília, DF, Brasil. Acesso em: 14/11/2014.

BRODO, I.M., SHARNOFF, S.D. & SHARNOFF, S. 2001. **Lichenof North America.** Yale University Press, New Haven.

BROOK RD, Rajagopalan S, Pope CA 3rd, Brook JR, Bhatnagar A, Diez-Roux AV, *et al.* **Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: An update to the scientific statement from the American Heart Association.** *Circulation.* 2010;121(21):2331-78. <<http://dx.doi.org/10.1161/CIR.0b013e3181dbeece1>>. Acesso em 04 de dezembro de 2013.

BROOK, R.D., RAJAGOPALAN, S., POPE, C.A III, BROOK, J.R., BHATNAGAR, A., **Circulation;** 121:2331-2378; 2010.

BUNGARTZ, F. 2001. **Analysis of lichen substances.** http://ces.asu.edu/ASULichens/plb_400/laboratory/chemistry/tlc.html (acesso em 01/10/2004).

CARLOSENA, A., ANDRADE, J. M., PRADA, D., 1988 – **Searching for Heavy Metals Grouping Roadside Soils as a Function of Motorized Traffic Influence.** – *Talanta – The Internacional Journal of Pure and Applied Analytical Chemitry*, 47 – p 753 – 767.

CARMINITTI, L. (2008). PIETROBELI, J.M.T.A (2007). **Estabelecimento do potencial de plantas no monitoramento de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) presentes na atmosfera urbana de São Paulo, SP.** Dissertação.ambiente. Biodiversidade vegetal e meio ambiente. Instituto de Botânica da Secretaria do Meio Ambiente.

CARNEIRO, R.M.A. **Bioindicadores vegetais de poluição atmosférica: uma contribuição para a saúde da comunidade.** Ribeirão Preto, 2004. 144 p. Dissertação (Mestrado em Enfermagem) – EERP, Universidade de São Paulo.

CAVALCANTI, P. M. S., 2003, **Avaliação dos Impactos Causados na Qualidade do Ar pela Geração Termelétrica.** Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

CERCASOV, V.; PANTELICA, A.; SALAGEAN, M.; SHREIBER, H. **Comparative evaluation of some pollutants in the airborne particulate matter in Eastern and**

Western Europe: two-city study, Bucharest-Stuttgart. *Environ. Poll*, v.101, p. 331-337, 1998.

CERQUEIRA, L., 2000 – **Emissões Atmosféricas, Veículos Comprometem a Qualidade do Ar** – Saneamento Ambiental, Ano XI, n.64, São Paulo, Brasil – p.38 – 39.

CHANT, I. D., ROSE, P. E., & MORRIS, A. G. (1996). **Susceptibility of AML cells to in vitro apoptosis correlates with heat shock protein 70 (hsp70) expression.** *British Journal of Haematology*. 93(4):898-902.

COCCARO, D.M.B. (2001). **Estudo da Determinação de Elementos – Traço em liquens para Monitoração Ambiental.** Dissertação de Mestrado, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN, Brasil.

COCHRAN, J. K.; Frignami, M.; Salamanca, M.; Bellucci, L .G.; Guerzoni, S.; *Mar. Chem.* **1998**, 62, 15.

COHEN, A.J., ROSS ANDERSON, H., OSTRO, B., et al. **The global burden of disease due to outdoor air pollution.** *J Toxicol Environ Health A*; 68:1301-7; 2005; LOPEZ, A.D., MATHERS, C.D., EZZANI, M., JAMISON, D.T., MURRAY, C.J. Global and regional burden of disease and risk factors, 2001: systematic analysis of population health data. *Lancet*; 367:1747-57; 2006.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **Qualidade do ar.** Disponível em < <http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/Informa??es-B?sicas/21-Poluentes>> Acesso em 06/10/2014.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **Relatório final – Seminário Internacional Políticas Públicas e Padrões de Qualidade do Ar na Macrometrópole Paulista.** Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Tecnologia/camaras/gt_ar/r_final.pdf> Acesso em 07/10/2014.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. 1989. Resolução Conama n° 003. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res90/res0390.html>> Acesso em 06/10/2014.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. 1989. Resolução Conama n° 401. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MMA/RE0401-041108.PDF>> Acesso em 06/10/2014.

