

Comissão Nacional de Energia Nuclear

CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA NUCLEAR

**Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia das
Radiações, Minerais e Materiais**

**ESTUDOS DA POLUIÇÃO DO AR DO MUNICÍPIO DE
SETE LAGOAS, MG UTILIZANDO TÉCNICAS
NUCLEARES**

Paula Guimarães Moura Queiroz

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção
do Grau de Mestre em Ciência e Tecnologia das Radiações,
Minerais e Materiais

Área de concentração: Aplicação de Técnicas Nucleares

Orientadora: Dra. Vanusa Maria Feliciano Jacomino

Co-Orientadora: Dra. Maria Ângela de Barros Correia Menezes

Belo Horizonte
2006

**ESTUDOS DA POLUIÇÃO DO AR DO MUNICÍPIO DE SETE
LAGOAS, MG UTILIZANDO TÉCNICAS NUCLEARES**

Paula Guimarães Moura Queiroz

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para
obtenção do Grau de Mestre em Ciência e Tecnologia das
Radiações, Minerais e Materiais

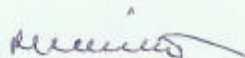
2006

A presente dissertação de mestrado, intitulada **“Estudos da poluição do ar do município de Sete Lagoas, MG utilizando técnicas nucleares”**, de autoria de **PAULA GUIMARÃES MOURA QUEIROZ**, foi defendida e aprovada em 26 de maio de 2006 pela Banca Examinadora abaixo assinada.

Belo Horizonte, 26 de maio de 2006



Profª. Drª. Vanusa Maria Feliciano Jacomino
CDTN – Orientadora



Prof. Dr. Rubens Martins Moreira
CDTN



Profª. Drª. Bárbara Paci Mazzilli
IPEN



Prof. Dr. Willer Hudson Pos
AngloGold Ashanti Mineração

“Hoje em dia, o ser humano apenas tem ante si três grandes problemas que foram ironicamente provocados por ele próprio: a super povoação, o desaparecimento dos recursos naturais e a destruição do meio ambiente. Triunfar sobre estes problemas, vistos sermos nós a sua causa, deveria ser a nossa mais profunda motivação.”

Jacques Yves Cousteau (1910-1997)

AGRADECIMENTOS

Ao Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN) pela disponibilização de suas instalações e laboratórios e pela dedicação e envolvimento dos profissionais dessa instituição.

Às minhas estimadas orientadoras Vanusa Maria Feliciano Jacomino e Maria Ângela de Barros Correia Menezes pelo carinho, dedicação, generosidade, compreensão, sabedoria e valiosa atenção na condução e realização desse trabalho.

Aos professores da Pós-graduação do CDTN, Francisco Javier Rios, Rubens Martins Moreira e Waldemar Augusto de Almeida Macedo, pelos ensinamentos, encaminhamentos e orientações técnicas e profissionais.

Aos amigos do CDTN, Alberto Barreto, Arivaldo Morais, Cláudia Peixoto, Paulo Roberto Alves, Paulo Rodrigues e Walter de Brito, pelas brilhantes sugestões e inestimável ajuda na revisão de texto desta dissertação.

Aos profissionais do CDTN que me auxiliaram nas rotinas administrativas, de pesquisa e de laboratório. Em especial a Altair Drumond, Ângela Amaral, Clotilde Tosta, George Uemura, Geraldo Vieira, Dovenir Francisco, Iraci César, José Augusto da Anunciação, Marta Avelar, Lenira Lúcia, Liessi Santos, Milton Franco, Namir Vieira, Nívia Lima, Rosália Emídio, Roseli Taveira, Sebastião Paulino, Virgínia Rodrigues, Wagner de Souza e Zilmar Lula. E ainda, agradecer ao Robson Cota pelo interesse, paciência, ensinamento e nobreza do seu trabalho.

À Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Agricultura de Sete Lagoas por ter possibilitado a realização da campanha de amostragem, e em especial, ao técnico Dorni Pereira Marques pela sua dedicação e profissionalismo.

Ao pesquisador da EMBRAPA, Dr. Luiz Marcelo Aguiar Sans, pela disposição, acompanhamento e dedicação na coleta de amostras do solo padrão nacional – Sete Lagoas e pela concessão dos dados meteorológicos utilizados neste estudo.

À FEAM pela transparência e disponibilidade dos processos administrativos de licenciamento ambiental. Em especial pela dedicação, suporte, experiência e sabedoria do Dr. José Octávio Benjamin e do amigo Ronildo Silva Valente.

À Secretaria Municipal Adjunta de Meio Ambiente de Belo Horizonte (SMAMA), onde trabalho, que me proporcionou esta oportunidade e as condições para tal. Agradeço em especial à Flávia Mourão Parreira do Amaral e a Dilma Fernandes Barbosa por valorizarem e acreditarem no meu trabalho.

Aos amigos da SMAMA que auxiliaram e torceram por mim, Ângela Scarpelli, Ádria Scarpelli, Everton Dias, Cláudia Silveira, Cláudio Souza, Clóvis Barbosa, Paulo Freitas, Sandra Pádua, Solange Tavares, Soraya Rodrigues, Vanda Barroso, Virginia Moreira, e em especial ao carinho do meu filho adotivo Valney Paixão.

Ao Fernando Maia e a Nely Pena, amigos de longa data, mesmo que às vezes à distância, aos quais dedico muito carinho e admiração, agradeço pelo incentivo e pela nossa amizade.

Aos amigos conquistados nesta empreitada, Adailton Paiva, Jacira, Jaqueline Martins, João Bosco Guedes, José Machado e Nelson Nascimento pelo ombro amigo e pelas palavras de alegria e incentivo.

Ao maior incentivador deste trabalho, Alexandre Soares Leal, por me reingressar ao mundo da pesquisa.

Ao meu pai, minha irmã e meu marido, meu eterno agradecimento pela compreensão, incentivo e por compartilharem este e outros momentos tão importantes da minha vida.

Agradeço aos meus mentores espirituais por me intuírem e por terem me ajudado a compreender que todas as experiências servem para o crescimento pessoal e que todas as pessoas que passam por nossas vidas são as maiores contribuições para nossa elevação.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1: Características gerais dos modelos fonte e receptor (CETESB, 2002)	42
FIGURA 2.2: Processo de detecção da fluorescência dos raios-X.	45
FIGURA 3.1: Distribuição Regional das Zonas de Planejamento do estado de Minas Gerais (PROJETO MINAS-AMBIENTE, 2002)	50
FIGURA 3.2: Localização das estações de amostragem da rede monitoramento da qualidade do ar da cidade de Sete Lagoas	59
FIGURA 4.1: Concentrações médias do material particulado total em suspensão no período de 2000 a 2002 (CDTN, 2002)	69
FIGURA 4.2: Concentrações médias do material particulado inalável no período de 2000 e 2002	70
FIGURA 4.3 (a) Amostrador de Grande Volume	76
FIGURA 4.3 (b) Amostrador de Grande Volume com Cabeça de Separação por Impactação Inercial	76
FIGURA 4.4: Dispositivo segregador de partículas - Impactador em Cascata	78
FIGURA 6.1: Estação de Amostragem da Qualidade do Ar	94
FIGURA 6.2: Variação da Concentração de Partículas Totais em Suspensão (PTS) durante o período de amostragem (11/01/2005 a 13/02/2005)	98
FIGURA 6.3: Variação da Concentração de Partículas Inaláveis (PM ₁₀) durante o período de amostragem (11/01/2005 a 13/02/2005)	98
FIGURA 6.4: Concentração de material particulado em função do tamanho das partículas	100
FIGURA 6.5: Rosa de ventos correspondente ao período de amostragem do aerossol atmosférico (11/01/2005 a 13/02/2005)	104

FIGURA 6.6: Mapa de localização das principais fontes emissoras de material particulado do município de Sete Lagoas	105
FIGURA 6.7: Velocidade média diária dos ventos	106
FIGURA 6.8: Comportamento do material particulado inalável e da precipitação pluviométrica média diária	107
FIGURA 6.9: Principais concentrações elementares da Fonte A	117
FIGURA 6.10: Principais concentrações elementares da Fonte B	117
FIGURA 6.11: Principais concentrações elementares da Fonte C	117
FIGURA 6.12: Principais concentrações elementares da Fonte D	117
FIGURA 6.13: Principais concentrações elementares médias do particulado total em suspensão	128
FIGURA 6.14: Principais concentrações elementares médias do particulado Inalável	129
FIGURA 6.15: Autovalores em função dos fatores retidos na análise do PTS	133
FIGURA 6.16: Autovalores em função dos fatores retidos na análise do PM ₁₀	137

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1: Principais fontes de poluição atmosférica	27
TABELA 2.2: Padrões de qualidade do ar	36
TABELA 2.3: Índice de qualidade do ar	37
TABELA 3.1: Relação das principais tipologias industriais do município de Sete Lagoas	53
TABELA 3.2: Resultados do monitoramento da qualidade do ar por período de amostragem	61
TABELA 3.3: Qualidade do ar para PTS durante o período de março de 2000 a fevereiro de 2001	63
TABELA 3.4: Qualidade do ar para PTS durante o período de março de 2001 a fevereiro de 2002	64
Tabela 4.1: Resumo das concentrações ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) do material particulado amostrado no período de 2000 a 2002	68
TABELA 4.2: Resultado da qualidade do ar para cada estação em função do número total de dias de amostragem durante o período de 1999 a 2002	71
TABELA 4.3: Principais características físicas do filtro de celulose	75
TABELA 4.4: Principais características físicas do filtro de microssílica	75
TABELA 6.1: Concentração de Partículas Totais em Suspensão e Qualidade do Ar do município de Sete Lagoas	95
TABELA 6.2: Concentração de Partículas Inaláveis e Qualidade do Ar do município de Sete Lagoas	97
TABELA 6.3: Concentrações de Material Particulado obtidas pelo IC	101

TABELA 6.4: Concentrações de elementos ($\mu\text{g.g}^{-1}$) nos materiais de referência determinadas por ativação neutrônica	111
TABELA 6.5: Concentrações de elementos ($\mu\text{g.g}^{-1}$) no material de referência determinados por ativação neutrônica	112
TABELA 6.6: Concentrações de elementos no material referência de filtro de ar para amostragem de metais	113
TABELA 6.7: Composição elementar (AAN) das principais fontes emissoras de material particulado do município de Sete Lagoas	116
TABELA 6.8. Composição elementar (FRX) das principais fontes emissoras de material particulado do município de Sete Lagoas	119
TABELA 6.9: Composição mineralógica (DRX) dos resíduos procedentes das principais fontes poluidoras emissoras de material particulado	122
TABELA 6.10: Composição elementar das matrizes de celulose e microsílica determinada por AAN	124
TABELA 6.11: Concentração elementar das partículas totais em suspensão (PTS) determinada por AAN	125
TABELA 6.12: Concentração elementar das partículas inaláveis (PM_{10}) determinada por AAN	126
TABELA 6.13: Composição mineralógica do material particulado presente no aerossol atmosférico determinado por DRX	131
TABELA 6.14: Autovalores e variâncias associados aos componentes retidos na análise das concentrações elementares do PTS	133
TABELA 6.15: Pesos e comunalidades obtidos na análise de componentes principais das partículas totais em suspensão	134

TABELA 6.16: Autovalores e variâncias associados aos componentes retidos Na análise das concentrações elementares do PM ₁₀	136
TABELA 6.17: Pesos e comunalidades obtidos na análise de componentes principais das partículas inaláveis	138

SUMÁRIO

1	ESSÊNCIA E NATUREZA DO PROBLEMA	19
1.1	INTRODUÇÃO	19
1.2	JUSTIFICATIVA	21
1.3	OBJETIVOS	22
1.3.1	Objetivo Geral	22
1.3.2	Objetivos específicos	22
1.4	APRESENTAÇÃO DO TRABALHO	24
2	REVISÃO DE LITERATURA	25
2.1	POLUENTES ATMOSFÉRICOS	25
2.2	O EFEITO DA POLUIÇÃO DO AR NA SAÚDE HUMANA	29
2.3	OS PADRÕES DE QUALIDADE DO AR	35
2.4	MODELOS RECEPTORES	39
2.5	APLICAÇÃO DE TÉCNICAS NUCLEARES NA DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE ELEMENTOS TRAÇOS	43
2.5.1	Espectrometria de Fluorescência de Raios-X (FRX)	43
2.5.2	Análise por Ativação Neutrônica (AAN)	45
2.5.3	Difração por Raios-X (DRF)	48
3	A REGIÃO DE ESTUDO - O MUNICÍPIO DE SETE LAGOAS	49
3.1	LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO	49
3.2	CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO	50
3.3	PRINCIPAIS FONTES EMISSORAS DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS	51
3.3.1	Fontes Estacionárias	51
3.3.2	Fontes Móveis	56
3.4	HISTÓRICO DA QUALIDADE DO AR EM SETE LAGOAS	57
3.4.1	Considerações Gerais	57
3.4.2	Índice de Qualidade do Ar	61
4	MATERIAIS E MÉTODOS	67
4.1	METODOLOGIA DE AMOSTRAGEM	67
4.1.1	Critério de seleção do ponto amostral	67
4.1.2	Planejamento das Campanhas de Amostragem	74
4.1.3	Coleta do Material Particulado	75

4.1.4	Determinação da Distribuição do Tamanho das Partículas	77
4.1.5	Amostragem de Resíduos Sólidos	78
4.1.6	Amostragem de solo	79
4.1.7	Amostragem de Parâmetros Meteorológicos	79
4.2	METODOLOGIA ANALÍTICA	80
4.2.1	Gravimetria	81
4.2.2	Difração de Raios X	81
4.2.3	Espectrometria de Fluorescência de Raios-X	82
4.2.4	Análise por Ativação Neutrônica – AAN	82
5	ANÁLISE ESTATÍSTICA	85
5.1	Modelo de Análise Fatorial via Matriz de Correlação	86
5.2	Estimativa do número de fatores	89
5.3	Estimativa das cargas fatoriais e da variabilidade dos erros	90
5.4	Rotação de fatores	91
5.5	Programas de cálculos utilizados	92
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	93
6.1	CONCENTRAÇÃO DE MASSA DE MATERIAL PARTICULADO	93
6.2	DISTRIBUIÇÃO DO TAMANHO DE PARTÍCULAS	99
6.3	CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS	103
6.4	AVALIAÇÃO DA CONSISTÊNCIA DOS DADOS OBTIDOS DA APLICAÇÃO DE TÉCNICAS ANALÍTICAS.	108
6.5	CARACTERIZAÇÃO DAS PRINCIPAIS FONTES EMISSORAS DE MATERIAL PARTICULADO	114
6.5.1	Resultados da análise de concentração elementar utilizando a técnica de ativação neutrônica	115
6.5.2	Resultados das análises de concentração elementar pelo método de espectrometria de fluorescência de raios-x	118
6.5.3	Resultados das análises relativas à composição mineralógica	120
6.6	CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL PARTICULADO PRESENTE NOS AEROSSÓIS ATMOSFÈRICOS	123
6.6.1	Resultados da composição elementar utilizando a técnica de ativação neutrônica	123
6.6.2	Resultados das análises relativas à composição mineralógica	130

6.7 RESULTADOS DA ANÁLISE FATORIAL UTILIZANDO O MÉTODO DE COMPONENTES PRINCIPAIS	132
6.7.1 Análise das concentrações elementares das partículas totais em suspensão	132
6.7.2 Análise das concentrações elementares das partículas inaláveis	136
7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	139
7.1 CONCLUSÕES	139
7.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	143
REFERÊNCIAS	
APÊNDICE A – RESULTADOS OBTIDOS POR AAN	
APÊNDICE B – RESULTADOS OBTIDOS POR FRX	
APÊNDICE C – RESULTADOS OBTIDOS POR DRX	
APÊNDICE D – LIMITES DE DETECÇÃO DA TÉCNICA AAN	

ESTUDOS DA POLUIÇÃO DO AR DO MUNICÍPIO DE SETE LAGOAS, MG UTILIZANDO TÉCNICAS NUCLEARES

Paula Guimarães Moura Queiroz

RESUMO

Metais tóxicos, tais como Ni, V, Zn, Cu, Cr, Mn e metalóides como o As e Se e seus compostos estão associados, principalmente, com a fração fina do material particulado presente nos aerossóis. Este fato é importante, em especial, do ponto de vista de saúde pública, pois esta é considerada a fração respirável de partículas que pode penetrar nas vias pulmonares e causar danos à região alveolar. Uma vez que na atmosfera as concentrações de metais traços, em geral, encontram-se em níveis muito baixos, a determinação da composição elementar dessas partículas requer o uso de técnicas analíticas apropriadas tais como o PIXE (*Particle Induced X-Ray Emission*), a análise por ativação neutrônica (AAN) e a espectrometria de fluorescência de raios – X (FRX), entre outras.

O principal objetivo do presente estudo foi a identificação das fontes geradoras do material particulado presente nos aerossóis atmosféricos do município de Sete Lagoas, um centro urbano de médio porte, onde se concentram diferentes tipos de indústrias. Para tanto, foram coletadas amostras de solo e de resíduos sólidos gerados pelas principais tipologias industriais da região, as quais incluem as indústrias de produção de ferro-gusa a carvão vegetal, a extração e/ou beneficiamento de calcário e a fabricação de concreto e produtos cerâmicos, bem como do material particulado total em suspensão (PTS) e do particulado inalável (PM₁₀), ou seja, de partículas com diâmetro aerodinâmico menor que 10 µm. A medida da concentração de elementos traços presentes em cada uma das amostras foi realizada utilizando-se as técnicas de AAN e FRX e a determinação da sua composição mineralógica foi feita pela técnica de difração de raios-X.

As análises por ativação neutrônica e de espectrometria de raios-X dos resíduos sólidos e de solo mostraram que os elementos químicos predominantes nestas amostras são o Al, Ba, Ca, Fe, K, Mg, Na, Ti e Zn. A análise da composição mineralógica indicou a presença marcante de silicatos (quartzo, microclina) carbonatos (calcita) e óxidos de ferro (hematita) nestas amostras.

