



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**Biomonitoramento Passivo Utilizando Casca de Aroeira Vermelha  
(Myracrodoun urundeuva): Estudo de Caso da Região da Fercal - DF**

**Dissertação de Mestrado nº. 024**

Cleide Moura dos Santos

**Orientador:** Henrique Llacer Roig

Brasília – DF

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**Biomonitoramento Passivo Utilizando Casca de Aroeira Vermelha  
(Myracrodoun urundeuva): Estudo de Caso da Região da Fercal - DF**

Cleide Moura dos Santos

Orientador: Henrique Llacer Roig

Brasília – DF

Santos, Cleide Moura dos.  
S237b Biomonitoramento passivo utilizando casca de aroeira vermelha (*Myracrodoun urundeuva*) : estudo de caso da região da Fercal - DF / Cleide Moura dos Santos. -- 2012.

xvii, 110 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) - Universidade de Brasília, Instituto de Geociências, 2012.

Inclui bibliografia.

Orientação: Henrique Llacer Roig.

1. Monitorização ambiental - Distrito Federal (Brasil).
2. Ar - Poluição. I. Roig, Henrique Llacer. II. Título.

CDU 502.55

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação e emprestar ou vender tais cópias, somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

---

Assinatura

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
Instituto de Geociências

Biomonitoramento Passivo Utilizando Casca de Aroeira Vermelha (*Myracrodoun urundeuva*): Estudo de Caso da Região da Fercal - DF, 2011.

Cleide Moura dos Santos

Dissertação de Mestrado submetida ao Instituto de Geociências da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Geociências Aplicadas, área de concentração em Geoprocessamento e Análise Ambiental, opção Acadêmica.

Aprovado por:

---

Prof. Dr Henrique Llacer (IG-UnB)  
Orientador

---

Prof. Dr. Augusto Cesar Franco (IG-UnB)  
Examinador Interno

---

Prof. Dr Paulo Hilário do N. Saldiva (FFM-USP) Examinador Externo

Brasília, agosto de 2011.

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho a toda minha família e amigos que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento do presente estudo. De forma especial aos meus pais, Raimundo e Elza, por acreditarem que sonhar é possível, aos meus irmãos, Renan, Dilma, Maria e Eliane, pelo apoio incondicional e ao meu filho Vinícius, que compreendeu minhas ausências e me incentivou a continuar nos momentos mais difíceis.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, todo poderoso, por ter realizado tantas graças em minha vida, especialmente pela conclusão deste mestrado.

Agradeço de modo especial ao querido professor orientador **Henrique Llacer Roig**, por seus ensinamentos que tanto contribuíram para conclusão deste trabalho, por sua dedicação e entusiasmo em novas descobertas.

À Doutora **Regiani Carvalho de Oliveira (LPAE)**, pela amizade, orientação e disponibilidade em compartilhar seus conhecimentos na área de biomonitoramento.

A Dona **Geni Carvalho**, que me acolheu na sua casa em São Paulo e em seu coração no momento que mais precisei.

Ao Professor Dr. **Augusto César Franco**, do Departamento de Fisiologia Vegetal da Universidade de Brasília, por todo apoio conhecido para liberação de técnicos para acompanhar o desenvolvimento do trabalho de campo.

À Professora **Dulce Maria**, com quem tive a oportunidade de compartilhar conhecimentos importantes na área de Botânica.

Aos técnicos de campo do departamento de Botânica da UnB, **Wandélio e Antônio Mendes**, que se colocaram à disposição para realização das coletas de campo de biomonitoramento.

Ao amigo **Edivaldo Lima**, por estar sempre disponível aos estudos pertinentes ao crescimento acadêmico e humano.

Aos meus grandes amigos que me incentivaram em todos os momentos da minha vida, **Ana Paula Pinho Rodrigues Leal, Ana Cristina Soares Linhares, Marie Kalyva, Cícero Dedice Góes e Marcel Pedroso**.

A todos os amigos com que tive contato no decorrer do curso de pós-graduação, em especial à **Marina Silva, Andrea Amaziles, Bruno Maia, Renata Teixeira, Lidiane Tomazelli, Mauro Mello, Edineuson Ferreira e Kleber Ataíde**.

Ao **Sérgio e Eluzai**, funcionário do Laboratório de Sensoriamento Remoto do Instituto de Geociências, por sua alegria, responsabilidade e dedicação em disponibilizar informações relevantes aos alunos do curso.

Aos Colegas, **Paulo Henrique, Gervasio, Lilian, Laiza e Carlos**, do Laboratório de Sensoriamento Remoto do Instituto de Geociências, que de alguma forma contribuíram para realização do presente estudo.

Aos colaboradores na parte estatística, **Pedro De Podestà**, Universidade de Brasília-UNB e **Lucas Mendonça** da Saúde Indígena-Ministério da Saúde.

Ao LPAE – **Laboratório de Poluição Atmosférica Experimental**, da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, pelas análises realizadas para conclusão do presente estudo e aos técnicos e colaboradores do referido Laboratório que me acolheram e colaboraram com a preparação das amostras de Biomonitoramento.

Ao IBRAM – Instituto Brasília Ambiental, pela disponibilização dos dados de qualidade do ar.

Ao IBGE, pela parceria em disponibilizar a reserva para coleta de material.

A CAPES – Pelo apoio Financeiro, por meio da Bolsa de estudo que possibilitou a minha dedicação para realização do presente estudo.

Ao INAIRA – Instituto Nacional de Avaliação de Riscos Ambientais, que tem contribuído com o desenvolvimento de pesquisas voltado para conhecer os impactos ambientais.

À ESRI, que por intermédio termo de cooperação técnico-ciêntifico entre o IG-UnB e a IMAGEM e do contrato de licença geral para Lab Kit (Contrato N<sup>o</sup>. 2011 MLK 8733) disponibilizou os pacotes de Geoprocessamento da Família ArcGis para o desenvolvimento deste trabalho.

À Equipe técnica do VIGIAR nos Estados, que enriqueceram meus conhecimentos no período de convivência e amizade, em especial aos técnicos Wagner e Oberdan (MT), Patrícia, Wadson e Adilson (BA), Salzano e Liane (RS), Clarice Umbelino (SP), Evanoir (PA), Dione e Maria de Fátima (ES), Rosiane (RO), Danielle, Mônica e Cláudio (TO), Márcio Sacramento (RJ), Carlos Vagner (PR), Maria das Graças (AC), Marcelo e Rosivaldo (IEC/PA).

A todos os professores e pesquisadores, que contribuem com todos os seus conhecimentos para construção e disseminação do conceito de saúde ambiental no Brasil, tenho oportunidade de conhecê-los e tê-los como mestres: Ana Maria Tambelini (UFRJ), Volney Camara (UFRJ), Lia Giraldo e Raquel Rigotto.

A todos os queridos professores Doutores e Amigos que contribuem com o desenvolvimento de estudos e pesquisa na área de poluição atmosférica e saúde humana: Luiz Alberto Amador Pereira (UNISANTOS), Alfésio Braga (UNISANTOS), Lourdes Martins (UNISANTOS), Nelson Gouveia (FM-USP), Maria de Fátima Andrade (IG-USP), Luiz Carlos Correa Alves (Hélio Fraga), Washington Junger (UERJ), Antônio Ponce de Leon (UERJ), Sandra Hacon (FIOCRUZ), Marcelo Moreno (FIOCRUZ) e Maria Aparecida Oliveira (Doutoranda USP). Pessoas maravilhosas com quem tive a oportunidade de convivência e troca de ideias.

Ao Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador, na pessoa de Guilherme Franco Netto, pela oportunidade profissional que possibilitou o início desse trabalho.

Ao Querido Mestre, Professor Doutor Paulo Hilário Saldiva, que acreditou que era possível realizar esse trabalho, por suas contribuições valiosas no desenvolvimento de políticas públicas para reduzir as emissões atmosféricas no Brasil.

Aos meus irmãos de oração (Lúcia, Ada, Frei Josué, Padre Dercílio), da Comunidade obra de Maria e do grupo de oração da Paróquia Nossa Senhora de Fátima.

Finalmente, a todos aquelas pessoas que não mencionei, mas do fundo do meu coração sou grata pela colaboração que me foi prestada nos momentos em que precisei. Muito Obrigada!

# SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	i
AGRADECIMENTOS .....	ii
Resumo.....	vii
Abstract.....	viii
LISTA DE SIGLAS .....	ix
LISTA DE FIGURAS .....	xi
LISTA DE TABELAS .....	xiii
LISTA DE GRÁFICOS.....	xiv
1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1. APRESENTAÇÃO DA PROBLEMATICA.....	1
1.2. LOCALIZAÇÃO DA AREA DE ESTUDO E VIA DE ACESSO .....	3
1.3. JUSTIFICATIVA .....	4
1.4. OBJETIVOS.....	9
1.4.1. <i>Geral</i> .....	9
1.4.2. <i>Específico</i> .....	9
2. ESTADO DA ARTE .....	10
2.1. COMPONENTES DO AR ATMOSFERICO.....	10
2.1.1. <i>Definição de Poluição</i> .....	11
2.2. CLASSIFICAÇÃO DOS POLUENTES ATMOSFERICOS.....	11
2.2.1. <i>Fontes de contaminação atmosférica</i> .....	12
2.2.2. <i>Tipos de emissões atmosféricas</i> .....	12
2.2.3. <i>Origem dos poluentes atmosféricos</i> .....	13
2.2.4. <i>Estado físico dos poluentes atmosféricas</i> .....	14
2.2.5. <i>Descrição dos Poluentes Atmosféricos</i> .....	14
2.2.6. <i>Fatores que influem na qualidade do ar</i> .....	16
2.3. LEGISLAÇÃO AMBIENTAL .....	16
2.3.1. <i>Padrões de Qualidade do Ar</i> .....	17
2.4. GESTÃO DA QUALIDADE DO AR.....	19
2.4.1. <i>Tipos de monitoramento da qualidade do ar</i> .....	19
2.4.2. <i>Métodos Alternativos</i> .....	21
2.4.3. <i>Técnica de Biomonitoramento</i> .....	22
2.5. GERENCIAMENTO DA QUALIDADE DO AR NO BRASIL .....	25
2.5.1. <i>Desenvolvimento de Políticas Públicas Relacionadas à Poluição Atmosférica e Saúde Humana</i> 27	
2.6. MINERAÇÃO NO BRASIL .....	28
2.6.1. <i>Indústria de Cimento no Brasil</i> .....	28
2.6.2. <i>Definição de Cimento</i> .....	34
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	38
3.1. ASPECTOS GERAIS - DISTRITO FEDERAL .....	38
3.1.2 <i>Características Ambientais da Área de Estudo</i> .....	40
3.2. GESTÃO DA QUALIDADE DO AR NO DISTRITO FEDERAL .....	43
3.2.1. <i>Poluentes monitorados</i> .....	44

3.2.2. Rede de Monitoramento .....	44
4. MATERIAIS E MÉTODOS .....	47
4.1. PROCEDIMENTO COLETA DE MATERIAL .....	47
4.2. REGIÃO DA FERCAL .....	47
4.3. ÁREA CONTROLE .....	52
4.4. PROCEDIMENTO PARA PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS .....	54
4.5. ANÁLISE DAS AMOSTRAS .....	57
4.6. TRATAMENTO DOS DADOS .....	59
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	60
5.1. CONTROLE ANALÍTICO DOS RESULTADOS .....	60
5.2. RESULTADOS DA EDXRF DAS CASCAS DE ARVORE .....	61
5.3. DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS ELEMENTOS QUÍMICOS .....	67
6. CONCLUSÃO .....	72
0.1. CONCLUSÃO FINAIS .....	76
7. RECOMENDAÇÕES .....	78
8. BIBLIOGRAFIA .....	79

## RESUMO

O biomonitoramento é uma técnica alternativa que utiliza organismos vivos para verificar mudanças no meio ambiente, ocasionada pela poluição da água, ar e solo. Tendo como foco as emissões atmosférica de Fábrica de Cimento, localizada na Região da Fercal no Distrito Federal, o presente estudo objetivou coletar amostras de casca de árvore da espécie *Myracrodoun urundeuva*, popularmente conhecida como Arureira Vermelha, para verificar a variabilidade espacial dos elementos químicos presentes na área de estudo. Por meio da análise com Fluorescência de Raio – X, verificou-se as concentrações de Mn, Fe, Cu, Zn, Rb, Na, Mg, Al, P, S, Cl, K, Ca, Sr e Ba. A Análise de Componente principal (PCA) permitiu agrupar os elementos em 3 eixos, distribuídos no fator 1 - Zn, Fe, Al, S e Ba; no fator 2 – Cu, P, Ca e Sr e no fator 3, os elementos Mg e K. Considerando o nível de significância entre os elementos analisados e os encontrados na matriz do cimento e nas emissões veiculares, o primeiro componente é o que melhor descreve esta relação. Sobre o ponto de vista da distribuição espacial (análise espacial), por meio do Software ArcGis, foram construídos e analisados todos os mapas de distribuição dos elementos no entorno da FERCAL. Esta análise possibilitou identificar que para a maioria dos elementos do segundo e terceiro componentes apresentam uma maior concentração próximo a fábrica da FERCAL, principalmente dos elementos Fe, Ca, Cu, Al, P, S, Sr, Zn e Ba, os quais são elementos fortemente associados ao calcário e ao processo de fabricação do cimento. Assim, este estudo permitiu demonstrar, com a viabilidade do método, o monitoramento da dispersão dos poluentes.

Palavras chave: 1.Poluição Atmosférica; 2.Biomonitoramento ; 3.Variabilidade Espacial ; 4. Elemento maiores e traços ; 5. Fábrica de Cimento; 6 – Fercal – DF.

## ABSTRACT

Biomonitoring is an alternative technique that makes use of living organisms to follow changes in the environment, caused by water, air and soil pollution. Focusing on the atmospheric emissions of a Cement Plant, located in Region named Fercal in the Federal District, this study aimed to collect samples of bark belonging to *Myracrodoun urundeuva* species, popularly known as Red Arueira in order to verify the spatial variability of chemical elements in the area under study. Through the analysis method using Ray - X fluorescence were found concentrations for Mn, Fe, Cu, Zn, Rb, Na, Mg, Al, P, S, Cl, K, Ca, Sr and Ba. The principal component analysis (PCA) allowed grouping those elements in three factors, distributed in the factor 1 - Zn, Fe, Al, S and Ba, in the factor 2 - Cu, P, Ca and Sr and the third factor, the elements Mg and K. Considering the level of significance founded among the elements analyzed and those found in the matrix of cement and in vehicle emissions, the first factor is the one that best describes this relationship. The use of spatial distribution (spatial analysis), through the ArcGIS software, allowed the construction and analysis of all the maps of element distribution around the area of FERCAL. This kind of analysis allowed the identification that most elements belonging to Factor 1 and 2 showed high concentrations near Fercal Cement Plant, especially the elements Fe, Ca, Cu, Al, P, S, Sr, Zn and Ba. So, this study allowed the demonstration of the feasibility of the method of biomonitoring to evaluate air pollutants dispersion.

Keywords: 1. Atmospheric emissions; 2. Biomonitoring; 3. Space Variability; 4. Major elements and trace; 5. Cement Plant; 6 - Fercal – DF.

## LISTA DE SIGLAS

Al - Alumínio

APA - Área de Proteção Ambiental

ArcGis - Pacote de Sistema de Informação Geográfico da empresa Esri

Ba - Bário

BTX - Hidrocarbonetos Aromáticos (mistura de Benzeno, Tolueno e Xileno)

CH<sub>4</sub> - Metano

CIPLAN - Cimento Planalto

Cl - Cloro

CO - Monóxido de Carbono

CO<sub>2</sub> - Dióxido de Carbono

COER - Centro de Orientação e Extensão Rural

COMPARQUES - Secretaria de Estado de Administração de Parques e Unidades de Conservação

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

COVs - Compostos Orgânicos Voláteis

Cu - Cobre

DENATRAN - Departamento Nacional de Estradas e Rodagens

DNPM - Departamento de Produção Mineral

EDXRF - Fluorescência de Raios X

EPA - Environmental Protection Agency

Fe - Ferro

GPS - Sistema de Posicionamento Global

HC - Hidrocarbonetos

HCI - Hidrocarbonetos Aromáticos

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IBRAM - Instituto Brasília Ambiental

IG - Instituto de Geociências

INAIRA - Instituto de Avaliação de Riscos Ambientais

K – Potássio

Mg - Magnésio

MMA - Ministério do Meio Ambiente

Mn - Manganês

MPDFT - Ministério Público do Distrito Federal e Territórios

MS - Ministério da Saúde  
N<sub>2</sub> - Nitrogênio  
Ne - Neônio  
NH<sub>3</sub> - Amônia  
NO<sub>2</sub> - Dióxido de Nitrogênio  
NO<sub>x</sub> - Óxido de Nitrogênio  
OMS - Organização Mundial da Saúde  
O<sub>2</sub> - Oxigênio  
O<sub>3</sub> - Ozônio  
ONU - Organização das Nações Unidas  
P - Fósforo  
Pb - Chumbo  
PM - Material Particulado  
PRONAR - Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar  
PTS – Material Particulado Total  
R - Fonte livre, gratuita, código aberto para fazer análise estatística  
RECOR – Reserva Ecológica do IBGE  
RA - Região Administrativa  
Rb - Rubídio  
S - Enxofre  
SEMARH - Secretária de Meio Ambiente e Recursos Hídricos  
SO<sub>2</sub> - Dióxido de Enxofre  
SO<sub>x</sub> - Oxido de Enxofre  
Sr - Estrôncio  
UNB - Universidade de Brasília  
USDA - Agricultural Research Center  
VIGIAR - Vigilância em Saúde Ambiental relacionada a Qualidade do Ar  
VIGISUS - Projeto de Estruturação da Vigilância em Saúde  
Zn - Zinco

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Mapa de localização da Região da Fercal . Área em estudo demarcada pelas linhas vermelhas .....	3
Figura 2 - Ortofoto da Região da Fercal com a localização das extrações de calcário e das fábricas de cimentos bem como a disposição das comunidades (Imagem sedida pela TERRACAP). .....	4
Figura 3 - Localização das Estações de Monitoração no DF (Fonte: IBRAM, 2011) .....	6
Figura 4 - Representação do Material Particulado.....	15
Figura 5 - Estação Fixa (A) e Móvel (B) de Monitoramento da Qualidade do Ar – (Fontes: ISATEC, 2011 e ESTG, 2011).....	20
Figura 6 - Distribuição das Fábricas de Cimento no território brasileiro (Fonte: SNIC-2009) .....	29
Figura 7- Emissão de particulados na Atmosfera e na Vegetação pela empresa Ciplan – Fonte: Cleide Santos .....	32
Figura 8 - Moradora reclama de poluição atmosférica na comunidade Queima Lençol (Fonte: Correio Braziliense - 2010, por Bruno Fortes).....	33
Figura 9 - Fluxograma da fabricação do cimento (Fonte: <a href="http://www.ciplan.com.br">www.ciplan.com.br</a> ).....	37
Figura 10 - Tráfego intenso de caminhões pesados no sentido sobradinho Fercal na subida da Ciplan.....	39
Figura 11 - Cobertura vegetal e uso e ocupação do solo da área de estudo.....	42
Figura 12- Geologia da região em estudo. Fonte: Campos <i>et al.</i> , (2001).....	43
Figura 13 - Distribuição das espécies vegetais nos pontos coletados nas proximidades das Cimenteiras (Votorantins e Ciplan). .....	48
Figura 14 – Distribuição das amostras de Aroeira coletadas na área .....	49
Figura 15 - Seleção das amostras prioritárias na área de estudo (Região da Fercal). .....	50
Figura 16 - Representação da Espécie Vegetal (aroeira vermelha) em indivíduos jovens (A) e adultos (B). .....	52
Figura 17 - Localização dos pontos amostrado para controle dentro da zona núcleo da Reserva Ecológica do IBGE (Fonte : Fonte: Recor, 2011).....	53
Figura 18 - Localização dos pontos amostrado dentro da Reserva do IBGE (Fonte: Recor, 2011)54	
Figura 19 - Fluxograma de preparação das amostras .....	54
Figura 20 - Retirada dos fungos das amostras (A) e Limpeza das amostras (B).....	55

Figura 21 - Liquidificador que as amostras foram trituradas e Figura 22 - peneira que foi utilizada para passar o material (Foto: Luciano Belutti). .....	56
Figura 23 - Prensa para preparação das pastilhas(A) e Material pronto (B) .....	57
Figura 24 - Espectrometria de fluorescência de raios X por dispersão de energia (EDXRF), que foram realizadas as análises. ....	58
Figura 25 - Mapa da distribuição da concentração de Fe, obtido por meio das amostras de casca de árvore da Região da Fercal. ....	68
Figura 26 - Mapa da distribuição da concentração de Cu, obtido por meio das amostras de casca de árvore da Região da Fercal. ....	69
Figura 27 - Mapa da distribuição da concentração de Al, obtido por meio das amostras de casca de árvore da Região da Fercal. ....	69
Figura 28 - Mapa da distribuição da concentração de S, obtido por meio das amostras de casca de árvore da Região da Fercal. ....	70
Figura 29 - Mapa da distribuição da concentração de Sr, obtido por meio das amostras de casca de árvore da Região da Fercal. ....	70
Figura 30 - Mapa da distribuição da concentração de Zn, obtido por meio das amostras de casca de árvore da Região da Fercal. ....	71
Figura 31 - Mapa da distribuição da concentração de Ba, obtido por meio das amostras de casca de árvore da Região da Fercal. ....	71

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Principais constituintes químicos da Atmosfera.....	10
Tabela 2 – Principais fontes e poluentes atmosféricos.....	13
Tabela 3 - Descrição dos Padrões de Qualidade do Ar.....	19
Tabela 4 - Índices de Qualidade do Ar.....	19
Tabela 5 - Técnicas para analisar dados de poluição atmosférica.....	21
Tabela 6– Padrões de Qualidade do Ar da OMS (Fonte: MS, 2005).....	26
Tabela 7 - Localização das Cimenteiras na Região Centro-Oeste (Fonte: SNIC ,2009). ....	29
Tabela 8 – Produção de Cimento no período de 2008 e 2009 (Fonte: SNIC , 2009).....	30
Tabela 9 – Principais empresas produtoras de Calcário no Brasil, em 2005 (Fonte: DNPM, 2005)31	
Tabela 10 - Estações de Monitoramento da Qualidade do Ar no DF.....	45
Tabela 11 - Distribuição das amostras de casca de árvores coletadas por espécies vegetais.....	48
Tabela 12– Coordenadas Geográficas das amostras de Aroeira vermelha coletada nas proximidades da Fabrica de Cimento Ciplan. ....	51
Tabela 13 - Coordenadas Geográficas dos individuos amostrados de Aroeira vermelha coletadas na Reserva Ecologica do IBGE.....	53
Tabela 14 - Resultados do materiais de referência NIST 1547 Peach Leaves e das amostras de aroeira.....	60
Tabela 15– Concentrações de elementos encontrados na região da Fercal (área poluída) e na reserva do IBGE (área controle) e valores do teste não paramétrico (Wilcoxon -W e p) para comparação entre os valores dos elementos químicos coletados na área controle e experimental. ....	62
Tabela 16 – Variáveis obtidos na extração de componentes Principal – Matriz na rotação de grupo elementos determinantes. ....	65

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- Dados de Particulados Totais em Suspensão de 2008 das Estação de Monitoramento localizadas na Comunidade Queima Lençol na Região da Fercal (Fonte: IBRAM, 2010).....	6
Gráfico 2 - Concentração da média anual em $\mu\text{m}/\text{m}^3$ de 1995 a 2008 de PTS em várias cidades do Brasil (Fonte: IBGE, 2010).....	46
Gráfico 3 - Média das concentrações dos elementos obtidos nas amostras de casca de árvore pela técnica de EDXRF.....	63
Gráfico 4 - Média das concentrações dos elementos obtidos nas amostras de cascas de árvore pela técnica de EDXRF.....	64
Gráfico 5 - Carga dos três componentes resultantes da análise fatorial dos elementos químicos encontrados nas casca de árvore da Região da Fercal.....	67

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Apresentação da Problemática

Segundo dados da Organização das Nações Unidas - ONU, quase metade da humanidade vive nas cidades e a população urbana cresce duas vezes e meia mais que a rural (MS, 2008). Deste modo, cada vez mais, temos a população humana sujeita aos efeitos das modificações das condições atmosféricas produzidas pela ação antropogênica.

Diversos estudos epidemiológicos apontam que em grandes cidades ou em pólos industriais, apesar das emissões de poluentes em muitos casos estarem em conformidade com os padrões legais estabelecidos internacionalmente, mudanças nos níveis de poluição de curto período (entre as diferentes horas do dia e da noite ou nos períodos secos ou chuvosos), ou em longo prazo, produzem diferentes efeitos nocivos sobre a saúde, tais como irritações e alergias, doenças respiratórias, cardíacas e cânceres (OMS, 1982 *apud* MS, 2008 1982).

Martins *et al.* (2002), estudaram o aumento no número de atendimentos em pronto socorro por doenças respiratórias em idosos e Lin *et al.* (2003) por doenças isquêmicas do coração, ambos na cidade de São Paulo e concluíram que essas morbidades estão relacionadas à elevação nas concentrações de material particulado com diâmetro inferior a 10  $\mu\text{m}$  (PM10), e aos poluentes primários: Dióxido de Enxofre (SO<sub>2</sub>), Monóxido de Carbono (CO) e Dióxido de Nitrogênio (NO<sub>2</sub>), bem como ao Ozônio (O<sub>3</sub>) que é um poluente secundário. Todos esses são poluentes encontrados em grandes centros urbanos, oriundos de parques industriais e queima de combustíveis fósseis emitidos por veículos leves e pesados (Romão, 2010).

Essas emissões são controladas por legislação normatizada pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, gerida e fiscalizada pelos órgãos ambientais Estaduais, em que os níveis de particulados (menores que 10 e 2,5  $\mu\text{m}$ ) e gases são verificados usualmente por estações de monitoramento da qualidade do ar.

No entanto, monitoramento da qualidade do ar somente em meios abióticos não é o suficiente, uma vez que não se pode ter uma noção real dos possíveis riscos aos organismos vivos (STRAALEN ; KRIVOLUTSKY, 1995). Uma

alternativa para esta questão é o monitoramento biológico (ou biomonitoramento), cujo objetivo é avaliar os impactos no meio biótico. O biomonitoramento pode ser definido como qualquer tipo de técnica que se utilize da mensuração de respostas de organismos vivos em relação às alterações ocorridas no seu meio natural (BURTON, 1986).

O biomonitoramento tem como vantagens os baixos custos envolvidos e a facilidade de utilização em áreas remotas (GRODZINSKA 1982; PRADO FILHO, 1992 e 1993), podendo se valer dos organismos do próprio ambiente a ser monitorado (biomonitoramento passivo) ou da introdução de espécies padronizadas nesses locais (biomonitoramento ativo). Estudos de fumigação, nos quais uma concentração conhecida do poluente é aplicada em organismos vivos em ambiente controlado, também são importantes, uma vez que pode padronizar as respostas apresentadas pelos organismos naquela situação específica (Bujokas, 2009).

Dentro deste contexto, o Distrito Federal abriga duas grandes fábricas de cimento, ocupando o terceiro lugar no *rank* nacional e produzindo cerca de 72% do cimento da região Centro-Oeste do Brasil (SNIC, 2009). Esse tipo de atividade envolvendo mineração a céu aberto, que emite uma grande concentração de material particulado para a atmosfera por meio de escavação, explosão, ressuspensão do material pela movimentação de escavadeiras, tratores e caminhões, perdas no transporte terrestre e ferroviário, fugas nas plantas de beneficiamento e pela ação dos ventos nos depósitos a céu aberto (SANTI *et al.*, 2000).

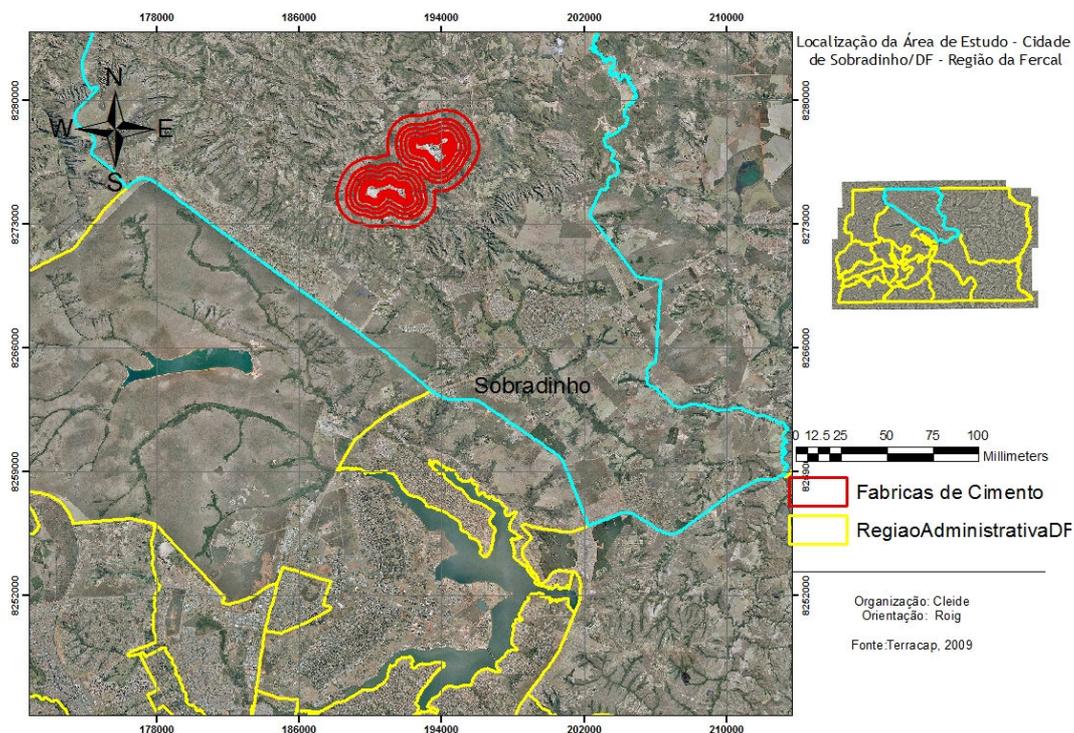
Estudos de impactos ambientais desse tipo de atividade apontam para o aumento de doenças do aparelho respiratório (Almeida, 1999; Martins *et al.*, 2002 e Braga *et al.*, 2007). Sua ação sobre a vegetação, para alguns pesquisadores, é quase que exclusivamente mecânica. Isso decorre da composição química da poeira que forma uma crosta ao se depositar sobre uma superfície e sofrer hidratação, através do orvalho, névoa ou garoa (MANDRE *et al.*, 1999; SINGH ; RAO, 1981). A exemplo, cita-se a análise da deposição de metais pesados, enxofre e ácidos poluentes, nas cascas de árvores (BÖHM *et al.*, 1998; SCHULZ *et al.*, 1999; TUERKAN *et al.*, 1994). Vários estudos foram realizados em áreas impactadas por indústrias metalúrgicas: próximo a uma fundição no Reino Unido,

elevadas concentrações de Zn e Pb nas cascas de árvores foram registradas por Little, (1974) apud Schelle (2004).