CONTI, M.E. e CECCHETTI. **Biological monitoring: lichens as bioindicators of air pollution assessment – a review**. Environmental Pollution. 114 (2001) 471 – 492.

COOPINS, B. J. **The drought hypothesis**. In: FERRY BW, BADDELEY MS, HAWKSWORTH DL. (Org). **Air Pollution and Lichens**. The Athlone Press, London, p. 124-142. 1973.

CORTIZO, M.S., 2006. **Polymerization of diisopropyl fumarate under microwave irradiation**. J. Appl. Polym. Sci., in press.

CRUZ, M. B. et al., **Monitoramento da ação do formaldeído sobre Cladia aggregata (líquens), em condições de laboratório**. 2008. Disponível em: <http://www.caminhosdegeografia.ig.ufu.br/viewissue.php?id=57>> acesso em: 22 Nov 2014.

DEGOBERT, P. **Automobiles and pollution**. Paris: Society of Automotive Engineers, Technip, 1995. 491p.

Diário da República (1999), Decreto-Lei n.º 276/99, de 23 de Julho, n.º 170 I Série-A

DIAS, E. da S.; KARASINSKI, C. A.; ROCHA, J. E.. **Guia para aplicação e manutenção de banco de baterias**. Disponível em: <http://www.daelt.ct.utfpr.edu.br/engenharia/tcc/monografia_guia_aplicacao_baterias_2009.pdf> acesso em: 10 de outubro de 2014.

DOCKERY, D.W., POPE, C.A. 3rd, XU, X., et al. **An association between air pollution and mortality in six U.S. cities**. N Engl J Med; 329:1753-9, 1993.

Engenharia Ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável, 2.ed., São Paulo: Pearson

European Commission; Environment and Health; EEA Report n.º 10/2005.

FERNANDES, F.; LUFT, C.P.; GUIMARAES, F.M. **Dicionário Brasileiro Globo**. 42. Ed. São Paulo: Globo, 1996.

FERNANDEZ, J.A.; REY, A. & CARBALLEIRA, A. **An extended study of heavy metal deposition on Galicia (NW Spain) based on moss analysis**. Journal Science of the Total Environment, 2000. 254 p.

FILHO, W. M.; SILVA, E. C. B e.; COSTA, R. B. de M. L. da.; PINAUD, D. Z. **“JÁ NÃO DÁ MAIS PRA RESPIRAR”:** o caso da comunidade do **“Piquiá de Baixo”, em Açailândia MA**. VI Encontro Nacional da Anppas, Belém. 2012.

FINK, B. 1905. **How to collect and study lichens**. The Bryologist 8: 22-27.