Durante o período de amostragem (11/01/2005 to 13/02/2005) foram observados altos níveis de concentração de material particulado. Os resultados de concentração massa para PTS indicaram que a qualidade do ar foi considerada Inadequada ou Má em 76% dos dias de amostragem. Para PM₁₀ foi observado que em 53 % dos dias, a qualidade do ar foi

considerada como Regular. A determinação da distribuição do tamanho das partículas dos aerossóis atmosféricos sugeriu que aproximadamente 80% das partículas possuem diâmetro aerodinâmico menor que 2,5 μm .

Os resultados da análise por ativação neutrônica mostraram que o Al, Fe, Cl, Cu, K, Mg e Na são os elementos químicos predominantes no PTS e o Na, Cu, Fe, Ba, Cl, Eu e Sm nas partículas inaláveis PM_{10} . A análise da composição mineralógica pelo método de difração de raios-X indicou que a calcita (> 30%) e o quartzo (10 a 30%) são os minerais predominantes nas amostras de PTS e PM_{10} .

O modelo receptor utilizado foi a Análise de Componentes Principais, o qual identificou três perfis de fontes para PTS e quatro para o material PM_{10} . Os resultados indicaram que as fontes poluidoras que mais contribuem na degradação da qualidade do ar na região são: a ressuspensão da poeira de solo, os processos industriais (produção de ferro-gusa e fabricação de concreto e produtos cerâmicos) e a queima combustíveis fósseis.

Studies of air pollution in the municipal district of Sete Lagoas, MG using nuclear techniques

Paula Guimarães Moura Queiroz

ABSTRACT

Toxic metals, such as Ni, V, Zn, Cu, Cr, Mn and metalloids as As and Se and their compositions are associated mainly with the smaller diameter particulates present in the atmospheric aerosols. This fact is important, principally, when it concerns public health, because this is considered the breathable fraction of particles that can penetrate deeply into the lungs and cause damage to the alveoli. Once in the atmosphere the concentrations of trace metals, in general, show very low levels, the determination of the elementary composition of those particles requires the use of appropriate analytical techniques such as Particle Induced X-Ray Emission (PIXE), neutron activation analysis (NAA) and of X-rays fluorescence spectrometry (XRF), among others.

The main objective of this study was the identification of the generating sources of suspended particles present in the atmospheric aerosols of the municipal district of Sete Lagoas, a medium sized urban center, where different types of industries are found. In order to achieve that, soil samples and of solid wastes generated by the main industries of the area were collected. These include the industries of pig iron production that uses charcoal, the extraction and/or improvement of limestone and the fabrication of concrete and ceramic products, as well as the amount of total suspended particles (TSP) and of PM₁₀ particles (those with an aerodynamic diameter smaller than 10 µm). The measurement of the concentration of trace elements present in each one of the samples was accomplished using the NAA and XRF techniques and the determination of its mineralogical composition was carried out through the technique of X-ray diffraction.

The analyses by NAA and XRF of the solid wastes and of soil showed that the predominant chemical elements in these samples are Al, Ba, Ca, Fe, K, Mg, Na, Ti and Zn. The mineralogical composition analysis indicated the outstanding presence of silicate (quartz, microcline) carbonates (calcite) and oxides of iron (hematite) in these samples.

High levels of particulate concentrations were measured during the sampling period (01/11/2005 to 02/13/2005). The mass concentration results for TPS indicated that in 76% of the days the air quality was considered Inadequate or Bad. The PM₁₀ results showed that in 53% of the days the air quality was considered Reasonable. The determination of the size distribution of the particles presented in the atmospheric aerosols suggested that approximately 80% of the particles possess smaller aerodynamic diameter than 2.5 µm.

The results of the neutron activation analysis showed that Al, Fe, Cl, Cu, K, Mg and Na are the predominant chemical elements in the TPS and Na, Cu, Fe, Ba, Cl, Eu and Sm in PM₁₀. The analysis of the mineralogical composition by the method of X-ray diffraction indicated that calcite (> 30%) and quartz (10 to 30%) are the most abundant minerals present in both, TPS and PM₁₀.

The receptor model used was the Main Component Analysis that identified three profiles of sources for TPS and four profiles for PM₁₀. The results indicated that the pollutant sources that contribute the most for the degradation of the quality of the air in the region are: resuspended soil dust, industrial processes (pig iron production and the fabrication of concrete and ceramic products) and the burning of fossil fuels.

CAPÍTULO 1

1. ESSÊNCIA E NATUREZA DO PROBLEMA

1.1. INTRODUÇÃO

A degradação ambiental decorrente da emissão de poluentes atmosféricos vem crescendo nos últimos anos, principalmente, em virtude da expansão populacional e industrial, alcançando não apenas os grandes centros urbanos e industriais, onde a qualidade do ar se apresenta inadequada, em especial, nos períodos de estiagem e inverno, mas também os centros urbanos menores, onde a concentração de fontes de emissão atmosférica tem aumentado de forma significativa.

Um poluente atmosférico é qualquer substância presente no ar, cujos níveis de concentração tendem a torná-lo impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e à flora ou prejudicial à segurança e às atividades normais da comunidade. Nas discussões tradicionais, a poluição do ar é normalmente caracterizada por apresentar substâncias no estado sólido (partículas) ou gasoso. Apesar da utilização dos termos gases e partículas, na realidade a poluição pode ser representada pelos três estados da matéria (ANDRADE, 1993). O sistema físico constituído por partículas sólidas ou líquidas em suspensão no ar é chamado de aerossol. De acordo com Alves (2005), os estudos de caracterização dos aerossóis atmosféricos devem incluir a realização de diferentes tipos de análises para a determinação da concentração de massa do material particulado, da distribuição do diâmetro aerodinâmico das partículas e da sua composição elementar.

A composição elementar irá depender da fonte ou origem, bem como do seu comportamento na atmosfera, podendo existir centenas de espécies químicas diferentes. Entre elas, podem ser citadas aquelas que se concentram preferencialmente nas partículas mais finas, tais como, nitratos, sulfatos, hidrocarbonetos, carbono elementar e uma variedade de elementos traços.

É importante salientar que a deposição do pó inalado ao longo do sistema respiratório é fortemente dependente da distribuição média do tamanho das partículas e da composição elementar de cada fração identificada. Uma partícula que apresenta uma concentração elevada

de elementos traços pode causar uma alteração no DNA de uma célula pulmonar e, conseqüentemente, um câncer de pulmão.

A avaliação da qualidade do ar baseia-se em técnicas experimentais e teóricas. As medições experimentais podem ser realizadas em estudos de campo ou de laboratório. Porém, além de custo elevado, elas fornecem informações sobre as condições atmosféricas para um determinado momento e local particular (CETESB, 2002).

Os estudos de avaliação da qualidade do ar envolvem a previsão dos níveis de concentração de poluentes em uma determinada região com o objetivo de identificar e evitar possíveis danos provocados por novas fontes emissoras ou ainda, pela modificação de fontes já existentes. Estes estudos requerem a utilização de modelos matemáticos de simulação numérica do processo de dispersão dos poluentes na atmosfera. Entretanto, a atmosfera é um sistema complexo e, por isso, são necessárias simplificações para que suas propriedades físico-químicas sejam descritas por modelos matemáticos. Em muitos casos, os resultados obtidos com estes modelos não são suficientes para fornecer as informações necessárias que contribuam para o desenvolvimento de estratégias efetivas no gerenciamento da qualidade do ar. Por exemplo, a quantificação das responsabilidades de emissão pode ser feita, a partir de modelos de dispersão atmosférica, quando são conhecidas todas as fontes presentes na região e suas emissões típicas (CETESB, 2002). Mas, em geral, isto não é possível porque as emissões podem variar com o tempo de uma forma não conhecida e os processos industriais nem sempre são completamente descritos para todas as fontes. Além disso, deve ser considerada a dificuldade de coleta e análise de amostras de uma chaminé de fábrica para obtenção de suas emissões características.

Com essa perspectiva e levando-se em conta o fato de que os elementos medidos nos receptores carregam informações sobre as suas fontes de origem pode-se partir para um procedimento de identificação das fontes poluidoras, conhecido como modelo receptor, que dispensa o conhecimento preciso da assinatura das fontes (HOPKE, 1991). Esse procedimento é baseado no tratamento estatístico dos dados de concentração de elementos traços presentes no material particulado fino e grosso e de parâmetros meteorológicos, sendo utilizados métodos de análise estatística multivariada, os quais consideram a correlação entre muitas variáveis analisadas ao mesmo tempo. Entre os diversos métodos, o mais comum é a Análise de Componentes Principais (ACP), que é *um método descritivo e exploratório, adequado*

quando se deseja explorar, interpretar e reduzir dados, gerar hipóteses a partir dos dados coletados e testar estas hipóteses (SENA et al, 2000).

Alguns metais são necessários às funções biológicas e outros podem apresentar efeitos tóxicos à saúde humana e ao meio ambiente, mesmo em baixas concentrações. A determinação da concentração destes elementos na atmosfera muitas vezes requer o uso de técnicas analíticas apropriadas que permitam a medida de teores da ordem de traços (ppm ou ppb por m³ de ar).

Existem vários métodos para medida da concentração de elementos traços presentes no material particulado do ar (LANDSBERGER & CREATHMAN,1999), podendo ser citados os métodos de análise multielementar, tais como o PIXE (*Particle Induced X-ray Emission*), a Análise por Ativação Neutrônica (AAN) e a Espectrometria de Fluorescência de Raios-X (FRX). Existem ainda outros métodos analíticos que requerem o preparo químico das amostras em uma etapa anterior à análise, tais como: a Espectroscopia por Absorção Atômica (AA) e a Espectrometria de Emissão Atômica com Plasma Acoplado (ICP-AES). Evidentemente, a escolha do método é função do que se pretende analisar e da disponibilidade de equipamentos.

1.2. JUSTIFICATIVA

O município de Sete Lagoas, localizado na região de planejamento Centro-Oeste do estado de Minas Gerais, concentra um grande número de pequenas e médias indústrias, em especial, as usinas de produção de ferro-gusa a carvão vegetal. Relatórios estatísticos, gerados a partir dos resultados de monitoramento da qualidade do ar nesse município (PROJETO MINAS AMBIENTE, 2002), demonstraram que em alguns dos pontos de amostragem, os níveis de material particulado na atmosfera local são elevados e que, dependendo da época do ano, podem estar acima dos limites estabelecidos pela legislação ambiental (CONAMA, 1990). Este fato, associado às informações relativas às taxas de emissão de material particulado e às características peculiares das tipologias industriais predominantes na região, levou a agência ambiental estadual do estado de Minas Gerais a deliberar normativas para disciplinar o lançamento de efluentes atmosféricos na região.

Diante da necessidade de regulamentar as emissões atmosféricas como forma de garantir uma melhoria da qualidade do ar de Sete Lagoas, a principal contribuição deste trabalho é feita por meio de um estudo experimental para identificação das principais fontes

de emissão e caracterização do material particulado presente no aerossol atmosférico. Os resultados obtidos servirão como subsídio para os órgãos ambientais, empresas e comunidade em geral no que tange à identificação das fontes e processos de geração de material particulado, bem como para a seleção de medidas de controle da qualidade do ar mais eficientes, tanto do ponto de vista econômico como ambiental.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo Geral

O presente trabalho tem por objetivo principal a identificação das fontes geradoras do material particulado presente nos aerossóis atmosféricos do município de Sete Lagoas, um centro urbano de médio porte, onde se concentram diferentes tipos de indústrias.

1.3.2. Objetivos Específicos

- 1) Determinação da concentração de massa e da distribuição granulométrica do material particulado coletado na região em estudo.
- 2) Caracterização mineralógica e determinação da composição elementar, por meio do uso de técnicas nucleares, de amostras de solo, resíduos sólidos gerados pelas principais tipologias industriais do município de Sete Lagoas e do material particulado presente nos aerossóis atmosféricos.
- 3) Quantificação da contribuição da participação de cada uma das fontes nas concentrações do particulado medido com aplicação de análise fatorial utilizando o Método de Componentes Principais (ACP).

Para cumprimento do proposto neste estudo foram planejadas e desenvolvidas ações buscando:

- identificar as fontes potencialmente poluidoras instaladas e em operação no município de Sete Lagoas;
- caracterizar os processos fabris das fontes poluidoras da região de Sete Lagoas por meio dos instrumentos administrativo de licenciamento ambiental existentes na Fundação Estadual de Meio Ambiente (FEAM);

- caracterizar os insumos, matérias-primas e produtos utilizados e fabricados nas plantas industriais da região;
- localizar as fontes com emissões atmosféricas mais significativas através de coordenadas obtidas por satélite (GPS)
- realizar campanha de amostragem do ar para Partículas Totais em Suspensão e para Partículas Inaláveis, durante um período de 30 dias;
- coletar resíduos sólidos expostos nos pátios das empresas potencialmente poluidoras da região;
- analisar qualitativamente e quantitativamente o material amostrado por meio do uso de técnicas nucleares;
- definir as assinaturas de fonte.

1.4. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

Esta pesquisa encontra-se estruturada em sete capítulos, cada um com um tema específico relativo ao objeto de estudo.

O Capítulo 1 – *Essência e Natureza do Problema*: caracteriza a relevância do estudo.

O Capítulo 2 – *Revisão da Literatura*: são apresentadas as informações sobre a natureza, as interferências da poluição atmosférica no meio ambiente e seus efeitos à saúde humana.

O Capítulo 3 – *A Região de Estudo*: trata dos aspectos fisiográficos do município de Sete Lagoas, da geologia, do solo e das condições climáticas. Apresenta também um histórico da qualidade do ar no município, bem como a distribuição e qualificação das fontes poluidoras da região.

O Capítulo 4 – *Materiais e Métodos*: descreve a metodologia de amostragem e de análise da composição química dos elementos traços presentes nos aerossóis atmosféricos da região.

O Capítulo 5 – *Análise Estatística*: são apresentadas as metodologias utilizadas no tratamento estatístico dos dados.

O Capítulo 6 – *Resultados e Discussões*: relata os resultados gerados por cada técnica analítica utilizada e discute a coerência das informações obtidas.

O Capítulo 7 – *Conclusões e Recomendações*: Aborda os indicativos dos resultados avaliados na pesquisa. Recomenda a continuidade dos estudos e ampliação das investigações realizadas.

CAPÍTULO 2

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. POLUENTES ATMOSFÉRICOS

O desenvolvimento industrial e urbano tem originado em todo o mundo um aumento crescente da emissão de poluentes atmosféricos. O acréscimo das concentrações atmosféricas dessas substâncias, a sua deposição no solo, nos vegetais e nos materiais são fatores responsáveis por danos à saúde humana, redução da produção agrícola, danos às florestas, degradação de construções e de obras de arte e que, de uma forma geral, causam desequilíbrios nos ecossistemas.

Em geral, o significado do termo poluente e contaminante confundem-se na linguagem do dia-a-dia; entretanto, no campo científico eles têm significados distintos. O termo contaminante é usado para designar uma substância química em uma amostra, sem evidência de que ela cause mal; o termo poluente é usado em casos em que a presença de uma substância é danosa (MANAHAN, 2004).

A legislação ambiental define que qualquer substância presente no ar atmosférico que, pela sua concentração possa tornar esse ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e à flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade pode ser considerada um poluente do ar (CONAMA, 1990).

Os poluentes lançados diretamente na atmosfera pela fonte que os produziu são chamados de poluentes primários; aqueles formados na atmosfera por reações químicas que ocorrem entre os poluentes primários e os constituintes naturais do ar são chamados de poluentes secundários.

As substâncias químicas normalmente consideradas poluentes do ar são (FEAM, 2005):

- material particulado (MP): poeiras e aerossóis em suspensão;
- compostos de enxofre: SO₂, SO₃, H₂S, sulfatos;
- compostos de nitrogênio: NO; NO₂; NH₃, HNO₃, nitratos;

- compostos orgânicos: hidrocarbonetos, álcoois, aldeídos, cetonas e ácidos orgânicos;
- compostos halogenados: HF, HCl, cloretos, fluoretos;
- monóxido de carbono (CO) e dióxido de carbono (CO₂);
- ozônio (O₃);
- radioativos.

A concentração dessas substâncias em áreas urbanas pode causar sérios problemas de poluição e, conseqüentemente, a degradação da qualidade ambiental. As fontes antropogênicas que mais contribuem para a poluição do ar são: a geração de energia, o transporte e as atividades industriais (ALVES, 2005). Dependendo dos tipos de fontes existentes e de suas interações com outros componentes presentes na atmosfera, as composições químicas dos poluentes, bem como os seus impactos causados à saúde humana podem ser diferentes. As queimadas também são fontes importantes de poluição do ar, podendo causar problemas respiratórios sérios à população (ARBEX *et al.*, 2004).

Na TAB. 2.1 são apresentadas as principais fontes de poluição atmosférica, os poluentes associados a cada uma delas, bem como os efeitos à saúde humana e ao meio ambiente decorrentes da exposição a cada uma das substâncias químicas relacionadas.

TABELA 2.1.

Principais fontes de poluição atmosférica.

Poluentes	Fontes	Processos	Efeitos
Óxidos de Enxofre (SO_x)	Antropogênicas	Combustão (refinarias, centrais térmicas, veículos diesel)	Afeta o sistema respiratório
		Processos Industriais	Chuvas ácidas
	Naturais	Vulcanismo Processos biológicos	Danos em materiais
Óxidos de Nitrogênio (NO_x)	Antropogênicas	Combustão (veículos e indústria)	Afeta o sistema respiratório
	Naturais	Emissões da vegetação	Chuvas ácidas
Compostos Orgânicos Voláteis (VOC)	Antropogênicas	Refinarias	Poluição fotoquímica
		Petroquímicas	
		Veículos Evaporação de combustíveis e solventes	Afeta a saúde humana (aumento do número de casos de câncer)
Monóxido de Carbono (CO)	Antropogênicas	Combustão (veículos)	Reduz a capacidade de transporte de oxigênio no sangue
	Naturais	Emissões da vegetação	
Dióxido de Carbono (CO₂)	Antropogênicas	Combustão	Contribui para o efeito de estufa
	Naturais	Queimadas florestais	
Chumbo (Pb)	Antropogênicas	Gasolina com chumbo	Tóxico acumulativo
		Incineração de resíduos	Anemia e destruição de tecido cerebral

Fonte: ALVES, 2005; CETESB, 2002

TABELA 2.1.