Face ao exposto, utilizou-se o método de biomonitoramento passivo, com a casca de Aroeira (*Myracrodun urundeuvia* Fr. Allemã) da família das Anacardiaceae (FLORSHEIM, 1994), presente na Região da Fercal, para verificar a variabilidade espacial dos elementos químicos emitidos no processo de extração de calcário e transformação em cimento.

## 1.2. Localização da área de estudo e via de Acesso

A área de estudo encontra-se a leste da cidade de Sobradinho, localizada na porção norte do Distrito Federal (Figura 1). A área pode ser acessada a partir de Brasília pela estrada Epia (BR020 ou DF-03) até o balão do colorado. A partir daí, segue-se pela DF150 até a localidade da Fercal, depois pela DF205 até a área de estudo.

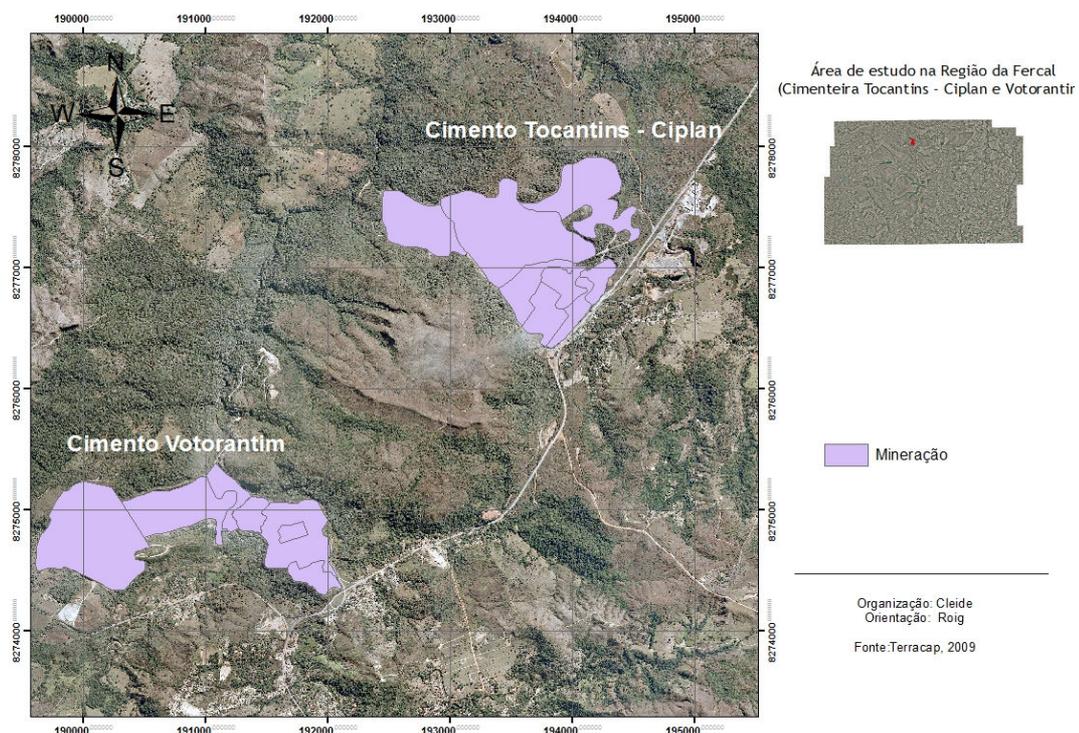


**Figura 1-** Mapa de localização da Região da Fercal . Área em estudo demarcada pelas linhas vermelhas

O nome da Fercal surgiu após a criação da fábrica de fertilizantes calcário em 1956. Após a instalação da indústria, houve o crescimento populacional de

forma desordenada. Hoje estima-se que cerca de 25 mil habitantes vivem na localidade, espalhados em 14 comunidades (GDF, 2010).

A região possui recursos minerais a exemplo do calcário que é uma das matérias primas produção de cimento (Figura 2). No local, estão instaladas duas grandes Cimenteiras, a Tocantins do Grupo Votorantim e a Cimento Planalto – Ciplan do Grupo Atalla.



**Figura 2** - Ortofoto da Região da Fercal com a localização das extrações de calcário e das fábricas de cimentos bem como a disposição das comunidades (Imagem sedida pela TERRACAP).

### 1.3. Justificativa

A Região da Fercal-DF, objeto deste estudo, nasceu de invasão de terras e cresceu de forma desordenada ao redor das fábricas de cimento. No local estão instaladas aproximadamente 25 mil habitantes, expostos a toda a poluição que é emitida pelo processo industrial, conforme relatório do órgão ambiental do Distrito Federal (IBRAM, 2008).

Teoricamente, a Legislação Ambiental Brasileira é uma das mais completas do mundo, entretanto, com relação à poluição do ar, é ainda bastante deficiente, sobretudo, quanto à definição e regulamentação dos padrões de emissões

atmosféricas (SILVA, 2005). Neste contexto, pouco tem sido feito para se evitarem os efeitos dessas emissões sobre o meio ambiente, levando muitas vezes a uma completa devastação nas imediações das fontes emissoras.

De acordo com o Artigo 5º da Resolução CONAMA 03/90 (CONAMA, 1990), a realização do monitoramento da qualidade do ar é atribuição dos Estados da Federação. Os órgãos ambientais têm se esforçado no sentido de cumprir as determinações prescritas na legislação e para isso vêm dotando suas instalações de infra-estrutura e qualificando seu corpo técnico. Entretanto, nem sempre há recursos - financeiros e humanos – suficientes para realizar o monitoramento em todas as regiões onde é evidente o comprometimento da qualidade do ar pela poluição (SANTI, 2004).

A gestão Ambiental no Distrito Federal é realizada pelo Instituto Brasília Ambiental (IBRAM), que mantém uma rede de monitoramento da qualidade do ar (Figura 3), com vistas a avaliar as concentrações de três poluentes - Partículas Totais em Suspensão (PTS), Fumaça e Dióxido de Enxofre (SO<sub>2</sub>) - em locais diferentes do DF (IBRAM, 2011).

Na Região da Fercal, existia quatro estações de Monitoramento da Qualidade do Ar, sendo que três estão localizadas ao redor das fábricas, denominadas de Fercal I, Fercal II e Ciplan (Figura 3). A estação queima lençol, conforme demonstrado na Figura 3, foi desativada em 2009 porque no local onde a mesma estava instalada funcionava uma escola que foi desativada devido aos altas concentrações de poluentes atmosféricos (citação MP). Estas estações estão capacitadas a medirem PTS, Fumaça e SO<sub>2</sub>. Segundo relatório de Qualidade do Ar de 2009 do IBRAM (IBRAM, 2011), os padrões de PTS dessas estações, mesmo não sendo medidos periodicamente, ultrapassaram os limites mínimos 150 µg/m<sup>3</sup> (padrão secundário média anual 60µg/m<sup>3</sup>) de emissões atmosférica, estabelecidos pela Resolução CONAMA 03/90, em vários períodos do ano (Figura 1).

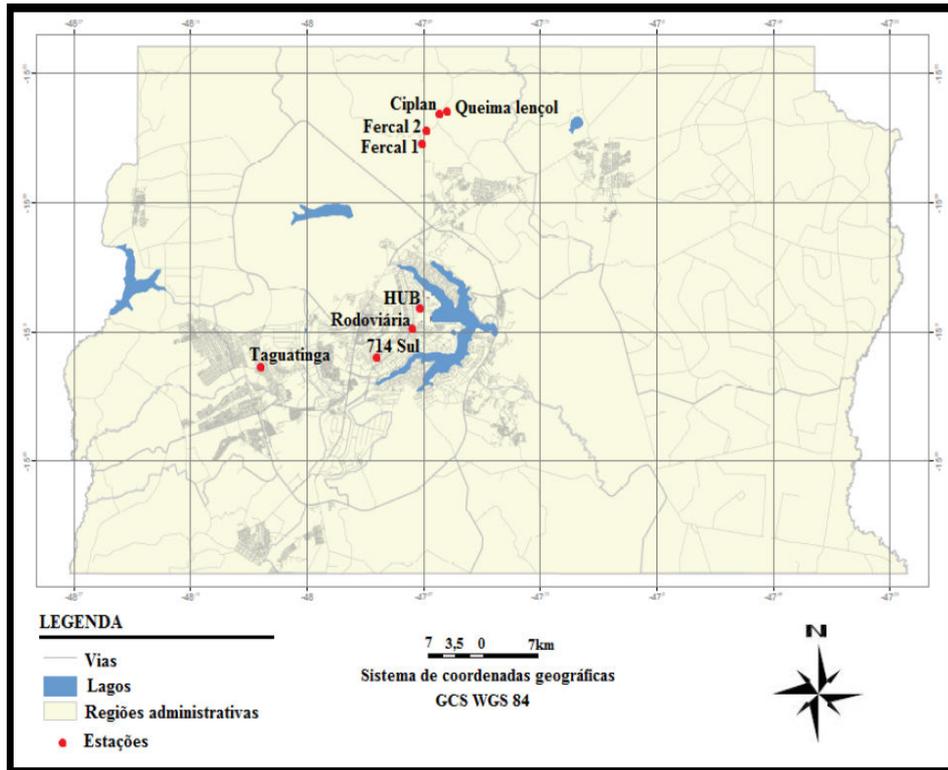


Figura 3 - Localização das Estações de Monitoração no DF (Fonte: IBRAM, 2011)

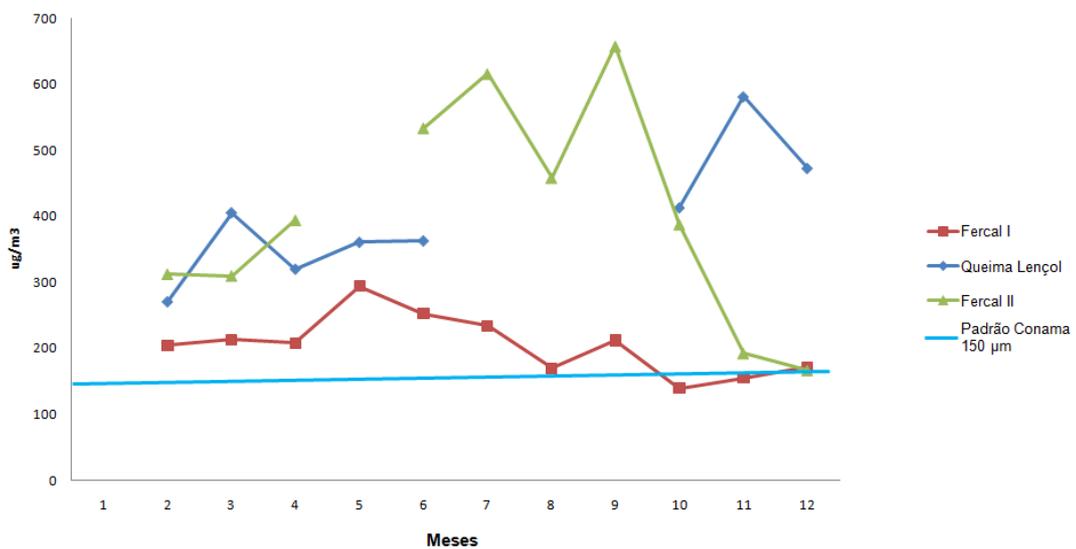


Gráfico 1- Dados de Particulados Totais em Suspensão de 2008 das Estação de Monitoramento localizadas na Comunidade Queima Lençol na Região da Fercal (Fonte: IBRAM, 2010).

Essas partículas de poeira apresentam diâmetro maior que 10µm, ou seja, pela CONAMA 03/90, não apresentam muita influência sobre a saúde da população. Entretanto, os moradores da região reclamam dos problemas ambientais relacionado à poluição atmosférica, que têm causado doenças respiratórias e acúmulos de particulados na vegetação, córregos e nas casas (Câmara Legislativa, 2008; DFTV, 2009; Correio Brasiliense, 2008).

Por causa desses fatores e pelo fato o local não oferecer condições de saúde para as crianças e funcionários, o Ministério Público do Distrito Federal e Territórios – MPDFT fechou o Centro de Ensino Fundamental Queima Lençol, que funcionava no KM 2,7 da Rodovia DF-205, próximo à fábrica de cimento Planalto – CIPLAN. As atividades da escola foram transferidas para o Centro de Orientação e Extensão Rural - COER, localizado na cidade de Sobradinho II (GDF, 2009).

Portanto, devido aos altos índices de material particulado que são observados na região e todos os problemas ambientais anteriormente citados, em 2008, o Ministério da Saúde firmou convênio (n.º 25000.107945/2008-48) com o Instituto de Geociências da Universidade de Brasília – IG/UNB, para o desenvolvimento do estudo intitulado: “Avaliação do Impacto da Distribuição Espaço-Temporal dos Particulados em Suspensão na Saúde dos Moradores da Região da Fercal – DF” para o desenvolvimento de estudos sobre a variabilidade dos particulados na região em apreço (UNB, 2011 e MS, 2011).

O desenvolvimento de duas dissertações de mestrado na área de Geociência Aplicada, no projeto de pesquisa, conveniado com o Ministério da Saúde estava previsto, com objetivo de complementar o estudo, a saber:

- a) Dissertação sob o título de “**Caracterização Mineralógica das Partículas Totais em Suspensão da Mineração de Calcário na Região da Fercal – DF**”, com objetivo de qualificar a fonte emissora para conhecer a geoquímica dos materiais que são emitidos na região;
- b) Dissertação sob o título de: “**Biomonitoramento Passivo Utilizando Casca de Aroeira Vermelha (Myracrodoun urundeuva): Estudo de Caso da Região da Fercal**”, com objetivo de determinar a variabilidade

química da casca de árvore e verificar o seu potencial para determinação da qualidade do ar.

Entretanto, devido a problemas técnicos administrativos que fugiram da governabilidade do IG/UNB, o convênio (n.º 25000.107945/2008-48) não pôde ser executado e o projeto não pôde ser desenvolvido.

Ressaltando ainda que mesmo com a impossibilidade técnica da execução do projeto, o Instituto de Geociências optou por dar continuidade à presente dissertação, por considerar a relevância do tema para a comunidade acadêmica e a possibilidade de aplicar a técnica de biomonitoramento para avaliar a qualidade ambiental por ser uma metodologia reconhecida mundialmente (LIMA, 2005).

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).

Portanto, considerando que a área de estudo selecionada possui frequentes emissões de poluentes na atmosfera, por atividades industriais de extração (minério de calcário) e transformação (cimenteira), fábricas de asfalto, intenso tráfego de veículos (leves e pesados), população residente nas proximidades e devido as inúmeras reclamações a respeito dos problemas ambientais que são gerados pelas fontes poluidoras (DFTV, 2009), optou-se pela utilização do método biomonitoramento passivo, por ser uma técnica de baixo custo e que pode produzir informações sobre a qualidade do ar (MARTINS, 2009).

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Geral**

Aplicar o método de biomonitoramento passivo, utilizando casca de Aroeira Vermelha (*Miracrodoun urundeuva*) para determinar a variabilidade química da casca e verificar o seu potencial para determinação da qualidade do ar da Região da Fercal – DF.

### **1.4.2. Específico**

- georreferenciar os pontos amostrais de bioindicador da casca das árvores nativas da região para monitoramento de poluição atmosférica na Região da Fercal/DF, usando para analisar a composição dos materiais particulados emitidos na atmosfera;
- aplicar a metodologia adaptada pelo Instituto Nacional de Avaliação de Risco Ambiental – INAIRA (INAIRA, 2011);
- espacializar a variabilidade química da casca de árvore para os elementos Vanádio (Vi), Manganês (Mn), Ferro (Fe), Cobre (Cu), Zinco (Zn), Rubídio (Rb), Magnésio (Mg), Alumínio (Al), Fósforo (P), Enxofre (S), Sr (Estrôncio), Níquel (Ni), Cloro (Cl), Potássio (K), Chumbo (Pb) e Bário (Ba) ;
- verificar se existe correlação entre a variabilidade e as possíveis fontes de emissão.

## 2. ESTADO DA ARTE

### 2.1. Componentes do Ar Atmosférico

O ar é um recurso natural, sem fronteiras definidas, e que, juntamente com a água e o solo, é responsável pela sustentabilidade da vida em nosso planeta (VIGIAR, 2007). Por isso, ao se classificar a atmosfera como uma parte do ambiente com a qual o organismo humano está permanentemente em contato, entende-se que muitas das reações ocorridas nesse mesmo organismo podem ser explicadas como um tipo de resposta às mudanças observadas nos estados físico, químico e biológico da atmosfera (JENDRITZKY, 1993 ; MIRANDA, 2008).

A composição do ar atmosférico é constituída principalmente por nitrogênio (N<sub>2</sub>) e oxigênio (O<sub>2</sub>) que perfazem mais de 98% de seu volume, além de argônio (Ar), em torno de 1%), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), Neônio (Ne) e o Hidrogênio (H) que contribuem para completar praticamente os 100%, Tabela 1 (Pereira *et al.*, 2010).

Apresentam, também, papel fundamental na formação da atmosfera os compostos traços: metano (CH<sub>4</sub>), monóxido de carbono (CO), ozônio (O<sub>3</sub>), amônia (NH<sub>3</sub>), e dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), em concentrações decrescentes. O ar também contém partículas sólidas - material particulado - ou líquidas denominado de aerossóis atmosféricos (PEREIRA *et al.*, 2010).

**Tabela 1-** Principais constituintes químicos da Atmosfera

Constituinte	Fórmula Química	% Volume	ppm
Nitrogênio	N <sub>2</sub>	78,08	780.800
Oxigênio	O <sub>2</sub>	20,95	209.500
Argônio	Ar	0,93	9300
Dióxido de Carbono	CO <sub>2</sub>	0,0358	358
Neônio	Ne	0,0018	18
Hélio	He	0,00052	5,2
Metano	CH <sub>4</sub>	0,00017	1,7
Criptônio	Kr	0,00011	1,1
Hidrogênio	H <sub>2</sub>	0,00005	0,5
Óxido Nitroso	N <sub>2</sub> O	0,00003	0,3
Ozônio	O <sub>3</sub>	0,000004	0,04

Fonte: MASTERS, G.M, 1997 ; *apud* ASSUNÇÃO, 2004

### **2.1.1. Definição de Poluição**

De acordo com a resolução CONAMA número 03 de 1990 (CONAMA, 1990), a poluição atmosférica pode ser entendida, de maneira simplificada, como a presença no ar de matérias ou formas de energias que impliquem risco, dano ou moléstia grave para as pessoas e bens de qualquer natureza.

Segundo Raven *et al.* (1995), a poluição atmosférica consiste de gases, líquidos ou sólidos presentes na atmosfera em níveis elevados o suficiente para causar dano ao ser humano, animais, plantas e materiais.

Almeida (1999) conceitua poluição atmosférica como um conjunto de atividades, fenômenos e substâncias que contribuem para a deterioração da qualidade natural da atmosfera, sendo os poluentes atmosféricos considerados como substâncias que geram efeitos negativos ao meio ambiente.

Assunção (2004) aborda a poluição atmosférica como um fenômeno decorrente principalmente da atividade humana em vários aspectos, dentre os quais se destacam o rápido crescimento populacional, industrial e econômico, os hábitos da população e o grau de controle.

Lisboa e Kamano (2007) definiram que a poluição do ar pode ser descrita como a "alteração das propriedades físicas, químicas ou biológicas normais da atmosfera que possa causar danos reais ou potenciais à saúde humana, à flora, à fauna, aos ecossistemas em geral, aos materiais e à propriedade, ou prejudicar o pleno uso e gozo da propriedade ou afetar as atividades normais da população".

A CETESB (2011) considera o poluente como qualquer substância presente no ar e que, pela sua concentração, possa torná-lo impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, causando inconveniente ao bem estar público, danos aos materiais, à fauna e à flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade.

### **2.2. Classificação dos Poluentes Atmosféricos**

A poluição atmosférica pode ser classificada quanto à fonte, ao tipo, ao estado, à origem. Segue abaixo a descrição de cada uma delas.

### 2.2.1. Fontes de contaminação atmosférica

A poluição atmosférica pode ser causada por processos físicos, químicos e dinâmicos que conduzem à emissão de gases e partículas por certas fontes de combustão e sua acumulação na atmosfera (BRAGA, 2001), são divididas em naturais e antropogênicas.

- a) **Fontes Naturais:** processos naturais, como a decomposição de vegetais e animais (matéria orgânica), erupção de vulcões, ocorrência de incêndios e mineralizações, fenômenos como tornados e furacões e ação do vento que causa ressuspensão de poeira do solo e de areia (ASSUNÇÃO, 2004). Ainda hoje, as quantidades de poluentes liberadas por estas fontes raramente são suficientemente altas para provocar danos ao meio ambiente. Entretanto, as atividades vulcânicas são relevantes quando intensas, liberando grandes quantidades de compostos contendo enxofre e de material particulado, incluindo metais (FREEDMAN, 1995).
- b) **Fontes Antropogênicas:** essas não apresentavam grande importância no início da civilização humana, contribuindo pouco com as emissões de poluentes para a atmosfera. Mais tarde, com o crescimento rápido da urbanização e o desenvolvimento acelerado da industrialização, as emissões passaram a favorecer significativamente o aumento de rejeitos atmosféricos, tendo seu auge durante a Revolução Industrial, com a queima intensa de combustíveis fósseis para a produção de energia. A partir desse momento, as fontes antrópicas de poluição do ar tornaram-se a principal fonte de poluentes atmosféricos, criando problemas sérios de poluição aérea e sendo uma causa efetiva de contaminação do meio ambiente (FREEDMAN, 1995).

### 2.2.2. Tipos de emissões atmosféricas

Segundo Assunção (2004), as fontes de poluição atmosféricas são divididas em fixas ou estacionárias e móveis ou dispersas (Tabela 2).

**Tabela 2** – Principais fontes e poluentes atmosféricos

<b>Fontes</b>	<b>Poluentes</b>
<b>Fixas</b>	Poluição atmosférica oriundas de processos industriais, termo-elétricas, caldeiras, mineradoras e queima de resíduo sólido (SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , MP <sub>s</sub> , HCl e BTX).
<b>Móveis</b>	Emissões provenientes de veículos automotores, leves e pesados (MP, CO, SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> , hidrocarbonetos, ácidos orgânicos, aldeídos).

Fonte: Derísio 1992; IBGE 2003; WHO 2002; MS, 2008 e MMA, 2011.

### 2.2.3. Origem dos poluentes atmosféricos

O nível de poluição atmosférica é medido pela quantidade de substâncias poluentes presentes no ar. A variedade dessas substâncias que pode ser encontrada na atmosfera é muito grande, o que torna difícil a tarefa de estabelecer uma classificação. Para facilitar esta classificação, os poluentes são divididos em categorias (CONAMA, 1990):

- a) **Poluentes Primários:** aqueles emitidos diretamente pelas fontes de emissão, como os gases que provêm do tubo de escape de veículo, automóvel ou de uma chaminé de uma fábrica. Exemplos: monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) constituídos pelo monóxido de nitrogênio (NO) e pelo dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>), dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) ou as partículas em suspensão (CETESB, 2011).
- b) **Poluentes Secundários:** Aqueles formados na atmosfera, por meio de reações químicas entre poluentes primários e componentes naturais da própria atmosfera. Ozônio é uma dos exemplos dos compostos que resulta de reações fotoquímicas, isto é, realizada na presença de luz solar, que estabelecem entre os óxidos de nitrogênio, o monóxido de carbono ou os compostos orgânicos voláteis – COVS (CETESB, 2011).

#### 2.2.4. Estado físico dos poluentes atmosféricas

Os poluentes atmosféricos podem ser apresentados na forma de matéria sólida, líquida ou gasosa e de energia que, presente na atmosfera, pode torná-la poluída. As ondas sonoras e eletromagnéticas são exemplos de poluentes atmosféricos na forma de energia. Os poluentes atmosféricos em forma de matéria podem ser classificados, inicialmente, em função do estado físico, dividindo-se em dois grupos: material particulado e gases e vapores (ASSUNÇÃO, 2004).

- a) **Material Particulado:** são partículas sólidas ou líquidas emitidas por fontes de poluição do ar, ou mesmo aquelas formadas na própria atmosfera, como exemplo, as partículas de sulfatos que são denominadas de material particulado e, quando liberadas no ar são denominadas de aerossóis (ASSUNÇÃO, 2004).
- b) **Gases e vapores:** são poluentes na forma molecular, quer como gases permanentes, como o dióxido de enxofre, o monóxido de carbono, o ozônio ou os óxidos nitrosos, seja eles na forma gasosa transitória de vapor, quer como os vapores orgânicos em geral, como é o caso dos vapores de gasolina, vapores de solvente orgânicos (ASSUNÇÃO, 2004).

Segundo Assunção (2004), os poluentes gasosos também podem ser classificados segundo a classe química, em orgânicos e inorgânicos.

#### 2.2.5. Descrição dos Poluentes Atmosféricos

Os principais poluentes atmosféricos são: óxido nítrico (NO), dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), Ozônio (O<sub>3</sub>), chumbo (Pb) e o material particulado (BRAGA, 2001; CANÇADO, 2006). Para o melhor entendimento, abaixo serão descritos cada um dos poluentes:

- a) **Material Particulado (PM 10, PM 2, 5, e PM 0,1):** é uma designação genérica de partículas das mais diferentes composições químicas, mas

com diâmetros que variam de grossos a finos e ultrafinos (Figura 4). Essas partículas podem ser divididas em grossas com diâmetro entre 10  $\mu\text{m}$  a 2,5  $\mu\text{m}$ , finas com diâmetro menor que 2,5  $\mu\text{m}$ , e menores que 0,1  $\mu\text{m}$  ou ultrafinas (CHEN *et al.*, 2007).

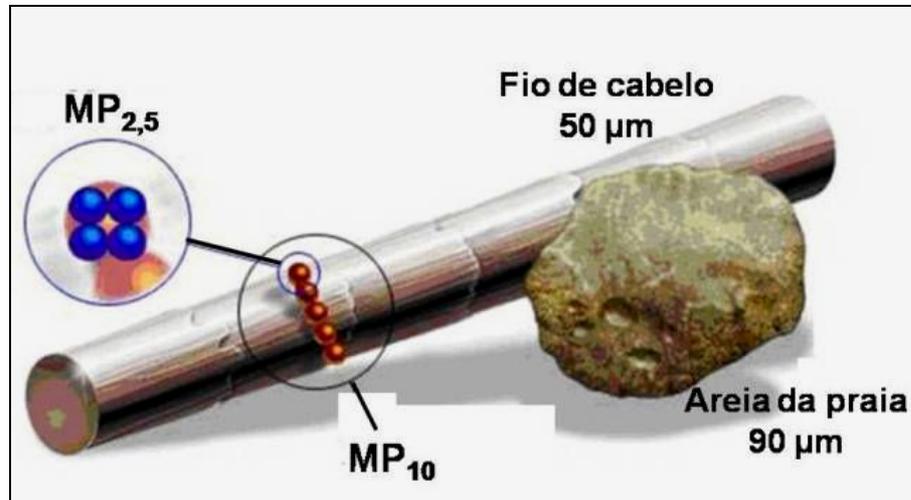


Figura 4 - Representação do Material Particulado

- b) **Ozônio ( $O_3$ ):** Nas camadas mais baixas da atmosfera, é criado a partir de uma série complexa de reações fotoquímicas, envolvendo compostos orgânicos voláteis (COV) e dióxido de nitrogênio ( $NO_2$ ). Estes precursores migram por muitos quilômetros formando o ozônio desde as suas fontes originais até grandes distâncias, e por sua formação depender da insolação, os períodos de pico são nos meses de verão e em horas próximas ao meio-dia (CURTIS *et al.*, 2006).
- c) **Dióxido de Nitrogênio ( $NO_2$ ):** A principal fonte de monóxido e dióxido de nitrogênio é a queima de combustíveis fósseis. O monóxido, contudo, é transformado em dióxido de nitrogênio por oxidação (MIRANDA, 2008 apud CURTIS *et al.*, 2006).
- d) **Dióxido de Enxofre ( $SO_2$ ):** O enxofre pode ser originado de várias fontes como o petróleo, e metais em estado bruto. A formação do dióxido de enxofre se dá pela oxidação do elemento, e sua presença na atmosfera pode levar à formação de ácidos ( $H_2SO_3$  e  $H_2SO_4$ ) e provocar chuva ácida (CURTIS *et al.*, 2006).