- FREEDMAN, B. 1995. **Environmental ecology. The ecological effects of pollution, disturbance and other stresses**. 2nd. Academic Press Inc. San Diego.
- FREITAS, C. U de. **Estratégias de abordagem para a exposição ambiental ao chumbo no Estado de São Paulo**. Disponível em: <<http://www.cve.saude.sp.gov.br/htm/doma/chumbo.htm>> . Acessado em 07 de outubro de 2014.
- FUGA, A. **Uso de líquens epifíticos no biomonitoramento da poluição atmosférica da região metropolitana de São Paulo**. 2006. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear), Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN, São Paulo, 2006.
- GALLOWAY, D.J. 1985. **Flora of New Zealand - lichens**. Government Printer, Wellington.
- GALLOWAY, D.J. 2007. **Flora of New Zealand Lichens. Revised Second Edition Including Lichen-Forming and Lichenicolous Fungi**. v.1 e 2. Manaaki Whenua Press, Lincoln.
- GARTY, J., WEISSMAN, L., COHEN, Y., KARNIELI, A., ORLOVSKY, L. **Transplanted Lichens in and around the Mount Carmel National Park and the Haifa Bay Industrial Region in Israel: Physiological and Chemical Responses**. Environmental Research Section A 85, 159 – 176, 2001
- GRIES, G. **Lichens as indicators of air pollution**. In NASH III, T. (Org.). **Lichen Biology**, Cambridge University Press, London, pp. 240-254. 1996.
- GRODZINSKA, K. **Monitoring of air pollutants by mosses and tree bark**. In: STEUBING, L.; JÄGER, H.-J. **Monitoring of air pollutants by plants methods and problems**. Copyright, Netherlands. 1982, pp. 33-42.
- GUAIME, S. **Laudo comprova contaminação dos moradores de Paulínia**. O ESTADO DE SÃO PAULO. 23-08-01. Disponível em <<http://politica.estadao.com.br/noticias/geral,laudo-comprova-contaminacao-dos-moradores-de-paulinia,20010823p33109>> Acesso em 14/11/2014.
- HALE, M.E. 1979. **How to know the Lichens**. The Pictured-Key Nature Series. WM. C. Brown Company Publishers, Dubuque.
- HALE, M.E. 1987. **How to Know the Lichens**. 2 ed. WCB/McGraw-Hill, Boston.