Continuação...

Poluentes	Fontes	Processos	Efeitos
Material Particulado	Antropogênicas	Combustão	Alergias respiratórias Vetor de outros poluentes (metais, compostos orgânicos carcinogênicos)
		Processos industriais	
		Condensação de outros poluentes	
		Extração de minerais	
	Naturais	Erosão eólica	
CFC's e compostos halogenados	Antropogênicas	Vulcanismo	Destruição da camada de ozônio Contribui para o efeito de estufa
		Aerossóis	
		Sistemas de refrigeração	
		Espumas, sistemas de combate a incêndios.	

Fonte: ALVES, 2005; CETESB, 2002

O material particulado, por si só, não se constitui em uma espécie química definida, mas sim num conjunto de partículas no estado sólido ou líquido, as quais incluem pós, poeiras, fumaças e aerossóis emitidos para a atmosfera por indústrias, veículos, construção civil, arraste natural de poeiras, etc. Basicamente, esse material pode ser dividido em duas modalidades definidas por intervalos de tamanho onde se tem maior concentração de partículas: a moda das partículas finas, menores que 2,5 µm de diâmetro aerodinâmico e a moda de partículas grossas, maiores que 2,5 µm. Essa divisão é bastante conveniente, uma vez que frações de diâmetros aerodinâmicos diferentes possuem propriedades físicas e químicas distintas (ANDRADE, 1993).

A moda grossa é geralmente constituída por partículas primárias, formadas a partir de processos mecânicos, como ressuspensão de poeira de solo por ventos, sal marinho, cinzas de combustão e emissões biogênicas naturais. A moda fina contém partículas primárias geradas por processos de combustão por indústrias, veículos e partículas secundárias, provenientes da formação de partículas na atmosfera a partir de gases, como por exemplo, a formação de sulfatos a partir de SO₂. (PANDIS *et al.*, 1993) Estas, por sua vez, possuem um tempo de

permanência de dias a semanas na atmosfera e podem ser transportadas a longas distâncias por correntes de ar favoráveis, interferindo na química e na física da atmosfera, não somente em escala local, mas também, em escala regional e global (LIU & LIPTAK, 1997).

O particulado inalável (conjunto que engloba as partículas das modas fina e grossa menores que 10 μm) é, basicamente, constituído por sulfatos, nitratos, amônia, aerossol carbonáceo, sais marinhos (NaCl), elementos de solo (Al, Ca, Fe, Si, Ti), metais (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, V, Zn e outros) e água (TURPIN, 1999).

2.2. O EFEITO DA POLUIÇÃO DO AR NA SAÚDE HUMANA

De acordo com a Organização Mundial de Saúde, a poluição atmosférica vem contribuindo de forma significativa para um aumento no número de casos de doenças respiratórias, principalmente, nos países em desenvolvimento onde o controle das emissões atmosféricas é feito de forma precária. Vários estudos (SPADARO, 1999, SUNYER *et al.*, 1996, POPE *et al.*, 1994, OSTRO, 1987) demonstram que existe uma forte correlação entre a ocorrência de impactos físicos à saúde humana, ecossistemas e construções (por exemplo, ataques asmáticos em adultos e crianças, irritação dos olhos, admissões hospitalares decorrentes de problemas respiratórios, perda de dias de trabalho, doenças do coração, perda da expectativa de vida, aumento do número de casos de cânceres, diminuição da produção agrícola, destruição de monumentos históricos, redução da visibilidade, etc) e o aumento dos níveis de concentração de poluentes (material particulado em suspensão, NO_x , SO_2 , poluentes secundários devido à reação química entre os poluentes, entre outros) na atmosfera (ASTDR, 2001).

Pesquisas feitas na Universidade de São Paulo mostraram que a poluição do ar pode também causar mutações genéticas devido à fuligem e outros tipos de aerossóis dispersos no ar (MACCHIONE, 1999; SALDIVA *et al.*, 1992). Pesquisas recentes feitas nos Estados Unidos indicaram que cerca de 64.000 pessoas morrem prematuramente a cada ano em decorrência de problemas cardiopulmonares associados à poluição do ar (NRDC, 2005).

O conhecimento dos efeitos adversos da poluição atmosférica na saúde humana é muito antigo, havendo registros em estudos arqueológicos desde a época medieval (MURRAY, 1998). A partir da industrialização dos grandes centros, vários episódios de emissão de altas concentrações de poluentes pelas indústrias, associados às condições

meteorológicas desfavoráveis, mostraram, na prática, quais seriam os possíveis efeitos da poluição atmosférica sobre a saúde humana e no meio ambiente.

O primeiro caso documentado na literatura ocorreu no Vale de Meuse, na Bélgica, onde houve aumento de doenças respiratórias, de complicações cardiovasculares e excesso de 60 mortes (FIRKET, 1931). Nos Estados Unidos, a cidade de Donora, Pensilvânia, teve 43% da população afetada, entre os dias 26 a 31 de outubro de 1948, devido a altos níveis de poluentes atmosféricos (BASCON, 1996). A cidade de Londres, na Inglaterra registrava picos de poluição atmosférica desde 1873, nos quais se detectava excesso de mortes, mas foi em 1952 que se registrou o episódio mais dramático, chegando a um excesso de 4.000 mortes num período de 6 dias. Este fato só foi comparável à epidemia de cólera (1854) e de gripe (1818 -19).

A partir das ocorrências citadas acima iniciou-se todo um movimento de regulamentação dos níveis permitidos de poluentes, acoplado à adoção de medidas de controle. Estas medidas surtiram efeito, e atualmente não são observados episódios críticos de poluição nos países desenvolvidos. Entretanto, estes têm sido registrados nos países em desenvolvimento, particularmente, em decorrência de acidentes ou de queimadas.

Diversos estudos (SEINFELD, 1986; USEPA, 1999; MURRAY, 1998; LIN, 1997) relacionados aos efeitos da poluição na saúde mostram que a exposição ao particulado fino ($< 2,5 \mu\text{m}$) pode causar mortes prematuras e problemas respiratórios, pois é esta a fração que atinge as vias respiratórias inferiores (nível alveolar), onde os mecanismos de expulsão destes poluentes não são eficientes. As evidências sobre os efeitos danosos do $\text{PM}_{2,5}$ à saúde humana levaram a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos – EPA a criar um padrão de qualidade do ar específico para esta fração fina do particulado inalável (USEPA, 1999). O particulado grosso, contudo, tende a acumular nas vias respiratórias superiores, agravando problemas como o da asma, principalmente, em pessoas com deficiência respiratória. Nas vias superiores existem mecanismos naturais de expulsão do particulado, cuja eficiência é diferente quando, são comparadas pessoas saudáveis com pessoas que apresentam problemas respiratórios (BACONYI *et al.*, 2004).

Estudos realizados pela Faculdade de Medicina da USP (SALDIVA *et al.*, 1994, 1995) mostraram um aumento de 23% do número de admissão de crianças menores de 13 anos em prontos socorros em São Paulo, nos dias em que as concentrações de partículas inaláveis (partículas com diâmetro aerodinâmico menores que $10 \mu\text{m}$) chegaram a $95 \mu\text{g}.\text{m}^{-3}$.

A presença de material particulado na atmosfera causa também o aumento da turbidez do ar reduzindo, portanto, a sua visibilidade.

Substâncias tóxicas e carcinogênicas podem ser adsorvidas no material particulado, aumentando os riscos de adoecimento das pessoas (POPE *et al.*, 1995). Por exemplo, alguns elementos traços são considerados essenciais ao organismo humano e outros não. A deficiência de um elemento essencial como sódio, potássio, magnésio, cálcio, zinco, ferro, cobre, níquel, estanho e vanádio, entre outros, provoca sintomas clínicos perceptíveis. O cobre, o zinco, o ferro e o cobalto participam nos processos de compostos enzimáticos, fazendo parte do sistema doador de elétrons no organismo. No entanto, até os elementos metálicos essenciais desempenham atividades tóxicas quando sua incorporação no organismo é excessiva (IBAMA, 1994). Os elementos não-essenciais como o mercúrio, o cádmio, o chumbo e o arsênio, etc não são necessários às funções biológicas e podem apresentar efeitos tóxicos, mesmo em baixas concentrações.

Os efeitos adversos provocados à saúde humana por alguns dos elementos traços de interesse para o presente trabalho são descritos a seguir (CETESB, 2001 e USEPA, 2005).

O alumínio (Al) é o principal constituinte de um grande número de componentes atmosféricos, particularmente, de poeira derivada de solos e partículas originadas da combustão de carvão. Em áreas urbanas, a concentração de Al na poeira das ruas varia de 3,7 a 11,6 $\mu\text{g.kg}^{-1}$. A principal via de exposição humana não ocupacional é pela ingestão de alimentos e de água. Há considerável evidência que o alumínio é neurotóxico. O acúmulo deste elemento no homem tem sido associado ao aumento de casos de demência senil do tipo Alzheimer.

A concentração de bário (Ba) na crosta terrestre geralmente encontra-se entre 300 e 500 mg.kg^{-1} . É um metal que existe naturalmente, como minério barita (sulfato de bário). A maior aplicação da barita é como um fluido de perfuração. O nível natural em solo está na faixa de 100 a 3000 mg.kg^{-1} ; sendo a média de 500 mg.kg^{-1} . A principal via de exposição humana é a ingestão de água e de alimentos, não sendo a inalação uma via considerada importante. A exposição aguda pode levar à ocorrência de efeitos deletérios tais como náuseas, vômitos e diarreias, seguido por estimulação muscular. Podem ocorrer gastroenterites, perda de reflexos e paralisia muscular. Exposição crônica, por via respiratória, resulta em “pneumocosis”, conhecida como “baritones”. Não há evidências de carcinogenicidade.

O chumbo (Pb) ocorre na crosta terrestre em uma concentração média de 15 mg.kg^{-1} . Está presente no combustível fóssil, embora a partir da década de 80 sua concentração tenha diminuído drasticamente. O Pb é emitido para a atmosfera em grandes quantidades em áreas urbanas por incineração de resíduos e descarga de efluentes. Outra fonte relevante são os resíduos metalúrgicos/sucata. Em áreas urbanas, próximas às siderúrgicas, tem sido reportado um valor de concentração da ordem de $10 \text{ } \mu\text{g.m}^{-3}$, enquanto que em cidades onde o chumbo não é adicionado à gasolina, a concentração está abaixo de $0,2 \text{ } \mu\text{g.m}^{-3}$. Níveis naturais no solo variam entre 10 e 70 mg.kg^{-1} e a média em solos próximos às estradas é de 138 mg.kg^{-1} . Dependendo do nível e duração da exposição, o Pb pode acarretar uma variedade de danos à saúde humana, incluindo desde efeitos subcelulares até a inibição de enzimas a mudanças morfológicas e a morte. Os efeitos crônicos produzem sintomas de perda de apetite, constipação, anemia, fraqueza, cólicas e dores musculares e nas juntas.

O cobre (Cu) ocorre na crosta terrestre em uma concentração média de 50 mg.kg^{-1} . Na indústria é utilizado para fiação elétrica, galvanização, produção de ligas, conservante de pintura e na fabricação de tubulações hidráulicas. Na forma de sulfato de cobre é usado como algicida e fungicida. A inalação e absorção dermal são geralmente desprezíveis, existindo poucos casos reportados para efeitos agudos.

O cromo (Cr) ocorre na crosta terrestre em uma concentração média de 100 mg.kg^{-1} . O uso primário metalúrgico do cromo é produção de ligas que são usadas em aço inox e outros produtos especializados. As emissões atmosféricas de cromo são provenientes das indústrias, queima de combustíveis fósseis e incineração de resíduos. O cromo ocorre no ar em concentrações menores de $0,1 \text{ } \mu\text{g.m}^{-3}$, embora este valor possa variar de local para local. Nas proximidades de usina de cimento e incineradores municipais, podem ser encontrados valores de concentração no ar da ordem de 1000 mg.m^{-3} . A principal via de exposição da população em geral é a ingestão de alimentos e água, enquanto na exposição ocupacional é a inalação; também há a possibilidade de ocorrer dermatites por contato dermal. Na literatura têm sido reportados efeitos tais como bronquite, rinite e pneumonia. Existem evidências suficientes para carcinogenicidade respiratória por exposição ocupacional, via inalação, durante a produção de materiais cromados.

O manganês (Mn) ocorre na crosta terrestre em uma concentração média de 950 mg.kg^{-1} . Ele é utilizado principalmente na fabricação de ligas. Sua concentração no ar, em áreas rurais varia de 0,01 a $0,03 \text{ } \mu\text{g.m}^{-3}$ e em áreas próximas de indústrias de ferro/manganês é

da ordem de $0,5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. A principal via de exposição humana é a inalação. A suscetibilidade individual aos efeitos tóxicos pela exposição ao Mn é bastante variável. A concentração mínima que produz efeitos adversos sobre o sistema nervoso central não é conhecida, mas sinais podem ocorrer quando a concentração estiver entre 2 e $5 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$. A inalação de grandes doses resulta em necroses pulmonares localizadas. Efeitos crônicos são observados em trabalhadores de mineração e processamento de minério de manganês, fundição e indústrias de fabricação de baterias. Em populações residentes nas proximidades de indústrias de processamento de manganês, onde a exposição era de $1 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, houve aumento na incidência de doenças respiratórias.

O níquel (Ni) ocorre na crosta terrestre em uma concentração média de $75 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Áreas urbanas e rurais usualmente apresentam níveis de concentração no ar variando entre 5 a $35 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$. Os níveis mais altos foram encontrados em áreas largamente industrializadas e em grandes cidades. A inalação é uma via importante de exposição ao níquel. O níquel está normalmente presente em tecidos humanos e, sob condições de alta exposição, esses níveis podem crescer significativamente. A ocorrência de toxicidade aguda é rara. A exposição crônica pode provocar irritação de pele e olhos. Dermatites são resultados comuns à sua exposição, principalmente para mulheres. Efeitos tais como rinite, sinusite, perfurações no septo nasal e asma têm sido reportados em decorrência da exposição ocupacional de trabalhadores de refinaria e siderurgias. Não há evidência de carcinogenicidade causada por inalação de metal níquel presente em poeiras.

O selênio (Se) ocorre na crosta terrestre em uma concentração média de $0,1 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. É usado principalmente em células fotoelétricas, produção de vidro e cerâmica, retíficas e produção de ligas metálicas e borracha. Em menor aplicação, também é utilizado em inseticidas e agentes terapêuticos de uso utópico. A principal via de exposição humana não ocupacional é por alimentos. Para exposição ocupacional, a principal via é a inalação e, em alguns casos, o contato dermal. Os sinais de toxicidade mais marcantes documentados são associados à queda de cabelos e problemas nas unhas. A exposição industrial frequentemente resulta em respostas alérgicas e/ou de irritação, primeiramente nas mucosas e olhos. Efeitos crônicos são raros. Não há dados conclusivos sobre a sua carcinogenicidade ao homem. Alguns casos de câncer estão ligados à deficiência de selênio.

O vanádio (V) ocorre na crosta terrestre em uma concentração média de $150 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. O seu uso primário é na metalurgia. Também é utilizado como catalisador m

produção de plásticos e de ácidos nítrico e sulfúrico, corantes e tintas. A concentração de vanádio no ar varia consideravelmente em áreas rurais remotas, com níveis abaixo de 1 ng.m^{-3} , mas a queima de combustíveis fósseis pode aumentar essa concentração para 75 ng.m^{-3} . A concentração típica em áreas urbanas varia de 0,25 a 300 ng.m^{-3} . Grandes cidades têm a média da ordem de 20 a 100 ng.m^{-3} , com as maiores concentrações ocorrendo no inverno. Na vizinhança de indústrias metalúrgicas são freqüentemente encontradas concentrações de $1 \text{ } \mu\text{g.m}^{-3}$. Para a população em geral, a principal via de exposição é a ingestão de alimentos. Em exposição ocupacional a principal via é a inalação. Uma vez absorvido ele é concentrado no pulmão e em menor quantidade no intestino e pele. O sistema respiratório pode ser afetado, causando irritações no trato respiratório, tosses, rinites e bronquites crônicas. Há trabalhos relacionando a exposição a poeiras contendo vanádio, com irritações das mucosas, olhos, nariz e garganta. Não há indicação de carcinogenicidade ou mutagenicidade.

O zinco (Zn) ocorre na crosta terrestre em uma concentração de 70 mg.kg^{-1} . Ele é utilizado, principalmente, no revestimento de proteção do ferro e aço e fabricação de ligas e latão. Aproximadamente 34% do total emitido de zinco na atmosfera são provenientes de fontes naturais, o restante tem origem em produção do metal, queima de carvão e óleo, fertilizantes e produção de cimento. A principal via de exposição humana é a ingestão. A inalação é uma fonte insignificante para exposição não ocupacional. Dependendo da quantidade ingerida podem ocorrer sintomas de febre, diarreia, vômitos e outras irritações gastrointestinais.

Os efeitos adversos da poluição na saúde são mais notados em crianças, idosos e em pessoas que sofrem de doenças respiratórias e cardiovasculares. Nestas pessoas, os poluentes levam a um agravamento “do quadro da saúde”, desencadeiam infecções mais graves como bronquites, pneumonias, asma, câncer e podem também diminuir a expectativa de vida (ZMIRROU, 1996, SEINFELD, 1986; USEPA, 1999).

Várias pesquisas vêm sendo desenvolvidas para estabelecer uma relação entre a absorção de substâncias potencialmente perigosas presentes no ambiente e o desencadeamento de doenças (WHO, 1999 e USEPA, 2005). De acordo com Capra (1982) a saúde dos seres humanos é predominantemente determinada não por intervenção médica, mas pelo comportamento, pela alimentação e pelo ambiente onde vivem. Ele menciona, ainda, que as doenças infecciosas agudas que nos assombraram no século XIX estão sendo substituídas por doenças associadas à prosperidade e à complexidade tecnológica. São as chamadas

doenças crônicas e degenerativas (como cardiopatias - afecções do coração - câncer, diabetes), que receberam o nome de doenças da civilização, estando intimamente relacionadas às atitudes estressantes, dietas, abusos de drogas, vida sedentária e poluição ambiental, características da vida moderna.