- e) **Monóxido de Carbono (CO):** O monóxido de carbono é produzido pela queima incompleta de carbono em reações de combustão, em especial de veículos automotores (CURTIS *et al.*, 2006).
- f) **Chumbo (Pb):** O metal tem efeitos deletérios à saúde e normalmente tem como fonte os combustíveis aditivados ou indústrias. Sua contribuição para a poluição foi reduzida com a proibição do uso do tetraetil de chumbo como aditivo na gasolina (CURTIS *et al.*, 2006).

### 2.2.6. Fatores que influem na qualidade do ar

O clima pode contribuir com a potencialização dos impactos dos principais poluentes, com a dispersão na atmosfera em caso de inversões térmicas, ausência de ventos, ou ainda deixando a população exposta mais suscetível devido a alterações de temperatura (CHEN *et al.*, 2007).

A topografia também é um dos fatores que influencia no comportamento dos poluentes que são emitidos na atmosfera, como exemplo, fundos de vale são locais propícios para o aprisionamento dos poluentes, principalmente quando da ocorrência de inversões térmicas (UNIVERSOAMBIENTAL, 2011).

## 2.3. Legislação Ambiental

A tutela jurídica da qualidade do ar é preocupação antiga, tanto que o artigo 38 da Lei de Contravenções Penais – Decreto Lei n° 3.688, de 03/10/1941, já considerava como infração “*provocar, abusivamente, emissão de fumaça, vapor ou gás, que possa ofender ou molestar alguém*”. As ações de controle da poluição do ar, como atribuição do setor ambiental, estão previstas desde 1976, quando, seguindo as determinações da *Environmental Protection Agency* – EPA/USA e da Organização Mundial de Saúde – OMS, o Ministério do Interior, por intermédio da Portaria n° 231/1976, estabeleceu os padrões de qualidade do ar para quatro poluentes básicos, material particulado (PTS), dióxido de enxofre SO<sub>2</sub>, dióxido de nitrogênio NO<sub>2</sub> e oxidantes O<sub>3</sub> (VIGIAR, 2008; Ministério do Interior, 2003).

Em seguida veio a Lei nº 6.803/1980, dispondo sobre as diretrizes básicas para o Zoneamento industrial nas áreas críticas de poluição, no sentido de compatibilizar as atividades industriais com a proteção ambiental, por meio de zoneamento urbano. Essa lei definiu as áreas industriais em zonas de uso: estritamente industrial; predominantemente industrial; e diversificado.

Com a publicação da Política Nacional de Meio Ambiente, Lei nº 6.938/1981, foram criadas as condições para que o setor ambiental estabelecesse diretrizes de controle da poluição atmosférica em dois grandes ramos: o controle das emissões e o monitoramento da qualidade do ar, ambos regulamentados pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente, sob a forma das Resoluções CONAMA nº 018 de 06/05/1986, nº 005 de 15/06/1989, nº 003 de 28/06/1990, entre outras.

A Resolução CONAMA nº 005, de 15/06/1989, instituiu o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar – PRONAR, como um dos instrumentos básicos de gestão ambiental para a proteção da saúde, bem estar das populações, e melhoria da qualidade de vida (MMA, 2011).

Para instrumentalizar o gestor no controle das emissões atmosféricas no país, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais renováveis (IBAMA) estabeleceu, através da Portaria Normativa nº. 348 de 14/03/90, os padrões de qualidade do ar, promovendo uma ampliação do número de parâmetros regulamentados através da Portaria 231 de 1976. Esses novos padrões foram submetidos ao Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, em 28/06/1990, resultando na Resolução o CONAMA nº. 03/90 (CONAMA, 1990).

### **2.3.1. Padrões de Qualidade do Ar**

O padrão de qualidade do ar define legalmente as concentrações máximas de um componente atmosférico para garantir a proteção da saúde e do bem estar das pessoas e foram baseados em estudos científicos dos efeitos produzidos por poluentes específicos e são estabelecidos em níveis que possam propiciar uma margem de segurança adequada (LISBOA; KAWANO, 2007). Estão divididos em duas categorias, a saber:

- a) **Padrões Primários:** São as concentrações de poluentes que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população (Tabela 3). Podem ser entendidos como níveis máximos toleráveis de concentração de poluentes atmosféricos, constituindo-se em metas de curto e médio prazo a serem alcançadas (CONAMA, 1990).
- b) **Padrões Secundários:** As concentrações de poluentes atmosféricos abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem estar da população, assim como o mínimo dano à fauna e à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral (Tabela 3). Podem ser entendidos como níveis desejados de concentração de poluentes, constituindo-se em meta de longo prazo a serem alcançadas (CONAMA, 1990).

Além dos critérios de classificação para episódios agudos de poluição do ar, índices de qualidade do ar são utilizados com a finalidade de simplificar o processo de divulgação desses dados. Os parâmetros contemplados nesses índices, conforme Resolução do CONAMA n<sup>o</sup> 03 de 28/06/90 são para os elementos: Dióxido de Enxofre, Partículas Totais em Suspensão, Partículas Inaláveis, Fumaça, Monóxido de Carbono, Ozônio e Dióxido de Nitrogênio (CONAMA, 1990).

O Índice de Qualidade do Ar (IQAr) tem como objetivo principal proporcionar à população o entendimento sobre a qualidade do ar local, em relação a diversos poluentes atmosféricos amostrados nas estações de monitoramento (Tabela 4). Sendo divulgadas através de um boletim da qualidade do ar, das últimas 24 horas por cada órgão ambiental. Este índice foi estabelecido com base no PSI - *Pollutant Standart Index*, da EPA, USA. (FEPAM, 2011).

**Tabela 3** - Descrição dos Padrões de Qualidade do Ar

Poluentes	Tempo de amostragem	Padrão Primário $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Padrão Secundário $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Método de amostragem
Partículas Totais em	24 horas*	240	150	Amostrador de Grande Volume
	MGA**	80	60	
Partículas Inaláveis(PI)	24 horas*	150	150	Separação Inercial/Filtração
	MAA***	50	50	
Fumaça	24h			Reflectância
	MAA***	60	40	
Dioxido de Enxofre	24 horas*	365	100	Pararosanilina
	MAA***	80	40	
Dioxido de Nitrogênio	1 hora*	320	190	Quimiluminescência
	MAA***	100	100	
Monóxido de Carbono	1 hora*	40.000	40.000	Infravermelho não dispersivo
	8 horas	9ppm	9ppm	
Ozônio (O <sub>3</sub> )	1 hora*	160	160	Quimiluminescência

\* Não deve ser excedido mais que uma vez ao ano.

\*\* Média geométrica anual.

\*\*\* Média aritmética anual.

\*\*\*\* A resolução permite a utilização de método equivalente.

Fonte: CONAMA 03/1990

**Tabela 4** - Índices de Qualidade do Ar

Qualidade do ar	Índice	Padrões de qualidade do Ar – CONAMA 03/1990
<b>BOA</b>	0 – 50	A Baixo da metade dos padrões de qualidade do ar *
<b>REGULAR</b>	51 – 100	A Baixo da metade dos padrões de qualidade do ar
<b>INADEQUADO</b>	101 – 199	Acima dos padrões de qualidade
<b>MÁ</b>	201 – 299	Acima do nível de atenção
<b>PESSIMA</b>	301 – 399	Acima do nível de emergência
<b>CRITICA</b>	Acima de 400	Acima do nível de alerta

\* Atende aos padrões primários anuais, ou 50% dos padrões anuais de curto período.

\*\* Atende aos padrões primários

Fonte: Resolução CONAMA 03/1990 e FEPAM

## 2.4. Gestão da Qualidade do Ar

### 2.4.1. Tipos de monitoramento da qualidade do ar

Segundo Lisboa *et al.* (1997) o monitoramento da qualidade do ar pode ser realizado de forma convencional (utilizando equipamentos) e alternativo (uso de

organismos vivos), e para uma melhor descrição, segue abaixo o detalhamento de cada um deles.

#### 2.4.1.1 Métodos Convencionais

Para medir a qualidade do ar, utilizam-se equipamentos e computadores de grande volume (Lisboa; Kamano, 2007) que podem ser fixos (Figura 5A) ou móveis (Figura 5B).



**Figura 5** - Estação Fixa (A) e Móvel (B) de Monitoramento da Qualidade do Ar – (Fontes: ISATEC, 2011 e ESTG, 2011)

#### 2.4.1.2 Metodologia e Equipamentos para Medir a Qualidade do Ar

Segundo Lisboa *et al.* (1997), a escolha dos monitores deve levar em consideração além dos padrões legais, os recursos necessários para aquisição, operação e manutenção dos equipamentos, devido ao elevado custo.

Vários equipamentos foram desenvolvidos para detectar os materiais particulados e gases que são emitidos pelas fontes poluidoras na atmosfera. Os equipamentos medem tanto a emissão (o que sai da chaminé ou da fonte poluidora) e a imissão (cálculo da rota e trajetória da poluição), conforme descrito por Lisboa *et al.* (1997).

De acordo com os mesmos autores (LISBOA *et al.*, 1997), os métodos são utilizados para medir a poluição interior e exterior e podem ser classificados, em:

- **Ativos:** equipamento que mede gases, em que uma quantidade de ar é sugada por meio de uma bomba que passa pelo coletor químico ou físico por um determinado período de tempo, geralmente umas 24 horas, depois de ser analisado.
- **Passivos:** difusão molecular durante período previamente definido, compostos por tubos difusores (compostos por uma superfície difusiva e uma superfície adsorvente) que recolhem os poluentes em meio adsorvente e por abrigos (que protegem os tubos difusores da chuva/sol).
- **Automáticos:** utilizada equipamento que analisa em curto espaço de tempo, geralmente 30 a 60 minutos, são utilizados eletro – ópticos. A amostra de ar entra em uma câmara de reação, onde a propriedade óptica do gás pode ser medida diretamente por meio de diversos sensores.

Os dados que são gerados pelas estações de qualidade do ar, são analisados pelas técnicas descritas na tabela 5.

**Tabela 5** - Técnicas para analisar dados de poluição atmosférica

Princípio eletro – óptico	Poluente
Florescência	SO <sub>2</sub>
Quimiluminescência	NOX, NO e NO <sub>2</sub>
Absorção de infravermelho não dispersivo	CO
Cromatografia gasosa (espectrômetro de massa)	HIDROCARBONETOS
Absorção de ultravioleta	O <sub>3</sub>
Absorção- balanço oxidante	PARTÍCULAS EM SUSPENSÃO

Fonte: Lisboa e Kamano, 2007

#### 2.4.2. Métodos Alternativos

Utilizam-se organismos vivos para medir a qualidade do ar (bioindicadoras) e podem ser classificados em ativos e passivos (LIMA, 2001). Abaixo, seguem maiores detalhamentos dessa técnica.

### 2.4.3. Técnica de Biomonitoramento

Muitas espécies vegetais têm sido utilizadas como bioindicadoras em pesquisas de biomonitoramento da qualidade do ar (MIRANDA, 2008; BUJOKAS, 2009). Várias espécies já foram testadas incluindo líquens, fungos, briófitas, gimnospermas e angiospermas (ALVES *et al.*, 2001). O uso de plantas como biomonitores da poluição tem se demonstrado uma alternativa adequada e viável, por proporcionar o conhecimento de uma medida integrada da exposição ao longo de certo período (ARNDT; SCHWEIZER, 1991).

Segundo Martins (2009), o biomonitoramento da poluição do ar por meio de vegetais apresenta vantagens que merecem destaque, entre elas pode-se citar:

- baixo custo, que permite a aplicação em grandes áreas com ausência de monitoramento convencional, recursos humanos e financeiros;
- o treinamento e recursos humanos para a implementação da rede de biomonitoramento são muito mais simples do que aqueles necessários para a operação de redes de monitoramento convencional;
- as plantas apresentam uma resposta integrada à ação dos poluentes, permitindo avaliar o potencial tóxico de misturas complexas;
- o potencial educativo das técnicas de biomonitoramento é excepcional, permitindo o envolvimento de membros da comunidade (escolares, ONGs, etc.) na execução da avaliação ambiental da sua própria comunidade.

De acordo com Martins (2009), os procedimentos de biomonitoramento podem ser classificados de diversas formas. Os principais são: quanto à obtenção da espécie a ser avaliada e quanto ao tipo de efeito detectado.

Quanto à obtenção da espécie a ser avaliada, eles podem ser divididas em (MARTINS, 2009; LIMA, 2001):

- **Ativo:** quando se expõe uma espécie, por um determinado período, no meio em que se pretende estudar para fins de avaliação. Como exemplo cita-se o estudo realizado por Bujokas (2009), que utilizou muda de feijões nas proximidades de uma fábrica de cimento no município de Rio Branco

do Sul no Paraná, onde as amostras ativas que ficaram expostas apresentaram redução no crescimento em altura de 40,4%, quando comparadas com as amostras de controle.

- **Passivo:** quando se vale de espécies já presentes no meio, como foi realizado no estudo conduzido por Lima *et al.* (2000), que utilizou a espécie *Mangifera Indica*. (mangueira) para mensurar o acúmulo de enxofre originado pelo tráfego intenso de veículos na Região Metropolitana de Salvador - BA.

Quanto ao tipo de efeito detectado podem ser (MARTINS, 2009):

- **Bioindicador:** quando são identificados os sintomas visíveis, como necrose foliar, clorose. Como exemplo, podemos citar o estudo realizado por Pesquisadores do Centro de Pesquisas em Agricultura dos Estados Unidos (USDA Agricultural Research Center) que descobriram que, a partir da década de 50, ocorreu uma queda na produção das indústrias de charuto em decorrência do aparecimento de manchas necróticas nas folhas do tabaco que se formavam em decorrência da presença de ozônio no ambiente (HEGGESTAD, 1991).
- **Biosensor:** quando os poluentes promovem alterações ocultas, tais como mutações, alterações funcionais ou bioquímicas. Como exemplo, o estudo de Bussoti e Ferreti (1998), no qual avaliaram a relação entre a poluição do ar e a destruição de florestas no sul da Europa, onde verificaram o grau de desfolhamento das árvores, por meio de experimentos com a exposição de mudas a elevadas concentrações de poluentes. Desse estudo, concluiu-se que o ozônio é o principal contaminante que provoca necroses nas folhas da vegetação presente nas florestas, apesar da discussão apresentada pelos autores sobre a necessidade de estudos mais aprofundados sobre os critérios utilizados para determinar o declínio das florestas no sul da Europa. Agrios (1998) também observou injúrias agudas, na forma de necrose branca, nas folhas da espécie vegetal *Disporum hookeri*, causadas pelas altas concentrações de SO<sub>2</sub> em British Columbia, Canadá.

- **Bioacumuladores:** quando o vegetal tem a capacidade de acumular em suas folhas, cascas ou outras partes, elementos ou substâncias químicas indicativas da poluição, como o estudo realizado por Maioli *et al.*, (2008), que observou parâmetros bioquímicos foliares nas espécies *Licanea tomentosa* (Benth) e *Bauhinia forficata* (Link), na Região da Grande Vitória (ES). As espécies sofreram alterações quando expostas à poluição em comparação com o grupo controle (local livre de poluição), como indicação de estresse causado pela poluição atmosférica oriunda de ozônio.

Considerando o exposto, o presente estudo optou pelo método de biomonitoramento passivo por bioacumulação, com a utilização de cascas de Aroeira (*Myracrodruon urundeuva*) que estão presentes na Região da Fercal.

As Cascas de árvore têm sido analisadas em vários estudos como biomonitores de poluição do ar (FERREIRA, 2009; MARTINS, 2009). A poluição de grandes áreas pode ser investigada com a coleta e análise de amostras de cascas (vivas ou mortas), não havendo limitação de temporada, pois a casca está disponível durante todo o período do ano (MARTINS, 2009).

As cascas atuam como uma camada que envolve a árvore, protegendo, mas, ao mesmo tempo, recebendo e acumulando aerossóis (FERREIRA, 2009). Ainda que algumas espécies tenham cascas com camadas de estrutura simples, outras exibem uma complexa estrutura irregular, sendo constituída por camadas de diferentes idades. A acumulação de aerossóis atmosféricos e de partículas em suspensão aérea ocorre tanto por meio da deposição seca como úmida (CARMINITTI, 2008). As partículas em suspensão no ar, devido ao impacto, podem continuar aderidas após a colisão com a casca (BECKETT *et al.*, 1998 apud SCHELLE, 2004).

A retenção de partículas atmosféricas nas cascas é promovida pela eletricidade da superfície (PYE, 1987 apud SCHELLE, 2004) fazendo das cascas um eficiente coletor. As partículas em suspensão dissolvidas na água da chuva também podem ser depositadas nas cascas, embora a influência deste processo não seja tão clara. Além disso, nutrientes absorvidos pelas árvores a partir do solo ou folhas poderiam ser transportados para a casca (LEPP, 1975 apud SCHELLE, 2004), mas essa contribuição é considerada insignificante.

Martins (2009) estudou parques urbanos da cidade de São Paulo-SP, com a utilização de cascas de árvores, para verificar a poluição de origem veicular, onde observou níveis mais elevados de elementos-traço nas partes externas em comparação com as partes internas e com a região controle (área livre de poluição e com características similares aos parques estudados).

Ferreira (2009), no Município de São Mateus do Sul - PR, produtor de xisto pirobotuminoso (Xisto), observou as concentrações de elementos depositados nas superfícies das cascas de árvores da região e verificou a direção dos ventos a partir da indústria de xisto e sugeriu que Fe, S e Si, podem ser usados como marcadores da poluição desta indústria.

Portanto, a partir dos resultados obtidos pelas teses, pode-se concluir que a utilização de cascas de árvores como bioindicador pode ser uma estratégia alternativa para analisar os impactos ambientais em regiões sem rede convencional de monitoramento da poluição atmosférica.

## **2.5. Gerenciamento da Qualidade do Ar no Brasil**

A Resolução do CONAMA n°.3, de 28/6/90, estabelece os padrões de qualidade do ar, como previsto no PRONAR, atribuindo aos Estados o monitoramento da qualidade do ar. Segundo o PRONAR, aos Estados compete o estabelecimento e a implementação dos Programas Estaduais de Controle da Poluição do Ar, sendo possível a adoção pelos Estados de valores mais rígidos em relação aos níveis máximos de emissão. Em matéria de meio ambiente e, sobretudo, de poluição atmosférica, a adoção de uma política preventiva é fundamental. O PRONAR representou, sem dúvidas, um grande avanço em termos de instrumentos, objetivos e níveis necessários à obtenção de uma qualidade ambiental (SILVA, 2007).

Entretanto, já se passaram mais de 20 anos a partir da implantação da última norma regulamentadora a CONAMA 03/90 e os padrões de poluição atmosférica não sofreram uma revisão para se adequar à realidade das fontes emissoras de poluição do Brasil.

Na tentativa que minimizar o problema em 2005, a Organização Mundial da Saúde, preocupada com o assunto, reuniu pesquisadores especialistas no

assunto para discutir padrões mais restritivos (Tabela 6), pois estudos epidemiológicos realizados nas últimas décadas têm demonstrado que o material particulado em suspensão pode causar efeitos nocivos para a saúde humana, mesmo em níveis abaixo dos padrões de qualidade do ar que têm sido fixados em vários países desenvolvidos, e também no Brasil (WHO, 2000).

Dessa maneira, a OMS realizou a revisão dos padrões de vários poluentes, e foram definidos Objetivos Intermediários – OI (Tabela 6), patamares que relacionados com a redução progressiva nos valores de concentração de poluentes, determinam uma redução importante dos riscos de efeitos agudos e crônicos sobre a saúde. É importante ressaltar que os padrões para material particulado (PM) foram focos de grande discussão, tendo sido modificados de modo a refletir a realidade e os avanços de diferentes países em termos de controle de emissões de poluentes atmosféricos (VIGIAR, 2008).

Embora os efeitos à saúde decorrentes da exposição ao PM com diâmetro aerodinâmico de até 2,5 micra (PM<sub>2,5</sub>) sejam considerados mais relevantes, foi reconhecido que o material particulado com diâmetro aerodinâmico de até 10 micra (PM<sub>10</sub>) é o indicador mais comumente utilizado na maior parte dos estudos epidemiológicos disponíveis no mundo (VIGIAR, 2008). O valor guia (valor a partir do qual há evidências de efeitos adversos sobre a saúde) para transformar os padrões para PM10 foi baseado em estudos que utilizaram PM<sub>2,5</sub> como indicador. Utilizou-se a razão MP<sub>2,5</sub>/MP<sub>10</sub> de 0,5 para obter o valor apropriado de PM10 para os Objetivos Intermediários (OI) 1, 2 e 3 (Tabela 6).

**Tabela 6**– Padrões de Qualidade do Ar da OMS (Fonte: MS, 2005)

Nível da média diária (Objetivo)	MP <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )*	MP <sub>2,5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Fundamentação
Intermediário – 1 (OI – 1) da OMS	150	75	Baseado em coeficientes de risco publicados em estudos multicêntricos e metanálise (incremento de cerca de 5% de mortalidade de curto prazo).
Intermediário – 2 (OI – 2) da OMS	100	50	Baseado em coeficientes de risco publicados em estudos multicêntricos e metanálise (incremento de cerca de 2,5% de mortalidade de curto prazo).
Intermediário – 3 (OI – 3) da OMS	75	37,5	Incremento de cerca de 1,2% de mortalidade de curto prazo.
Intermediário – 4 (OI – 4) da OMS	50	25	Baseado na relação entre os padrões diário e anual de material particulado.

\*micrograma por metro cúbico ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

## **2.5.1. Desenvolvimento de Políticas Públicas Relacionadas à Poluição Atmosférica e Saúde Humana**

### **2.5.1.1 Ação Governamental para Controle da Qualidade do Ar**

Em 2009, o Ministério do Meio Ambiente em parceria com o Ministério da Saúde, desenvolveu documento técnico, intitulado “**Compromissos pela Qualidade do Ar e Saúde Ambiental**”, e lançou na I Conferência Nacional de Saúde Ambiental, realizada no período de 15 a 19 de dezembro de 2009 (MS, 2011<sup>a</sup>). O material teve como objetivo lançar as linhas de ação para o desenvolvimento da Política Nacional de Qualidade do Ar, para subsidiar a revisão dos níveis de emissões de atmosféricas, para se adequar à nova realidade do país (MMA, 2010). Vale ressaltar, que foi o primeiro passo para a redução dos padrões de qualidade do ar, faltando agora à definição e implementação dos padrões revisados por cada Unidade da Federação.

Cabe à União definir normas Federais básicas gerais, podendo os estados complementarem-nas, conforme especificações constitucionais e na existência de normas gerais em nível federal, cabe aos estados competência legislativa plena para regulamentar o uso e a proteção de determinado recurso ambiental (MMA, 2011). A legislação ambiental decorre de competência legislativa plena concorrente em matéria ambiental (CF, 1988). No Distrito Federal, a competência para legislar está com o Instituto Brasília Ambiental – IBRAM (IBRAM, 2011).

### **2.5.1.2 Ação Governamental Voltada para a Saúde da População Exposta à Poluição Atmosférica**

No Brasil, em 1999, a partir do projeto de fortalecimento da Vigilância Epidemiológica, em nível nacional, foram criadas as condições para desenvolvimento da Vigilância em Saúde Ambiental.

Em 2001, foi consolidada a Vigilância em Saúde Ambiental relacionada à Qualidade do Ar – VIGIAR, no âmbito do Ministério da Saúde, conforme recomendação constante no Projeto VIGISUS ao considerar a estruturação do

Sistema Nacional de Vigilância em Saúde (VIGIAR, 2008). Iniciou-se o desenvolvimento das atividades em seis áreas-piloto (Volta Redonda – RJ, Camaçari – BA, Vitória – ES, Região Metropolitana de São Paulo – SP, Canoas – RS e Araucária – PR), por meio da realização de seminários, oficinas de trabalho, reuniões e visitas técnicas nacionais e internacionais, com o objetivo de promover a estruturação da área no país. Desde então, o VIGIAR tem passado por modificações que contribuíram para o seu aperfeiçoamento, fortalecimento e expansão para outros municípios do país (VIGIAR, 2008).

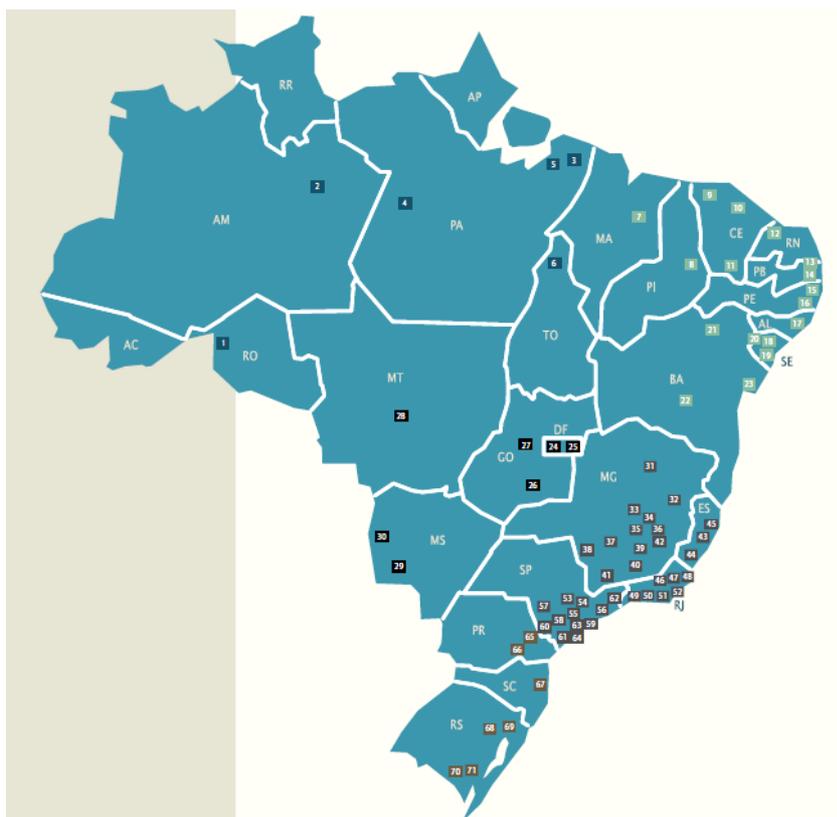
Em 2006, em seminário nacional, foi estabelecido o Programa Nacional de Vigilância em Saúde Ambiental relacionada à Qualidade do Ar – VIGIAR. O documento norteou os estados a estabelecer sua base de ações, para promover a saúde da população exposta aos poluentes atmosféricos (MS, 2011).

Retornando ao objeto do presente estudo, no item a seguir será descrito um breve histórico da área de mineração no Brasil, para contextualizar o tipo de emissões atmosféricas que são realizadas na Região da Fercal, área do presente estudo.

## **2.6. Mineração no Brasil**

### **2.6.1. Indústria de Cimento no Brasil**

A implantação da indústria de cimento no país teve duas fases: do pioneirismo e da industrial. A primeira teve raízes no final do século XIX, quando a população em crescimento, demandou a construção de obras públicas e residências. Em 1888, o engenheiro Louis Felipe Alves da Nóbrega na Paraíba, e o comendador Antônio Proost Rodovalho, em São Paulo, deram início às primeiras fábricas de cimento. Hoje o país abriga 71 fábricas (Figura 6), distribuídas pelas regiões do Brasil (SNIC-2009).



**Figura 6** - Distribuição das Fábricas de Cimento no território brasileiro (Fonte: SNIC-2009)

Na Região Centro-Oeste, existem 7 fábricas de cimentos, distribuídas em 4 grupos empresariais, das quais 4 pertencem ao grupo Votorantim, 1 ao grupo Atalla, 1 ao grupo Cimpor e 1 ao grupo Camargo Correa (Tabela 7).

**Tabela 7** - Localização das Cimenteiras na Região Centro-Oeste (Fonte: SNIC ,2009).

Indústria	Cidade	Estado
Ciplan	Sobradinho	DF
Votorantin	Sobradinho	DF
Cimpor	Cezarina	GO
Votorantin	Cocalzinho	GO
Votorantin	Nobres	MT
Votorantin	Corumba	MS
Camargo Correa	Bodoquena	MS

O grupo Votorantim liderou a produção de cimento no ano de 2009, entretanto, considerando uma unica industria de Cimento à Ciplan pertencente ao grupo Atalla, produziu isoladamente mais produtos na Região Centro-Oeste (Tabela 8).

**Tabela 8** – Produção de Cimento no período de 2008 e 2009 (Fonte: SNIC , 2009)

<b>Região Centro-Oeste</b>	<b>Produção em Toneladas</b>	
<b>Fábrica</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>
Votorantin	2.573	2.656
Ciplan	1.386	1.446
Cimpor	870	933
Camargo Correa	636	625
Total	5.465	5.660

### **2.6.1.1 Indústria de Cimento no Distrito Federal**

No Distrito Federal existem duas grandes fábricas produtoras de cimento, a Votorantim e a Ciplan, que juntas, em 2009, produziram 72% do cimento na Região Centro Oeste (SNIC 2009). A Unidade da Votorantim está localizada na cidade de Sobradinho II, via de acesso pela Rodovia DF 150, km 18, faz parte de uma das maiores produtoras de cimento do mundo e representa uma das maiores do Brasil e da região centro-oeste.