- HARRIS, Daniel. **Análise Química Quantitativa**. 5.ed. Rio de Janeiro: LTC editora, 2001.
- HAWKSWORTH, D. L.; HILL, D. J.; **The lichen-forming fungi**; Blackie & Sons. Ltd. Glasgow, 1984.
- HAWKSWORTH, D.L. **Litmus tests for ecosystem health: the potential of bioindicator in the monitoring of biodiversity**. IN: SWAMINATHAN, M. S. & JANA, S.(eds.) Biodiversity. Implications for global food security. Madras: Macmillan Índia, 17: 184-204, 1992.
- HENRETING, F. M. Lead. *In*: GOLDFRANK'S, L. R.; GOLDFRANK'S, N. E.; FLOMENBAUEM, N. E. A.; LEWIN, R. S.; WEISMAN, M. A. H. & HOFFMAN, R. **S.Goldfrank's Toxicology Emergence**. 6 ed., 1998.
- HENRY, J. Glynn, HEINKE, Gary W. **Environmental science and engineering**. s.l.: Prentice-Hall International, 1989.
- HONDA, N.K. & VILEGAS, W. **A química dos líquens**. Química Nova, v. 6, n. 21, p. 110-125, 1998.
- [HSDB] HAZARDOUS SUBSTANCED DATA BANK. Copper. In: TOMES CPS™ SYSTEM. **Toxicology, occupational medicine and environmental series**. Engwood: Micromedex, 2000. CD-ROM.
- HUNECK, S. & YOSHIMURA, I. 1996. **Identification of Lichen Substances**. Springer, Berlin.
- IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. 2010. Disponível em < <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/link.php?codmun=210530> >. Acesso em :maio. 2013.
- IMPERATRIZ, 2014. < <http://www.imperatriz.ma.gov.br/cidade/>>. Acessado em 10 de maio de 2014.
- INTERNACIONAL LABOUR ORGANIZATION - ILO. Encyclopaedia of occupational health and safety. Metals: chemical properties and toxicity. 4th. Ed. Geneve, 1997. V.3, p.63. 1-63. 68, 1997.
- JACOMINO, V. M. F.; BARRETO, A. A.; TAVARES, F. V. F.; PEIXOTO, C. M.; RODRIGUES, P. C. H. **Avaliação da qualidade do ar em um pólo produtor de ferro-gusa**. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro. v.14. n. 4. p.511-520. 2009.
- KLUMPP, A., GNSSEL, W., KLUMPP, G. e 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 de Botânica, São Paulo, V.24, n.4 (suplemento), p.511 – 518. Dezembro. 2001.
- KOPLAN, J. P. et al. **Lead absorption in a community of potters in Barbados.** *Int J Epidemiol*, v. 6, p. 225-9, 1977.
- KROSCWITZ, J.I. (Ed.). **Kirk-Othmer encyclopedia of chemical technology.** 4th ed. Nwl York: John Wiley & Sons, 1995. V. 14.
- LEWIN, M. D.; SARASUA, S.; JONES, P. A. **Multivariate Linear Regression Model for Predicting Children’s Blood Lead levels Basead on Soil Lead Levels: A Study at four Superfund Sites.** *Environmetal Research* 81: 52-61, 1999.
- LIMA, J.; LEME, C. L. D.; CONRADO, D. M.; BARBOSA, A. T.; SILVA, J. S.; **Programa de biomonitoramento da qualidade do ar da cidade do Salvador proposta e resultados preliminares.** Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 23. 2005. Campo Grande /MS.
- LUCIO, Henrique de Sousa. **Emissões Atmosféricas- O universo das Emissões Atmosféricas e a atuação do setor Industrial.** *Revista Meio Ambiente Industrial* Julho- Agosto 2009, p. 32.
- MACCUNE, B., DEY, J., PECK, J., HEIMAN, K., WILL-WOLF, S. (1997). **Regional Gradients in Lichen Communities of the Southeast United States.** *The Bryologist* 11 (2), pp. 145 – 158.
- MALCOLM, W.M. & GALLOWAY, D.J.** 1997. **New ZelandLichens: Checklist, Key and Glossary.** Museum of New Zeland, Te Papa Tongarewa.
- MANAHAN, S. E. **Environmental chemistry.** Boca Raton, F. L.; CRC, 2000. Cap. 1, environmental science, technology and chemisty. P. 20-21. Cap. 9, the atmosphere and atmospheric chemistry. P. 267-268.
- MARCELLI, M.P. 2006. **Fungos Liquenizados.** In: XAVIER FILHO, L., LEGAZ, M.E., CORDOBA, C.V. & PEREIRA, E.C. (Eds.). *Biologia de liquens.* Rio de Janeiro: Âmbito Cultural Edições Ltda, p. 23-74.
- MARKERT, B. 1993. **Plants as Biomonitors/Indicators for Heavy Metals in the Terrestrial Environment,** p.640. VCH Press, Weinheim
- MARTINS, S. M. A.; KAFFER, M. I.; Lemos, A. **Liquens como bioindicadores da qualidade do ar numa área de termoeletrica,** Rio Grande do Sul, Brasil. *Hoehnea*, v. 35, n. 3, p. 425-433, 2008.

MENDHAM, J. **Vogel: Análise Química Quantitativa**. 6.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

MINOZZO, R. et al. **Plumbemia em trabalhadores da indústria de reciclagem de baterias automotivas da Grande Porto Alegre, RS**. J Bras Patol Med Lab. v. 44. n.6. p. 407-412. Dezembro 2008.

MORGENSTERN, V., ZUTAVERN, A., CYRYS, J., et al. **Atopic diseases, allergic sensitization, and exposure to traffic-related air pollution in children**. Am J Respir Crit Care Med; 177:1331-7; 2008.

MOTA-FILHO, F. O.; PEREIRA, E. C.; SILVA, R. A.; XAVIER-FILHO, L. **Líquens: Bioindicadores ou biomonitor**. Portal Biomonitor, out. 2005. Disponível em

<http://193.136.140.52/biomonitor/index.php?option=com_content&task=view&id=9&Itemid=2> Acesso em: 08 de outubro de 2014.

MOTA-FILHO, F.O. **Influência de poluentes atmosféricos em Belo Jardim (PE) utilizando Cladonia verticillaris (Líquen) como biomonitor**. Revista Química Nova, vol. 15, n.00, p.1 - 5, 2007.