Um exemplo é a doença causada pela Sensibilidade Química Múltipla ou SQM, também conhecida como Enfermidade Ambiental, que é uma reação a algumas substâncias químicas. Alguns dos sintomas básicos desta enfermidade incluem espirros, dificuldades cognitivas, perturbação do sono e problemas de coordenação motora. A causa destes sintomas é, basicamente, a incapacidade do corpo de metabolizar várias toxinas absorvidas pelo organismo. Tais doenças são complexas e, geralmente, não têm cura definitiva (ANDERS; DEKANT, 1994; BEHAN,1996).

2.3. OS PADRÕES DE QUALIDADE DO AR

Os padrões de qualidade do ar definem legalmente o limite máximo para a concentração de um poluente na atmosfera, que garanta a proteção da saúde e o bem estar das pessoas.

A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América (USEPA, 1999) estabeleceu dois tipos de padrões de qualidade do ar para os poluentes considerados nocivos à saúde humana e ao meio ambiente. O primeiro conhecido como Padrão Primário de Qualidade do Ar estabelece as concentrações de poluentes que, quando ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população. O outro, denominado Padrão Secundário de Qualidade do Ar, define os níveis de concentração de poluentes abaixo dos quais se prevê a ocorrência de efeitos adversos não apenas à população, mas também à fauna, à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral. Nas áreas urbanas aplicam-se somente os padrões primários; os secundários são aplicados em áreas de preservação.

No Brasil, os padrões nacionais de qualidade do ar (vide TAB. 2.2) que definem legalmente um limite máximo de concentração de um poluente na atmosfera, que garanta a proteção à saúde e ao bem-estar das pessoas, foram estabelecidos por portaria do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA [Portaria Normativa IBAMA nº 348 DE 14/03/1990] e transformados em Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA (CONAMA, 1990). Existe uma equivalência entre

os padrões nacionais e os da agência americana a menos do controle do particulado fino e dos elementos químicos, que não constam dos padrões nacionais.

TABELA 2.2.

Padrões de qualidade do ar

Parâmetros	Tempo de recorrência	Padrão primário (mg.m⁻³)	Padrão secundário (mg.m⁻³)
Partículas Totais em Suspensão (PTS)	anual ⁽¹⁾	80	60
	24 horas	240 ⁽²⁾	150 ⁽²⁾
Partículas Inaláveis (PM₁₀)	anual	50	50
	24 horas	150 ⁽²⁾	150 ⁽²⁾
Dióxido de enxofre (SO₂)	anual	80	40
	24 horas	365 ⁽²⁾	100 ⁽²⁾
Monóxido de carbono (CO)	8 horas	10.000	10.000
	1 hora	40.000 ⁽²⁾	40.000 ⁽²⁾
Dióxido de Nitrogênio (NO₂)	anual	100	100
	1 hora	320	
Ozônio (O₃)	1 hora	160 ⁽²⁾	160 ⁽²⁾
Fumaça	anual	60	40
	24 horas	150 ⁽²⁾	100 ⁽²⁾

FONTE – CONAMA (1990)

⁽¹⁾: média geométrica

⁽²⁾: não pode ser excedida mais de uma vez por ano.

Os índices de Qualidade do Ar constituem uma forma amplamente utilizada para simplificar o processo de divulgação e facilitar a compreensão da população quanto aos resultados do monitoramento de determinado poluente. Estes índices foram estabelecidos com base no *PSI (Pollutant Standart Index)* da *EPA/USA*, cujo desenvolvimento se baseou numa experiência acumulada de vários anos nos Estados Unidos e Canadá (CETESB, 1995), sendo

também um procedimento adotado pelo Centro Tecnológico de Minas Gerais (CETEC) e pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). O valor desse índice relaciona-se, diretamente, com a concentração medida do poluente. Em função desse valor, o ar recebe uma qualificação conforme a escala mostrada na TAB.2.3:

TABELA 2.3

Índice de Qualidade do Ar

Índice	Qualidade do Ar
0 – 50	Boa
51 - 100	Regular
101 - 199	Inadequada
200 - 299	Má
300 - 399	Péssima
> 400	Crítica

FONTE – CETESB (1995)

Além dos padrões de qualidade do ar, os governos estaduais e suas agências ambientais, vêm regulamentando as emissões de uma variedade de fontes de degradação tais como: usinas de geração de energia elétrica, descargas de veículos e várias fontes industriais.

Em face deste panorama e ao cenário ambiental que se desenvolve em torno destes empreendimentos, o Conselho de Política Ambiental (COPAM) do estado de Minas Gerais, estabeleceu limites de emissão de particulados em zonas rurais e urbanas, com padrões diários e médios de concentração de material particulado, para as emissões provenientes de diferentes tipos de tipologias industriais. Por exemplo, para as indústrias de produção de ferro-gusa localizadas em áreas urbanas foi estabelecido um valor de taxa de emissão correspondente a 200 mg/Nm³ (COPAM, 1998).

Pesquisas feitas nos Estados Unidos, China e Santiago do Chile (MURRAY, 1998, ZMIRROU, 1996) indicaram que mesmo quando os padrões de emissão são obedecidos e, portanto, a concentração de material particulado na atmosfera encontra-se abaixo dos limites estabelecidos pela legislação ambiental existe a possibilidade da ocorrência de efeitos deletérios à saúde humana, principalmente, o aumento na admissão em prontos socorros e o incremento da taxa de mortalidade.

Conforme mencionado anteriormente, a legislação nacional e a estadual (CONAMA, 1990 e COPAM, 1996) estabelecem critérios de qualidade do ar considerando apenas a concentração e a granulometria do material particulado sem, no entanto, considerar a sua composição química. Ao contrário, muitos países estão identificando os aerossóis presentes em suas atmosferas e relacionando a concentração de seus constituintes com os casos de saúde registrados e com as fontes de emissão local. Vários estudos (KRULL, 1991, LOBINSKI & MARCZENKO; 1996, EC, 2001, EA, 2002, KOMARNICKI, 2004) relacionam o tamanho, a área de superfície, assim como a composição química como fatores importantes na determinação dos efeitos à saúde quando associados ao material particulado.

Dependendo das condições de degradação ambiental, a implantação de estratégias efetivas que contribuam para a melhoria da qualidade do ar na região em estudo irá envolver não apenas a execução de programas de monitoramento, mas também o uso de modelos matemáticos que permitam, por exemplo, avaliar as tendências da qualidade do ar e identificar as principais fontes poluidoras (USEPA, 2004; CETESB, 2002).

2.4. MODELOS RECEPTORES

A avaliação da contribuição de fontes poluidoras da atmosfera pode ser feita usando-se dois tipos de modelos matemáticos: os modelos fonte e o receptor. Na FIG. 2.1 são mostradas as principais características de cada um deles.

O modelo fonte parte das taxas de emissão e fatores de dispersão de fontes específicas e calculam a contribuição destas fontes no sítio receptor. A partir dos inventários de emissão e informações meteorológicas adequadas, o modelo consegue fazer uma estimativa das concentrações de poluentes gasosos devido a fontes específicas (CHOW, 1985). Esse modelo, porém, não se mostra muito adequado no caso do material particulado, pois as emissões são muito dispersas e de difícil quantificação, sendo produzidas tanto por fontes pontuais quanto por fontes não pontuais, isto é, cada pedaço de superfície (por exemplo, ruas não pavimentadas, pilhas de materiais, etc) atingida pelo vento é um emissor potencial e os fatores de emissão por unidade de área são difíceis de estimar e apresentam grande variabilidade (CETESB, 2002).

O modelo receptor, no caso de aerossóis, se baseia em propriedades do aerossol que são comuns à fonte e ao receptor e que são características de determinado tipo de fonte, tais como composição química e tamanho da partícula. O principal argumento dos modelos receptores é o princípio de conservação de massa (WATSON, 1979).

O modelo receptor a ser utilizado no presente estudo é baseado na conservação da composição química relativa do aerossol, do momento em que ele é emitido até sua chegada no sítio receptor. Neste caso, supondo que existam p fontes emitindo uma massa M_j no sítio receptor, então a massa total coletada em um filtro no sítio receptor será dada por (HOPKE, 1999):

$$m_i = \sum_{j=1}^p M_j \quad (1)$$

Assumindo que a massa depositada em cada filtro é uma contribuição linear da massa de cada fonte. A massa de uma dada espécie química m_i , será expressa por:

$$m_i = \sum_{j=1}^p M_{ij} = \sum_{j=1}^p F'_{ij} M_j \quad (2)$$

Sendo M_{ij} a massa da espécie i originária da fonte j e F'_{ij} a fração de massa da espécie química i na massa proveniente da fonte j , coletada no receptor.

Assumindo que a massa de cada componente químico individual é conservada, de forma que:

$$F_{ij} = F'_{ij} \quad (3)$$

Onde, F_{ij} é a fração da espécie química i emitida pela fonte j .

Substituindo-se a equação 2 na equação 1, e dividindo-se a equação 1 por m , sendo m a massa coletada no sítio receptor, tem-se:

$$m_i/m = \sum_{j=1}^p F_{ij} m_j/m \quad (4)$$

ou

$$C_i = \sum_{j=1}^p F_{ij} S_j \quad (5)$$

Onde C_i é a concentração da espécie i medida no sítio receptor e S_j a contribuição da fonte j .

Se C_i e F_{ij} são conhecidos no receptor para as p fontes que são suspeitas de afetarem o sítio receptor e $p = n$ (onde n é o número de espécies químicas), tem-se um conjunto de n equações simultâneas, onde S_j pode ser calculada pelo método dos mínimos quadrados. Este cálculo é mais conhecido como Modelo do Balanço Químico de Massa (HOPKE *et al*, 1979, WATSON, 1979).

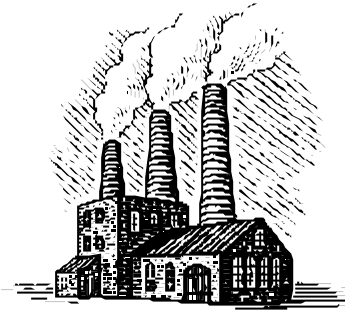
A aplicação do modelo de balanço químico de massa deve ser consistente com alguns princípios, caso contrário pode-se incorrer em erros que invalidem as estimativas de contribuição das fontes (HOPKE, 2003). É uma premissa básica do modelo que a composição fracional das fontes seja a mesma no receptor e na fonte, ou seja, não ocorrem reações químicas ou outras modificações atmosféricas, como condensação, volatilização, sedimentação, etc., que alterem o perfil das emissões de material particulado durante o transporte entre a fonte e o receptor. Duas outras premissas são necessárias para a resolução do sistema de equações lineares. O número de fontes p tem que ser menor que o número de

espécies medidas n , bem como as composições das p fontes têm que ser linearmente independentes entre si, pois perfis de fontes colineares ou quimicamente similares podem interagir de modo a introduzir valores grandes de incerteza nas estimativas de contribuição das fontes. Além disso, outras condições devem ser satisfeitas para que se possa aplicar o modelo: que as principais fontes que potencialmente contribuem para o receptor sejam caracterizadas e que as amostras sejam coletadas em número suficiente e analisadas para uma variedade de espécies químicas, por métodos analíticos que permitam que as concentrações da maioria das espécies sejam determinadas acima dos limites de detecção (WATSON, 1984).

O uso de modelos receptores requer que seja feito um levantamento prévio do inventário de emissões para determinar não apenas o perfil das fontes de emissão na região em estudo, mas também os principais componentes químicos a serem medidos (WATSON, 2004).

MODELO FONTE

Estima a concentração do ambiente



Dados de entrada:

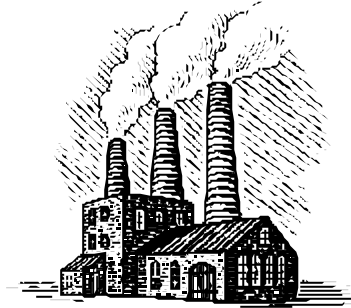
- taxas de emissão;
- parâmetros da chaminé;
- parâmetros meteorológicos;
- topografia.

Monitoramento da qualidade do ar



MODELO RECEPTOR

Estima a contribuição de cada fonte no receptor



Dado de entrada:

- Concentração de elementos traços presentes no aerossol

Analista do Receptor



Leva em conta:

- a composição química do material;
- a variabilidade e morfologia das fontes.

FIGURA 2.1. Características gerais dos modelos fonte e receptor (CETESB, 2002).

2.5. APLICAÇÃO DE TÉCNICAS NUCLEARES NA DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE ELEMENTOS TRAÇOS

Uma vez que na atmosfera as concentrações de elementos traços encontram-se em níveis muito baixos existe a necessidade do uso de técnicas analíticas apropriadas que permitam a sua determinação. Na realidade embora exista uma série de técnicas disponíveis (LANDSBERGER & CREATHMAN,1999), por exemplo, a Espectroscopia por Absorção Atômica (AA) e a Espectrometria de Emissão Atômica com Plasma Acoplado (ICP-AES), o uso de técnicas nucleares tais como a Espectrometria de Fluorescência de Raios-X (FRX), o PIXE (*Particle Induced X-ray Emission*) e a Análise por Ativação Neutrônica (AAN) apresenta uma série de vantagens em relação aos outros métodos químicos convencionais normalmente utilizados, entre elas: a eliminação da necessidade de ataque químico às amostras, independência em relação à forma química dos elementos, necessidade de pequena quantidade de amostra, além da precisão, exatidão e sensibilidade, permitindo assim, a determinação dos elementos em concentrações da ordem de parte por bilhão (ppb) até porcentagens do elemento na amostra.

A seguir, é feita uma descrição sucinta das principais características de cada uma das técnicas nucleares (FRX e AAN) utilizadas no presente estudo tanto para a determinação da composição química do material particulado presente nos aerossóis atmosféricos, bem como de amostras de solo e de resíduos sólidos gerados pelas indústrias mais representativas do setor produtivo do município de Sete Lagoas.

2.5.1. Espectrometria de Fluorescência de Raios-X (FRX)

A técnica de Espectrometria de Fluorescência de Raios-X vem sendo cada vez mais utilizada como uma importante ferramenta em praticamente todos os campos de análise química, podendo analisar praticamente todos os elementos químicos compreendidos entre boro (B) e o urânio (U). A técnica apresenta ainda vantagens em relação à preparação de amostra, que pode ser analisada na forma sólida, pó, líquida ou suportada em filtros (SCAPIN *et al.*, 2005).

Essa técnica se baseia no fato dos elementos químicos emitirem radiação característica quando sujeitos à excitação apropriada. Essa excitação é provocada pela incidência de radiação proveniente de um tubo de raios-X.

A energia desses raios-X está relacionada com a diferença energética entre os níveis envolvidos nas transições e apresenta valores característicos para cada elemento. Por comparação com as tabelas disponíveis, é assim, possível identificar os elementos presentes nas amostras analisadas. A espectrometria de raios-X pode analisar aproximadamente 80 elementos da tabela periódica através de cristais analisadores com diferentes distâncias interplanares (d) que satisfaçam à equação de Bragg (LIFSHIN, 1999):

$$n \times \lambda = 2 \times d \times \sin \theta \quad (6)$$

Sendo:

n : ordem de difração

λ : comprimento de onda da radiação

d : distância interplanar

θ : complemento do ângulo de incidência

Na FRX, os fótons dos raios - X de alta energia são emitidos da fonte que incide na amostra. Os fótons têm energia suficiente para arrancar elétrons dos orbitais K ou L. Quando isto ocorre, os átomos transformam-se em íons que são instáveis. Um elétron de uma camada eletrônica mais externa move-se ocupando o espaço recentemente vago pelo elétron ejetado do átomo.

Com o movimento do elétron dos orbitais mais externos para o mais interno ocorre a emissão de uma energia ou de fótons de raios-X secundários. Este fenômeno é chamado de fluorescência de raios-X. Os raios-X secundários produzidos são característicos de um elemento específico. Na prática, os raios-X fazem a varredura, enquanto o cristal do difratômetro é girado durante uma varredura, linhas de emissão do raio-X de vários elementos é focalizado no detector conforme mostrado na FIG. 2.2.

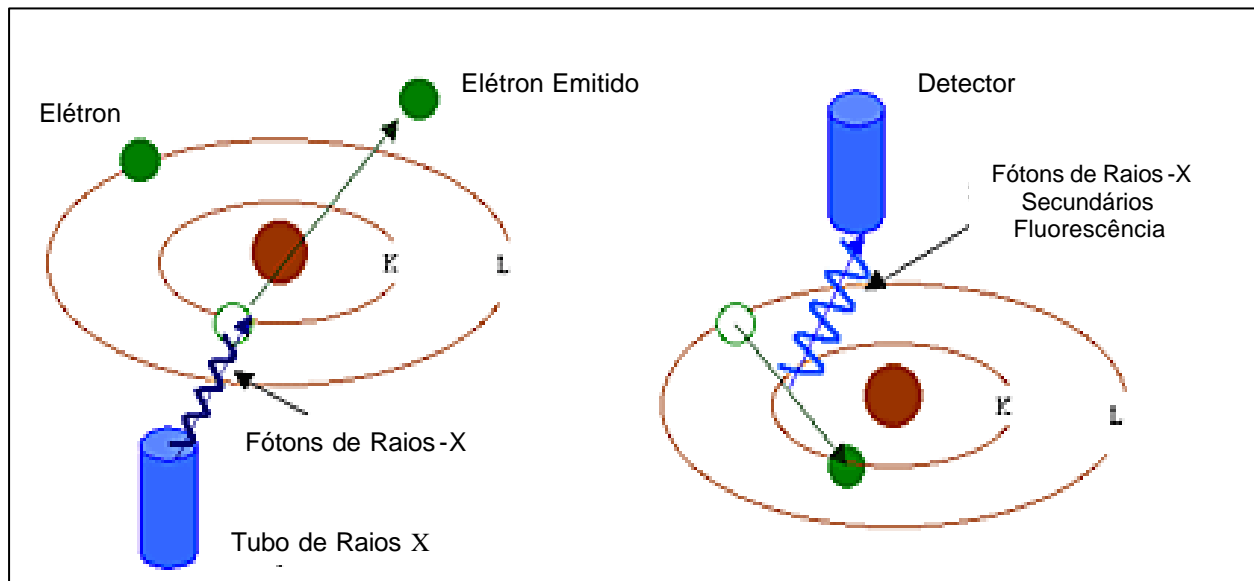


FIGURA 2.2. Processo de detecção da fluorescência dos raios-X.