### **2.6.1.2 Cimento Ciplan**

A fábrica de Cimento Planalto - CIPLAN, fica localizada na cidade de Sobradinho em Brasília – DF, a cota do terreno apresenta o valor aproximado de 900m de altitude. As suas instalações estão distribuídas por uma área de aproximadamente 100 km<sup>2</sup>, incluindo jazida, área operacional e bota fora de rejeitos (MENDONÇA, 2008). Considerada a segunda maior produtora do centro-oeste, representa 2,8% da produção nacional (MME). A empresa realizou no período de 2007 a 2009, investimento de US\$ 60 milhões para aumentar 25% da capacidade de produção, que era de 1,6 milhões de toneladas ao ano para 2 milhões de toneladas ao ano (Gazeta Mercantil, 2010), ou seja é uma empresa que está em expansão.

A empresa, fundada em 1968, foi vista na época como símbolo do nacionalismo, por ser uma das primeiras empresas instaladas em Brasília no meio

do cerrado ao acreditar no sonho de Juscelino Kubishec. Atualmente, com presença na maioria dos estados do país (MA, SP, MG, DF, MT, CE, GO, TO e CE), abrangendo principalmente as regiões Centro-Oeste, Norte, Nordeste e Sudeste, a Ciplan fornece uma ampla linha de produtos (cimento, agregados, argamassa e concreto) para a construção civil (CIPLAN, 2011).

A Empresa é a terceira maior produtora de calcário do país, conforme dados do DNPM de 2005 (Tabela 9).

**Tabela 9** – Principais empresas produtoras de Calcário no Brasil, em 2005 (Fonte: DNPM, 2005)

<b>Empresa</b>	<b>Estados onde opera</b>	<b>Participação</b>
Cimento Rio Branco	PR, RJ, RS, SC, SP	7,6
CBE - Companhia Brasileira de Equipamentos	CE, ES, MA, PA, PE, RN	5,7
CIPLAN	DF	5,3
Companhia de Cimento Portland Itaú	GO, MG, MS, RJ, SP	3,7
Companhia Siderúrgia Nacional	MG	
Holcim (Brasil) S/A	MG, PR, RJ, SP	3,7
Mineração Belocal LTDA	MG	2,2
Dagoberto Barcelos S/A	RS	2,1
Companhia Mineradora Geral	SP	2,0
Britacal Ind. & Com. De Brita e Calcário Brasília Ltda	GO, MG	1,7

Segundo Carvalho (2008), muitos empregos diretos e indiretos são gerados pelas empresa, entretanto, os problemas ambientais são muitos, conforme estudo dos conflitos ambientais e sociais gerados pela cimenteira, constatou:

Na Comunidade de Queima Lençol, localizada nas proximidades da fábrica Ciplan, e no entorno da APA de Cafuringa, há forte poluição gerada pela emissão de material Particulado, oriundo da fabricação do cimento. Esta situação vem gerando conflitos na região, com episódios de fechamentos da rodovia de acesso à fábrica e à comunidade, com queima de pneus e protestos por parte da população local.

O estudo concluiu que é necessário fomentar uma cultura de complementaridade, co-responsabilidade e comprometimento em torno de objetivos comuns, sendo necessária a consciência por parte de todos os agentes, inclusive das empresas, para que se possa construir uma nova realidade para o setor, com processos produtivos para o cimento que sejam ecológica e socialmente mais sustentáveis (CARVALHO, 2008).

As emissões de poluentes na atmosfera e na vegetação, foram observadas na saída de campo (Figura 7), realizada em novembro de 2010, para coleta de amostras de material vegetal, conforme etapa prevista no presente estudo.



**Figura 7-** Emissão de particulados na Atmosfera e na Vegetação pela empresa Ciplan – Fonte: Cleide Santos

No entorno da Ciplan está estabelecida uma comunidade de moradores denominada Queima lençol, localizada a 250 metros da fábrica (IBRAM, 2011).

### 2.6.1.3 Comunidade Queima Lençol

Na comunidade Queima Lençol, localizada nas proximidades da fábrica de cimento Ciplan, e no entorno de APA do Cafuringa, às margens da Rodovia DF 205, há elevados níveis de emissão de particulados totais, não só da fábrica, mas também da rodovia em que passam os caminhões que transportam os produtos que são produzidos, principalmente, na cimenteira (IBRAM,2011). A população reclama da poluição que é gerada pela fábrica, como é o caso da dona de casa Maria José Souza e Silva, 41 anos, moradora da comunidade de Queima Lençol (Figura 8).



**Figura 8** - Moradora reclama de poluição atmosférica na comunidade Queima Lençol (Fonte: Correio Braziliense - 2010, por Bruno Fortes)

Segundo estudo realizado por Carvalho (2008), o setor cimenteiro vem se preocupando com o desenvolvimento de práticas sustentáveis que possam mitigar os impactos gerados. Há práticas e incentivos de sustentabilidade que reúnem indústrias de cimento de todo o mundo. Uma destas ações, a *Iniciativa para a Sustentabilidade do Cimento* vem desenvolvendo programa de investigação e de consulta aos *stakeholders* e gerou estudos independentes com o objetivo de promover uma melhoria da indústria cimenteira pela via da sustentabilidade. O foco destas ações está concentrado na proteção climática,

redução das emissões de gases poluentes, gestão ambiental, integração e cooperação industrial e inovação. A iniciativa também prevê o melhoramento das relações com as comunidades no entorno das fábricas onde haja problemas ou questões socioambientais.

Entretanto, em consulta ao site oficial da empresa ([www.ciplan.com.br](http://www.ciplan.com.br)), não foi observado nenhuma informação sobre programa de qualidade ou sustentabilidade ambiental e de acordo com a mídia eletrônica os problemas ambientais persistem (GDF, 2009 e DFTV, 2009).

Para melhor entendimento das questões que serão abordadas nesse trabalho, segue abaixo a descrição dos processos de extração e fabricação do cimento na empresa Ciplan.

### **2.6.2. Definição de Cimento**

Cimento é um material cerâmico que em contato com a água produz uma reação exotérmica de cristalização de produtos hidratados, ganhando assim uma maior resistência. No antigo Egito, era utilizado um material feito de gesso calcinado como aglomerante, entre gregos e romanos, eram usados solos vulcânicos das proximidades de Pozzuoli ou da ilha de Santorini, que endureciam depois de misturadas com a água (CIPLAN, 2011).

Em 1786, o inglês John Smeaton criou uma mistura resistente através da calcinação de calcários argilosos e moles. Esse é o marco da criação do cimento artificial. Em 1824, o construtor inglês Joseph Aspdin queimou conjuntamente pedras calcárias e argila, transformando-as num pó fino. Percebeu que obtinha uma mistura que, após secar, tornava-se tão dura quanto as pedras empregadas nas construções (CIPLAN, 2011).

A mistura não se dissolvia em água e foi patenteada pelo construtor no mesmo ano, com o nome de cimento Portland, que recebeu esse nome por apresentar cor e propriedades de durabilidade e solidez semelhantes às rochas da ilha britânica de Portland (CIPLAN, 2011).

### 2.6.2.1 Matéria prima para produção do Cimento

As principais matérias primas para produção do cimento são: Calcário (constituída basicamente de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), argila (componentes  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{SiO}_2$ ) e gesso  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), hemidratado ou bassanita ( $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ ) e anidrita ( $\text{CaSO}_4$ ). Estas devem estar disponíveis nas proximidades das unidades produtoras para viabilizar o custo (Cienciaquímica, 2011 e CIPLAN, 2011):

- **Calcário:** são constituídos basicamente de carbonato de cálcio  $\text{CaCO}_3$  e, dependendo da sua origem geológica, pode conter várias impurezas, como magnésio, silício, alumínio ou ferro. O carbonato de cálcio é conhecido desde épocas muito remotas, sob a forma de minerais tais como a greda, o calcário e o mármore. O calcário é um rocha sedimentar, sendo a terceira rocha mais abundante na crosta terrestre e somente o xisto e o arenito são mais encontrados. O elemento cálcio, que abrange 40% de todo o calcário, é o quinto mais abundante na crosta terrestre, após o oxigênio, silício, alumínio e o ferro (CIENCIAQUIMICA, 2011).
- **Argila:** são silicatos complexos contendo alumínio e ferro como cátions principais e potássio, magnésio, sódio, cálcio, titânio e outros. A escolha da argila envolve disponibilidade, distância, relação sílica/alumínio/ferro e elementos menores como álcalis. A argila fornece os componentes  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{SiO}_2$ . Podendo ser utilizado bauxita, minério de ferro e areia para corrigir, respectivamente, os teores dos componentes necessários, porém são pouco empregados (CIENCIAQUIMICA, 2011).
- **Gesso:** é o produto de adição final no processo de fabricação do cimento, com o fim de regular o tempo de pega por ocasião das reações de hidratação. É encontrado sob as formas de gipsita ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), hemidratado ou bassanita ( $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ ) e anidrita ( $\text{CaSO}_4$ ). Utiliza-se também o gesso proveniente da indústria de ácido fosfórico a partir da apatita:  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + 3\text{H}_2\text{SO}_4 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_3\text{PO}_4 + 3(\text{CaSO}_2\text{H}_2\text{O})$  – (CIENCIAQUÍMICA, 2011 ; CIPLAN, 2011).

### 2.6.2.2 Processo de Produção do Cimento

Para produzir cimento, a fábrica deve apresentar algumas características particulares, como a existência de uma jazida de calcário junto à indústria. As máquinas utilizadas para a transformação e fabricação dos produtos são de grande porte, geralmente avistadas de longas distâncias. A Figura 9, apresenta a seqüência esquemática das etapas de fabricação do cimento.

A argila e calcário são componentes básicos para a fabricação de cimento, sua extração costuma se dar nas proximidades da indústria para economizar com a logístico de transporte, devido às máquinas que fazem o transporte destes minerais serem de grande porte.

A jazida de calcário se apresenta bem semelhante a uma pedreira, o fator que difere deste tipo de extração é a presença de grande número de máquinas pesadas próximas à jazida. A área operacional de fábricas de cimento é composta por silos de homogeneização, esteiras transportadoras, torre ciclone (podendo ser mais de uma), alto-forno (podendo ser mais de um), silos de clínquer, moinhos de cimento, e silos de armazenagem de adições que podem estar na área operacional ou não.

Em geral, a área de expedição não fica muito próxima à área operacional, mas se localiza em uma das vias de acesso à indústria. No coração da área operacional, ou seja, onde as principais transformações da matéria-prima ocorrem, são encontrados os silos de pré-homogenização, os moinhos de cru, a torre ciclone e os altos fornos (MENDONÇA, 2009).

Após a moagem, é feita uma mistura homogeneizada, em que são incluídos alguns minerais que venham a atingir a qualidade esperada para que possa ser aquecida no forno. Esta mistura homogeneizada recebe o nome de “farinha”. A farinha é transportada até o topo da torre ciclone, e lançada no interior da torre. Na queda deste material ocorrem vários estágios de troca de calor, pois o ar quente proveniente do forno flui pela torre de encontro com a farinha lançada no seu topo.

O material é lançado sob uma temperatura de 60°C, após chegar à base da torre ele apresenta a temperatura aproximada de 900°C. Neste momento a farinha vai para o forno, que é uma estrutura quase horizontal posicionada na

base da torre ciclone e pode apresentar um comprimento de 50 a 150m e um diâmetro em torno de 6 m. Nem sempre o forno fica em área de fácil visualização por imageamento vertical, porém ele estará sempre ao pé da torre ciclone. Ao final do forno, sai a matéria prima para a fabricação do cimento, o clínquer. A temperatura no ponto mais quente do forno chega a 1450°C. Após sair do forno, o clínquer passa por um resfriador que reduz a sua temperatura até 80°C, então segue para os silos de armazenagem (CIPLAN, 2011).

O clínquer recebe adição de gesso, quartizito, pozolana ou escória de alto forno de siderurgia, dependendo da especificação do cimento que se deseje fabricar. Então a mistura segue para o moinho onde irá adquirir a granulometria e a homogeneização final do cimento. O produto é então armazenado em grandes silos verticais de concreto protendidos. Estes silos podem ser facilmente visualizados com imagens verticais ópticas, pois a sombra produzida por eles se destaca. A distribuição do produto pode ser a granel ou ensacado. As fábricas possuem um setor de despacho de materiais, onde geralmente é possível observar uma grande aglomeração de caminhões (CIPLAN, 2011).

Existem algumas fábricas de cimento que comercializam o calcário extraído das jazidas que não possuem o teor de cálcio para fabricação de cimento. Este material é vendido como brita para compor agregados na fabricação de concreto (CIPLAN, 2011).

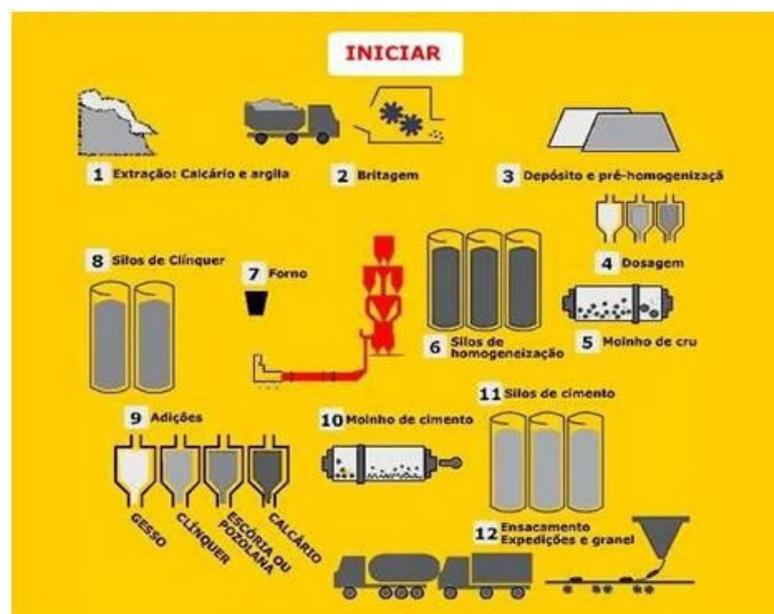


Figura 9 - Fluxograma da fabricação do cimento (Fonte: [www.ciplan.com.br](http://www.ciplan.com.br))

### **3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

#### **3.1. Aspectos Gerais - Distrito Federal**

O Distrito Federal localiza-se entre os paralelos 15°30' e 16°03' de latitude sul e os meridianos 47°25' e 48°12' de longitude WGr, na Região Centro-Oeste. Ocupa uma área de 5.789,16 km<sup>2</sup> no centro do Brasil, exatamente no centro-leste do Estado de Goiás, na qual estão inclusos 43km<sup>2</sup> de águas internas. Possui 100% de seu território na área nuclear da região dos cerrados, o segundo maior bioma brasileiro (CODEPLAN, 2008).

O DF possui uma população de 2.562.963 habitantes (IBGE, 2010), cerca de cinco vezes a mais do que a cidade foi projetada para suportar (SEMARH, 2011). Esta organizado politicamente em Regiões Administrativas - RA, que foram criadas para facilitar a administração de cada cidade. As mesmas não podem ser autônomas, de acordo com a Constituição Federal (CF, 1988). Hoje, são 30 Regiões Administrativas – RA, conforme informações divulgadas no site do Governo do Distrito Federal (GDF, 2011), entretanto, a instituição possui mapas oficiais com somente 19 RA. Neste trabalho, serão abordados aspectos gerais referente à região Administrativa XVI, que se refere à cidade de Sobradinho II, onde está localizada a Região da Fercal.

##### **3.1.1 Região da Fercal**

A região da Fercal, a partir da lei 3.314 de 27, de janeiro de 2004, passou a fazer parte da administração de Sobradinho II. Entretanto, devido à ausência de informações oficiais precisas sobre a região, os dados apresentados baseam-se em estudos e informação não oficiais disponibilizados na rede mundial de computadores.

A Fercal possui valor histórico-cultural com suas fazendas antigas que foram visitadas pelos antigos bandeirantes paulistas em busca do ouro no século XVIII, como denota a região do Córrego do Ouro. As festas tradicionais também são muito conhecidas, como as Folias do Divino, Folia de Reis, Festa da Padroeira, Festas Juninas, Catiras e Quermesses (GDF, 2011).

O local pertence à área de Proteção Ambiental do Cafuringa, banhada pela vegetação do cerrado, nascentes de rios, grutas, cavernas e várias outras belezas naturais que atraem diversos visitantes para a prática do ecoturismo e de esportes radicais como bicicross, motocross, mountain bike, trilhas ecológicas (GDF, 2011).

A região também possui recursos minerais, a exemplo do Calcário, que contribui significativamente para o crescimento socioeconômico da região, abriga uma região industrial de cimento (Figura 2), onde estão instaladas duas grandes Cimenteiras – Tocantins, do Grupo Votorantim e a Planalto (Ciplan) do Grupo Atalla - que extraem calcário e transformam em cimento e outros derivados, causando assim uma grande poluição na área, conforme descrito nos relatórios de qualidade do ar e na mídia digital divulgada pelo site dos Servidores do Governo do Distrito Federal (SINDSERF, 2010), entretanto, existem outras possíveis fontes de poluição na área, que estão ligadas aos veículos leves e pesados que transportam produtos que são produzidos nas indústrias da região (Figura 10) ressuspensando material particulado (IBRAM, 2008).



**Figura 10** - Tráfego intenso de caminhões pesados no sentido sobradinho Fercal na subida da Ciplan

### **3.1.2 Características Ambientais da Área de Estudo**

#### **3.1.2.1 Clima**

Segundo a classificação de Köppen, o clima predominante do DF é “Tropical de Savana”, Este pode ser subdividido, de acordo com a altitude, em(Ferrante,2001):

- Tropical para as regiões das bacias hidrográficas do São Bartolomeu, do Preto, do Descoberto e do Maranhão;
- Tropical de Altitude I para a unidade geomorfológica do Pediplano de Brasília, que abrange as altitudes entre 1.000 e 1.200 m; e
- Tropical de Altitude II para a unidade geomorfológica Pediplano Contagem-Rodeador.

De modo geral, o Distrito Federal é caracterizado pela existência de forte sazonalidade: uma estação chuvosa e quente e outra fria e seca. A estação chuvosa inicia-se em outubro e termina em abril, perfazendo ~85% do total anual. Novembro a janeiro representa o trimestre mais chuvoso, sendo janeiro apresenta o maior índice pluviométrico médio (320 mm/mês). A estação seca vai de maio a setembro, sendo que, no trimestre mais seco – junho, julho e agosto -, a precipitação representa somente 2% do total anual, não ultrapassando 50 mm/mês. Em termos de totais anuais, a precipitação média interanual, no Distrito Federal, varia entre 1.200 mm a 1.800 mm (FERRANTE,2001).

A temperatura média mensal varia entre 18 e 22°C, sendo os meses de setembro e outubro mais quentes, com médias superiores a 22°C. O mês de junho é o mais frio com medias entre 16 e 18°C). As temperaturas absolutas mínimas de até 2° C e máximas de 33° C já foram registradas, respectivamente, no Inverno e no início do Verão (FERRANTE,2001).

A umidade relativa pode, durante alguns dias de agosto e setembro, atingir o valor mínimo de 11%, enquanto que nos meses mais úmidos varia em torno de 75%. A média de insolação no período mais seco, de abril a setembro, é de 200 h/mês e no período chuvoso, de outubro a março, é bem menor, com média de 130 h/mês (FERRANTE,2001).

### 3.1.2.2 Ventos

A direção predominante dos ventos de nordeste a sudoeste, com velocidade média anual de 2,1 m/s, cujo percentual da distribuição de frequência por direção aponta a direção nordeste com 35,7 % de predominância. Entretanto, os ventos sudeste também têm um grande percentual de participação na distribuição dos ventos ao longo do ano e seus registros chegam a 22,6 % dos ventos totais (TERRACAP, 2011). O problema destas estimativas para o trabalho é que as estação utilizada para a determinação da medida das direções dos ventos não cobre adequadamente a Região da Fercal, entretando, considerando os relatos dos moradores e as observações realizadas durante as atividades de campo apresentaram uma coerência com os dados publicado, embora sejam simples observações.

### 3.1.2.3 Vegetação

Conforme descrição da Sema (1988 *in* Carvalho *et al.* 2006), a vegetação do Distrito Federal está situada na Província Fitogeográfica dos Cerrados. A paisagem descrita abrange três grupos distintos: formação campestre (limpo e sujo) e formação savânica (campo-cerrado, cerrado) e formações florestais (matas ciliares, matas mesófilas e veredas), Figura 11.

Na região da Fercal, nota-se a presença de doze espécies de florestas arbóreas passíveis de serem utilizadas como biomonitoramento: *Agonandra brasiliensis*, *Machaerium acutifolium*, *Guettarda viburnoides*, *Aspidosperma subincanum*, *Anadenanthera colubrina*, *Myracrodruon urundeuva*, *Astronium fraxinifolium*, *Hymenaea courbaril*, *Matayba guianensis*, *Tabebuia serratifolia*, *Tabebuia impetiginosa* e *Sterculia striata*. Destas, as quatro primeiras se destacam por possuírem populações com tamanhos similares, tanto nas formações florestais, como no cerrado/cerradão, o que indica serem tolerantes a uma ampla variação de condições ambientais no bioma Cerrado, pois ocorrem, de forma geral, em áreas de cerrado *sensu stricto*, matas de galeria e ciliares, assim como em florestas estacionais condição que realça a importância da vegetação matriz do bioma na manutenção das formações florestais (HAIDAR, 2008).

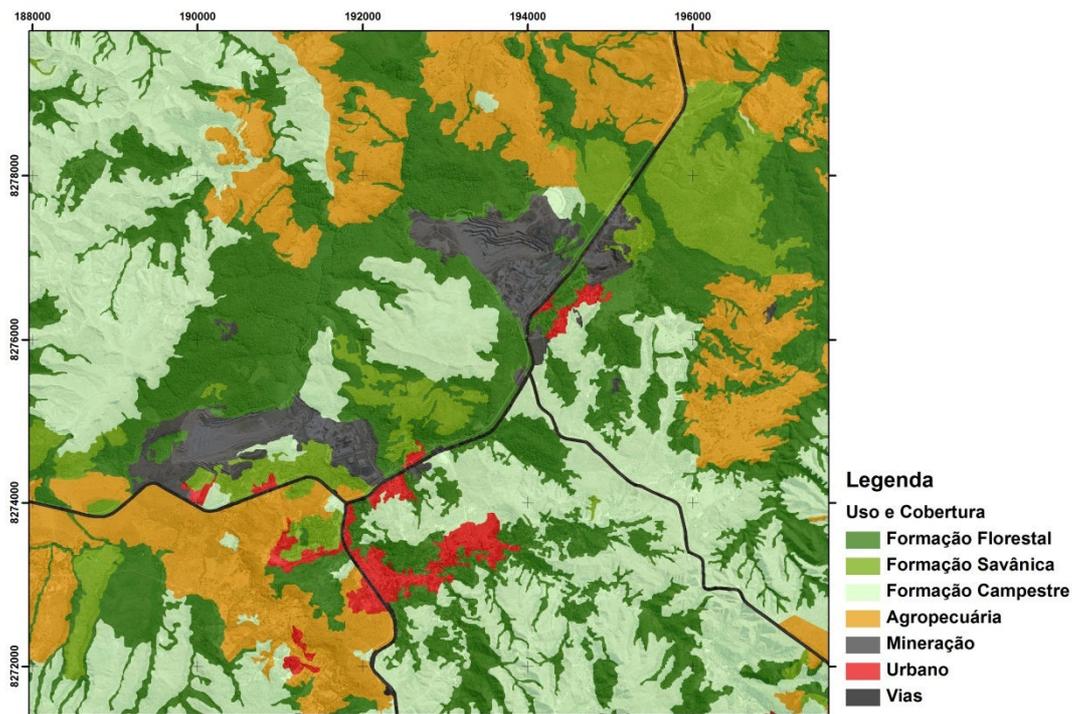


Figura 11 - Cobertura vegetal e uso e ocupação do solo da área de estudo.

#### 3.2.1.4 Solos

Embasada na síntese do Boletim Técnico 53, "**Levantamento de reconhecimento dos solos do Distrito Federal**" (EMBRAPA, 1978; REATTO *et al.* 2004) reclassificaram os solos conforme o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (EMBRAPA, 1999), gerando, assim, um novo mapa para o DF na escala de 1:100.000. Segundo Reatto, *et al.* (2004) e Gonçalves (2007) as principais classes de solos do DF são: Latossolo Vermelho (LV - ~39%), Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA - ~16%) e Cambissolo (C - ~31%). A região da Fercal representa um seguimento aparte no que tange a pedologia, devido a existência das rochas carbonáticas desenvolvem solos específicos para esta região como os Nitossolos e Chernossolos.

### 3.2.1.5 Geologia

De acordo com Campos *et al.*, (2001), o Distrito Federal localiza-se na região central da Faixa de Desdobramentos e Cavalgamentos Brasília, composta por quatro conjuntos litológicos distintos que compõem a geologia geral, os quais são: Grupo Paranoá, Grupo Canastra, Grupo Araxá e Grupo Bambuí, e suas respectivas coberturas de solos residuais ou coluvionares.

Especificamente a área de interesse está inserida no contato entre o Grupo Canastra a NW e a unidade X do grupo Paranoá, com lentes de calcário, a sudeste (Figura 12).

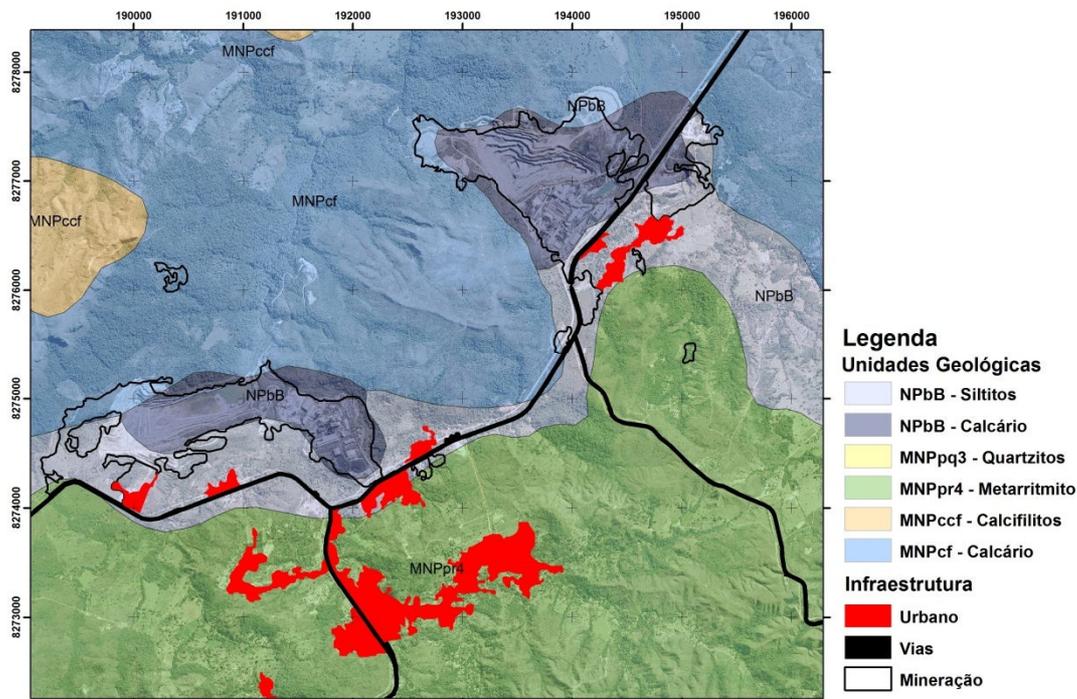


Figura 12- Geologia da região em estudo. Fonte: Campos *et al.*, (2001)

## 3.2. Gestão da Qualidade do Ar no Distrito Federal

O monitoramento da qualidade do ar do Distrito Federal é realizado pelo IBRAM, tem como objetivo a quantificação de poluentes atmosféricos, bem como a avaliação da qualidade do ar em relação aos limites estabelecidos para proteger a saúde e bem estar das pessoas (IBRAM, 2011).

### **3.2.1. Poluentes monitorados**

Em razão da maior concentração na atmosfera e aos efeitos nocivos que apresentam, os principais poluentes atmosféricos monitorados pelo IBRAM são: partículas totais em suspensão (partículas inferiores a 100 µm de diâmetro), partículas inaláveis (partículas de até 10 µm de diâmetro), fumaça, dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>).

### **3.2.2. Rede de Monitoramento**

O monitoramento da Qualidade do Ar no Distrito Federal é realizado de maneira pontual em alguns locais. As estações são compostas por equipamentos manuais e estão instaladas em locais com intenso tráfego de veículos ou com grande influência de prováveis fontes emissoras de poluentes (fábricas de cimento).

Em meados do ano de 2009, o IBRAM celebrou convênio com o Centro de Formação de Recursos Humanos em Transportes – CFTRU, vinculado à Fundação Universidade de Brasília, visando o incremento e operacionalização do monitoramento realizado. Atualmente o convênio conta com sete estações de monitoramento da qualidade do ar em operação (manuais), conforme localização descrita na Tabela 10 (IBRAM, 2011).

As localidades monitoradas são consideradas pontos críticos, tendo em vista o tráfego intenso de veículos automotores ou a existência de grandes fábricas de cimento. Ambas as fontes contribuem para a emissão de altas concentrações de poluentes gasosos e particulados, que podem ser quantitativamente medidas em estações de monitoramento (IBRAM, 2011).

Na área de estudo, estão localizadas quatro estações de monitoramento da qualidade do ar, entretanto somente três estavam em funcionamento em 2010. A estação Queima Lençol, que estava instalada na comunidade do mesmo nome foi desativada, porque a escola onde a mesma estava instalada foi fechada por problemas anteriormente descritos no item 1.3.