MOTA-FILHO, F. O.; PEREIRA, E. C.; SILVA, R. A.; XAVIER-FILHO, L. **Líquens: Bioindicadores ou biomonitor**. Portal Biomonitor, out. 2005.

MUNZI, S., RAVERA, S., CANEVA, G. 2007. **Epiphytic lichens as indicators of environmental quality in Rome** – Environ. Pollut. 146:350 -358.

NASH, J. 1996. **Essays on Game Theory (Intro, by Ken Binmore.)** Cheltenham, UK: Edward Elgar.

NEBEL, B. J., WRIGHT, R. T., 1998 – **Environmental Science** – 6.^a Edition – Prentice Hall. New Jersey USA. 698 p.

NIEBOER, E., AHMED, H. M., PUCKETT, K. J., RICHARDSON, D. H. S. (1972). **Heavy metal content of lichens in relation to distance from a nickel smelter in Sudbury, Ontario**. Lichenologist 5:292 – 304, 1972.

NYCZ, Zuleica. **Excesso de Chumbo nas tintas Brasileiras**. 2009. Disponível em: <http://www.biobras.org.br/homem/interna.asp?sp=materia_integra.asp&matid=1307&secid=0> acesso em 12 Mai 2014.

NOGUEIRA, C.A. **Avaliação da poluição atmosférica por metais na Região Metropolitana de São Paulo utilizando a bromélia *Tillandsia usneoides* L. como**

biomonitor. São Paulo, 2006. 110 p. Tese (Doutorado em Tecnologia Nuclear) – IPEN, Universidade de São Paulo.

NYLANDER, W. (1866) **Les lichens du Jardin du Luxembourg.** Bulletin Societe Botanique de France 13:364-372.

NYLANDER, W. (1896). **Les Lichens des Environs de Paris, Paris: Schmidt.** ROSE, F. & HAWKSWORTH, D. L. (1981) Lichen recolonization in London's cleaner air. Nature 289: 289 – 292.

OLIVEIRA, D.P., KUMMROW, F., 2008. **Poluentes da atmosfera,** in: S. Oga, M.M. de A. Camargo, J.A. de O. Batistuzzo (Orgs.) Fundamentos de toxicologia, third Ed. São Paulo. Atheneu Editora.

ORANGE, A., JAMES, P.W. & WHITE, F.J. 2001. **Microchemical methods for the identification of lichens.** The British Lichen Society, London.

Organizacion Mundia de La Salud, 2000 – **Atenção Primária Ambiental** – 2 ed. OPS/OMS, Brasília, Br.

OHLWEILER, O.A., **Química Inorgânica,** vol. II, Ed. Edgard Blücher LTDA, São Paulo-SP, 1973. RICHARD, F. C., BOURG, A. C., M., “Aqueous Geochemistry of Chromium: a Review”, Wat. Res., 25, 7, 807-816, 1991.

Organização Pan Americana de Saúde – OPAS, Organização Mundial de Saúde – OMS. **OMS estima que sete milhões de mortes ocorram por ano devido a contaminação atmosférica.**

<http://www.paho.org/bra/index.php?option=com_content&view=article&id=4609&Itemid=839>. Acessado em 27 de novembro de 2014.

PAOLIELLO, M. M. B.; CHASIN, A. A. M. **Ecotoxicologia do chumbo e seus compostos,** Salvador: CRA, 2001. 144p.

PAOLIELLO, M. M. B.; DE CAPITANI, E. M. **Environmental contamination and human exposure to lead in Brazil.** Reviews of Environ Contam and Toxicol, v. 184, p. 59-96, 2005.

PEDROSO, A. N. V., **Poluentes Atmosféricos & Plantas Bioindicadoras.** Curso de Capacitação de Monitores e Educadores. Programa de Pós-graduação em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente. Instituto de Botânica – IBt, São Paulo, 2007.