2.5.2. Análise por Ativação Neutrônica (AAN)

A Análise por Ativação Neutrônica é amplamente conhecida por sua sensibilidade para detecção e determinação de um grande número de elementos químicos. Este método consiste basicamente da produção de radionuclídeos artificiais a partir de elementos estáveis por meio da irradiação sob um fluxo de nêutrons e medida das radiações emitidas pelos radionuclídeos formados.

Cerca de 70% dos elementos químicos têm núclídeos que possuem propriedades adequadas para a aplicação do método, o qual permite a determinação de quase todos os elementos da tabela periódica com exceção do carbono, oxigênio, nitrogênio, flúor e chumbo, que não apresentam características adequadas para serem determinados por essa técnica (WITKOWSKA *et al*, 2004).

Basicamente, ela é uma técnica analítica para determinação da composição química elementar e se baseia na irradiação de uma amostra com nêutrons e subsequente medida da radioatividade induzida. A forma mais efetiva de irradiação é utilizando um reator nuclear e a de medida é através da espectrometria gama.

A reação nuclear que ocorre é do tipo (n, γ) na qual o nuclídeo captura um nêutron, emitindo radiação gama. A probabilidade de ocorrência dessa reação nuclear depende de características do nuclídeo alvo como a seção de choque a determinada energia de nêutrons e a sua abundância isotópica e da meia-vida do radionuclídeo produzido.

Entre as principais características da ativação neutrônica destacam-se as seguintes (ADLOFF & GUILLAUMONT, 1993):

- cerca de 70% dos elementos químicos naturais podem ser determinados pois, têm propriedades nucleares adequadas para serem investigados por essa técnica;
- apresenta características que a tornam uma técnica analítica completa - sensibilidade, capacidade multielementar, seletividade, versatilidade, abrangência de aplicações – principalmente quando aplicada de forma instrumental, ou seja, sem envolver tratamento químico prévio da amostra;
- .capacidade de análise multielementar pois, em uma mesma amostra diversos elementos são analisados simultaneamente, em uma extensa faixa de concentração;
- é uma técnica praticamente livre de contaminação química pois, não há possibilidade de contato com ambiente e de instrumentação após a irradiação;
- oferece a possibilidade de analisar pequena quantidade de amostra, qualidade importante quando se trata de amostra rara ou de difícil obtenção, e
- apresenta sensibilidade, precisão e exatidão nos resultados.

As limitações da técnica estão relacionadas com a necessidade de se dispor de um irradiador de nêutrons, envolvendo custo e mão de obra especializada e de instalação.

No presente estudo foi aplicado método k_0 de ativação neutrônica onde em paralelo à amostra é irradiado apenas um comparador/padrão para cálculo da atividade específica. É um método semi-absoluto que utiliza a convenção de Högdahl (DE CORTE, 1986, SABINO *et al.*, 1995). A equação (7) é a equação fundamental do método onde k_0 é uma constante natural dos isótopos em estudo, podendo ser calculada a partir de seus componentes. O método combina a simplicidade experimental dos métodos absolutos por ativação neutrônica com a exatidão dos métodos comparativos.

A equação (7), convenção de Högdahl (DE CORTE, 1986), é aplicada para se calcular a massa do *i-ésimo* elemento presente na amostra:

$$m_a = \frac{m_p C_{n,a} e_p F_p S_p C_a D_a H_a}{k_0 C_{n,p} e_a F_a S_a C_p D_p H_p} \quad (7)$$

Onde,

$$k_0 = \frac{M_p q_a P_{g,a} s_{0,a}}{M_a q_p P_{g,p} s_{0,p}} \quad (8)$$

Considerando os índices *a*, referindo-se à amostra, e *p* ao padrão, tem-se em (7) que: *m* é a massa do elemento analisado, *C_n* é a área líquida sob o pico gama do radionuclídeo de interesse, *e* é a eficiência do detector para o gama considerado, *F* é [*f* + *Q₀(a)*], onde *f* é a razão entre os fluxos de nêutrons térmico e o epitérmico, o qual é definido a partir de uma determinada energia e *Q₀(a)* é a razão entre o *I₀(a)*, integral de ressonância, e *s₀*, secção de choque a nêutrons térmicos, *S* é o fator de saturação de irradiação em função do tempo de irradiação, *C* é o fator de correção de decaimento do radionuclídeo durante a contagem, *D* é o fator de correção de decaimento do radionuclídeo entre o final de irradiação e o início da contagem; *H* é o tempo morto do detector durante a contagem.

Em (8), *k₀* é definido por: *M* que é o peso atômico do elemento, *θ* é a abundância isotópica do elemento, *P_g* é a abundância absoluta medido, *s₀* é secção de choque a nêutrons térmicos.

Finalmente, é importante ressaltar que vários autores (ALFASSI *et al.*, 1998; ÖLMEZ, 1998; SALMA & ZEMPLÉN-PAPP, 1999; BAKER *ET AL.*, 2000; PROBST *et al.*, 2001; OCHSENKÜHN-PETROPOULOU & OCHSENKÜHN, 2001; CAO *et al* 2002; FREITAS *et al.*, 2003; KARAKAS *et al.*, 2004) realizaram estudos de aerossóis atmosféricos utilizando a Análise por Ativação Neutrônica. Entretanto, a avaliação dos constituintes químicos do material particulado presente no aerossol atmosférico e o uso do método de análise por ativação neutrônica é um trabalho pioneiro no estado de Minas Gerais, sendo que a

experiência adquirida em um centro urbano de médio porte deverá ser transferida futuramente para a região metropolitana de Belo Horizonte.

2.5.3. Difração de Raios-X (DRX)

A difração de raios-X é uma técnica importante de análise estrutural, a qual possibilita a determinação da composição química, quantificação das fases cristalinas e os estudos da estrutura interna dos materiais cristalinos (CULLITY, 1978).

A difração resultante de um cristal é uma propriedade física e uma característica fundamental das substâncias cristalinas. A técnica se baseia na interação de ondas na frequência de raios-X com os planos cristalinos do cristal, originando o fenômeno de difração (SNYDER & WEINHEIM, 1999). A difração ocorre segundo a Lei de Bragg (equação 6), a qual estabelece a relação entre o ângulo de difração e as distâncias entre os planos que a originaram, gerando diagramas de difração característicos para cada estrutura cristalina, conforme mostrado abaixo:

Dentre as vantagens da técnica de difração de raios X para a caracterização de fases, destacam-se: a simplicidade e rapidez do método, a confiabilidade dos resultados obtidos (pois o perfil de difração obtido é característico para cada fase cristalina), a possibilidade de análise de materiais compostos por uma mistura de fases e uma análise quantitativa destas fases.

CAPÍTULO 3

3. A REGIÃO DE ESTUDO - O MUNICÍPIO DE SETE LAGOAS

3.1. LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO

O município de Sete Lagoas faz parte da região metropolitana de Belo Horizonte. Além das atividades que desenvolve no setor industrial e alimentício, Sete Lagoas é uma estação turística que se faz famosa por suas lagoas, cavernas, grutas e pelas formações do relevo cárstico, as quais atraem turistas de toda a região (OLIVEIRA, 2001).

O município está localizado na Zona Geográfica Metalúrgica do Estado de Minas Gerais (Região I - Metalúrgica de Campos Vertentes), sendo considerado uma cidade-pólo da Associação dos Municípios do Alto Rio das Velhas que reúne 17 municípios, apresentando hoje um parque industrial diversificado.

As suas coordenadas geográficas são: Latitude -19.4° (Sul) e Longitude -44.3° (Oeste). A população residente é de 184.871 habitantes com projeção de população estimada em 210.468 para 2005. Basicamente 97,7% da população residem em área urbana (IBGE, 2003).

Em termos rodoviários, principal meio de transporte no Brasil, o município está ligado ao Distrito Federal e à capital do estado através da rodovia federal BR-040 e ainda com acesso ao Rio de Janeiro, São Paulo e Vitória. Além disso, a Rede Ferroviária Federal integra Sete Lagoas ao Corredor de Exportação Centro-Leste, que liga os portos da costa do Espírito Santo à região industrial de Belo Horizonte e à fronteira agrícola dos cerrados do Brasil Central.

Existem, ainda, os terminais multimodais que movimentam, principalmente, o ferro-gusa produzido na região que é transportado para os portos dos estados do Espírito Santo e Rio de Janeiro (INDI, 1999). Este fator favorece o elevado tráfego de veículos na região.

3.2. CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO

O município de Sete Lagoas, situado na zona de planejamento Centro-Oeste de Minas (vide FIG 3.1), ocupa uma área de 519 km², com relevo constituído por colinas suaves e topografia distribuída entre plana (60%), ondulada (35%) e montanhosa (5%). A cobertura vegetal natural predominante é o cerrado, atualmente já degradada ou substituída por pastagens e plantações.

O clima é tropical chuvoso. A precipitação média anual é de 1.353 mm, com período chuvoso de outubro a março e seco, de maio a agosto. A temperatura média anual é de 22,9°C, sendo a máxima anual de 28°C e a média mínima anual de 15,2°C . Os ventos predominantes na região são de leste para oeste.

A cidade pertence à bacia hidrográfica do rio São Francisco, sendo a rede de drenagem composta pelo Rio das Velhas e Rio Paraopeba, e os afluentes ribeirão Matadouro, Jequitibá, São João, Córrego Vargem do Tropeiro e Rio Macacos (CETEC, 1996).



FIGURA 3.1. Distribuição Regional das Zonas de Planejamento do estado de Minas Gerais (PROJETO MINAS AMBIENTE, 2002).

Do ponto de vista geológico, o município de Sete Lagoas está enquadrado numa região de rochas do Grupo Bambuí, constituída de calcários cinzentos intercalados por mármore acinzentado (Formação Basal ou Sete Lagoas) e ardósias sobrepostas ao calcário (Formação Santa Helena). Embora o calcário seja uma das principais rochas da região, poucas são as evidências de sua participação na formação da maioria dos solos identificados na região que são pertencentes à ordem dos Latossolos, subordens Latossolos vermelhos ou Latossolos vermelhos-amarelos. De acordo com os dados analíticos existe uma predominância nas frações finas dos solos da caulinita e dos óxidos, sendo que os óxidos de alumínio (gibbsita) superam os óxidos de ferro (hematita e/ou goethita). Com pequenas variações de características, a grande maioria das terras existentes na região representa bem os solos argilosos vermelhos e vermelho-amarelos da região de cerrados do Brasil Central (EMBRAPA, 2002).

3.3. PRINCIPAIS FONTES EMISSORAS DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

A seguir é feita uma descrição das fontes potenciais de emissão de poluentes atmosféricos no município de Sete Lagoas. Para tanto, elas foram divididas em fontes estacionárias e fontes móveis.

3.3.1. Fontes Estacionárias

Os processos fabris são responsáveis pelas fontes estacionárias emissoras de material particulado na atmosfera. Segundo o IBGE, a cidade de Sete Lagoas possuía em 2003, 1004 indústrias (IBGE, 2003), sendo que 85% eram indústrias extrativas, de transformação, produção e distribuição de energia e construção civil. Os processos fabris que mais comprometem a atmosfera são aqueles das indústrias extrativas e de transformação.

O levantamento realizado junto a FEAM, 2004, identificou mais de 100 empreendimentos com atividades poluidoras, sendo 30 empresas com potencial atmosférico poluidor significativo. Com base no critério de classificação das atividades poluidoras, pelo reconhecimento do potencial poluidor de cada atividade industrial, estas empresas são consideradas responsáveis por mais de 90% dos poluentes emitidos para a atmosfera, sem considerar a participação das emissões dos veículos automotores.

O critério utilizado para a seleção das empresas poluentes está fundamentado na Classificação de Atividades Poluidoras, conforme sistema de classificação desenvolvido pela FEAM e aprovada pelo Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM, 2004), cuja metodologia de codificação está baseada nos procedimentos adotados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

No presente estudo, todas as informações relativas às atividades produtivas do município de Sete Lagoas foram obtidas tendo-se como base os processos de licenciamento ambiental, submetidos e aprovados pelo Conselho Estadual de Política Ambiental do estado de Minas Gerais. De acordo com os dados levantados, o município possui uma grande variedade de tipos de fontes emissoras de poluentes atmosféricos. As fontes estacionárias estão localizadas em diversas empresas, as quais possuem processos produtivos distintos.

Com relação à forma de sua emissão as fontes estacionárias podem ser divididas em dois grandes grupos:

- (1) fontes pontuais (chaminés de fontes de combustão, chaminés de caldeiras, fornos, secadores, etc);
- (2) fontes difusas (tanques de estocagem de líquidos orgânicos, emissões evaporativas de processos industriais, pilhas de estéreis, etc).

As fontes pontuais, em geral, possuem um comportamento mais regular, com suas características de emissão bem determinadas. As fontes difusas possuem uma natureza de comportamento de emissões mais dinâmica, estando sujeitas às variações operacionais e ambientais (condições meteorológicas).

As principais tipologias industriais do município de Sete Lagoas que contribuem para a emissão de poluentes atmosféricos, a partir de fontes estacionárias pontuais ou difusas, estão relacionadas na TAB 3.1 (FEAM, 2004). Conforme observado, as indústrias siderúrgicas, em especial aquelas de produção de ferro-gusa a carvão vegetal, constituem uma das atividades fabris mais importantes do município de Sete Lagoas. De acordo com as informações obtidas do Sindicato da Indústria do Ferro do Estado de Minas Gerais (SINDIFER, 2004) o município é o grande destaque na produção independente de ferro-gusa a carvão vegetal, possuindo 17 empresas instaladas, num total de 32 altos-fornos com capacidade aproximada de 197.600 t/mês de gusa.

A maioria das empresas relacionadas possui um elevado potencial poluidor atmosférico e hídrico. Elas são responsáveis pela geração de efluentes atmosféricos e poeiras fugitivas com alto teor de material particulado e, em alguns casos, por gases tais como o monóxido de carbono. Os efluentes hídricos são provenientes das lavagens de pátios, que na maioria dos casos não são impermeabilizados. Os sistemas de drenagem são deficientes e não agregam sistema de tratamento dos efluentes líquidos gerados por águas pluviais e servidas.

TABELA 3.1.

Relação das principais tipologias industriais do município de Sete Lagoas

Tipologia	Relação das Indústrias
Indústrias Siderúrgicas	AVG Siderurgia Ltda
	Cia. Setelagoana Siderúrgica - Cossisa
	Cofergusa Indústria e Com.
	Coirba Siderurgia Ltda
	Ferro -Gusa União
	Insivi - Indústria Siderúrgica Viana Ltda.
	Interlagos Siderurgia Ltda.
	Itasider Usina Sid. Itaminas SA
	Kévia Siderurgia Ltda.
	MGS - Minas Gerais Siderurgia Ltda.
	Plantar Siderúrgica S/A
	SAMA - Santa Marta Siderurgia Ltda
	Sicafe Prod. Siderúrgicos Ltda.
	Siderlagos Siderurgia
	Sidermin – Siderúrgica Mineira tda
	Siderpa - Siderúrgica Paulino Ltda.
	Sideruna Indústria e Comércio Ltda.
Siderúrgica Bandeirante Ltda.	
Siderúrgica ITAMIN Ltda.	

TABELA 3.1

Continuação

Tipologia	Relação das Indústrias
Indústrias Siderúrgicas	Siderúrgica Noroeste Ltda. Siderúrgica Roma Ltda. Usina Siderúrgica Sete Lagoas
Indústria cerâmica (materiais não metálicos)	Cerâmica Setelagoana S.A Cerâmica São Sebastião Ltda. Calsete Ind. Calcinação S. L. Ltda.
Indústria de autopeças	Ciclope Print Pintura Eletrostática Streparava Montagens e Suspensão de Veículos SIVEF - Componentes Automotivos Ltda. ASK do Brasil Turim Indústria e Comércio Ltda. OMR Componentes Automotivos USIMETAL - Usinagem de Metais Ltda. Grupo IMA SADA Forjas Ltda.
Indústria automobilística	Fiat Iveco Fábrica de Motores
Indústria Têxtil	Cia. de Fiação e Tecidos Cedro e Cachoeira

TABELA 3.1

Continuação

Tipologia	Relação das Indústrias
Mineradoras	Calsete Ind. Calcinação S. L. Ltda Icom Mineração Ind. e Com Ltda. Transmita Mineração S/A Mata Grande Mineração Ltda.
Indústrias de Higiene e Limpeza	Bombril-Clorox S/A
Indústria Química	Petrolub Indústria Lubrificantes Ltda. Tecnosulfor Ltda.
Transportes	Expresso Setelagoano (passageiros) Efaxis Transportes (carga) Sada Transportes (carga) Saritur (passageiros)
Indústrias Alimentícias e Agroindústrias	Coop. Central Prod. Rurais MG Ltda. (ITAMBÉ) Cooperativa Regional dos Produtores de Leite de Sete Lagoas Ltda. Cossisa Agroindustrial Elma Chips Granja Barreirinho Granja Juliana Ltda. YOLAT - Indústria e Comércio de Laticínios Ltda. Massas Imperatriz Ltda. Santa Helena Sementes Ltda.

3.3.2. Fontes Móveis

As fontes móveis que mais contribuem na emissão de poluentes atmosféricos são de origem veicular. São veículos automotores que circulam nas principais vias estruturais e arteriais do município de Sete Lagoas. A frota de veículos conta com um total de 41.669 automóveis, sendo 27.970 veículos de passeio e 13.699 veículos entre caminhões, motocicletas, utilitários e ônibus (IBGE, 2003).

A emissão por veículos movidos a diesel e gasolina é a principal fonte de gases e partículas poluentes na atmosfera. A combustão incompleta tem como produtos: CO, NO_x, SO₂, particulados negro de fumo e hidrocarbonetos. Compostos como benzeno, xileno e tolueno são emitidos a partir da combustão incompleta ou por evaporação direta do combustível. O álcool é um combustível mais “limpo”, pois não emite material particulado. Entretanto, o produto de sua combustão incompleta gera hidrocarbonetos como aldeídos que são compostos cancerígenos (USEPA, 1999).