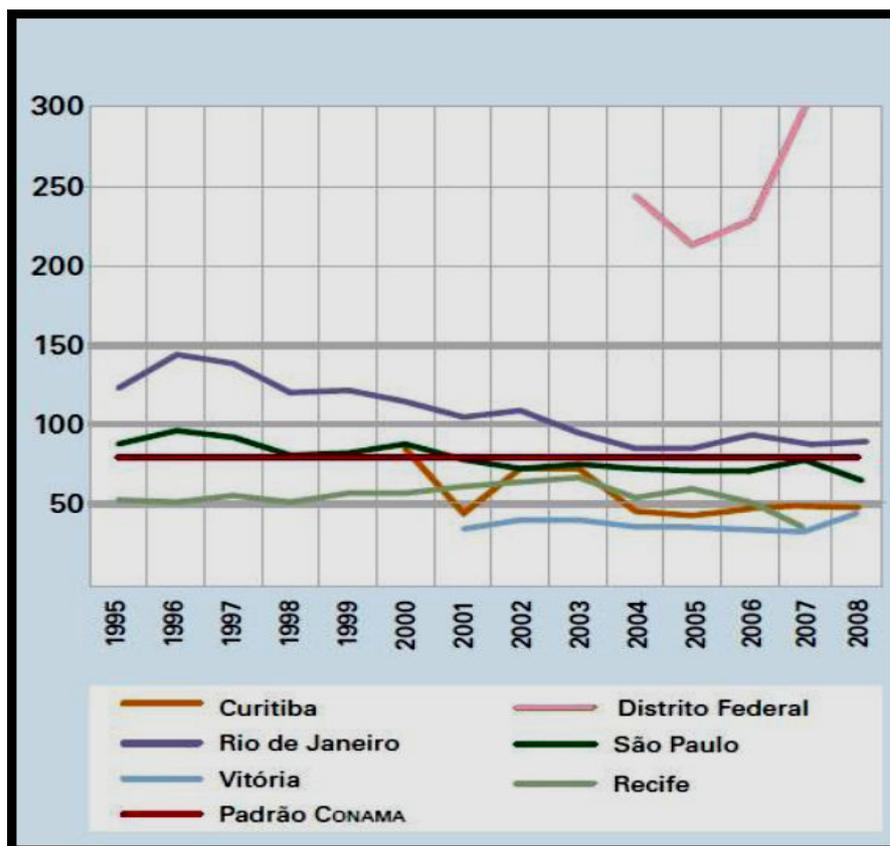
**Tabela 10** - Estações de Monitoramento da Qualidade do Ar no DF

NOME DA ESTAÇÃO	LOCAL	COORDENADAS GEOGRÁFICA	PRINCIPAL FONTE DE POLUIÇÃO	USO DO SOLO
Fercal 1	Região Fercal – próximo à Sobradinho II	15°36'03.5"S 47°52'18.4"O	Veículos automotores	Residencial e comercial
Fercal 2	Região Fercal – próximo à Sobradinho II	15°35'19.1"S 47°51'58.7"O	Veículos automotores e indústria de cimento	Agricultura – área rural
Ciplan	Região Fercal – próximo à Sobradinho II	15°34'15.80"S 47°51'5.90"O	Indústria de cimento	Industrial
714 Sul	Asa Sul -W3 Sul	15°49'27.9''S 47°55'23.7''O	Veículos automotores	Residencial e comercial
Queima Lençol	Região Fercal – próximo à Sobradinho II	15°34'15.80"S 47°51'5.90"O	Veículos automotores e indústria de cimento	Industrial, residencial e comercial
Rodoviária	Eixo Monumental	15°47'37.2"S 47°52'58.0''O	Veículos automotores	Comercial
Taguatinga	Centro de Taguatinga	15°50'2.94"S 48° 3'30.18"O	Veículos automotores	Residencial e comercial
HUB	Asa Norte – L2 Norte	15°46'21.2''S 47°52'28.7''O	Veículos automotores	Residencial e comercial

Fonte: IBRAM, 2011

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE, apresentou em 2010, uma série histórica dos anos 1995 a 2008, referente às médias anuais das concentrações, em  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , de Partículas Totais em Suspensão (PTS) de algumas capitais brasileiras. Esses dados são comparados com o padrão estabelecido pela Resolução CONAMA n°. 03/90. Ressalta-se, que em algumas capitais, os dados não correspondem ao período completo de 1995 a 2008. Esse fato se deve por dificuldades operacionais dos órgãos ambientais (IBGE, 2010) de cada capital.

A concentração média anual de PTS, no Distrito Federal, excedeu os valores estabelecidos pelo padrão CONAMA em todo período monitorado. O Rio de Janeiro, apesar de ter uma concentração média anual inferior ao estabelecida pela legislação vigente, ficou acima das concentrações das outras capitais Recife, Curitiba e Vitória (Gráfico 2).



**Gráfico 2** - Concentração da média anual em  $\mu\text{m}/\text{m}^3$  de 1995 a 2008 de PTS em várias cidades do Brasil (Fonte: IBGE, 2010)

O resultado desse índice elevado no Distrito Federal pode ter contribuído com o incremento no número de internações hospitalares por doenças respiratórias, conforme estudo realizado por Réquia (2011), que observou correlação positiva entre o aumento no número de internações hospitalares, por doenças respiratórias (crianças e idosos), comparando com as emissões de PTS no Distrito Federal, no período de 2007 a 2009.

## **4. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **4.1. Procedimento Coleta de Material**

A etapa de coleta de dados - amostra de casca de árvore - ocorreu entre os meses de agosto a outubro de 2010, período de seca, de modo a evitar a lavagem das cascas pela chuva. Esperava-se coletar todas as amostras no mês de agosto, porém, devido a vários problemas logísticos, isso não foi possível. As coletas foram realizadas em duas áreas, a Região da Fercal (área alvo) e a Reserva do IBGE ( área controle).

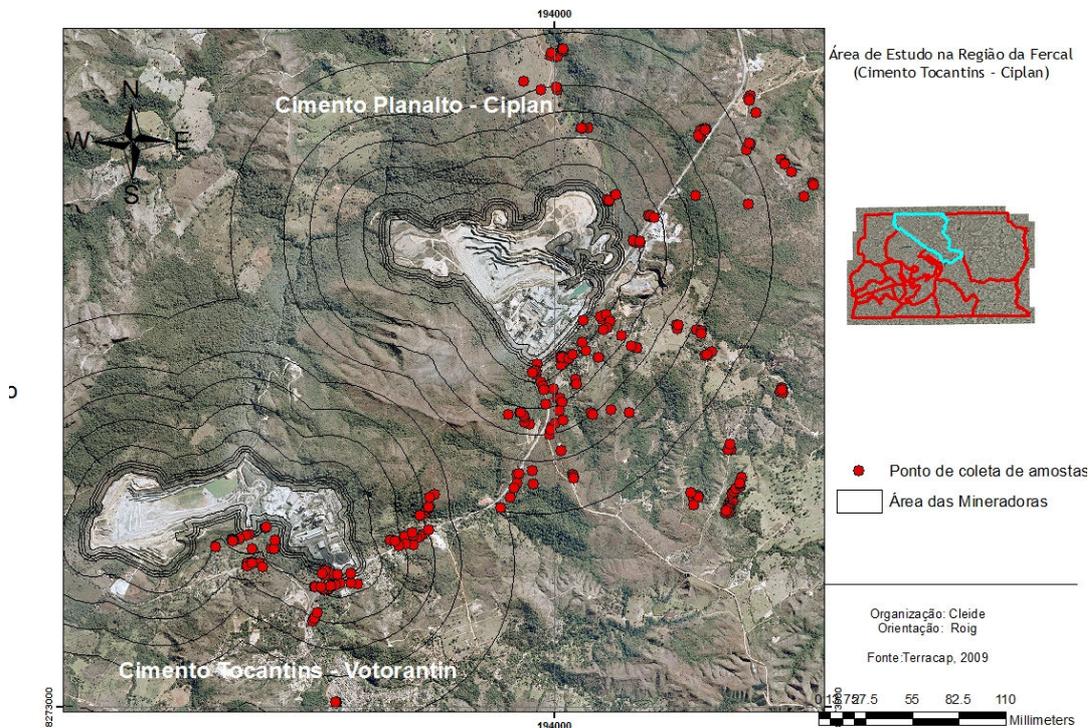
Para esta etapa, foram utilizados os dados cartográficos digitais pertencentes ao banco de dados disponível no laboratório de Sensoriamento Remoto do IG/UnB para os vários projetos de pesquisa. Os dados temáticos utilizados tiveram como fontes os trabalhos de dissertação de mestrado da Mendonça (2007) e Soares Junior (2011), bem como as ortofotos na escala de 1:10.000 de agosto de 2009, disponibilizada pela Companhia Imobiliária de Brasília – TERRACAP. Todos estes dados foram reprojatados para o DATUM SIRGAS2000.

### **4.2. Região da Fercal**

Com o auxílio do Sistema de Informações Geográficas – ArcGis versão 9.3, foram criadas zonas tampão com distância de 50, 75, 100, 250, 500, 750, 1000 e 1500 metros em relação às Fábricas de Cimento, Votorantim e Ciplan, com o objetivo de orientar as coletas de modo a fechar ao máximo todas as áreas ao redor das fábricas. No entanto, como a distribuição das árvores é aleatória, nem sempre foi possível cobrir todas as áreas. Outro ponto importante, foi a impossibilidade de acesso a várias áreas da propriedade das cimenteiras, o que deixou um vazio amostral, embora na direção oposta a localização das manchas residenciais. Deste modo as áreas ocupadas foram amostradas com uma boa densidade de pontos (Figura 14).

Inicialmente, foram coletadas 440 amostras de cascas de seis espécies arbóreas (Tabela 11) – Aroeira Vermelha (*Miracrodouon urundeuva*), Angico

(*Anandantera peregrina*), Copaíba (*Copaífera ladsforffii*), Lixeira (*Curatela americana*) e Jacarandá – (*Dalbergia miscolobium*) presentes no entorno das duas fábricas, o mais próximo possível dos pontos previamente definidos (Figura 13).



**Figura 13** - Distribuição das espécies vegetais nos pontos coletados nas proximidades das Cimenteiras (Votorantins e Ciplan).

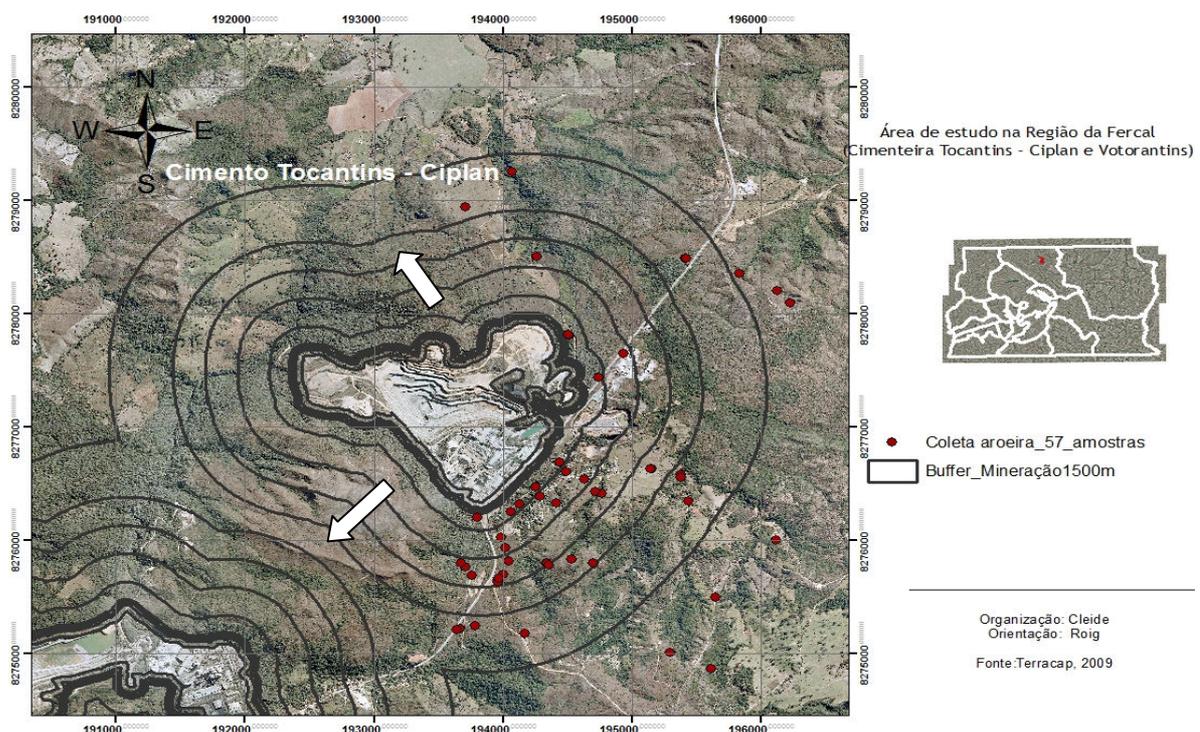
**Tabela 11** - Distribuição das amostras de casca de árvores coletadas por espécies vegetais.

Nome Científico	Nome	Amostras
<i>Miracrodouon urundeuva</i>	Aroeira	221
<i>Anandantera peregrina</i>	Angico	117
<i>Copaífera ladsforffii</i>	Copaíba	41
<i>Curatela americana</i>	Lixeira	29
<i>Dalbergia miscolobium</i>	Jacaranda	30
<i>Diospyrus hispida</i>	Olho de	02
<b>Total</b>		<b>440</b>

Após uma análise da distribuição das espécies, considerando o tempo disponível e logística do laboratório da USP, foram selecionadas 211 amostras

que estavam no entorno da Fábrica de Cimento Ciplan (Figura 14), passando assim, a trabalhar somente com essa área alvo. Como ressaltado anteriormente, as coletas foram realizadas somente na posição Oeste da Fábrica, devido principalmente a existência de informações de qualidade do ar da área (IBRAM, 2011) e à dificuldade para acessar os arredores da cimenteira (Figura 14).

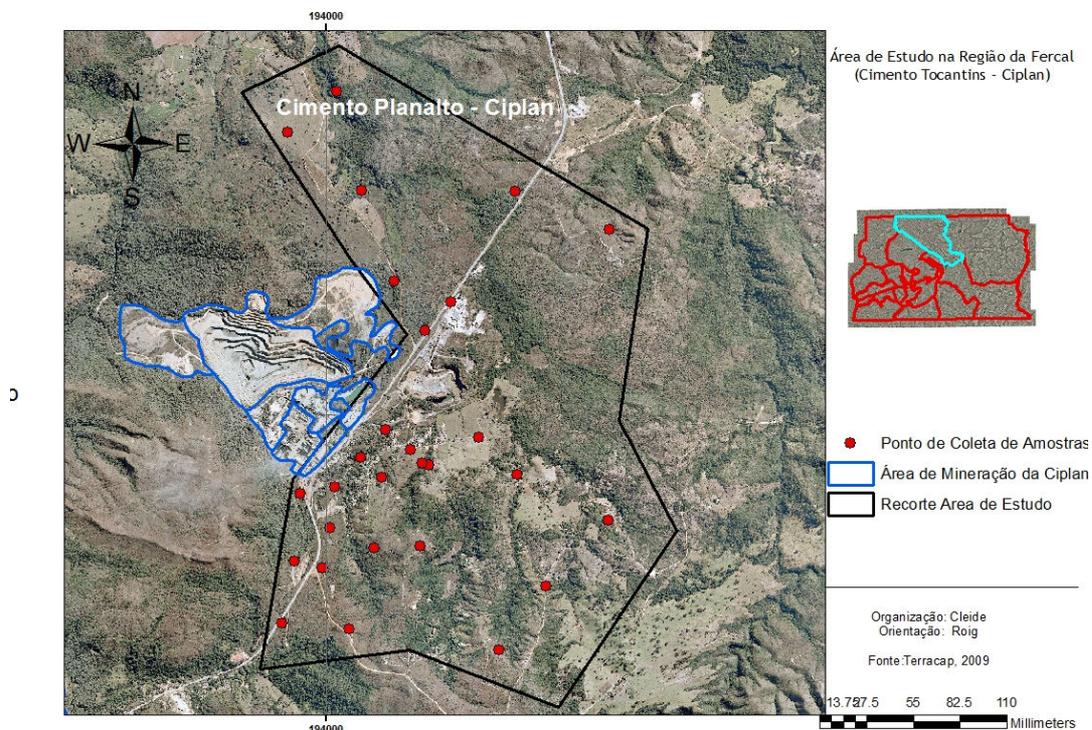
As amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Poluição Atmosférica Experimental da Universidade de São Paulo, localizado na cidade de São Paulo, onde verificou-se a necessidade de realizar mais uma triagem por causa do curto espaço de tempo para processar as análises, portanto optou-se por trabalhar com uma única espécie vegetal que representasse toda a área da Ciplan. Nesse caso, a Aroeira - *Myracrodoun urundeuva* foi escolhida devido a distribuição e características da espécie, ficando com 57 amostras após a exclusão de coleta duplicadas no mesmo ponto.



**Figura 14** – Distribuição das amostras de Aroeira coletadas na área

Entretanto, devido a um problema de calibração no Espectrômetro de Fluorescência de Raio X, as análises tiveram que ser realizadas novamente, sendo necessária uma nova seleção, resultando em um número de 35 amostras de

Aroeira, distribuídas pela área de estudo, conforme Figura 15 e Tabela 12. Para posicionar os pontos coletados, foi utilizado o sistema de posicionamento Global (GPS), configurado com Datum SIRGAS 2000 e projeção UTM fuso 21.



**Figura 15** - Seleção das amostras prioritárias na área de estudo (Região da Fercal).

Segundo Floreschein (1994), a espécie vegetal *Myracrodunon urundeuva* Fr. All, da família Anacardiaceae, conhecida como Aroeira, ou regionalmente como Urundeúva, Aroeira-do-Sertão(C), Aroeira-do-Campo, Aroeira-da-Serra, Urindeúva, Arindeúva, tem ampla distribuição geográfica, ocorrendo desde o Ceará até o estado do Paraná e Mato Grosso do Sul. Pode ser encontrada em abundância no nordeste do país, oeste dos estados da Bahia, Minas Gerais, São Paulo e sul dos estados de Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Goiás, o que garante representatividade espacial como indicador. Trata-se de uma espécie arborea presente na vegetação cerrado, com altura variando entre 6 a 14 metros. Seu tronco mede de 50 a 80 centímetros de diâmetro a 120 cm do chão.

A aroeira floresce durante os meses de junho a julho, geralmente com a planta totalmente despida de sua folhagem. A maturação completa dos frutos

inicia-se no final do mês de setembro, prolongando-se até outubro (FLORSHEIM, 1994).

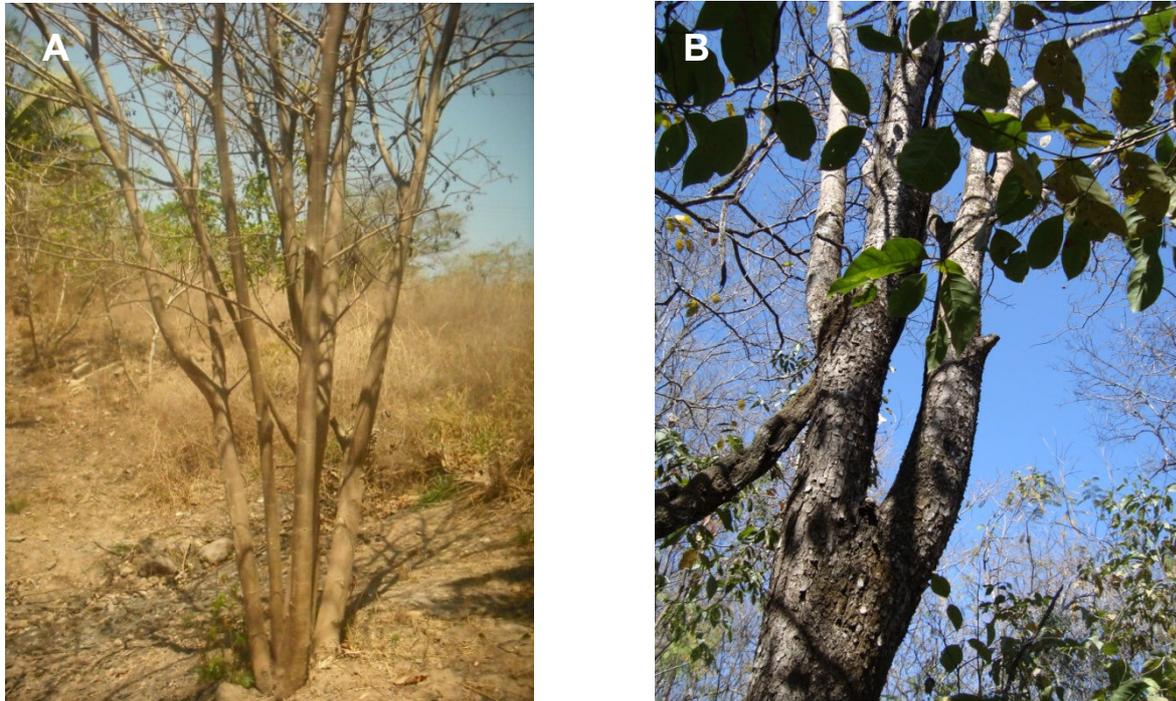
O trabalho de campo foi realizado com a supervisão e auxílio de técnicos de campo do Departamento de Botânica da Universidade de Brasília, que identificaram, selecionaram e coletaram as espécies vegetais de interesse.

**Tabela 12**– Coordenadas Geográficas das amostras de Aroeira vermelha coletada nas proximidades da Fabrica de Cimento Ciplan.

Amostra	Norte	Leste	Amostra	Norte	Leste
1	8276469	194256	19	8275498	195649
2	8276686	194444	20	8275498	195649
3	8276628	195142	21	8277649	194936
4	8234689	193172	22	8275008	195301
5	8234746	193172	23	8275214	193663
6	8234698	193156	24	8275631	193963
7	8234647	193158	25	8275214	193663
8	8278201	196128	26	8277435	194739
9	8275685	193757	27	8278489	195422
10	8276198	193802	28	8276414	194770
11	8278501	194262	29	8276430	194721
12	8275798	194704	30	8275935	194022
13	8275995	196124	31	8276533	194632
14	8278940	193706	32	8276248	194059
15	8275172	194172	33	8275214	193663
16	8279252	194073	34	8276323	194412
17	8277811	194507	35	8275782	194353
18	8275498	195649			

Na oportunidade, foram observadas as características da espécie, como a textura do tronco das árvores, assim, notou-se que indivíduos jovens apresentaram casca lisa (Figura 16A) e adultos mais grossa com casca rugosa (Figura 16B). Também, foi verificado que algumas árvores ainda estavam trocando suas folhas (FLORESHEIN, 1994). Todas as informações sobre os indivíduos foram inseridas em um banco de dados geográfico. O processo de coleta das amostras envolveu a remoção das cascas vivas dos troncos das árvores, usando uma faca afiada, a uma altura de 1,20 metros a 1,50 metros do

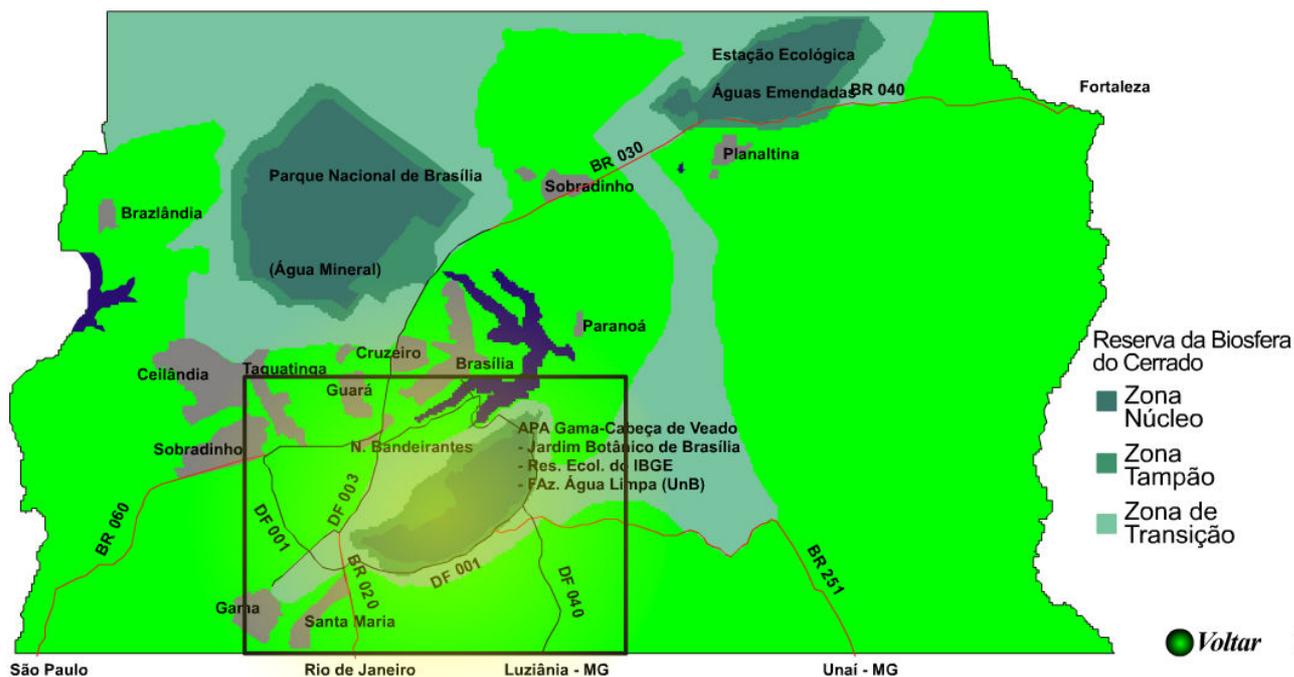
solo para evitar contaminação do material em suspensão direta de solo subjacente, em seguida, foram guardadas em sacos de papel pardo, enumerados em seqüência de acordo com que eram coletadas.



**Figura 16** - Representação da Espécie Vegetal (aroeira vermelha) em indivíduos jovens (A) e adultos (B).

### **4.3. Área Controle**

Para a coleta das amostras de controle foi selecionada uma das regiões mais preservadas ambientalmente do DF, com características fitofisionômicas similares à área de estudo e por estar suficientemente distante de qualquer fonte poluidora, a APA Cabeça de Veado. Nessa região, estão inseridos o Jardim Botânico de Brasília, a reserva ecológica do IBGE e a Fazenda experimental Água Limpa - área de pesquisa e experimentação da Universidade de Brasília). Além destas características, a região alvo está inserida no cinturão da reserva da biosfera do Cerrado, mais precisamente na Zona Núcleo (Figura 17). Esta reserva foi criada em 1993, pela UNESCO no Distrito Federal e, em 2002, o Governo Federal criou a Área de Proteção Ambiental - APA do Planalto Central que inclui a Reserva (RECOR, 2011).



**Figura 17** - Localização dos pontos amostrado para controle dentro da zona núcleo da Reserva Ecológica do IBGE (Fonte : Fonte: Recor, 2011)

Nesta região foram coletadas amostras de casca de 4 indivíduos de aroeira vermelha (Tabela 13 e Figura 18 ).

**Tabela 13** - Coordenadas Geográficas dos indivíduos amostrados de Aroeira vermelha coletadas na Reserva Ecologica do IBGE

Amostra	Norte	Oeste
1	8234689	193172
2	8234746	193172
3	8234698	193156
4	8234647	193158

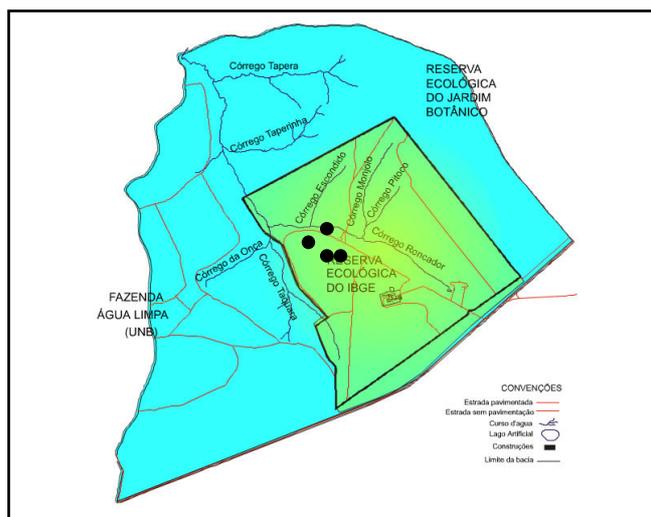


Figura 18 - Localização dos pontos amostrados dentro da Reserva do IBGE (Fonte: Recor, 2011)

#### 4.4. Procedimento para preparação das amostras

As amostras foram preparadas no Laboratório de Poluição Atmosférica Experimental da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo - LPAE, onde foram adotados os seguintes passos, conforme demonstrado na Figura 19. Em todas as etapas foram tomados todos os cuidados para evitar contaminação e garantir a qualidade do processo. As etapas executadas serão descritas a seguir.