PETERS, A., WICHMANN, H. E., TUCH, T., HEINRICH, J., HEYDER, J., 1997 – **Respiratory Effects are Associated with the Number of Ultrafine Particles.** – American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, 155, p 137 – 138.

- PIETROBELI, J.M.T.A (2007). **Avaliação do potencial de biossorção dos íons Cd (II), Cu (II) e Zn (II) pela macrófita *Egeria densa***. Dissertação. Centro de Engenharia e Ciências Exatas. Universidade Estadual do Oeste do Paraná.
- PILEGAARD, K. 1978. **Airborne metals and SO₂ monitored by epiphytic lichens in an industrial area**. Environ. Pollut. 17:81-91.
- PO JY, FitzGerald JM, Carlsten C. **Respiratory disease associated with solid biomass fuel exposure in rural women and children: systematic review and meta-analysis**. Thorax. 2011;66(3):232-9. <<http://dx.doi.org/10.1136/thx.2010.147884>>. Acesso em 04 de dezembro de 2013.
- POPE, C.A. 3rd, BURNETT, R.T., THURSTON, G.D., et al. **Cardiovascular mortality and long-term exposure to particulate air pollution: epidemiological evidence of general pathophysiological pathways of disease**. Circulation; 109:71:7; 2004.
- POPE, C.A. 3rd; DOCKERY, D.W. **Critical review: health effects of fine particulate air pollution: lines that connect**. J. Air & Waste Manage. Assoc., v.56, p.709-42, 2006.;
- PORTAL DA PREFEITURA DE IMPERATRIZ. **A cidade: História e dados geográficos de Imperatriz**. < <http://www.imperatriz.ma.gov.br/cidade>>. Acessado em 10 de outubro de 2014.
- PRADO FILHO, J. F. do. **Plantas que detectam poluição - elas são sensíveis à contaminação do ar**. Ciência Hoje. v. 14, n. 84, p. 18-19, 1992.
- PRADO FILHO, J. F. do. **Uso de bioindicadores para monitoramento do ar**. Revista Cetesb de Tecnologia Ambiental. Secretaria do Estado do Meio Ambiente, São Paulo. v. 7, n. 1, p.57-64, 1993.
- PRENTICE Hall, 2005.168-208p.
- PROCLIRA – Clima e Ambiente. **Poluição Atmosférica e Camada de Ozônio**. Modulo 5, 2007. P. 6. < <http://www.proclira.uevora.pt/modulos/modulo5.pdf>>. Acessado em 01 de outubro de 2014.
- PUVIS, O. W. (2000) **Lichens**. London: Natural History Museum.
- RAPOSO’JUNIOR, L.; RÉ – POPPI, N.; HONDA, N. K. 2007. **Avaliação da concentração de alguns íons metálicos em diferentes espécies de líquens do Cerrado Sul-Matogrossense**. Química Nova, v. 30, n.3, p. 582 – 587.
- RAVEN, J.A. (2007) **Photosynthesis in Watercolours**, Nature 448:418.

- RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHLORN, S. E. **Biologia Vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, p. 206-210, 1996.
- ROCHA, THEOTO M. e SHIROTA, R. **Disposição de lodo de esgoto**. Revista de estudos ambientais , v.1, n.3, set/dez 1999.
- RÜCKERT, G. V. **Introdução a Biogeoquímica e ciclos: Notas de aula**. Mestrado em Engenharia Industrial. Centro Universitário do Leste de Minas Gerais – Unileste. Ipatinga, 2010.
- SAIPUNKAEW, W., WOLSELEY, P. & CHIMONIDES, P.J. Epiphytic lichens as indicators of environmental health in the vicinity of Chiang Mai city, Thailand. *The Lichenologist* 37: 345-356, 2005. Disponível em <<http://www.journals.cambridge.org/production/action/cjoGetFulltext?>> acesso em:19 jan 2015.
- SALDIVA, Paulo H. N. *et al.* **Interações e óbitos e sua relação com a poluição atmosférica em São Paulo, 1993 a 1997**. Ver. Saúde Pública [online], vol.38, n.6, 2004. p. 751-757. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rsp/v38n6/01.pdf>>. Acessado em 15 de maio de 2013.
- SALDIVA, P. et al. **Meio Ambiente e Saúde: O Desafio das Metrôpoles**. São Paulo: Ex-Libris Editora, 2010.
- SALVI SS, Barnes PJ. **Chronic obstructive pulmonary disease in non-smokers**. *Lancet*. 2009;374(9691):733-43. <[http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736\(09\)61303-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(09)61303-9)>. Acesso em 04 de dezembro de 2013.
- SANTANA, E.; CUNHA, K. B., FERREIRA, A. L., ZAMBONI, A., **Padrões de qualidade do ar: Experiência comparada Brasil, EUA e União Europeia**. Instituto de energia e meio ambiente. São Paulo, 2012. Disponível em: WWW.energiaeambiente.org.br. Acessado em 10 de outubro de 2014.
- SANTOS, C. M., **Biomonitoramento Passivo Utilizando Casca de Aroeira Vermelha (Myracrodoun urundeuva): Estudo de Caso da Região da Fercal – DF**. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, UnB, Brasil.
- SEAWARD, M. R. D. 1993. **Lichens and sulphur dioxide air pollution: field studies**. *Environmental Review* 1: 73 – 91.
- SEAWARD, M. R. D. **Lichen Ecology**. London, Academic Press, Inc. 1977. 550 p.
- SEAWARD, M. R. D., LETROUIT – GALINOU, M. A. **Lichen Recolonization of Trees in the Jardin du Luxembourg, Paris**. *Lichenologist*. 23 (2): 181 – 186, 1991.

SEINFELD, J. H. **Atmospheric chemistry and physics of air pollution**. New York, N. Y.; Wiley, 1986. Cap. 1, air pollutants. P.1-6. Cap.2, effects of air pollution. P. 49-54.

SHARMA, V.K.; RHUDY K.B.; CARGILL, J.C.; TACKER, M.E.; VAZQUEZ, F.G. **Cases and solutions: metals and grain size distribution in soil of the middle Rio Grande basin, Texas, USA**. Environ. Geology, v.39, v.6, 2000.

SHLENSOG, M.; SHROETER, B. A new tethod for the accurate in situ monitoring of chlorophyll a fluorence in lichens and bryophytes. **Lichenologist**, v. 33, n. 5, p. 443-452. 2001.

SILVA, M.F.; DE ASSUNÇÃO, J.V.; ANDRADE, M.F.; PESQUERO, C.R.; **Characterization of metal and trace element contents of particulate matter (PM₁₀) emitted by vehicles running on Brazilian fuels-hydrated ethanol and gasoline with 22% of anhydrous ethanol**. Journal of Toxicology and Environmental Health. Parte A, v. 73, p. 901-909, 2010.

SILVA, R. A. **Cladonia verticillaris (líquen) como biomonitor padrão da qualidade do ar no distrito de Jaboatão – PE**. Dissertação de Mestrado em Gestão e Políticas Ambientais.Universidade Federal de Pernambuco –Recife. In: XAVIER FILHO, Lauro et al. Biologia de liquens. 4. ed. Rio de Janeiro: Âmbito Cultural, 2006. P.122-125.

SILVA, P. E. **Determination of lead in plasma and studies on its relationship to lead in erythrocytes**. Br J Ind Med, v. 38, p. 209-17, 1981.

SILVA, R. A. **Cladonia verticillaris (líquen) como bioindicador padrão da qualidade do ar no distrito de Jaboatão – PE**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2002.

SILVEIRA, A. M.; MARINE, R. L. **A avaliação da experiência do ambulatório de doenças profissionais do Hospital das Clínicas da UFMG no tratamento dos trabalhadores com saturnismo**. Rev Bras Saúde Ocupacional, [S.I], v. 74, n. 7, 1991.