Para maior precisão do cenário industrial, um levantamento completo das emissões deveria considerar toda e qualquer fonte existente numa área, independente da sua magnitude. Entretanto, para viabilizar a execução do presente trabalho as fontes naturais, aquelas fontes de pequeno porte, bem como aquelas de baixo potencial poluidor para a atmosfera foram descartadas. Também não foram consideradas as fontes que, mesmo apresentando potencial poluidor significativo, não foi possível a obtenção de informações suficientes para a realização do inventário de emissões. O poluente atmosférico analisado neste trabalho é o material particulado, por se tratar do principal poluente emitido pelas fontes degradadoras da qualidade do ar no município de Sete Lagoas.

3.4. HISTÓRICO DA QUALIDADE DO AR EM SETE LAGOAS

3.4.1. Considerações Gerais

O Programa de Monitoramento da Qualidade do Ar no município de Sete Lagoas foi iniciado em 1998, sendo que suas campanhas de amostragem permanecem até os dias de hoje. No presente estudo foi considerado apenas o período de 2000 a 2002, o qual corresponde ao período em que toda a execução do Programa estava sob responsabilidade do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN) (PROJETO MINAS-AMBIENTE, 2002).

A elaboração e implantação do programa foram incluídas como uma das atividades a serem desenvolvidas pelo Projeto Minas-Ambiente (Projeto Minas-Ambiente, 2000), notadamente com a parceria entre o Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN), Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (CETEC), Departamento de Engenharia Metalúrgica (DEMET) e do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM), Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais (FIEMG) e Serviço Brasileiro de Apoio à Micro e Pequena Empresa (SEBRAE). Com aporte financeiro da Sociedade Alemã de Cooperação Técnica - *Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit* (GTZ), dentro do Acordo de Cooperação Bilateral Brasil – Alemanha, das siderúrgicas ACESITA, MANNESMANN e GERDAU – Divinópolis, da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e com o apoio técnico-financeiro do Sindicato da Indústria de Ferro no Estado de Minas Gerais (SINDIFER).

Os resultados do Projeto Minas-Ambiente, sub-projeto Ferro-gusa, foram extremamente significativos no que tange ao processo industrial, onde foram disponibilizadas alternativas técnicas visando a melhoria do processo, tornando-o mais limpo. Quanto ao monitoramento da qualidade do ar, a avaliação dos resultados obtidos, durante o período monitorado, apresentou informações importantes sobre a qualidade do ar que a população da região estava convivendo, e que não apresentava bons índices de qualidade.

A avaliação dos dados, obtidos através do monitoramento da qualidade do ar, apresentou resultados importantes para estudos dos processos e composição dos aerossóis da região de Sete Lagoas.

Para a implantação da rede de monitoramento da qualidade do ar, foram realizados levantamentos das principais fontes de emissão de poluentes atmosféricos, dados estatísticos de reclamações de vizinhos às siderurgias, dados cartográficos, dados meteorológicos de direção preferencial e velocidade do vento, demografia, climatologia e dados de uso e ocupação do solo permitiram a escolha do local de amostragens na cidade de Sete Lagoas. Outro aspecto considerado de significativa importância, foi a infra-estrutura disponível implantada pela administração municipal nos locais de instalação das estações de amostragem.

Conforme relatório do CDTN (2000), no caso de PTS, aquelas partículas com diâmetro aerodinâmico abaixo de $50\ \mu\text{m}$ que estão em suspensão na atmosfera, não incluindo, portanto, a partícula mais grossa que sedimenta, foram selecionados quatro locais de amostragem. Para Partículas Inaláveis (PM_{10}), aquelas mais finas, com diâmetro aerodinâmico menor que $10\ \mu\text{m}$ foi escolhido um sítio para monitoramento.

A localização de cada uma das estações de amostragem integrantes da rede de monitoramento da qualidade do ar da cidade de Sete Lagoas é apresentada na FIG 3.2.

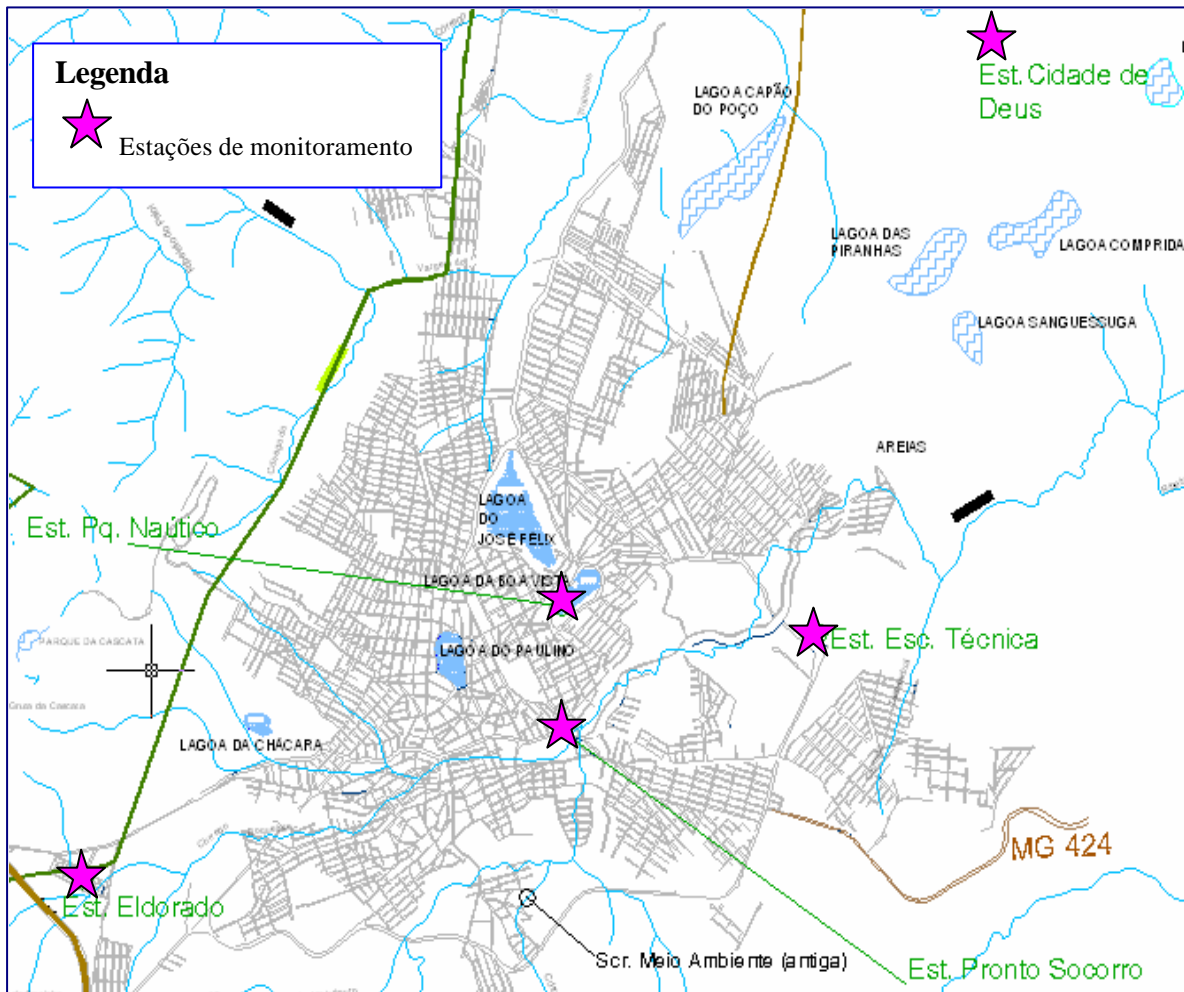


FIGURA 3.2. Localização das estações de amostragem da rede monitoramento da qualidade do ar da cidade de Sete Lagoas.

O programa de amostragem de PTS e PM_{10} de Sete Lagoas foi realizado seguindo as normas jurídicas brasileiras, as normas editadas pela ABNT e amparado pelas normas norte-americanas editadas pela EPA. A frequência de amostragem utilizada nesse monitoramento foi de 6 em 6 dias, abrangendo assim, no decorrer do projeto, todos os dias da semana. Ou seja, a cada 6 dias foram realizadas amostragens durante um período de 24 horas.

A avaliação dos resultados do monitoramento da qualidade do ar foi estruturada nos resultados da concentração diária, na concentração média geométrica anual e na concentração média aritmética anual considerando os padrões estabelecidos.

Tanto para PTS quanto para PM_{10} foram considerados os padrões:

- Concentração média de 24 horas de 240 microgramas por metro cúbico de ar para PTS e concentração média de 24 horas de 150 microgramas por metro cúbico de ar para PM_{10} .
- Concentração média geométrica anual de 80 microgramas por metro cúbico de ar para PTS e concentração média aritmética anual de 50 microgramas por metro cúbico de ar para PM_{10} .

3.4.2. Índice de Qualidade do Ar

Todos os resultados obtidos no Programa de Monitoramento da Qualidade do Ar no município de Sete Lagoas (Projeto Minas Ambiente) durante o período analisado no presente estudo (2000 a 2002), para cada valor de concentração diária de PTS e de PM_{10} , foram associados ao Índice de Qualidade do Ar.

Na TAB 3.2 estão apresentados os resultados da avaliação da qualidade do ar durante todo o período de março de 2000 a fevereiro de 2002. Conforme pode ser observado, os Padrões Primários, expressos tanto em termos da concentração média diária como da concentração média anual, foram ultrapassados quatro vezes (estações SL 01, SL 04 e SL 05) em cada um dos períodos considerados indicando, portanto, um elevado índice de poluição atmosférica em alguns pontos do município.

Os resultados finais para particulados totais em suspensão (PTS), expressos em termos de Qualidade do Ar, são apresentados nas TAB. 3.3 e 3.4.

TABELA 3.2

Resultados do monitoramento da qualidade do ar por período de amostragem.

Período de Amostragem	Identificação da Estação de Amostragem	Número de vezes em que o Padrão Primário Diário ⁽¹⁾ foi ultrapassado	Padrão Primário Anual ⁽²⁾ (mg.m ⁻³)
março/2000 a fevereiro/2001	Eldorado –SL 01	09 (para PTS)	137 (para PTS)
	Escola Técnica –SL 02	02 (para PTS)	77 (para PTS) e, portanto, atendeu a legislação vigente.
	Cidade de Deus – SL 03	01 (para PTS), portanto, atendeu a legislação vigente.	56 (para PTS), portanto, atendeu a legislação vigente.
	Pronto Socorro – SL 04	04 (para PTS)	142 (para PTS)
	Parque Náutico –SL 05	07 (para PM ₁₀)	99 (para PM ₁₀)
março/2001 a fevereiro/2002	Eldorado –SL 01	01 (para PTS), atendendo, portanto, a legislação vigente.	118 (para PTS)
	Escola Técnica –SL 02	Nenhuma	62 (para PTS), portanto, atendeu a legislação vigente.
	Cidade de Deus – SL 03	Nenhuma	35 (para PTS), portanto, atendeu a legislação vigente.
	Pronto Socorro – SL 04	06 (para PTS)	154 para (PTS)
	Parque Náutico –SL 05	03 (para PM ₁₀)	89 (para PM ₁₀)

⁽¹⁾ De acordo com a legislação ambiental vigente os padrões diários (média aritmética diária de 240 µg.m⁻³ para PTS e 150 µg.m⁻³ para PM₁₀) não devem ser excedidos mais que uma vez ao ano.

⁽²⁾ Os padrões anuais (média geométrica anual de 80 µg.m⁻³ para PTS e média aritmética anual de 50 µg.m⁻³) não podem ser nunca excedidos.

TABELA 3.3

Qualidade do ar para PTS durante o período de março/2000 a fevereiro/2001.

Identificação da Estação de Amostragem	Número de Medições Realizadas	Qualidade do Ar	Número de Amostras
Eldorado (SL 01)	48	Boa	6 (13)
		Regular	33 (69)
		Inadequada	9 (18)
Escola Técnica (SL 02)	45	Boa	24 (53)
		Regular	19 (42)
		Inadequada	02 (5)
Cidade de Deus (SL 03)	45	Boa	35 (78)
		Regular	09 (20)
		Inadequada	01 (2)
Pronto Socorro (SL 04)	48	Boa	03 (6)
		Regular	41 (85)
		Inadequada	04 (9)
Parque Náutico (SL 05)	47	Boa	10 (21)
		Regular	30 (64)
		Inadequada	07 (15)

() valor em %

TABELA 3.4

Qualidade do ar para PTS durante o período de março/2001 a fevereiro/2002.

Identificação da Estação de Amostragem	Número de Medições Realizadas	Qualidade do Ar	Número de Amostras
Eldorado (SL 01)	39	Boa	8 (21)
		Regular	30 (77)
		Inadequada	01 (2)
Escola Técnica (SL 02)	46	Boa	30 (65)
		Regular	16 (35)
		Inadequada	-
Cidade de Deus (SL 03)	51	Boa	48 (94)
		Regular	03 (6)
		Inadequada	-
Pronto Socorro (SL 04)	48	Boa	04 (8)
		Regular	38 (79)
		Inadequada	04 (8)
		Má	02 (4)
Parque Náutico (SL 05)	46	Boa	10 (22)
		Regular	33 (72)
		Inadequada	03 (6)

() valor em %

Os valores das concentrações de Partículas Totais em Suspensão (PTS) e de Partículas Inaláveis (PM₁₀), para os períodos avaliados nas cinco estações de amostragem, variaram ao longo dos meses seguindo uma tendência de alta ou de queda, dependendo do período considerado em cada estação. Esse comportamento reflete a relação entre sazonalidade e intensidade da poluição atmosférica, dentro de um ciclo anual.

Nos períodos de seca, quando prevalece um conjunto de condições meteorológicas características do inverno, as quais desfavorecem a dispersão atmosférica (baixa umidade,

ventos fracos, calmarias e maior incidência de inversão térmica), foi observada uma elevação das concentrações dos poluentes atmosféricos, sendo atingido níveis considerados críticos. Os demais períodos, representativos das outras estações do ano, tanto as condições meteorológicas favoráveis à dispersão atmosférica, quanto a freqüente ocorrência de precipitações pluviométricas, contribuíram para a diminuição das concentrações dos poluentes atmosféricos, as quais se mostraram em níveis bem mais baixos que aqueles encontrados no período de estiagem.

No período de amostragem do mês de março de 2000 a fevereiro de 2001, as estações Eldorado (SL 01) e Pronto Socorro (SL 04) apresentaram valores de concentrações de PTS mais elevados. Ao contrário da Estação SL 03 – Cidade de Deus que apresentou valores de concentrações mais baixos.

Para o período de amostragem do mês de março de 2001 a fevereiro de 2002, verificou-se que a Estação SL 04 – Pronto Socorro apresentou valores de concentrações mais elevados. De forma semelhante ao período anterior, a Estação SL 03 – Cidade de Deus foi a que apresentou valores de concentrações mais baixos dentre as cinco estações de monitoramento.

Considerando todos os períodos em que foram realizadas as medições, a estação SL 05 - Parque Náutico apresentou uma tendência de diminuição nos valores das concentrações médias anuais e diárias. Para as concentrações de PTS foi observada uma tendência semelhante, ou seja, uma diminuição nos valores apresentados para estações SL 01, SL 02 e SL 03. Ao contrário do que ocorreu na Estação SL 04, observou-se uma tendência de crescimento nos valores das concentrações médias anuais de $129 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, no primeiro período, para $142 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, no segundo período.

CAPÍTULO 4

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão descritos os critérios adotados para a seleção do ponto amostral e os procedimentos de amostragem do material particulado, dos resíduos industriais e do solo padrão (EMBRAPA, 2002), bem como as metodologias de análises, incluindo os métodos de análise por ativação neutrônica e de espectrometria por fluorescência de raios-X para a análise da composição química e de difração de raios-X para caracterização mineralógica das mesmas.

4.1. METODOLOGIA DE AMOSTRAGEM

4.1.1. Seleção do ponto amostral

A análise para a escolha do ponto de amostragem do material particulado se fez importante uma vez que o experimento seria realizado em um único local em decorrência da necessidade de otimização dos procedimentos de coleta e análise. Além disso, os recursos materiais e humanos disponíveis para a realização das amostragens eram limitados. Diante desta realidade, tornou-se necessária a definição de um local de amostragem que sofresse a influência do maior número possível de fontes emissoras de material particulado contribuintes.

Como descrito no Capítulo 3, os estudos da qualidade do ar na cidade de Sete Lagoas – MG (Projeto Minas Ambiente) mostraram que os padrões primários de qualidade do ar, tanto para partículas inaláveis como para partículas totais em suspensão, foram ultrapassados durante o período de amostragem (2000 a 2002).

Com base na constituição da rede de monitoramento do ar implantada durante o Projeto Minas Ambiente, sendo o material particulado o poluente atmosférico de interesse no presente estudo, a avaliação para seleção do ponto amostral foi feita tendo-se como base os resultados das amostragens em cada estação de coleta durante o período de março de 2000 a fevereiro de 2002, por ser o que apresentou a série temporal com o maior número de medições contínuas.

A TAB. 4.1 apresenta uma síntese das concentrações médias do material particulado amostrado na rede de monitoramento da qualidade do ar.

Os valores relacionados na TAB. 4.1 demonstram que a Estação SL 04 – Pronto Socorro foi a que apresentou concentração média geométrica anual de partículas totais em suspensão (PTS) mais elevada, ultrapassando em mais de 100% o limite estabelecido pela legislação ambiental.

Tabela 4.1

Resumo das concentrações ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) do material particulado amostrado durante os anos 2000 a 2002.

Quantidade	Estações de Amostragem				
	Eldorado	Escola Técnica	Cidade de Deus	Pronto Socorro	Parque Náutico
	SL 01	SL 02	SL 03	SL 04	SL 05
	PTS ⁽¹⁾				PM ₁₀ ⁽²⁾
Número de amostras	87	91	96	96	93
Número de amostras acima do padrão diário - $240 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	10	2	1	10	NA
Média Geométrica Anual Padrão $80 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	130	74	45	150	NA
Número de amostras acima do padrão diário - $150 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	NA	NA	NA	NA	10
Média Aritmética Anual Padrão $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	NA	NA	NA	NA	94

⁽¹⁾: média geométrica

⁽²⁾: não pode ser excedida mais de uma vez por ano.