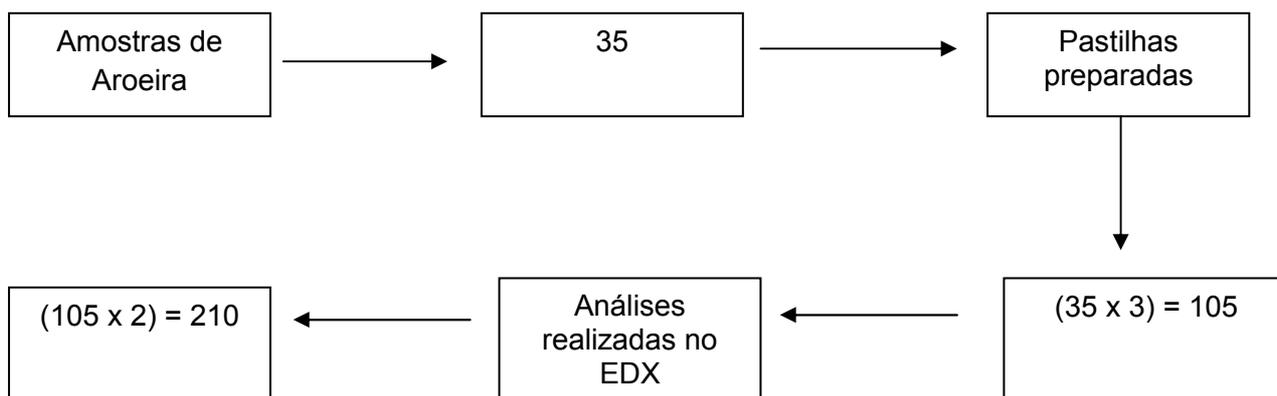


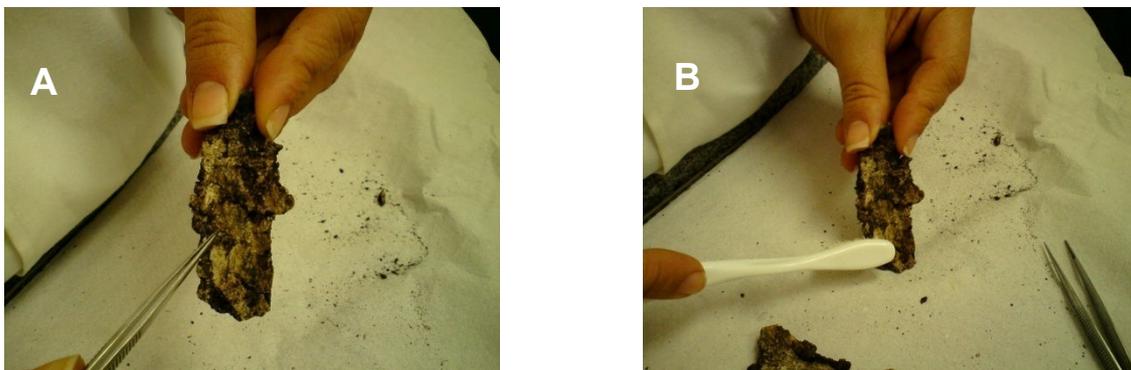
Figura 19 - Fluxograma de preparação das amostras

### a) Registro das amostras em livro de entrada de material

As amostras recebidas no LPAE foram cuidadosamente registradas em livro de entrada de material e de **ESPECTRÔMETRO DE FLUORESCÊNCIA DE RAIOS – EDX**, onde receberam número seqüencial para evitar o extravio e manter o controle de qualidade.

### b) Limpeza do material

No tratamento destas amostras, foram retirados eventuais líquens ou/e musgos com auxílio de uma pinça (Figura 20A) e a poeira presente na superfície com auxílio de escova cerda macia cor branca (Figura 20B) - para evitar a contaminação das amostras com o pigmento de metais presentes na tinta colorida. Para evitar contaminação, os objetos e as mãos foram esterilizados com álcool 90% e água deionizada, todas as vezes que iriam manusear amostras.



**Figura 20** - Retirada dos fungos das amostras (A) e Limpeza das amostras (B)

### c) Armazenamento temporário das amostras

Depois de preparadas, as amostras foram guardadas temporariamente em saco branco de papel, para evitar a contaminação do material, até que fossem preparadas para serem analisados.

#### **d) Trituração e peneiração do material**

As amostras não foram lavadas para não haver perda do material de interesse (que foi absorvido pelas cascas). Para análise, foram trituradas as cascas de cada amostra em um liquidificador modelo Arno Magic Clean com hastes de titânio (Figura 21). O material obtido foi passado em uma peneira com telas de 0,2 mm de cobertura (Figura 22), de modo a obter a forma de pó.



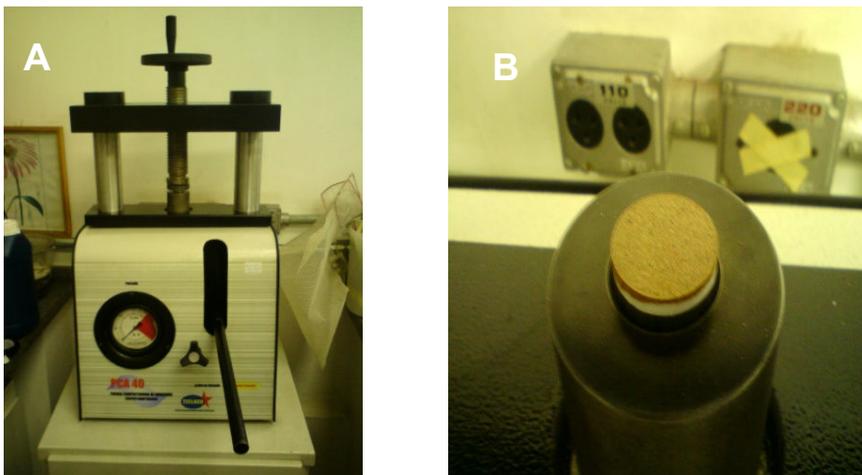
**Figura 21** - Liquidificador que as amostras foram trituradas e **Figura 22** - peneira que foi utilizada para passar o material (Foto: Luciano Belutti).

#### **e) Pesagem das amostras**

Foram separadas três unidades da mesma amostra, no formato de pó, com massa de 0,500 a 0,600 g de material e pesadas em uma balança de precisão.

#### **f) Preparação das pastilhas**

Foi utilizada uma massa de 2,5 g de ácido bórico ( $H_3BO_3$ ) para fazer a base da pastilha, mais 0,5 a 0,6 g de pó do material vegetal, foram colocadas em um cilindro, e prensadas por 60 segundos com a ajuda de uma prensa (Figura 23A) de 4 toneladas de força, para obter uma pastilha (Figura 23B) de dupla camada com 20 mm de diâmetro. Para cada amostra foram feitas 3 pastilhas.



**Figura 23** - Prensa para preparação das pastilhas(A) e Material pronto (B)

### **g) Armazenagem das Pastilhas**

As pastilhas preparadas foram guardadas em dessecador contendo sílica gel, por um período mínimo de 24h, para posterior análise pelo método de determinação da composição elementar, por meio de Espectrometria de Fluorescência de Raios X, por Dispersão de Energia (EDXRF).

### **4.5. Análise das amostras**

Para determinação dos elementos nas cascas das árvores, foi utilizado o método de determinação da composição elementar, por meio da espectrometria de fluorescência de raios X por dispersão de energia - EDXRF (BÖHM *et al.*, 1998; SCHELLE *et al.*, 2001).

Para aumentar a sensibilidade da detecção da energia dos raios-X dispersos, a análise foi feita em atmosfera de vácuo, sendo feito um condicionamento prévio das amostras para que estivessem desprovidas de umidade.

Esse método foi realizado utilizando-se equipamento EDX 700HS, Shimadzu Corporation Instrumentos Analíticos Divisão Livre de Kyoto, Japão (Figura 24).



**Figura 24** - Espectrometria de fluorescência de raios X por dispersão de energia (EDXRF), que foram realizadas as análises.

O EDX-700HS, da Shimadzu, utiliza tubo gerador de raios X de ródio (Rh-target tube), voltagem de 5 a 50 KV, corrente de 1 a 1000  $\mu$ A e um detector dos raios-X de Si (Li).

Para a captura dos espectros as amostras, foram irradiadas durante 400 segundos para os elementos de menor energia, Na-Sc, e durante 240 segundos para a captura dos espectros correspondentes aos elementos com maior energia, Ti-U.

As medidas de intensidade foram convertidas em concentração ( $\mu$ g g<sup>-1</sup>) pela calibração de parâmetros fundamentais pela análise dos padrões certificados de folhas de pêssigo (*Peach Leaves*) NIST 1567 (National Institute of Standards, Gaithersburg, MD, USA) (CARNEIRO *et al.*, 2011). Foram realizadas duas leituras para cada pastilha de casca de árvore em uma superfície de 10 mm de diâmetro, seguida da leitura do material de referência.

Os elementos analisados foram Vi, Mn, Fe, Cu, Zn, Rb, Na, Mg, Al, P, S, Cl, K, Ni, Pb, Ca, Sr e Ba.

#### 4.6. Tratamento dos Dados

As análises estatísticas foram realizadas no programa estatístico R 2.12.0 (R Development Core Team, 2010). O R é um software gratuito para elaboração de gráficos e computação estatística. O programa oferece uma variedade de técnicas gráficas e estatísticas, modelos lineares e não lineares, testes estatísticos clássicos, análises de séries, classificação, etc.. O R é um pacote integrado de softwares para facilitar o trabalho com dados, cálculos estatísticos e exibição de gráficos. As ferramentas incluem um gerenciador de dados e armazenamento, operadores para cálculos em exibições (matrizes em particular), análise de dados, facilidades para exibição de dados e recursos de programação para os usuários avançados. O programa pode se associar a vários bancos de dados e bibliotecas que utilizem linguagens como Perl, Python, C ou Fortran.

Os dados obtidos não apresentaram distribuição normal, por causa da diferença nos tamanhos das amostras comparadas – controle x tratamento (verificado pelo teste de Kolmogorov-Smirnov). Devido a esse fato, preferiu-se o uso de técnicas não paramétricas para avaliação das relações entre os elementos químicos encontrados nas amostras de casca de árvore da Região da Fercal e da área de controle, por meio do teste Wilcoxon, com significância de 0,05%.

A correlação entre os elementos químicos acumulados nas cascas de árvore foi estudada por meio da técnica de análise multivariada, adotando-se o método de análise de componentes principais (Johnson e Wichern, 1992). A análise de componentes principais, tendo como base uma matriz de semelhança (correlações, variâncias e co-variâncias) estabelece um conjunto de vetores que permite caracterizar o conjunto de variáveis mais relevantes presentes em uma determinada amostra de biomonitoramento.

A elaboração dos mapas de distribuição da concentração de elementos foram realizadas com o auxílio do Sistema de Informação Geográfico - ARCGIS (ESRI, USA, versão: 9.3), em que as concentrações dos elementos foram interpoladas por vários métodos (Spline, IDW, grigagem). Ao final, selecionou-se o método IDW, inverso do quadrado da distância, que se baseia no princípio de que as propriedades espacializadas próximas uma das outras são mais semelhantes do que aqueles que estão afastados.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1. Controle analítico dos resultados

A exatidão e a precisão dos resultados das análises laboratoriais das amostras de casca de árvore foram verificadas por meio da análise dos materiais de referência certificados NIST 1547 Peach Leaves.

Vale ressaltar que todas as análises necessitaram ser refeitas devido a problemas com calibração do espectômetro. O segundo conjunto de análises apresentaram resultados ajustados e passíveis de serem utilizados neste trabalho (Tabela 14).

**Tabela 14** - Resultados do materiais de referência NIST 1547 Peach Leaves e das amostras de areeira.

Elemento ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	Valor certificado	Valor medido	CV <sup>b</sup>	ER <sup>c</sup>	LDM <sup>d</sup>
	Media $\pm$ DP <sup>a</sup>	Media $\pm$ DP <sup>a</sup>			
V	0,37 $\pm$ 0,03	-			
Mn	98 $\pm$ 3	98 $\pm$ 15	0.15	-0.001	4.91
Fe	218 $\pm$ 14	294 $\pm$ 62	0.21	0.35	1.49
Ni	0,69 $\pm$ 0,09	-			
Cu	3,7 $\pm$ 0,4	3,9 $\pm$ 0,4	0.09	0.06	0.18
Zn	17.9-0,4	18,6 $\pm$ 2,7	0.15	0.04	0.57
Rb	19,7 $\pm$ 1,2	32,3 $\pm$ 12,1	0.37	0.64	0.52
Na	24 $\pm$ 2,0	20 $\pm$ 5,0	0.27	-0.17	0.30
Mg*	0,432 $\pm$ 0,008	0,788 $\pm$ 0,087	0.11	0.82	0.13
Al	249 $\pm$ 8	247 $\pm$ 59	0.24	-0.01	2.01
P*	0,137 $\pm$ 0,007	0,164 $\pm$ 0,013	0.08	0.20	0.00
S*	0,2	0,22 $\pm$ 0,03	0.13	0.10	0.07
Cl	360 $\pm$ 19	400 $\pm$ 97	0.24	0.11	1.62
K*	2,43 $\pm$ 0,03	2,43 $\pm$ 0,45	0.18	-0.002	0.26
Ca*	1,56 $\pm$ 0,02	1,67 $\pm$ 0,39	0.23	0.07	0.03
Sr	53 $\pm$ 4	59 $\pm$ 6	0.10	0.11	0.25
Pb	0,87 $\pm$ 0,03	-			
Ba	124 $\pm$ 4	103 $\pm$ 27	0.26	0.17	1.76

(\*) Valores expressos em percentual de massa, a) Desvio padrão, b) Coeficiente de variação, c) Erro relativo, d) Limite de determinação do método (%).

A avaliação da precisão, em termos de repetibilidade, e da exatidão foram realizadas por meio de testes descritos a seguir:

A avaliação da precisão foi realizada por meio do cálculo do desvio padrão relativo. A avaliação da exatidão foi realizada por meio do cálculo do erro relativo, e o limite de quantificação foi calculado de acordo com a Eq. 1 (Rousseau, 2001) apresentada a seguir:

$$2 * \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (C_i - \bar{C})^2}{N-1}}$$

onde,

$C_i$  = Valor determinado;

$\bar{C}$  = Valor médio determinado;

$N$  = número de repetições

## 5.2. Resultados da EDXRF das cascas de árvore

As concentrações dos elementos Mn, Fe, Cu, Zn, Rb, Na, Mg, Al, P, S, Cl, K, Ca, Sr e Ba obtidos por meio da técnica de EDXRF, nas 31 amostras de casca de árvore da Região da Fercal e nas 4 amostras de casca da área controle, são apresentadas na Tabela 15.

Podemos observar, na Tabela 15, que as concentrações dos elementos químicos apresentaram grande variação entre o mínimo e o máximo medidos, cita-se como exemplo o Fe, que varia de 46 a 7.793  $\mu\text{g g}^{-1}$ , com média de 1.936 ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ). Nessa tabela também são apresentadas as médias aritméticas, os desvios padrão, as medianas, as faixas de concentrações dos elementos e o teste não paramétrico de significância (Wilcoxon) para a comparação entre as duas áreas (área poluída – Região da Fercal e Área controle - Reserva do IBGE).

**Tabela 15**– Concentrações de elementos encontrados na região da Fercal (área poluída) e na reserva do IBGE (área controle) e valores do teste não paramétrico (Wilcoxon -W e p) para comparação entre os valores dos elementos químicos coletados na área controle e experimental.

Elementos $\mu\text{g/g}^3$	Origem das Amostras						Teste	
	Região da Fercal			Reserva do IBGE			Wilcoxin	
	Med-DP	Mediana	Min-Max	Med-DP	Mediana	Min-Max	W	P
Mn	57±50	47	0±290	14±12	9	0±42	16	0,01*
Fe	1936±1626	1582	46±7793	198±63	190	77±312	5	<0,001*
Cu	4±0,6	3	2±6	3±0,3	3	3±4	22	0,04*
Zn	9±2	9	4±18	6±0,7	6	4±7	9	0,002*
Rb	13±6	12	2±35	13±5	11	6±27	69	0,75
Na	15±5	16	0±28	20±3	20	13±29	118	0,001*
Mg	4565±1528	4620	2100±8940	4829±527	4720	4070±6280	70	0,71
Al	761±590	625	69±2986	120±20	121	73±157	5	<0,001*
P	1287±283	1290	600±1770	1033±288	980	630±1530	34	0,15
S	1062±356	1000	390±1930	446±29	440	400±500	7	0,004*
Cl	145±112	111	0±651	142±55	167	58±220	70	0,71
K	1570±825	1440	560±4410	1820±503	1595	1260±3110	78	0,44
Ca	38764±10910	38420	18590±72030	32090±3940	30515	26339±37650	36	0,19
Sr	195±80	193	51±485	210±44	193	147±285	73	0,60
Ba	269±176	226	7±791	50±29	36	11±113	6	0,001*

\*Valores de **P** menores que 0,05.

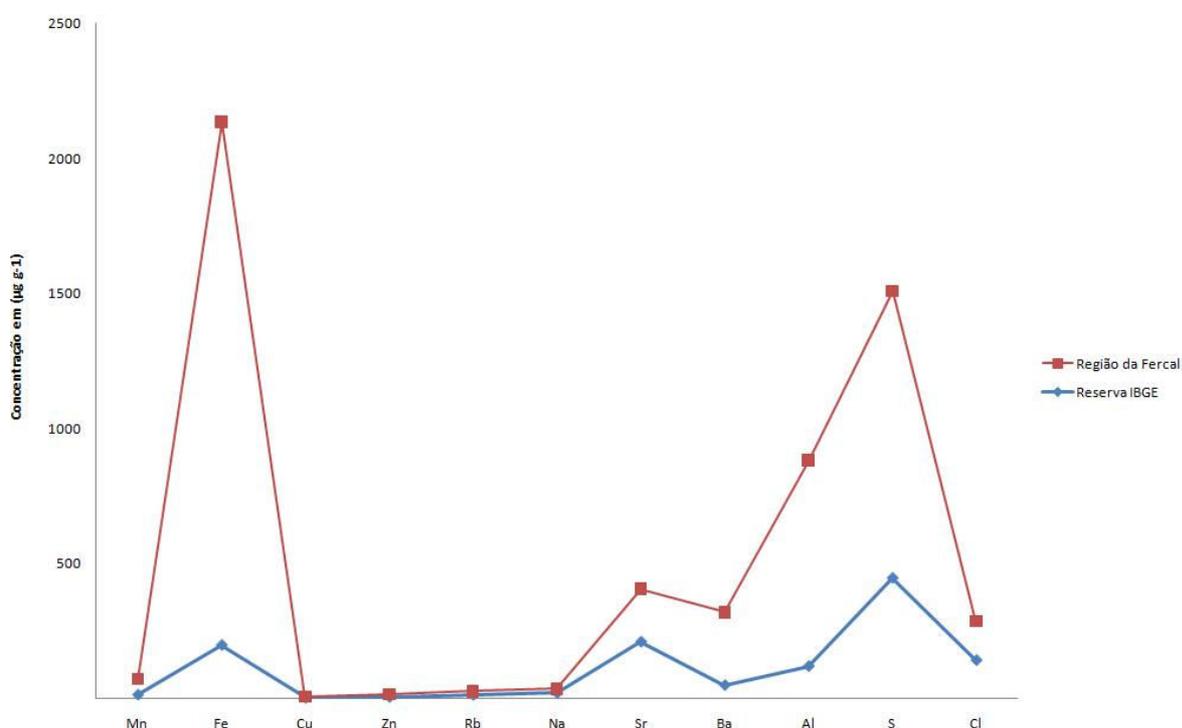
**W**- valor gerado pelo programa após agrupamento das variáveis.

Os dados obtidos não apresentaram distribuição normal, estabelecidos pelo teste de Kolmogorov- Smirnov.

Para uma comparação mais coerente entre as amostras da Região da Fercal com as da Área Controle, devido a não normalidade dos dados, foi aplicado o teste não paramétrico Wilcoxon, onde pôde-se observar que os elementos químicos Mn, Fe, Cu, Zn, Na, Al, S e Ba, apresentaram valor

estatisticamente diferente na Região da Fercal, considerando um  $P > 0,05\%$ , anteriormente apresentado na Tabela 15.

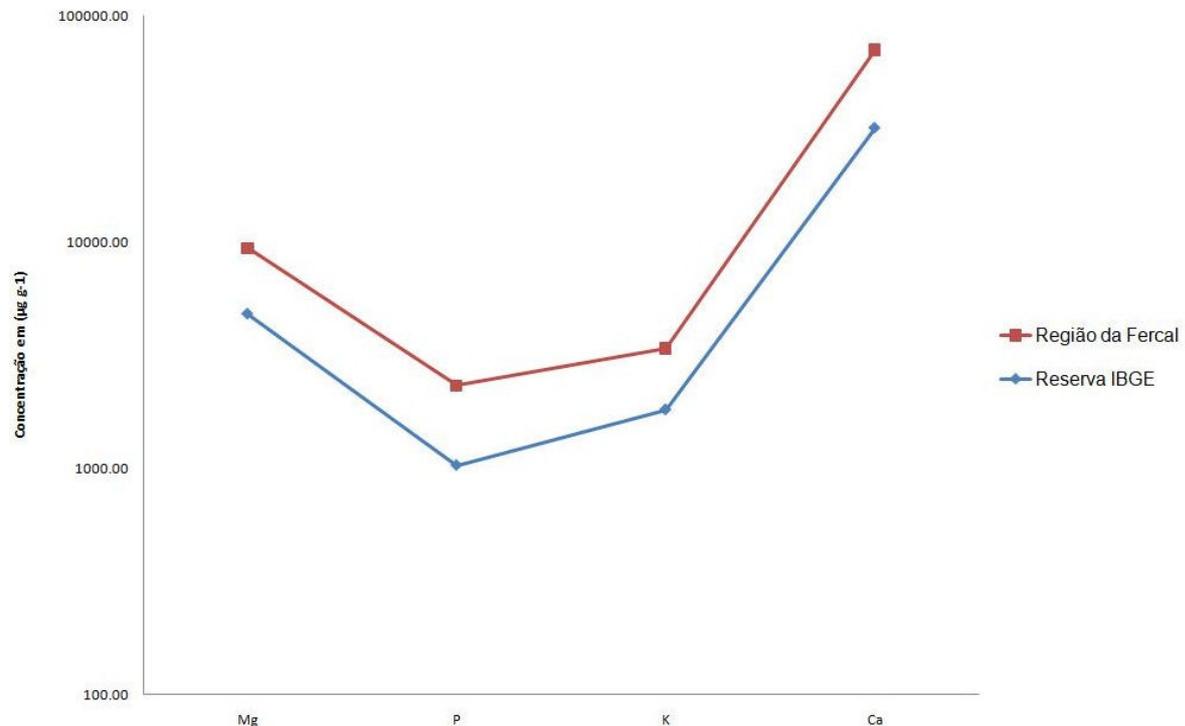
Após a análise da variabilidade dos dados para a região da Fercal, os mesmos foram comparados com a Área de Controle (Reserva do IBGE), onde observa-se no Gráfico 03 (representado em escala normal) os elementos Mn, Fe, Cu, Zn, Na, Ba, Al, S e Mg, P, K e Ca, apresentam concentrações mais elevadas nas amostras provenientes da Região da Fercal em comparação com as da Reserva do IBGE, com destaque para Fe, S, Al, Sr, Ba e Cl. Todos os elementos em destaque fazem parte do processo de geração do Cimento (SANTI, 1999).



**Gráfico 3** - Média das concentrações dos elementos obtidos nas amostras de casca de árvore pela técnica de EDXRF

O Gráfico 4 apresenta os dados em escala logarítmica para uma melhor visualização das informações, devido os valores entre os pontos apresentarem distância menores. Pode-se observar que todos os elementos possuem maiores concentrações na Região da Fercal em comparação com a Reserva do IBGE.

Ressaltando que as informações dos Gráficos 3 e 4 se referem a dados brutos, sem nenhum tratamento estatístico elaborado, somente com o cálculo da média encontrada em cada elemento químico.



**Gráfico 4** - Média das concentrações dos elementos obtidos nas amostras de cascas de árvore pela técnica de EDXRF

Utilizando-se da Análise de Componentes Principais (APC) foi possível agrupar os elementos avaliados em três grupos ou três componentes. Essa técnica foi utilizada com o intuito de identificar as potenciais fontes naturais e antrópicas dos elementos estudados (Tabela 15).

A Tabela 16 e o Gráfico 05 mostram os resultados da Análise Multivariada com a matriz dos componentes após rotação dos eixos pelo método VARIMAX — a rotação dos eixos é realizada a fim de se obter uma interpretação mais fácil da estrutura dos componentes; a que os elementos está associado. A comunalidade de cada elemento, que pode ser vista como estimativas da variância de cada variável devido aos componentes, se apresentarem maior que 0,5.

Para se determinar o número de componentes a serem considerados, utilizaram-se os autovalores (eigenvalues) da matriz de correlação dos dados,

considerando os autovalores acima de 1,0 (critério de Kaiser). Três autovalores foram maiores, indicando que podem ser utilizados.

O percentual de variância explicada em cada um dos componentes é dado pela razão entre o autovalor e o número de elementos, neste caso igual a 10 (dez). Isso sempre é válido quando se trabalha com a matriz de correlação, como é o caso deste trabalho (BUJOKAS, 2009).

**Tabela 16** – Variáveis obtidos na extração de componentes Principal – Matriz na rotação de grupo elementos determinantes.

	<b>Componentes</b>		
	1	2	3
Mn	<b>,724</b>		
Fe	<b>,910</b>		
Cu		<b>,598</b>	
Zn	<b>,801</b>		
Rb			
Na			
Mg			<b>,766</b>
Al	<b>,910</b>		
P		<b>,810</b>	
S	<b>,732</b>		
Cl			
K			<b>,846</b>
Ca		<b>,880</b>	
Sr		<b>,719</b>	
Ba	<b>,810</b>		
Autovalores	5,498	2,738	1,361
Variância	36,655	18,255	9,073

O primeiro componente explica 36,6% da variabilidade total; o segundo componente representa 18,2% e o terceiro 9%, somando 63,8% da variabilidade dos dados sendo explicada por esses três componentes. Vale ressaltar que estes elementos que compõem estes três fatores são os principais constituintes da matriz de constituição do cimento (SANTI, 1999 e BUJOKAS, 2009).

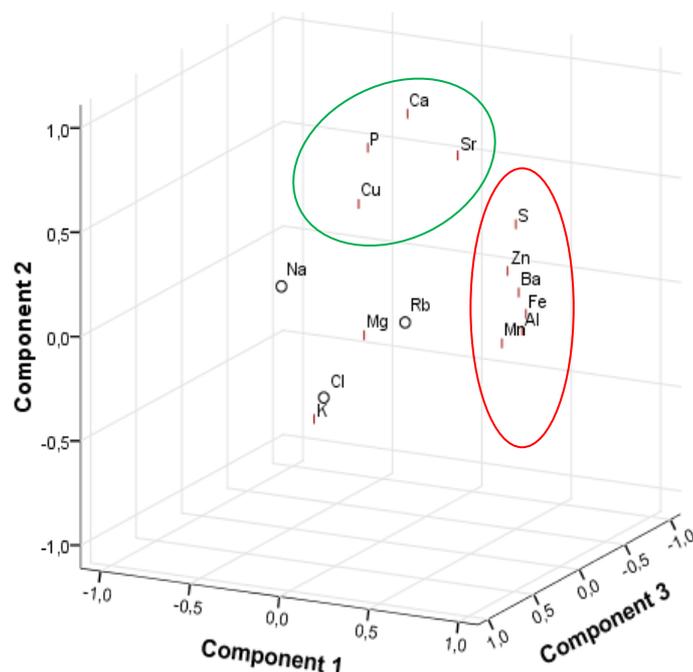
Para a determinação o grau de suscetibilidade ou o ajuste dos dados à análise, isto é, qual é o nível de confiança que se pode esperar dos dados quando

do seu tratamento pelo método multivariado de análise multivariada seja empregada com sucesso (HAIR et al, 1998), faz-se necessário aplicar o teste Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) e de Esfericidade de Bartlett.

O teste KMO apresenta valores normalizados (entre 0 e 1,0) e mostra qual é a proporção da variância que as variáveis apresentam em comum ou a proporção desta que são devidas aos fatores comuns. Para interpretação do resultado obtido, valores próximos de 1,0 indicam que o método de análise multivariada é perfeitamente adequado para o tratamento dos dados. Por outro lado, valores menores que 0,5, indicam a inadequação do método (LANDIM, 2000). No nosso caso, o valor obtido foi acima de 0,5 o que nos mostra uma boa adequação de possibilidades de tratamento dos dados com o método citado.

O segundo teste, o de Esfericidade de Bartlett é baseado na distribuição estatística de “chi quadrado” e testa a hipótese nula  $H_0$  de que a matriz de correlação é uma matriz identidade (cuja diagonal é 1,0 e todas as outras as outras iguais a zero), isto é, que não há correlação entre as variáveis (PEREIRA, 2001). Valores de significância maiores que 0,100 indicam que os dados não são adequados para o tratamento com o método em questão; que a hipótese nula não pode ser rejeitada. Já valores menores que o indicado permitem rejeitar a hipótese nula (SPSS,1999 e HAIR *et al.*, 1998). Também, o valor da significância do teste de Bartlett, mostrou-se menor que 0,001, o que permite mais uma vez confirmar a possibilidade e adequação do método de análise de componentes principal para o tratamento dos dados.

Após a aplicação dos testes descritos acima, os elementos avaliados ficaram dispostos da seguinte forma (Tabela 16). No primeiro componente, agruparam-se os elementos Mn, Fe, Zn, Al, S e Ba. No segundo componente, os elementos Cu, P, Ca e Sr e no terceiro componente 3, os elementos Mg e K (Gráfico 5).



**Gráfico 5** - Carga dos três componentes resultantes da análise fatorial dos elementos químicos encontrados nas cascas de árvore da Região da Fercal

Considerando os resultados, foram selecionados para a segunda parte do trabalho, análise da distribuição espacial, os elementos que devem estar presentes nos particulados provenientes das fontes poluidoras (Cimenteiras, SANTI, 1999 e BUJOKAS, 2009) e que apresentaram significância estatística – (Mn, Fe, Zn, Al, Ba e S), ou seja, pertencem ao primeiro componente da APC e têm valores de significância no teste de Wilcoxon (Tabela 15). A esse grupo, devido a sua importância no processo de fabricação do Cimento, foram incorporados os elementos Ca, Cu, P e Sr que compõem o segundo componente, embora tenham apresentado diferenças para o teste de Wilcoxon (Tabela 15).