SKOOG, D.A., WEST, D.M., HOLLER, F.J., CROUCH, S.R., **Fundamentos de Química Analítica**. 8.ed. São Paulo: Cengage Learning, 2010.

SMITH, D. C.; Douglas, A. E.; **The Biology of Symbiosis**; Edward Arnold, London, 1987.

SOMMERFELDT, M.: JOHN, V. 2000. **Evaluation of a method for the reassessment of air quality by lichen mapping in the city of Izmir, Turkey**. Turkey Journal of Botany, 25 (2001): 45-5

- SOUSA, P. M. **O rico potencial da segunda maior cidade do Maranhão.** Ver Jornal Pequeno [online]. Disponível em: <<http://jornalpequeno.com.br/2013/05/03/o-rico-potencial-da-segunda-maior-cidade-do-maranhao/>>. Acessado em 15 de maio de 2013.
- STERN, A. C.; *Air Pollution*, Academic Press: London, 1977.
- SPIELMANN, A.A. 2006. Fungos Liquenizados (Líquens). Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente Programa de capacitação de monitores e educadores, São Paulo, 2006.
- TEIXEIRA, E. C; FELTES, S; SANTANA, E. R. R. Estudo Das Emissões De Fontes Móveis Na Região Metropolitana De Porto Alegre, Rio Grande Do Sul. Química Nova, Vol. 31, pag 244, 2008.
- THOMAS, P. A.; GATES, T. E. Radionuclides in the lichen-caribou human food chain near uranium mining operations in northern Saskatchewan, Canada. **Environmental Health Perspectives**, v. 107, p. 527-537, 1999.
- THORNTON, A., W. AXINN, and J. TEACHMAN. 1995. "The Influence of Educational Experiences on Cohabitation and Marriage in Early Adulthood." *American Sociological Review* 60:762-774.
- VALENCIA, M. C. de, CEBALLOS, J. A. **Hongos liquenizados.** Universidade Nacional de Colombia, Bogotá. P.220. 2002.
- VAN HALUWYN, C. , VAN HERK, C. M. 2002. **Biindication: The community approach.** In: P.L. NIMIS, C., SCHEIDEGGER & P.A. Wolseley (eds.). *Monitoring with Lichens – Monitoring Lichens.* Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 39 – 64.
- VIEIRA, M. M.; CHEN, A. R. M. N.; SILVA, M. E. C.; SILVA, N. H.; MOTA-FILHO, F. O.; PEREIRA, E. C. **Análise de pigmentos em líquens de Garanhuns – PE, como parâmetro de avaliação de poluição ambiental.** XLVI Congresso Nacional de Botânica. Ribeirão Preto, São Paulo, 1995. Pág. 186.
- VIGANO, P.; PARAZZINI, F.; SOMIGLIANA, E.; VERCELLINI, P. **Endometriosis: epidemiology and aetiological factors.** *Best Pract Res Clin Obstet Gyn*; 18(2): 177-200; 2004.
- WALKER, J.W. & JAMES, P.W. 1980. **A revised guide to microchemical techniques for the identification of lichen products.** *British Lichen Society Bulletin* 46: 13-29.
- WASHINGTON, H. G., 1984. **Diversity, biotic and similarity indices. A review with special relevance to aquatic ecosystems.** *Water Research*, 18:653-694.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. **Chromium**. Geneva, 1988. (Environmental Health Criteria, 61). Disponível em: <<http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc61.htm>> Acesso em: 14/11/2014.

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. **Guidelines for drinking-water quality recomendatios**. 2ne. ed. Geneva, 1996. v. 2.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Air quality guidelines: Global update 2005**. Geneve; WHO. 2005.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Air quality guidelines: Global update 2005**. Geneve; WHO. 2005.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). *Guidelines for Air Quality*, WHO: Geneva, 1999.