NA: não avaliada, pois nesses locais não existem equipamentos para a medida de PM₁₀.

A FIG 4.1 apresenta a comparação entre as concentrações de material particulado total em suspensão (PTS) e os níveis de tolerância máximos permitidos pelas legislações vigentes, considerando os padrões de qualidade do ar no período de março de 2000 a fevereiro de 2002.

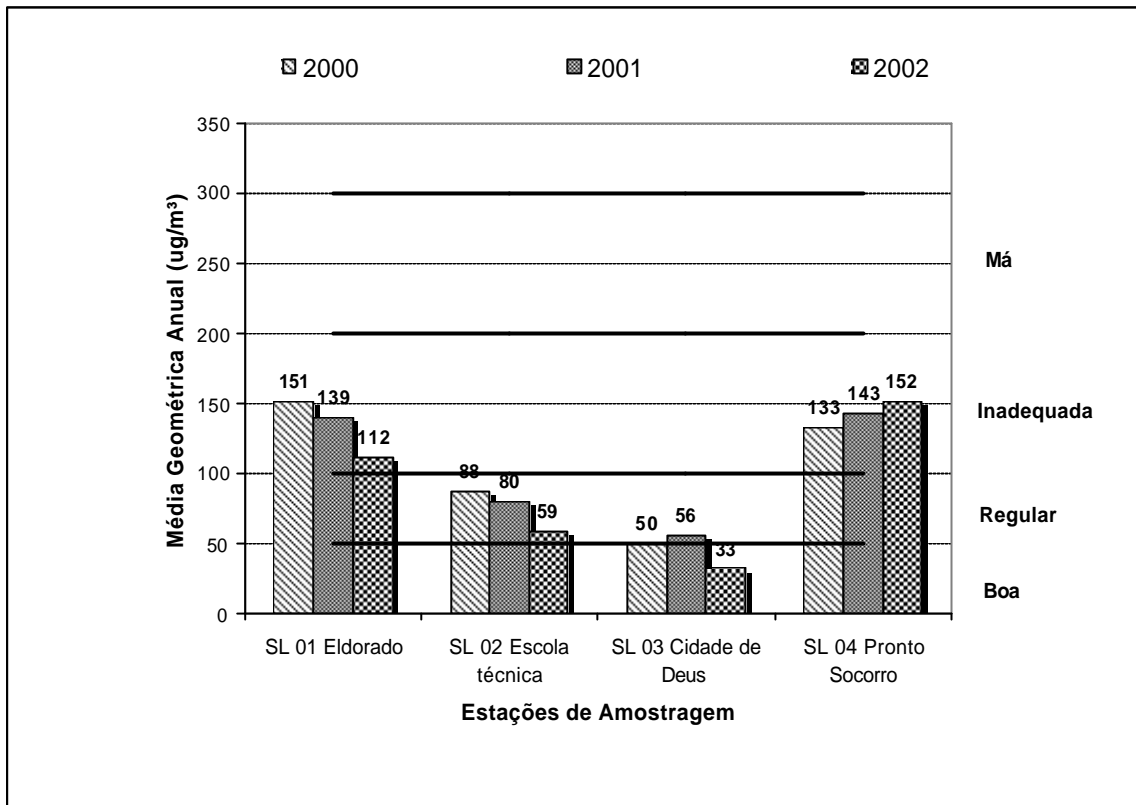


FIGURA 4.1. Concentrações médias do material particulado em suspensão no período de 2000 a 2002 (CDTN, 2002).

Considerando as quatro estações de amostragem, a composição temporal anual demonstra a tendência crescente das concentrações de partículas totais em suspensão no aerossol atmosférico do município, no que diz respeito aos registros atribuídos à Estação Pronto Socorro. Mesmo quando as medições apresentavam um número reduzido de dados foi possível chegar à mesma conclusão. As demais estações apresentaram concentrações, geralmente, decrescentes durante o período de tempo avaliado.

No tocante às partículas inaláveis, os registros demonstram uma persistência do elevado nível de concentrações do material particulado que ultrapassaram os limites máximos estabelecidos. A concentração média obtida foi de $93 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. As concentrações de partículas inaláveis estão, em média, 87% acima do padrão anual, chegando, no período de março de 2000 a fevereiro de 2001, ao excedente de 98% do limite máximo permitidos no aerossol atmosférico. A FIG 4.2 apresenta as médias das concentrações de PM_{10} referentes aos anos de 2000 a 2002.

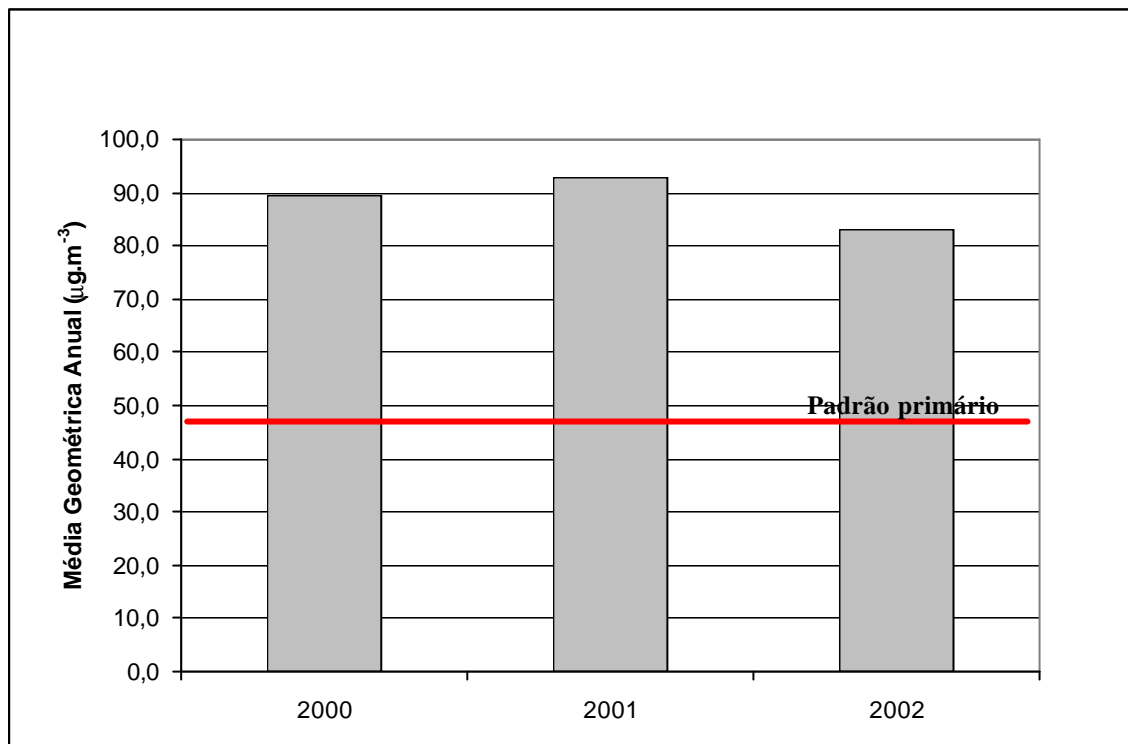


FIGURA 4.2 Concentrações médias do material particulado inalável no período de amostragem entre os anos 2000 e 2002 (CDTN, 2002).

Na Estação Parque Náutico a qualidade do ar para partículas inaláveis apresentou-se Regular durante 79% dos dias de amostragem conforme apresentado na TAB. 4.2.

TABELA 4.2

Resultados da qualidade do ar para cada estação em função do número total de dias de amostragem durante o período de 1999 a 2002.

Qualidade do Ar	Estação de Amostragem				
	Eldorado	Escola Técnica	Cidade de Deus	Pronto Socorro	Parque Náutico
	SL 01	SL 02	SL 03	SL 04	SL 05
Total de amostras					
Boa	14	54	83	7	20
Regular	63	35	12	79	63
Inadequada	10	2	1	8	10
Má	0	0	0	2	0
Péssima	0	0	0	0	0

Outro critério utilizado para definir o ponto amostra foi a condição de uso e ocupação do solo no entorno das estações de amostragem da qualidade do ar. Para a tomada de decisão foram realizados levantamentos *in loco* com o objetivo de caracterizar os possíveis pontos de amostragem.

De acordo com a localização das estações apresentadas na FIG 3.2, são relatadas a seguir as características gerais de cada estação.

- **Estação SL 01 - Eldorado**

Instalada dentro de uma unidade escolar estadual, a estação está localizada no bairro Eldorado, em parcelamento do solo caracterizado como zona residencial e industrial. As vias de acesso são na sua maioria asfaltadas e a cobertura vegetal é pouco significativa. O tráfego local é baixo, não apresentando concentração de trânsito intenso de carga.

Vizinhas à estação encontram-se em funcionamento atividades ligadas à produção de ferro-gusa a carvão vegetal, mineração de calcário, recapagem de pneus e fabricação de peças em fibras de vidro.

- **Estação SL 02 - Escola Técnica**

Instalada nos domínios da Escola Técnica Municipal de Sete Lagoas, a estação está localizada no bairro CDI em parcelamento do solo caracterizado como zona industrial.

Muitas das vias de acesso existentes nas suas proximidades encontram-se sem calçamento ou asfalto e a cobertura vegetal é pouco significativa, contando com vários lotes com solo descoberto. O fluxo de veículos no local é grande com a presença significativa de trânsito de carga.

Vizinhos à estação encontram-se em funcionamento atividades ligadas à produção de ferro-gusa a carvão vegetal, fabricação de cerâmica, forjamento e usinagem de peças, centrais dosadoras de concreto.

- **Estação SL 03 - Cidade de Deus**

Instalada dentro de um terreno de propriedade da Prefeitura, a estação está localizada no Residencial Cidade de Deus com uso e ocupação residencial com amplas áreas de pastagem.

Muitas das vias de acesso encontram-se pavimentadas com cascalho e o tráfego local é pouco significativo.

Vizinhos à estação encontram-se residências unifamiliares, não havendo indústrias num raio aproximado de 1 km. Fora da área de influência encontra-se apenas uma montadora de caminhões.

- **Estação SL 04 – Pronto Socorro**

A estação encontra-se instalada em área externa à unidade de pronto atendimento de saúde do município. O uso e ocupação do solo são mistos acomodando instalações industriais, comerciais, residenciais (uni e multifamiliares) e usos públicos.

À exceção da margem da ferrovia, próxima à estação, o solo encontra-se impermeabilizado. As vias de acesso nas suas proximidades são asfaltadas e possuem um tráfego intenso inclusive de carga pesada.

Vizinhas à estação encontram-se em funcionamento atividades ligadas à produção de ferro-gusa a carvão vegetal, fabricação de cerâmica, fabricação de leites e derivados, tecelagens, marmorarias, serralherias e fábrica de produtos de fibra de vidro.

- **Estação SL 05 – Parque Náutico**

Instalada dentro de parque público, localizado no Bairro Boa Vista, a vizinhança da estação é ocupada por instalações industriais e residenciais unifamiliares. À exceção das áreas pertencentes ao parque, as demais áreas estão ocupadas com construções residenciais e industriais com solo impermeabilizado. As vias de acesso existentes nas suas proximidades são asfaltadas e apresentam tráfego intenso, inclusive de carga pesada.

Vizinhos à estação encontram-se em funcionamento atividades ligadas à produção de ferro-gusa a carvão vegetal.

Portanto, o inventário das principais fontes poluidoras vizinhas às estações, as características de uso e ocupação do solo no seu entorno e o perfil das concentrações registradas durante todo o período de amostragem foram fatores preponderantes para a seleção do ponto amostral.

A Estação **SL 04 – Pronto Socorro** foi escolhida como ponto de referência para a realização dos estudos aqui apresentados.

A estação Cidade de Deus (estação SL 03) foi adotada como referência para registro *background*. Conforme mencionado anteriormente, a estação SL 03 está localizada em uma região de pouca influência antropogênica e situada na direção de menor predominância dos ventos.

4.1.2. Planejamento das Campanhas de Amostragem

Durante a etapa de planejamento dos experimentos foi definido que seriam coletados 3 tipos distintos de amostras, a saber:

- amostras do material particulado presente nos aerossóis atmosféricos,
- amostras dos resíduos sólidos gerados por empresas representativas das principais atividades industriais desenvolvidas no município de Sete Lagoas e
- amostras de poeiras e solos predominantes na região de estudo.

A amostragem do material particulado foi realizada no período de 11/01/2005 a 14/02/2005. Em decorrência de problemas operacionais, a série temporal foi interrompida durante um curto período de tempo (20/01/2005 a 24/01/2005), o que não resultou em prejuízos no processo de análise.

A coleta de resíduos sólidos e do solo teve como objetivo a definição de um protocolo geral de assinatura de fontes específico para a região em estudo.

A etapa de planejamento incluiu também a realização de vários testes para avaliar a matriz dos filtros mais adequada para coleta e análise da composição química do material particulado presente nos aerossóis atmosféricos. Foram avaliadas as matrizes de fibra de vidro, celulose e microssílica (ou microquartzo). A avaliação da composição de cada filtro permitiu verificar a interferência dos seus elementos constituintes na análise da concentração dos elementos traços quando da aplicação da técnica de ativação neutrônica.

O filtro que apresentou melhor eficiência na retenção de material particulado foi o de microssílica e o filtro com menor número de constituintes e interferências foi o de celulose. Entretanto, em decorrência do custo elevado do filtro de microssílica, optou-se pela utilização de filtros de celulose para a amostragem das Partículas Totais em Suspensão (PTS) e de filtros de microssílica para as Partículas Inaláveis (PM_{10}).

As propriedades físicas das matrizes utilizadas na amostragem do aerossol atmosférico estão apresentadas nas TAB. 4.3 e 4.4.

TABELA 4.3

Principais características físicas do filtro de celulose

Propriedade Física	Valor
Perímetro total	914 mm
Espessura	0.22 mm
Área total	203 mm x 254 mm
Densidade de massa	97 g/m ²
Peso médio	5.00 g

FONTE: (ENERGÉTICA, 2004).

TABELA 4.4

Principais características físicas do filtro de microssílica

Propriedade física	Valor
Perímetro total	914 mm
Espessura	0,32 mm
Área total	203 mm x 254 mm
Densidade de massa	78 g/m ²
Peso médio	4.03 g

FONTE: (ENERGÉTICA, 2004).

4.1.3. Coleta do Material Particulado

As amostragens de material particulado atmosférico foram realizadas com a colaboração de técnicos da Prefeitura de Sete Lagoas. Para tanto, foram utilizados amostradores de material particulado e o Impactador em Cascata (IC). Todos os dados utilizados neste trabalho foram obtidos a partir da análise dos filtros coletados em cada amostrador conforme descrito abaixo.

A concentração de partículas totais em suspensão (PTS) foi determinada por meio da análise de amostras coletadas isocineticamente em um Amostrador de Grande Volume (AGV), também conhecido por Hi-Vol (*High-Volume*), fabricado pela ENERGÉTICA. A

vazão média de operação do equipamento foi de $1,4 \text{ m}^3/\text{min}$ obedecendo, portanto, as recomendações do fabricante de vazões médias entre $1,1$ e $1,7 \text{ m}^3/\text{min}$.

A concentração de material particulado inalável (PM_{10}) foi obtida por meio da análise de amostras coletadas em um Amostrador de Grande Volume com Cabeça de Separação por Impactação Inercial, conhecido como PM_{10} , fabricado pela ENERGÉTICA. Como a velocidade do ar é um parâmetro crítico para a manutenção do ponto de corte de $10 \text{ }\mu\text{m}$, a vazão média de operação foi mantida em $1,13 \text{ m}^3/\text{min}$, com desvios máximos de 10%, em condições reais de temperatura e pressão.

Nas FIG. 4.3 (a) e 4.3 (b) estão apresentados equipamentos utilizados na amostragem do material particulado presente no aerossol atmosférico, conforme anteriormente discriminados.



(a)

(b)

FIGURA 4.3 – (a) Amostrador de Grande Volume – (b) Amostrador de Grande Volume com Cabeça de Separação por Impactação Inercial (Energetica, 2004).

O período total de amostragem foi de 30 dias (11/01/2005 a 14/02/2005). A coleta de PTS foi realizada em ciclos de 12 horas, correspondentes aos horários diurno e vespertino/noturno. Por sua vez, a coleta do particulado inalável (PM_{10}) foi realizada em ciclos de 24 horas. A escolha de cada regime de operação se deu com base nas recomendações da ABNT (1986, 1995), que sugere que a vazão média de operação dos equipamentos seja mantida a mais constante possível durante o procedimento de amostragem. No total foram coletadas 87 matrizes de filtros, sendo 30 filtros de microssílica e 58 filtros de celulose.

4.1.4. Determinação da Distribuição do Tamanho das Partículas

A determinação da distribuição do tamanho das partículas presentes nos aerossóis atmosféricos foi feita por meio da utilização de um dispositivo acoplado ao Amostrador de Grande Volume denominado Impactador em Cascata (IC), do tipo Sierra Model 235, fabricado por Sierra Instruments, Inc.

O IC utilizado no presente estudo é capaz de separar as partículas em 6 estágios, sendo um deles na faixa respirável (acima de $10\ \mu\text{m}$) e o restante na faixa inalável. São os seguintes diâmetros de corte de eficiência de 50%, denominado $d_{50\%}$: $< 0,7\ \mu\text{m}$; entre $0,7$ e $1,3\ \mu\text{m}$; entre $1,3$ e $2,1\ \mu\text{m}$; entre $2,1$ e $4,2\ \mu\text{m}$; entre $4,2$ e $10\ \mu\text{m}$ e acima de $10\ \mu\text{m}$. A FIG. 4.4 apresenta a disposição das placas sob as quais são instalados os filtros.

Para a coleta de amostras, foi realizada uma campanha de 3 coletas diárias (03/08/2005, 04/08/2005 a 05/08/2005), cada uma delas durante um intervalo de tempo de 5 horas. No final foram coletadas 18 amostras de filtros de microssílica.