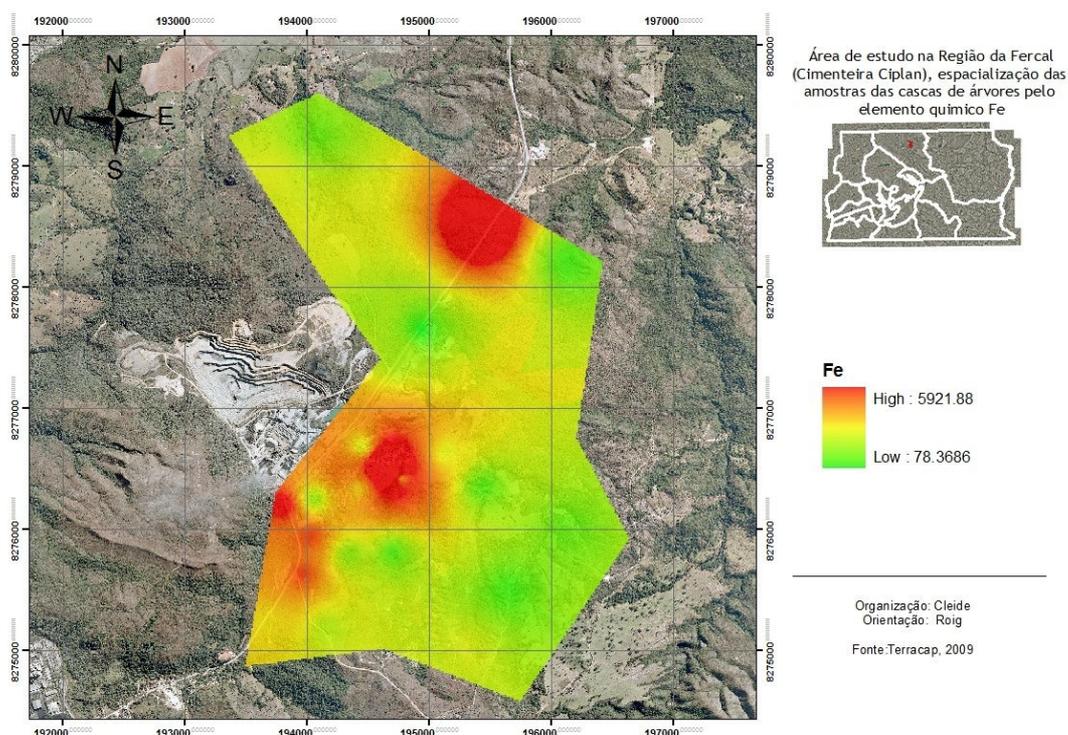
### 5.3. Distribuição Espacial dos Elementos Químicos

Neste trabalho optou-se por utilizar o método de interpolação determinística (IDW), por representar melhor a variabilidade espacial dos

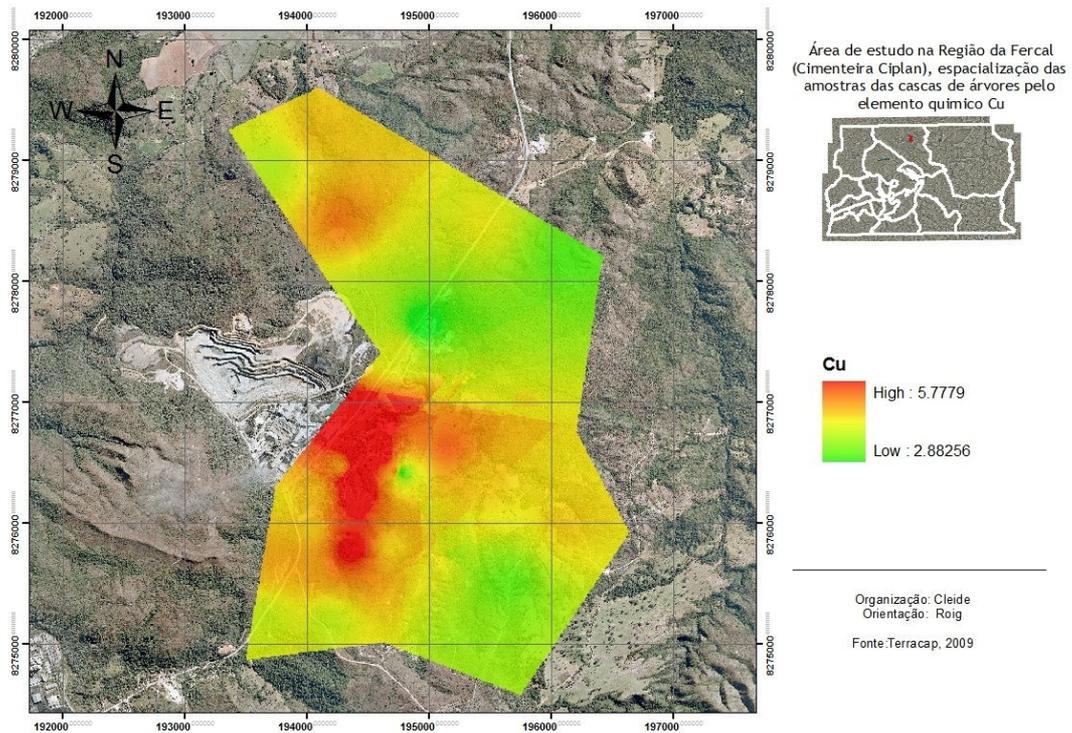
elementos analisados, embora existam outros métodos como a Spline e Kriging, que também foram testados. O método IDW se baseia no princípio de que as propriedades espacializadas próximas uma das outras são mais semelhantes do que aqueles que estão afastado (SANTOS, 2010).

Assim, para prever um valor não medido em um local, o IDW irá utilizar os valores medidos em torno da localização desejada, e esses valores medidos próximos ao local de previsão terão mais influência sobre o valor previsto do que aqueles mais distantes, ou seja, o IDW assume que cada ponto medido tem uma influência local que diminui com a distância. Como o peso dos pontos mais próximos do local de previsão são maiores do que aqueles mais distantes, o nome do método é distância inversa ao quadrado (Inverse Distance Weighted – IDW) (SANTOS, 2010).

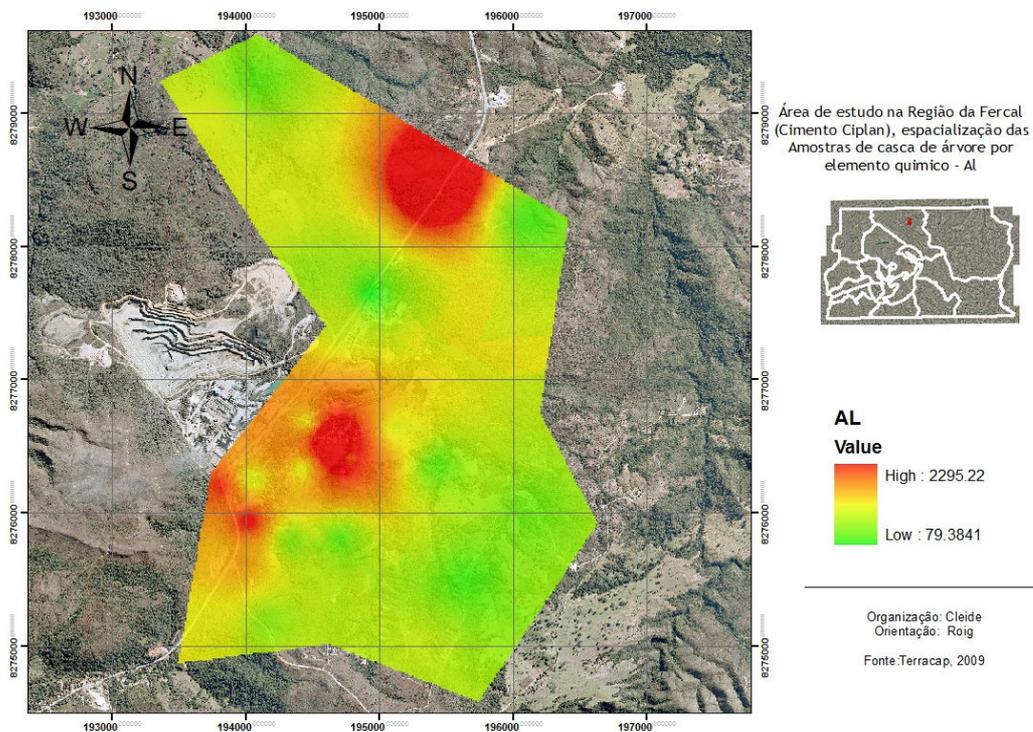
Nos mapas das concentrações de elementos, as áreas mais escuras (vermelhas), demonstram as concentrações mais elevadas de elementos químicos. Os mapas da distribuição de concentrações de Fe, Cu, Al, S, Sr, Zn e Ba, serão representados nas Figuras de 25 a 31.



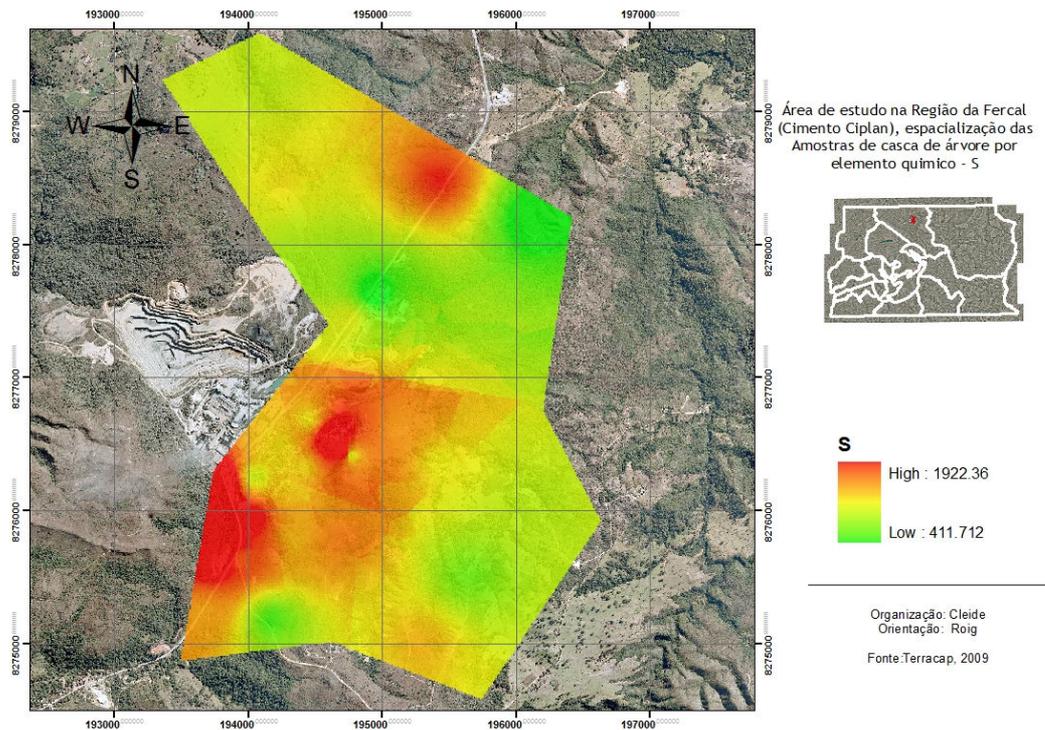
**Figura 25** - Mapa da distribuição da concentração de Fe, obtido por meio das amostras de casca de árvore da Região da Fercal.



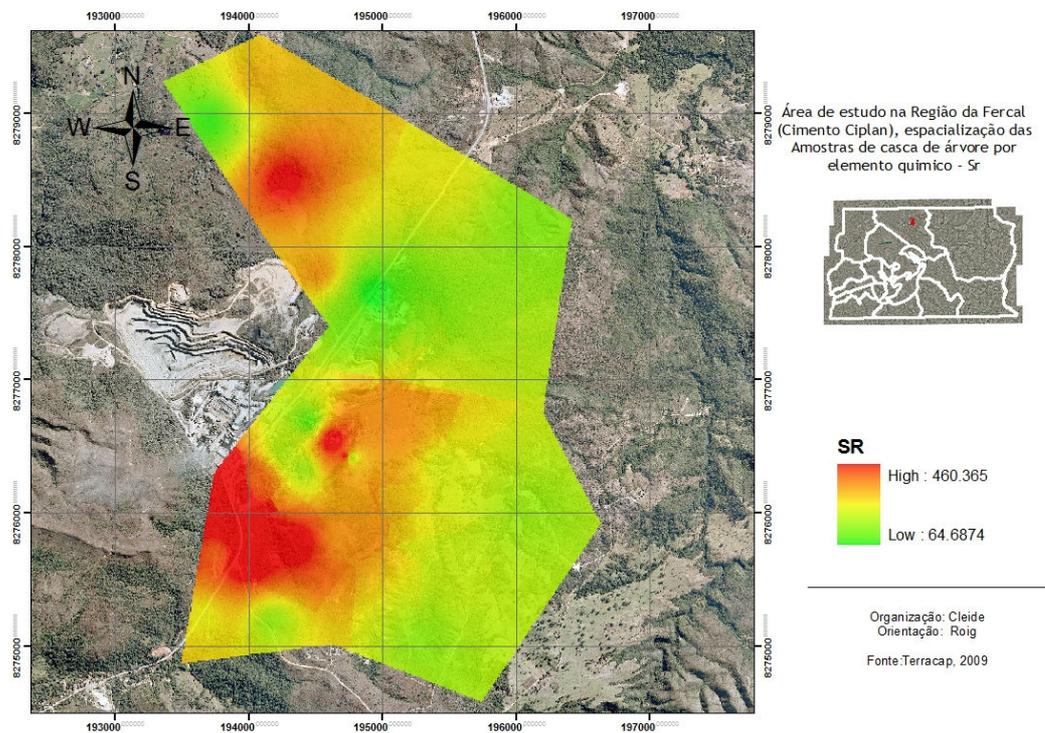
**Figura 26** - Mapa da distribuição da concentração de Cu, obtido por meio das amostras de casca de árvore da Região da Fercal.



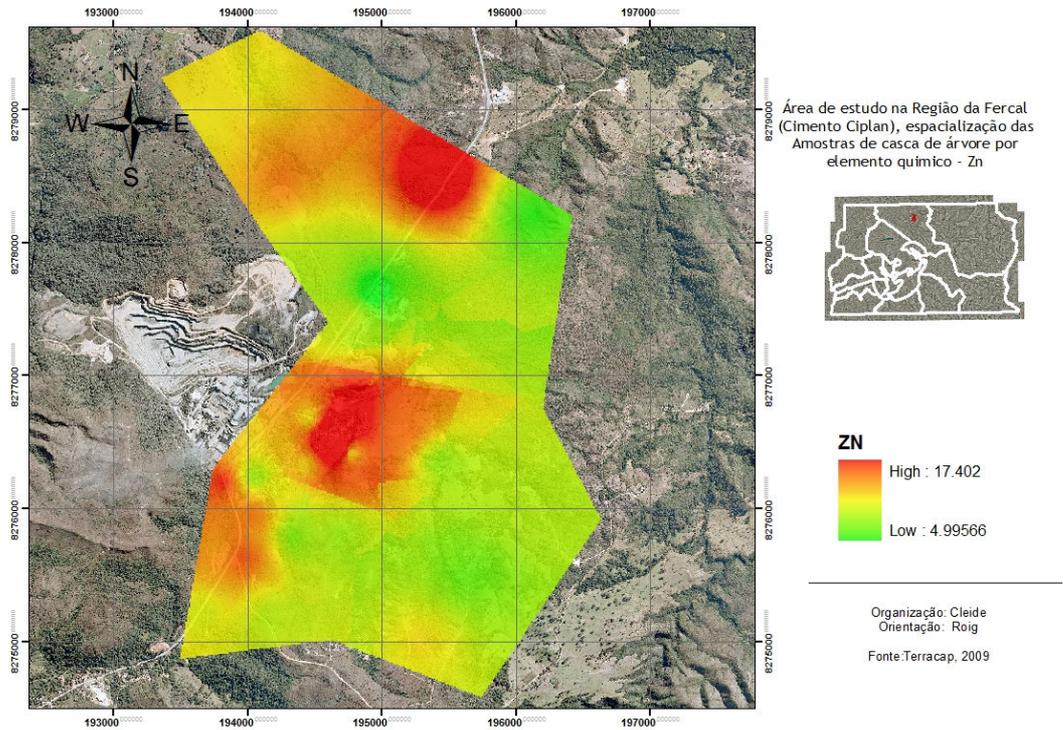
**Figura 27** - Mapa da distribuição da concentração de Al, obtido por meio das amostras de casca de árvore da Região da Fercal.



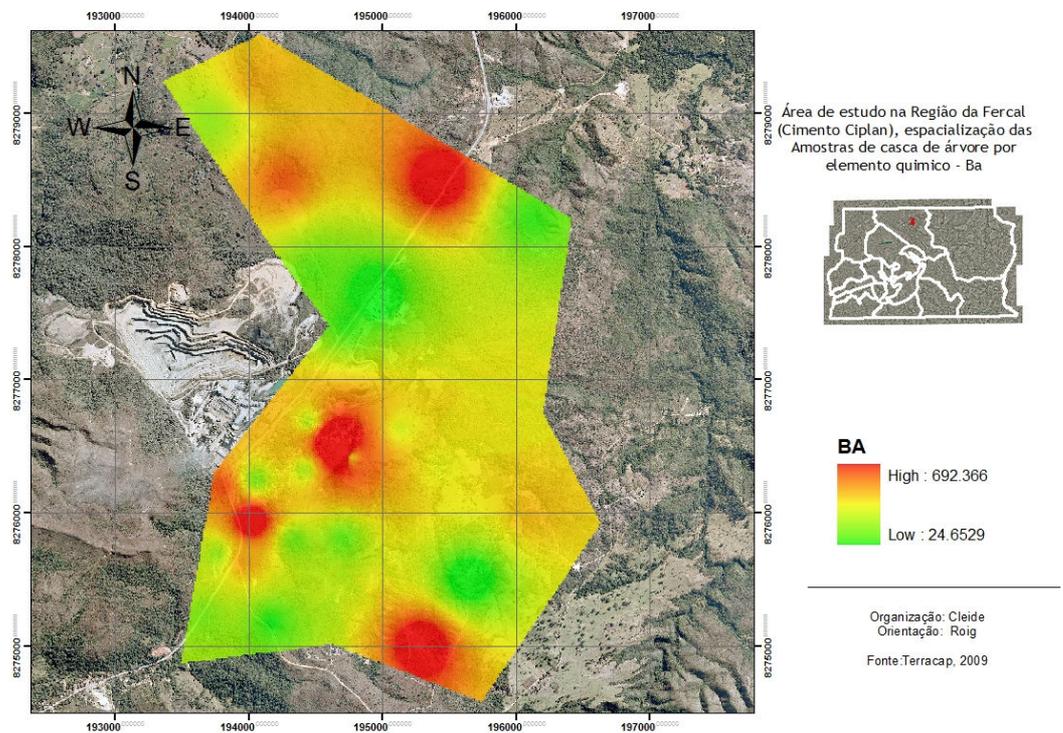
**Figura 28** - Mapa da distribuição da concentração de S, obtido por meio das amostras de casca de árvore da Região da Fercal



**Figura 29** - Mapa da distribuição da concentração de Sr, obtido por meio das amostras de casca de árvore da Região da Fercal.



**Figura 30** - Mapa da distribuição da concentração de Zn, obtido por meio das amostras de casca de árvore da Região da Fercal



**Figura 31** - Mapa da distribuição da concentração de Ba, obtido por meio das amostras de casca de árvore da Região da Fercal

## 6. CONCLUSÃO

Considerando os resultados obtidos, pode-se analisar os mesmos sobre dois aspectos, a do seu significado quanto a determinação das fontes poluidoras e a sua relação entre a distribuições espaciais dos altos valores (zonas anomalias - duas vezes o desvio padrão) e as possíveis fontes de poluição atmosférica.

Com relação a análise estatística, os elementos químicos Mn, Fe, Cu, Zn, Na, Al, S e Ba, foram considerados estatisticamente anormais na Região da Fercal em comparação com a Reserva do IBGE (Área Controle). Esses resultados apresentados na Tabela 15 (pag. 63), Gráfico 03 (64) e Gráfico 04 (pag. 65), foram obtidos por meio do teste estatístico não paramétrico Wilcoxon, com um intervalo de confiança de 0,05%. Considerando que a área selecionada para ser o controle do estudo não possui fontes significativas de poluição, conclui-se que a Região da Fercal pode ser considerada uma área poluída.

Os resultados da Gráfico 05 (pag. 67) da análise por componente principal (ACP), agrupou os elementos químicos presentes nas cascas de árvore da Fercal em três componentes, a saber:

Primeiro componente: Zn, Fe, Al, S e Ba

Segundo componente: Cu, P, Ca e Sr

Terceiro componente: Mg e K.

O agrupamento dos elementos nesses fatores já era esperado, por causa das condições geológicas e das atividades de mineração e fabricação de cimento desenvolvida na Região da Fercal.

Os valores anormais que apresentaram agrupamentos por APC, são similares a matriz básica do cimento, onde Fe, Ca, Al estão presente na matéria prima e Zn, Cu, Mg, Ba, S e Sr, são comumente encontrados nos minerais secundários do processo, tais como os haletos, sulfetos e álcalis e por elementos-traço (Santi, 1999).

Bujokas (2009) verificou situação similar ao estudar, com a composição química da precipitação em uma área próxima à indústria de cimento na Região Metropolitana do Paraná. O autor observou indícios significativos de que a atividade desenvolvida pela cimenteira influencia a química da precipitação do local. No mesmo estudo, a aplicação do método de componentes principais,

observou os mesmos agrupamento dos elementos (Cu, Zn, Ca, Mg, Fe, Mg, K, Zn) encontrados na Fercal, entretanto em componentes diferentes. Esta variação dos componentes pode ser explicada por variações geoquímicas locais e pelo tipo de argila empregada na produção do cimento.

De acordo com Maringolo(2001), a matéria-prima pode responder por aproximadamente 80% da entrada de **Zn** na fabricação do cimento, porém o uso de resíduos no co-processamento faz esse valor ser multiplicado por quatro. O mesmo autor também relaciona o **Fe** aos elementos denominados maiores (Ca, Si e **Al**), que são introduzidos no sistema de produção do cimento ou como matéria-prima ou na forma de combustíveis.

O **S**, está presente no processo produtivo das indústrias cimenteiras, pois utiliza o carvão mineral, óleo combustível, gás natural e coque de petróleo, como combustíveis (SALOMON, 2002; SILVA,1994 e DUDA, 1977). Segundo Malavolta (2006), os 16 % do **S** (componente do diesel), encontrados na atmosfera e proveniente do escapamento veicular. Na região, existem emissões desse poluente pelos caminhões que transportam o produto final, que é gerado nas fábricas de cimento da Fercal.

Segundo Martins (2009), o **Ba**, também está presente no processo da queima de combustível para produção de cimento, entretanto também é considerado um dos marcadores das emissões veiculares.

A presença dos elementos Cu, P, Ca e Sr, (Componente 2) e Mg (componente 3) pode ser um dos indicativos de atividades de mineração, pois a ocorrência de Sr está relacionada com às atividades de mineração, indicando a riqueza do elemento nas rochas locais, pois suas características biogeoquímicas são muito similares ao cálcio, sendo com frequência associado a esse elemento e enriquecido em rochas alcalinas, especialmente nos carbonatitos (BUJOKAS, 2009). O **Mg** está presente na matéria-prima para produção do cimento, o calcário e a argila. O calcário é a principal rocha empregada e sua composição é rica em Ca e Mg<sup>10</sup> (BUJOKAS, 2009).

Entretanto, seria importante ter em mãos o embasamento das informações Geoquímicas do material particulado que sai de cada fonte poluidora e o quanto cada um delas contribui como a poluição atmosférica da Região da Fercal. No início desse trabalho estava previsto que essas informações seriam acessadas,

por meio da conclusão de dissertação de mestrado do Instituto de Geociências da UNB, mas o trabalho não foi concluído, portanto as interpretações dos resultados do presente estudo serão realizadas tomando como base as informações disponíveis em estudos semelhantes a esse e disponíveis na literatura.

Um fator que gera polêmica, refere-se aos nutrientes absorvidos pelas árvores a partir do solo ou folhas poderiam ser transportados para a casca (LEPP, 1975 apud SCHELLE, 2004). No entanto, se observarmos o mapa geológico da Região na pag.44 (Figura 12), onde veremos que as rochas e solos que podem estar fornecendo estes elementos para as árvores encontra-se restrito a área da mineradora. A região com maior valor anômalo está localizada sobre rochas psamo pelíticas que devem ter valores baixos destes elementos. Portanto, os altos valores de elementos encontrados nas cascas não seriam por causa dos elementos presentes no solo.

Outro ponto que poderia enriquecer a interpretação dos resultados se refere ao tipo de deiscência das cascas de árvore amostradas, o que impossibilita dizer, com precisão, o tempo de permanência da casca no tronco das árvores. Conseqüentemente, não se sabe ao certo o período correspondente às concentrações de poluentes encontrados, contudo como a poeira de cimento tem composição muito semelhante ao próprio cimento, quando depositada e em contato com a umidade sofre um processo de solidificação, ficando aderida com muita facilidade nas superfícies (MARTINS, 2009). Isso foi observado na Região da Fercal, o que não foi constatado na área controle (Reserva do IBGE) uma grande quantidade de poeira depositado nos trocos e folhas das árvores próximo a Fábrica de Cimento (Ciplan), mas na área controle não foi observado.

Considerando o exposto, podemos analisar os efeitos da variabilidade espacial dos elementos químicos na Região da Fercal.

As concentrações dos elementos químicos Fe, Ca, Cu, Al, P, S, Sr, Zn e Ba representados, nas figuras de 25 a 31 (páginas 69 a 72), apresentaram variação nos pontos amostrados na Região da Fercal, sendo que os altos valores foram observados nas proximidades da fábrica de cimento Ciplan.

Dos 11 elementos distribuídos pelos três componentes, com extração de componentes principais (Componente 1: Zn, Fe, Al, S e Ba, Componente 2: Cu, P, Ca e Sr e componente: 3, Mg e K), 7 deles demonstraram variabilidade espacial

(Fe, Cu, Al, S, Sr, Zn e Ba), distribuídos pelos dois componentes principais (1 e 2), corroborando com o indicativo de que tais emissões estariam relacionada as atividades de extração de calcário para produção de cimento e com tráfego de veículos pesados que circulam pela área para transporte de produtos gerados pela cimenteira.

Outro fato que pode ser observado, é que os elementos químicos Fe, Cu, Zn, Al, S e Ba, que apresentaram valores estatisticamente diferentes na Região de Fercal em comparação com a área controle, também apresentaram altos valores próximo às fontes emissoras, área de extração de calcário para produção de cimento e onde passa tráfego intenso de veículos pesados para transportar os produtos que são produzidos.

Santi (1999), descreve os elementos que estão presentes na matriz do cimento (CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), podendo ser observado neste trabalho a presença dos elementos Fe, Ca, Cu, K, Mg, S, Sr, Zn, Al, que demonstraram variabilidade espacial, com altos valores próximos à área de extração de calcário e produção de cimento, a exemplo cita-se Ca e Mg. Entretanto alguns desses elementos (Fe, Ca, Cu, Zn e Ba) também são descritos na literatura como marcadores de emissões veiculares (MONACI *et al.*, 2000, BOHM *et al.*, 1998, apud MARTINS, 2009 ; EL-HAZAN *et al.*, 2002; Monaci *et al.*, 2000; FUGA *et al.*, 2008; SCHELLE *et al.*, 2002; PERELMAN *et al.*, 2006; SILVA, 2007).

Ressalta-se ainda, uma grande concentração dos valores de **S**, presentes na proximidade da rodovia que passa próximo a fábrica de cimento Ciplan, sugerindo que esse elemento pode estar relacionado às emissões dos caminhões que trafegam na área para transportar os produtos da cimenteira.

Considerando ainda, que as informações divulgadas no relatório de qualidade do ar pelo IBRAM (2011), os valores de Partículas Totais em Suspensão (PTS), medidos na regia da Fercal, ultrapassam os limites estabelecidos pela legislação vigente em vários períodos do ano, sugerindo que tais emissões podem estar relacionadas com a ressuspensão do solo da região que acaba recebendo a poeira que é gerada em grandes quantidades pelas cimenteiras da localidade. A poeira emitida é depositada na vegetação e nas residências, conforme mencionado anteriormente, sugerindo que os elementos

analisados pela fluorescência de raio – X, podem estar relacionadas com as atividades antropicas que são desenvolvidas na Fercal.

## **0.1. CONCLUSÃO FINAIS**

A técnica elementar realizada pela Fluorescência de raio x, mesmo tendo apresentado um limite de detecção pequeno (Tabela 15), tem sido utilizadas com grande frequência por diversos estudos ambientais (NAGATA, 2001; MIRANDA, 2008; MARTINS, 2009; FERREIRA, 2009; MOREIRA, 2010), os resultados apresentados indicam que os elementos químicos encontrados nas cascas de árvore da região da Fercal podem estar relacionadas com as emissões atmosféricas, devido a presença de atividades de extração de calcário e produção de cimentos e derivados, tráfego de veículos pesados para transporte de produtos que são gerados nas Cimenteiras instaladas na região.

Na extração das médias dos dados gerados pelo EDX, observou-se que as amostras não podem ser consideradas homogêneas, por causa da granulometria da massa gerada na trituração das cascas aroeira para serem analisadas da Região da Fercal (área poluída) e da Reserva do IBGE (área controle). No que se refere aos dados, podem-se observar diferenças significativas entre as leituras realizadas nas pastilhas de cada amostra (mínimo, máximo, média e desvio padrão), Tabela 15.

A técnica de análise espacial possibilitou verificar uma variabilidade espacial dos dados amostrados, em que os altos valores apresentados, próximos às fontes emissoras, podem estar relacionadas com as atividades que são desenvolvidas na Região, entretanto, seria necessário uma comparação com dados convencionais de qualidade do ar, medidos por meio de estações de monitoramento, para verificar a qualidade da informação e que estas são acima da concentração da Área controle (Reserva do IBGE).

A Atividade de mineração emite poeira que tem granulométrica entre 2-20 $\mu$ m, as mesmas que podem ser medidas pelas estações de monitoramento da qualidade do ar, essa poeira é dispersa no ar e na vegetação, não só pela produção, mas também no processo de transporte como no carregamento e

armazenamento da matéria-prima e do produto final (KRUPA, 1997). Portanto, os elementos químicos encontrados nas amostras de casca de aroeira nas proximidades da Fábrica de Cimento Ciplan na Região da Fercal, estão relacionados com a produção de cimento e com o tráfego veicular.

A partir dos resultados obtidos, podemos concluir que a utilização de casca de árvore, em conjunto com técnicas de geoprocessamento, possibilitou verificar a distribuição espacial dos elementos químicos Fe, Cu, Al, S, Sr, Zn e Ba emitidos na Região da Fercal. Essa estratégia é considerada adequada para ser utilizada em estudos sobre os impactos ambientais, sendo uma alternativa de monitoramento abrangente, preciso, de baixo custo, de fácil manuseio e implantação. Neste contexto, a abordagem utilizada neste estudo pode ser de grande utilidade para a análise ambiental em zonas com emissões aéreas de poluentes e que não possuem uma rede de monitoramento convencional.

Portanto a casca de aroeira tem potencial para ser utilizada para verificar poluição atmosférica oriunda de fontes antropogênicas.

## 7. RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se a análise de um número maior de amostras, próximo às cimenteiras Votorantins e Ciplan, para verificar a distribuição espacial dos elementos que são emitidos nas duas áreas, de preferência com outras espécies vegetais prodominantes na Região, como exemplo *Anandanteria peregrina* (Angico) e *Copaifera ladsforffii* (Copaiba).

Finalmente, recomenda-se a realização de estudo acadêmica amplo para abordar as seguintes questões, como:

- análise do material gerado por meio de outras técnicas analíticas, como exemplo o balanço de massa, por meio da espectrometria de massa, para conhecer os isótopos instáveis e futura comparação com as informações geradas pelo presente estudo;
- análise do solo para verificar possível contaminação e dos filtros das estações de monitoramento da qualidade do ar para conhecer a química do particulado total que foi medido;
- estudo epidemiológico para conhecer o impacto que a poluição tem gerado na vida dos moradores, como: Crianças, idosos e os trabalhadores da Cimenteiras;
- estudo sócio ambiental para o desenvolvimento de indicadores de saúde ambiente.

## 8. BIBLIOGRAFIA

- AGRIOS, G. M.; Plant pathology, 3ª Edição, **Academic Press**: London, 1988.
- ALLOWAY, B. J.; Ayres, D. C. Chemical Principles of environmental pollution. **Glasgow: Blackie Academy & Professiona**, 1997.
- ALMEIDA, I.T. **Poluição atmosférica por material particulado na mineração a céu aberto**,1999. 194p. Dissertação (Mestrado Engenharia Mineral), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.
- ALVES, E.S. *et al.* Estudo anatômico foliar do clone híbrido 4430 de tradescantia:. alterações decorrentes da poluição aérea urbana. **Revista Brasileira de Botânica**, versão online de 2001, vol.24, n.4, suppl., Pp 561-566.
- ARNDT U, SCHWEIGER B. The use of bioindicators for environmental monitoring in tropical and subtropical countries. In: **Biological monitoring signals from the environment**. Vieweg, Braunschweig, 1991; p.199-298.
- ASSUNÇÃO, J. V. Controle ambiental do ar. In: **Curso de gestão ambiental**. Ed. Universidade de São Paulo. São Paulo, Brasil, 2004.
- BECKETT MP, FEER-SMITH PH, Taylor GJ. Their Role in reducing the effects of particulate pollution. **Enviromental Pollution**. 1998;99:347-60.
- BENNET, JP. BUCHEN MJ. Biolett Tree data bases on air pollution effects on vegetation. **Enviromental Pollution**, 1995, 88 :262-265.
- BÖHM P, WOLTERBEEK H, VERBURG T, MUSÍLEK L. The use of tree bark for environmental pollution monitorig in the Czech Republic. **Enviromental Pollution**. 1998; 102: 243-250.
- BRAGA AL, SALDIVA PH, PEREIRA LA, JJ MENEZES, CONCEIÇÃO GM, LIN CA, ZANOBETTI A, J SCHWARTZ, DOCKERY DW. Health effects of air pollution

- exposure on on children on adolescents in São Paulo, Brazil. **Pediatr Pulmonol**, 2001 de fevereiro; 31 (2) :106-13.
- BRAGA, *et al.*, Associação entre poluição atmosférica e doenças respiratórias e cardiovasculares na cidade de Itabira, Minas Gerais, Brasil. – **Caderno Saúde Pública**, vol.23, suppl.4, Rio de Janeiro 2007.
- BUJOKAS, W. **Influência da poeira de fábrica de cimento nas características químicas da precipitação e no crescimento, nos teores de clorofila e na nutrição de *Schinus.terebinthifolius raddi* (anacardiaceae)**. 2009. Tese (Doutorando em Engenharia Florestal). Departamento de Engenharia Florestal, Setor Ciências Agrárias, Universidade do Paraná, Curitiba, 2009.
- BURTON, M. A. S. Biological monitoring. **London: King's College London**, University of London, 1986.
- BUSSOTI, F.; Ferreti, M.; **Environ. Pollut.**1998 ,101,49.
- CAMARA LEGISLATIVA. Reportação sobre poluição atmosférica na Região da Fercal.Disponível:  
[http://www.tribunadobrasil.com.br/site/?p=noticias\\_ver&id=17851](http://www.tribunadobrasil.com.br/site/?p=noticias_ver&id=17851), acessado dia 23/05/2011.
- CAMPOS, J.E.G; FREITAS e SILVA, F.H. Geologia, in Fonseca, F. **Olhares sobre o Lago Paranoá** - Brasília: Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos,2001. p. 55, 62,63.
- CANÇADO JED, BRAGA ALF, PEREIRA LAA, ARBEX MA, SALDIVA PHN, SANTOS UPS. Repercussões clínicas da exposição à poluição atmosférica. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**. 2006;32(1):5-11.
- CARMINITTI,L. **Estabelecimento do potencial de plantas no monitoramento de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) presentes na atmosfera urbana de São Paulo**, SP.2008, 73p. Dissertação (Mestrado Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente), Instituto de Botânica da Secretaria de Meio Ambiente, São Paulo, 2008.

CARNEIRO, M.F.H et. al., Pollen abortion rates, nitrogen dioxide by passive diffusive tubes and bioaccumulation in tree barks are effective in the characterization of air pollution , **Environmental and Experimental Botany**, Volume 72, Issue 2 , setembro de 2011, Pages 272-277.

CARVALHO, B. Impactos e conflitos da produção de cimento no distrito federal, 2008, 187p. Dissertação (Mestrado Desenvolvimento Sustentável), Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

CARVALHO, J.C.; SALES, M.M.; SOUZA, N.M.; MELO, M. T. S. 2006. Processos erosivos no centro-oeste brasileiro, **Relatório técnico**, Brasília: Universidade de Brasília: FINATEC. Brasília, 2006. 464p.

CHEN T-M, GOKHALE J, SHOFER S, KUSCHNER WG. Outdoor air pollution: nitrogen dioxide, sulfur dioxide, and carbon monoxide health effects. **American Journal of Medicine Science**. 2007a; 333 (4):249–256.

Ciência química. Disponível:  
<<http://www.cienciaquimica.hpg.com.br/interessante/cimento/cimento.htm>>, acesso dia 18/11/2010.

CIPLAN - Cimento planalto. Disponível <<http://www.ciplan.com.br>>, acessado 23/08/2010.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Informações de qualidade do ar. Disponível:<<http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/informacoes-basicas/20-historico>>, acesso dia 29/07/2011.

CODEPLAN - Companhia de Desenvolvimento do Planalto. Síntese de informações sócio econômicas, 2008. Disponível: <<http://www.codeplan.df.gov.br/sites/200/216/00000327.pdf>>, acesso dia 01/01/2010.

CODEPLAN - Companhia de Desenvolvimento do Planalto. Atlas do Distrito Federal DE 1984, Brasília, GDF. 78p.

COMARU, F.A. **Políticas de habitação e desenvolvimento urbano em municípios saudáveis: o caso de Bertioga**, 2004. Tese (Doutorado em Saúde Pública), Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

TERRACAP - Companhia Imobiliária de Brasília. Estudos de impactos ambientais da cidade de Taguatinga-DF de 2011. Disponível: <<http://www.terracap.df.gov.br/internet/arquivos/0080607983.pdf>>, acesso dia 02/08/2011.

TERRACAP - Companhia Imobiliária de Brasília. Disponível: [www.terracap.df.gov.br](http://www.terracap.df.gov.br), acesso dia 29/07/2011.

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução nº 003 de 28 de junho de 1990. Disponível: <[www.mma.gov.br](http://www.mma.gov.br)>, acesso dia 20/01/2011.

CORREIO BRAZILIENSE. Notícias de qualidade do ar do distrito federal. Disponível: <[http://www.correiobraziliense.com.br/app/noticia/cidades/2010/05/07/interna\\_cidade\\_sdf,191040/index.shtml-2010](http://www.correiobraziliense.com.br/app/noticia/cidades/2010/05/07/interna_cidade_sdf,191040/index.shtml-2010)>, acesso dia 24/07/2010, às 20hs53min.

CURTIS L, WILLIAN R, SMITH-WILLIS P, FENYVES E, PAN Y. Adverse health effects of outdoor pollutants. **Environment International**. 2006;32: 815-830.

DERISIO.C. **J.Introdução ao controle de poluição ambiental**, Guia. São Paulo, CETESB, 1992.

DETRAN - Departamento de Trânsito do Distrito Federal. **Estatística da Frota de Veículos do Distrito Federal**. Disponível: <<http://www.detran.df.gov.br>>, acesso dia 24/02/2011.

DFTV. Reportagem sobre poluição na Região da Fercal. Disponível: <http://dftv.globo.com/Jornalismo/DFTV/0,,MUL1295941-10041,00-POLUICAO+E+UM+DOS+PRINCIPAIS+PROBLEMAS+DA+FERCAL.html>, acesso dia 23/05/2011.

DOWN.C.G ; STOCKS.J. Environmental Impact Of Mining, London, **Applied Science Publisher**, 1977.

DUDA, W. H. **Manual tecnológico del Cemento. Editores Tecnicos Associados, S.A.**  
Barcelona - Espanha. 1977.

EMBRAPA. 1978. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação dos Solos.  
Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Distrito Federal. Escala  
1:100.000. Rio de Janeiro. EMBRAPA. SNLCS. Boletim Técnico. 455p.

EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro, 1999, 412p

FEPAM. Informação sobre qualidade do ar. Disponível:<  
[http://www.tjw.com.br/fepam/relatorio/conteudo/3\\_3.htm](http://www.tjw.com.br/fepam/relatorio/conteudo/3_3.htm)>, acesso dia 02/08/2011.

FERREIRA A.B. **Avaliação do risco humano a poluentes atmosféricos por meio de biomonitoramento passivo : um estudo de caso em São Mateus do Sul,Paraná**, 2009, 90p.Tese (Doutorado em Patologia), Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo; São Paulo, 2009.

FREEDMAN, B. The ecological effects of pollution, disturbance, and other stresses.  
**Environmental ecology**, 2.ed. San Diego: Academic Press Inc., 1995.

FERRANTE, J.E.T; RANCAN. L; NETTO, P.B In: FONSECA, O.F. **Olhares sobre o lago Paranoá** - Brasília, DF: Guanabara Koogan, 2000. Clima. Disponível:  
<http://www.semarnh.df.gov.br/semarnh/site/lagoparanoa/framesetsCaps/framesetCap03.htm>, 26/12/2011.

FLORSHEIM, S.M.B., TOMAZELLO FILHO, M. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v.6, p.75-85, 1994 - Dendrologia e anatomia da madeira de aroeira *Myracrodruon urundeuva* F.F. & M.F. Allemão (Anacardiaceae).

GAZETA MERCANTIL. Informação sobre o crescimento da indústria de cimento no Brasil. Disponível em:  
<<http://www.revistaprisma.com.br/novosite/noticia.asp?cod=1811>>, acesso dia 05/08/2011.

GDF. Informações da Administração de sobradinho .  
Disponível: <[http://www.sobradinhoii.df.gov.br/045/04503017.asp?slCD\\_ORIGEM=26677&ttCD\\_CHAVE=116772](http://www.sobradinhoii.df.gov.br/045/04503017.asp?slCD_ORIGEM=26677&ttCD_CHAVE=116772)>, acesso dia 12/05/2011.

GDF. informações da Administração de sobradinho  
Disponível: <<http://sobradinho.com.br/?m=sobradinho-df&a=historia>>, acesso dia 11/01/2010.

GONÇALVES, T. D. Geoprocessamento como ferramenta de apoio à gestão dos recursos hídricos subterrâneos do distrito federal, 2007.88p. **Dissertação** (Mestrado em Geociências), Instituto de Geociências da Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

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.

H AidAR, R. Fitossociologia, diversidade e sua relação com variáveis ambientais em florestas estacionais do bioma cerrado no planalto central e nordeste do Brasil, 2008, 254p. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Florestal), Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

HAIR, J. F. *et al.* **Multivariate data analysis**. 5 Edition. New jersey: Prentice Hall, 1998.

HEGGESTAD, H.E. Origin of Bel-W3, Bel-C and Bel –B tobacco varieties and their use as indicators of ozone. **Environmental Pollution**. 1991, 74: 264-91.

IBRAM. Relatório de Qualidade do ar de 2008. Disponível: <[WWW.ibram.df.gov.br](http://WWW.ibram.df.gov.br)>, acesso dia 11/04/2010.

IBRAM. Informação sobre gestão da Qualidade do ar no DF. Disponível: <[WWW.ibram.df.gov.br](http://WWW.ibram.df.gov.br)>, acesso dia 11/04/2010, as 16hs22min.

IBGE. Disponível: <[www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)>, acesso dia 16/03/2011.

INAIRA. Grupo temático sobre Biomonitoramento. Disponível:<[http://www.inaira.org/cgi-bin/avisoexibe.cgi?type=2&area=1&hidden\\_idioma=pt](http://www.inaira.org/cgi-bin/avisoexibe.cgi?type=2&area=1&hidden_idioma=pt), acesso dia 16/01/2011.

Instituto de Química (IQ).Área de Educação Química.Disponível:<<http://www.iq.ufrgs.br/aeq/html/publicacoes/matdid/livros/pdf/poluicao.pdf>>, acesso 21/03/2011 as 15hs43min.

JENDRITZKY, G. The atmospheric environment - An Introduction.experimental 1993; 49 (9): 733-40.

JOHNSON RA, WICHERN, DW. **Applied multivariate statistical analysis**. 3 Ed. New Jersey, USA: Prentice-Hall International Editions; 1992.

LANDIM, P. 2000. **Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas**, 20 p. Rio Claro: UNESP. Disponível no formato PDF via [url:<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html](http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html)

LEPP NWJ. The potential of tree-ring analysis for monitoring heavy metal pollution patterns. **Environ Pollut**. 1975;9:49-61.

LIMA, J. S. O biomonitoramento como ferramenta complementar na avaliação de impactos ambientais: **Discutindo conceitos**. EcoTerra Brasil. Junho, 2000. Disponível em <http://www.ecoterrabrasil.com.br/home/index.php?pg=temas&tipo=temas&cd=9>  
Acesso em 16/06/2011

LIMA, J. Indicadores de qualidade ambiente: Conceito e aplicação, Processos biológicos e o biomonitoramento, aspectos bioquímicos e morfológicos, Universidade Católica Brasília/SP96 p-2001.

LIMA.J. et. el., Programa de biomonitoramento da qualidade do ar da cidade do salvador proposta e resultados preliminares, **23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, campo grande/MS, 18 a 23/09/2005.

- LIN , CA, PEREIRA LA, CONCEIÇÃO GMS, KISHI HS, MILANI R, BRAGA ALF, et al. Association between air pollution and ischemic cardiovascular emergency room visits. **Environ Res** 2003; 92:57-63.
- LISBOA, H.M. & KAWANO, M. **Apostila poluição atmosférica qualidade do ar**. Revisão 06. SENAI-CIC. Curitiba, 2007.
- LISBOA et al., 1997 – Controle da poluição atmosférica, Cap. IV, **Monitoramento de poluentes atmosféricos**, disponível no endereço eletrônico: <http://www.lcqar.ufsc.br/adm/aula/Cap%204%20Monitoramento%20da%20QUALIDADE%20DO%20AR.pdf>, acesso dia 29/03/2011.
- MACHADO, A.O. & OLIVEIRA, P.E.A.M. 2000. Biologia floral e reprodutiva de *Casearia grandiflora* Camb. (Flacourtiaceae). **Revista Brasileira de Botânica** 23:283-290.
- MAIOLI.O.L. Parametros bioquimicos foliares da especies lucania tomentosa(beth) e bauhinia forficata link para avaliação da qualidade do ar, **Quimica Nova**, vol. 13, número 8: 1925-1932, 2008.
- MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo: **Agronômica Ceres**, 2006. 639p.
- MANDRE, M.; KLÖSEIKO, J.; OTS, K.; TUULMETS, L. Changes in phytomass and nutrient partitioning in young conifers in the extreme alkaline growth conditions. **Environmental Pollution**, v. 105, n. 2, p. 209-220, 1999.
- MARINGOLO, V. Clinquer co-processado: produto de tecnologia integrada para sustentabilidade e competitividade da indústria de cimento, 2001, 174p. **Tese** (Doutorado em Mineralogia e Petrologia), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, São Paulo, 2001.
- MARTINS, A.P.G. Cascas de árvores como biomonitorios da poluição atmosférica de origem veicular em parques urbanos da cidade de São Paulo, 2009, 110p. **Tese** (Doutorado em Patologia), Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

MARTINS, L. *et al.* Poluição atmosférica e atendimentos por pneumonia e gripe em São Paulo, Brasil. **Revista de Saúde Pública**, v. 36, p. 88–94, 2002.

MASTERS GM. **Introduction to environmental engineering and science**.2<sup>o</sup>. Ed. New Jersey. Pritice-Hall; 1997.

MEDONÇA, F. Identificação de feições de fábricas de cimento portland em imagens SAR com base na análise das polarizações da banda I para a geração de informações de inteligência,2009. **Monografica** curso de especialização, Instituto de Geociências Universidade de Brasília, 2009.

Ministério da Saúde (MS). Analisis y interpretación de datos de vigilancia del aire. Organización Mundial de la Salud, Peru,1982, [www.un.org](http://www.un.org).

Ministério da Saúde (MS). Programa nacional de VIGIAR de 2008. Disponível :<[http://portal.saude.gov.br/portal/arquivos/pdf/vigiar\\_programa\\_nacional.pdf](http://portal.saude.gov.br/portal/arquivos/pdf/vigiar_programa_nacional.pdf)>, acesso dia 29/07/2011.

Ministério da Saúde (MS). Ações transversais da vigilância em saúde promoção, análise e integração gestão 2007/2008, pesquisas fortalecem o desenvolvimento científico e tecnológico no SUS, 34p. Disponível: <[http://portal.saude.gov.br/portal/arquivos/pdf/relatorio\\_final\\_web2.pdf](http://portal.saude.gov.br/portal/arquivos/pdf/relatorio_final_web2.pdf)>, acesso dia 15/04/2011.

Ministério da Saúde (MS). Pesquisas em andamento monitoradas pela SVS em 2011. Disponível:[http://portal.saude.gov.br/portal/saude/profissional/visualizar\\_texto.cfm?idtxt=31415](http://portal.saude.gov.br/portal/saude/profissional/visualizar_texto.cfm?idtxt=31415) , acesso dia 16/03/2011.

Ministério do Interior (MI). Portaria no 231/1976. Estabelece os padrões nacionais de qualidade do ar para material particulado, dióxido de enxofre, monóxido de carbono e oxidantes.

MIRANDA, D. **Prevalência da asma e sintomas respiratórios no município de vitória/ES : Comparação entre duas áreas com diferentes fontes de poluição atmosférica identificadas pelo biomonitoramento**, 2008, 137p. Tese

(Doutorado em Patologia), Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Compromissos pela Qualidade do Ar e Saúde Ambiental**, 2010. Disponível: <[www.mma.gov.br](http://www.mma.gov.br)>, acesso dia 21/11/2011.

Ministério do Meio Ambiente (MMA). Disponível: <[www.mma.gov.br](http://www.mma.gov.br)>, acesso dia 20/11/2011.

Ministério de Minas e Energia (MME). **Relatório técnico 79** - Análise-síntese da transformação mineral no país. Disponível: <[http://www.mme.gov.br/portalmme/opencms/sgm/galerias/arquivos/plano\\_duodocenal/a\\_transformacao\\_mineral\\_no\\_brasil/P53\\_RT79\\_Analise\\_Sintese\\_da\\_Transformacao\\_Mineral\\_no\\_Pais\\_Anexo\\_III.pdf](http://www.mme.gov.br/portalmme/opencms/sgm/galerias/arquivos/plano_duodocenal/a_transformacao_mineral_no_brasil/P53_RT79_Analise_Sintese_da_Transformacao_Mineral_no_Pais_Anexo_III.pdf)>, acesso dia 05/08/11, as 23hs39min.

MOREIRA, T.C.L. **Interação da poluição atmosférica e a vegetação arbórea na cidade de São Paulo/SP**, 2010, 70p. Dissertação (Mestrado em Ciências), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, São Paulo, 2010.

NAGATA, N. **Uso de métodos de calibração multivariada na análise de amostras de interesse industrial e espécies de importância ambiental por fluorescência de raio – X**, Campinas, 2001, 116p. Tese (Doutorado em Química), Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2001.

PEREIRA *et al.*, O ar da Cidade, ruído e as desigualdades na saúde, pg.148- **Meio Ambiente e Saúde**: O desafio das metrópoles. São Paulo, 2010.

PEREIRA, J. C. R. **Análise de dados qualitativos**: estratégias metodológicas para as ciências da saúde, humanas e sociais. São Paulo: EDUSP, 2001.

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**. Secretária do estado do meio ambiente, São Paulo. v. 7, n. 1, p.57-64, 1993.

- PYE K. Aeolian dust and dust deposits. Cambridge University Press, Cambridge; 1987.
- R- Development Core Team, 2010. R: **A language and environment for statistical computing vienna**, Áustria. ISBN 3-900051-07-0. Disponível: <http://www.R-project.org>, acesso dia 29/07/2011, as 23hs35min.
- REATTO, A.; MARTINS, E. S.; FARIAS, M. F. R.; SILVA, A. V.; CARVALHO JUNIOR, O. A. Mapa pedológico digital – SIG atualizado do Distrito Federal Escala 1: 100.000 e uma síntese do texto explicativo. Planaltina: Embrapa Cerrados, **Boletim de pesquisas**, 2004. 31 p
- RAVEN, P.H.; BERG, L.R.; JOHNSON, G.B. Fort Worth, Saunders College. **Publishing Environment**, n.77 p.332-333. Dec. 1995.
- RECOR. Histórico da reserva. Disponível:< <http://www.recor.org.br>> , acesso dia 16/12/2010, as 19hs01min.
- REQUIA, W.J.J; ABREU L.M. Poluição atmosférica e a saúde de crianças e idosos no Distrito Federal: utilização do método de correlação com time delay, 2011. **HYGEIA - Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde**, V. 7, no 13, 94-107g, Uberlândia.
- ROMÃO, R. **Relação entre o baixo peso ao nascer e a poluição do ar no município de Santo André**, 2010, 106p. Dissertação (Mestre em Ciências), Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.
- ROUSSEAU, R. Detection limit and estimate of uncertainty of analytical XRF results. **The Rigaku Journal**. 2001; 2: 33-47.
- SALOMON, V. G. **Avaliação dos efeitos da presença de metais pesados nos resíduos co-processados quando utilizados como combustíveis alternativos e matéria-prima na indústria cimenteira**, 2002, 145p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Instituto de Engenharia Mecânica, Universidade de Itajubá, Minas Gerais, 2002.

SANTOS, P.R.P. **Estudo da vulnerabilidade à poluição do aquífero Marizal na região de influência do Pólo Industrial de Camaçari (PIC)**. 2010, Dissertação (.Mestrado em Engenharia Ambiental), Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica, Salvador, 2010.

SANTI AMM, SUZUKY RY, OLIVEIRA RG. Monitoramento da qualidade do ar no município de Itabira, MG: avaliação dos resultados em anos recentes (1997/99) e das perspectivas de modernização da rede de monitoramento no contexto do licenciamento ambiental corretivo da CVRD. In: **Anais do 27º Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental; 2000.

SANTI, A.M.M.; SEVA FILHO, A.O. Resíduos renováveis e perigosos como combustíveis industriais. Estudo sobre a difícil sustentação ambiental da fabricação de cimento no Brasil, anos 1990. **VIII Congresso Brasileiro de Energia**, Rio de Janeiro, 1999.

SANTI, A.M.M.; SEVA FILHO, A.O. Combustíveis e riscos ambientais na fabricação de cimento; casos na Região do Calcário ao Norte de Belo Horizonte e possíveis generalizações. **II Encontro Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade – ANPPAS**, Campinas, 2004.

SEMARH. Disponível:

<http://www.semarh.df.gov.br/semarh/site/lagoparanao/cap01/resumo.htm>,  
acesso dia 06/04/2011, 18hs.

SILVA, M.F. Emissão **de metais por veículos automotores e seus efeitos à saúde pública**, 2007, 156p. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública), Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

SILVA, R. J. **Análise energética de plantas de produção de cimento portland**, 1994. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica), Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 1994.

SILVA, S.T. A proteção da qualidade do ar, 2005, **Revista eletrônica da Jus Navigandi**. Disponível em: <http://www.jus2.uol.com.br/doutrina/texto.asp>, acesso 05/08/ 2011, as 23hs11min.

SNIC. Relatório anual do sindicato nacional das indústria de cimento, de 2005. Divulgado: <http://www.snic.org.br/pdf/relat2005-6web.pdf>, acesso 29/07/2011, às 22hs15min.

SNIC. Relatório anual do sindicato nacional das indústria de cimento, de 2009, divulgado no site: <http://www.snic.org.br/pdf/relat2005-6web.pdf>, acesso 29/07/2011, as 22hs20min.

SINDSERF. Matéria sobre a Região da Fercal de 2007. Disponível: <<http://www.sindser.org.br/modules/articles/article.php?id=462>>, acesso 13/09/2010, as 14hs12min.

SINGH, S. N.; RAO, D. N. Growth of wheat plants exposed to cement dust pollution. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 14, p. 241-249, 1980.

SINGH, S. N.; RAO, D. N. Growth of wheat plants exposed to cement dust pollution. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 14, p. 241-249, 1981.

SOARES JUNIOR, G. **Contribuições metodológicas para determinação de dados morfométricos e elaboração de cartografia geomorfométricos e elaboração de cartografia geomorfológica digital, bacia sonhém –DF**. 2011. Dissertação (Mestre Estudos Socioambientais), Instituto de Estudos Ambientais do Departamento de Geografia, Universidade de Goiás, 2011.

Statistical Package for the Social Sciences (SPSS). Base 10.0 User's Guide. Chicago: SPSS, 1999.

STRAALEN, N. M.; KRIVOLUTSKY, D. A. Bioindicator systems for Soil pollution. *dordrecht: kluwer. Academic Publishers*, 1995.

UMA, C. H.; RAO, T. V. R.; INAMDAR, J. A. Impact of cement kiln dust pollution on sunhemp (*Crotalaria juncea* L.). **PHYTOMORPHOLOGY**, v. 44, n. 3-4, p. 223-229, 1994.

UNB. Projetos de pesquisa e projetos de extensão de ação continuada cadastrados pela diretoria adjunta de ensino e pesquisa em 2009/2011, disponível no endereço eletrônico: <<http://www.hub.unb.br/apendice2.PDF>>, 16/03/2011 às 13hs02min.

UNIVERSOAMBIENTAL. Questões sobre poluição atmosférica, disponível no endereço eletrônico: <[http://www.universoambiental.com.br/novo/artigos\\_ler.php?canal=5&canallocal=6&canalsub2=16&id=44](http://www.universoambiental.com.br/novo/artigos_ler.php?canal=5&canallocal=6&canalsub2=16&id=44)>, acessado dia 15/07/2011, as 12hs46min.

VIGIAR. Relatório de reunião de avaliação das metas 2006 e pactuação de ações para 2007 do vigiar, versão final de 2008. Disponível: <[http://portal.saude.gov.br/p6ortal/arquivos/pdf/reuniao\\_avaliacao\\_metas.pdf](http://portal.saude.gov.br/p6ortal/arquivos/pdf/reuniao_avaliacao_metas.pdf)>, acesso dia 16/02/2011, às 19hs.

WHO. Incêndios Florestais, guia de Saúde (2002), Tradução, em edição pela SVS. Organização Mundial de Saúde guia de Qualidade do Ar, atualização Mundial, 2005 – Relatório da reunião do Grupo de Trabalho, Alemanha, 2005.

YEOMANS AK, GOLDBERGER AP. The Guttman-kaiser criterion as a Predictor of the Number of Common Factors. **The Statistician**. 1982;31:221- 29.