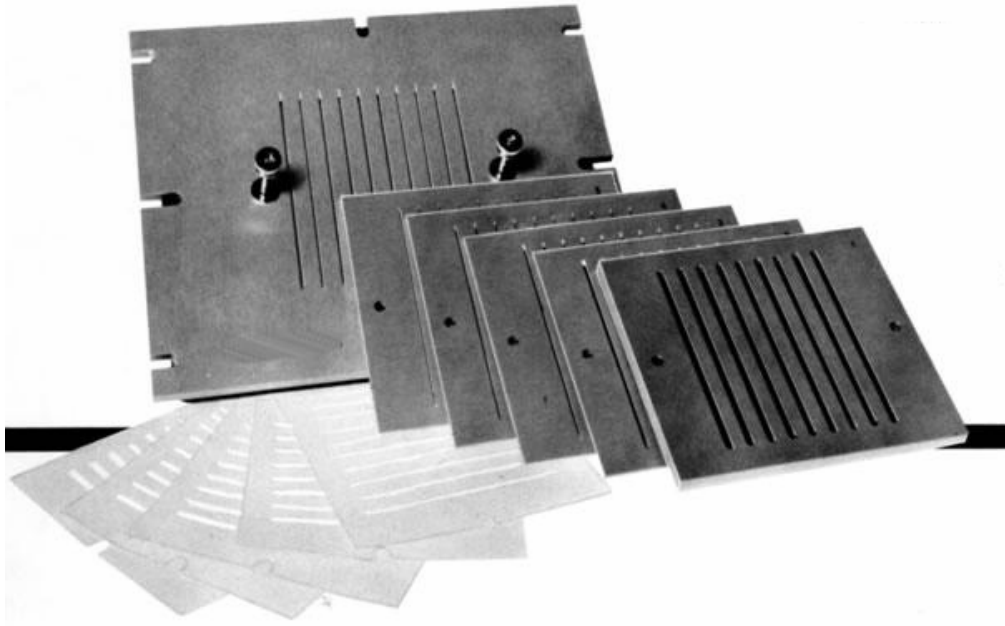


FIGURA 4.4. Dispositivo segregador de partículas - Impactador em Cascata

4.1.5. Amostragem de Resíduos Sólidos

Paralelamente à amostragem do material particulado presente nos aerossóis atmosféricos foram coletadas amostras para a determinação da composição química dos resíduos sólidos gerados por diferentes indústrias e mineradoras da região de Sete Lagoas.

A coleta foi feita em indústrias de produção de ferro-gusa a carvão vegetal, de fabricação de concreto dosado em central, de fabricação de cerâmica e em duas mineradoras de calcário. Além disso, foram coletadas amostras da poeira retida no piso e nas vias de acesso localizadas nas proximidades da estação de amostragem de ar.

A amostragem de resíduos sólidos oriundos dos processos industriais foi obtida em pontos e profundidades diferentes. As parcelas foram misturadas de forma a se obter uma amostra homogênea mantendo as mesmas características e propriedades da massa total da pilha de resíduos original (ABNT, 1987).

As poeiras coletadas dos pisos também foram obtidas de parcelas individuais que foram homogeneizadas resultando em uma amostra composta a ser analisada.

Uma vez no laboratório as amostras passaram por quarteamento até a obtenção da massa desejada para cada técnica analítica utilizada.

4.1.6. Amostragem de Solo

Para caracterização do solo da região de Sete Lagoas foram obtidas amostras junto à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). A Unidade de Pesquisa Milho e Sorgo da EMBRAPA de Sete Lagoas está situada em área com solos predominantes do município, o que motivou a definição do ponto de amostragem do solo. Além disso, o solo padrão da região encontra-se devidamente caracterizado por essa instituição, o que propiciou a comparação dos resultados analíticos finais do solo coletado.

A amostragem de solo foi realizada em apenas um ponto, sendo coletadas amostras simples em três profundidades distintas, a saber: 15, 30 e 45 cm. O ponto foi determinado por um técnico da EMBRAPA, em área com cobertura vegetal nativa e distante das intervenções antrópicas.

4.1.7. Amostragem de Parâmetros Meteorológicos

Durante a realização da campanha de amostragem de aerossóis atmosféricos foi feita a instalação de um anemômetro de palheta da Campbell, de forma a levantar dados sobre parâmetros meteorológicos, tais como velocidade e direção dos ventos.

O anemômetro foi posicionado no mesmo local de amostragem de aerossóis, ou mais especificamente, na cobertura da Unidade de atendimento de Saúde do Município, vizinha a Estação Pronto Socorro (SL 04), a uma altura de 15,0 metros acima do nível da estação de monitoramento e a aproximadamente 18,0 m acima do nível mais baixo da edificação.

Os dados de velocidade e direção dos ventos foram registrados a cada 10 minutos em um *datalogger* com capacidade de armazenamento correspondente a 6 meses. Os dados referentes à precipitação pluviométrica foram fornecidos pelo Laboratório de Meteorologia da EMBRAPA.

4.2. METODOLOGIA ANALÍTICA

As amostras de material particulado contido nos filtros de celulose e de microssílica, bem como as amostras de resíduos sólidos e solo foram caracterizadas química, física e mineralogicamente com a finalidade de se estabelecer associações entre o material particulado presente na atmosfera e as fontes emissoras.

A seguir, é feita uma descrição da metodologia analítica utilizada no presente estudo para caracterização química e mineralógica das amostras coletadas.

4.2.1. Gravimetria

A gravimetria é a metodologia utilizada para se determinar a massa do material particulado coletado nos filtros utilizados para amostragem. Para tanto, a massa do filtro é medida antes e após a amostragem; a diferença entre elas é decorrente do material depositado durante o período de amostragem. Conhecendo-se a massa e sabendo-se o volume de ar amostrado, registrado no totalizador do equipamento amostrador, pode-se determinar a concentração do material particulado coletado.

Para a determinação da massa do material particulado coletado nos filtros utilizou-se uma balança digital de precisão de 0,1 mg, da marca Automarte, série AS5500. Antes de cada pesagem, os filtros permaneceram 24 horas no dessecador, composto de prateleiras treliçadas, possuindo na sua base uma bandeja coberta de sílica-gel.

A sílica-gel antes de ser depositada no dessecador foi submetida a um aquecimento de 110 °C por 24 horas, para garantir a retirada total da umidade. Transcorrido o período de secagem, a sílica foi transferida para o dessecador, que foi hermeticamente fechado. Tais procedimentos foram realizados dentro do laboratório com ambiente controlado adequadamente, com temperatura de aproximadamente 23 °C e umidade média de 50%, desvios máximos de 10%. Na seqüência, os filtros foram levados para amostragem. Depois de amostrados, foram embalados, identificados e retornaram para a dessecagem e pesagem.

As massas dos filtros (celulose e microssílica) considerados como “branco” (filtro não amostrado), assim como daqueles utilizados durante as campanhas de amostragem foram medidas por duas vezes, obtendo-se assim, a média dos valores registrados. Este

procedimento foi realizado para eliminar ganho de massa devido à absorção de água ou contaminação no transporte e manuseio dos filtros.

4.2.2. Difração de Raios X

As análises da composição mineralógica das diferentes amostras de interesse (solo, resíduos sólidos e material particulado) foram feitas pela técnica de difratometria de raios-X, método do pó, empregando-se um difratômetro de raios-X de fabricação Rigaku, modelo Geigerflex, semi-automático, com monocromador de cristal curvo de grafite e tubo de raios-X de cobre e uma interface informatizada para obtenção de dados digitais.

A identificação de fases cristalinas / minerais foi obtida por comparação do difratograma de raios-X das amostras com o banco de dados da ICDD – *International Center for Diffraction Data* (JCPDS, 2000).

Todas as amostras coletadas nos filtros de celulose foram recortadas em dimensões de 10x10 cm, porção suficiente do filtro para compor a amostra analítica. A amostra foi calcinada a 500 °C durante um intervalo de tempo de uma hora e a cinza obtida foi pulverizada em gral de ágata. A preparação final obedeceu às condições padrão de preparo de amostra para análise pelo método de difração do pó. Uma solução de álcool foi utilizada como aglutinante do resíduo durante o processo de preparo das amostras.

As amostras coletadas em filtro de microsílica foram recortadas em dimensões de 3x3 cm e coladas no porta-amostra, procedendo a seguir, a obtenção do difratograma de raios-X.

As amostras de resíduos sólidos e de solo foram homogeneizadas, quarteadas e distribuídas sobre uma superfície de vidro colante formando uma camada de resíduos com diâmetro aproximado de 20 mm.

As análises levaram em consideração as intensidades das principais reflexões das fases e as comparações entre as mesmas, avaliando-se assim as quantidades relativas de seus teores.

4.2.3. Espectrometria de Fluorescência de Raios-X

Apenas as amostras de resíduos industriais e o solo padrão de Sete Lagoas foram submetidas à análise por espectrometria de fluorescência de raios-X.

As análises foram realizadas no Laboratório de Fluorescência de Raios-X do Centro de Química e Meio Ambiente (CQMA) do Instituto de Pesquisas Nucleares de São Paulo (IPEN). Utilizou-se um espectrômetro de fluorescência de raios-X, da marca RIGAKU, do tipo RIX 3000. De cada amostra foi obtida uma massa entre 100 a 500 mg e acrescentado uma quantidade de 2 a 3 g de ácido bórico. Cada material foi acondicionado em um cilindro, associado a uma prensa hidráulica. Por fim, o material foi compactado sob pressão de 5 toneladas, durante um minuto, fornecendo uma pastilha de 20 mm de diâmetro.

4.2.4. Análise por Ativação Neutrônica - AAN

O método de Análise por Ativação Neutrônica foi utilizado para a determinação da concentração dos elementos traços presentes no material particulado coletado nos filtros de celulose e microssílica, das amostras de solo e dos resíduos sólidos.

Após pesadas, cada uma das amostras foi acondicionada em tubos de polietileno adequados para a análise, foram irradiadas na Mesa Giratória do reator TRIGA MARK-I IPR-R1 localizado no CDTN/CNEN, cujo fluxo de nêutrons térmicos de $6,6 \times 10^{11}$ nêutrons.cm⁻².s⁻¹, com 100 kW de potência. A Mesa Giratória dispõe de 40 posições para irradiação simultânea, se necessário.

Durante todo o período de irradiação as amostras foram acompanhadas de comparadores de sódio (Na) em triplicata e de amostras de materiais de referência em duplicata de forma a permitir a verificação da exatidão da técnica e garantir a reprodutibilidade das análises conforme recomendado por Sabino *et al.* (1995). Os materiais de referência analisados junto com as amostras foram: IAEA/Soil-7, GBW 07411, GBW 07401 (IAEA, 1998), e GXR-6 (USGS, 1988).

As condições de irradiação e contagem das amostras foram:

- para os nuclídeos de meia vida-curta (< 3 horas) foram utilizados 4 minutos de irradiação, 2 minutos de espera e 600 segundos de contagem,
- para os de meia-vida média (de 12 a 4 dias) e longa (>30 dias) foram utilizadas 8 horas de irradiação, 48 horas de espera para os de meia-vida média e 3 semanas para os de meia-vida longa e tempos de contagem de aproximadamente 50 e 120 minutos, respectivamente.

A espectrometria gama foi feita utilizando um detector HPGe, CANBERRA, modelo GC1518 com resolução de 1,85 keV para a energia de 1332 keV do ^{60}Co . O detector foi acoplado ao programa Genie-PC, CANBERRA, para aquisição dos espectros gama. Os espectros gama foram analisados por meio da utilização do programa Hyperlab-PC12 (HYPERLAB-PC, 2002).

CAPÍTULO 5

5. ANÁLISE ESTATÍSTICA

A utilização de modelos receptores neste trabalho visa determinar a contribuição das principais fontes de poluentes presentes na atmosfera de Sete Lagoas. Nesta seção é descrito o modelo de análise multivariada utilizado na exploração das relações existentes entre as concentrações elementares do material particulado e as assinaturas das fontes emissoras. A técnica avaliada é a Análise Fatorial usando Método das Componentes Principais.

A Análise Fatorial (AF) difere do Modelo de Balanço de Massa no seu princípio básico. Na AF não é necessário o conhecimento do número ou a composição das fontes de aerossóis. O objetivo principal da AF é descrever a variabilidade original dos dados em termos de um número menor de variáveis aleatórias. Essas novas variáveis são chamadas de fatores comuns e estão relacionadas com as variáveis originais através de um modelo linear.

De modo geral, a análise proporciona o agrupamento das variáveis originais de forma não correlacionada e que sintetizem as informações principais das variáveis originais (MINGOTI, 2005).

A verificação da variabilidade dos dados envolve a avaliação das variâncias, covariâncias e a correlação entre eles. A AF utiliza as matrizes destas medidas para estimativa dos seus fatores. Entretanto, em muitos casos, estes fatores frequentemente são influenciados pelas variáveis de maior variância. Esta discrepância, em muitos casos, é causada pela diferença das unidades de medidas das variáveis consideradas no modelo. Para amenizar esta situação, o modelo proposto, utiliza a matriz de correlação das variáveis envolvidas (JOHNSON & WICHERN, 1998).

Outro critério adotado para construir o modelo de AF, é a escolha do método para estimar as matrizes relativas às variâncias das variáveis padronizadas e às variâncias dos erros aleatórios.

Três métodos de estimação podem ser utilizados: análise de componentes principais, de fatores principais e da máxima verossimilhança (MINGOTI, 2005). Dentre estes o método das Componentes Principais foi o adotado devido ao fato de não exigir informações ou suposições sobre a distribuição de probabilidades das variáveis padronizadas.

5.1. MODELO DE ANÁLISE FATORIAL VIA MATRIZ DE CORRELAÇÃO

O modelo de análise fatorial construído a partir da matriz de correlação $R_{p \times p}$ é um modelo que relaciona linearmente as variáveis padronizadas com os m fatores comuns.

A padronização da base de dados (Z) é dada por (9) (MINGOTI, 2005):

$$Z_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{S_j} \quad (9)$$

Z_{ij} : elementos da matriz padronizada;

x_{ij} : concentração elementar da amostra i e variável j ;

\bar{x}_j : média das concentrações da variável j ;

S_j : desvio padrão das variáveis j .

As equações do modelo são dadas por:

$$\begin{aligned} Z_{1j} &= l_{11}F_1 + l_{12}F_2 + \dots + l_{1m}F_m + e_{1j} \\ Z_{2j} &= l_{21}F_1 + l_{22}F_2 + \dots + l_{2m}F_m + e_{2j} \\ &\vdots \quad \vdots \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \vdots \\ Z_{pj} &= l_{p1}F_1 + l_{p2}F_2 + \dots + l_{pm}F_m + e_{pj} \end{aligned} \quad (10)$$

Estas, por sua vez, podem ser descritas em forma matricial como segue.

$$D(X - \mathbf{m}) = LF + \mathbf{e} \quad (11)$$

Onde,

$$(X - \mathbf{m})_{px1} = \begin{bmatrix} X_1 - \mathbf{m}_1 \\ X_2 - \mathbf{m}_2 \\ \vdots \\ X_p - \mathbf{m}_p \end{bmatrix} \quad \mathbf{e}_{px1} = \begin{bmatrix} \mathbf{e}_1 \\ \mathbf{e}_2 \\ \vdots \\ \mathbf{e}_p \end{bmatrix} \quad F_{mx1} = \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ \vdots \\ F_m \end{bmatrix} \quad L_{pxm} = \begin{bmatrix} l_{11} l_{12} \dots l_{1m} \\ l_{21} l_{22} \dots l_{2m} \\ \vdots \\ l_{p1} l_{p2} \dots l_{pm} \end{bmatrix}$$

$$D_{pxp} = \begin{bmatrix} 1/s_1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1/s_2 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \dots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1/s_p \end{bmatrix}$$

De modo geral, tem-se que:

- as variáveis Z_j estão relacionadas linearmente com novas variáveis aleatórias F_j ;
- o vetor \mathbf{e}_{px1} é um vetor de erros aleatórios e corresponde aos erros de medida e à variação de Z_j , que não é explicada pelos fatores comuns F_j ;
- o coeficiente l_{ij} , comumente chamados de *loading* (peso ou carga fatorial), é o coeficiente da i -ésima variável padronizada Z_j no j -ésimo fator F_j e representa o grau de relacionamento linear entre Z_j e F_j . Estes coeficientes ficam armazenados na matriz L_{pxm} , que é uma matriz de parâmetros (constantes).

Assim, de acordo com o modelo linear (10), a informação das p -variáveis originais padronizadas estará sendo representado por $(p+m)$ variáveis aleatórias.

Tecnicamente, os fatores são obtidos a partir de uma decomposição da matriz de correlação. Como resultado dessa decomposição têm-se as cargas fatoriais, as quais indicam o

quanto cada variável está associada a cada fator, bem como os autovalores associados a cada um dos fatores envolvidos.

Os autovalores são números que refletem a importância do fator. Quando o número de fatores é igual a número de variáveis, a soma dos autovalores corresponde à soma das variâncias dessas variáveis. Desse modo, a razão entre um autovalor e a soma das variâncias (ou o número de variáveis, no caso da matriz de correlação) indica a proporção da variabilidade total dos dados que é explicada pelo fator. A soma das proporções relativas aos fatores considerados na análise reflete quanto da variabilidade dos dados é explicada pelo conjunto de fatores.

Para obtenção dos m fatores, é necessário conhecer os autovalores e autovetores da matriz de correlação amostral. Ou seja, de acordo com o Teorema da Decomposição Espectral (JOHNSON & WICHERN, 1998), existe uma matriz ortogonal $O_{p \times p}$ tal que:

$$O' R O = \begin{bmatrix} I_1 & 0 \\ & I_2 \\ 0 & & I_p \end{bmatrix} = \Lambda \tag{11}$$

Onde $I_1 \geq I_2 \geq \dots \geq I_p$ são os autovalores da matriz $R_{p \times p}$. Neste caso, diz-se que a matriz $R_{p \times p}$ é similar à matriz $\Lambda_{p \times p}$.

A i -ésima coluna da matriz $O_{p \times p}$ é o autovetor normalizado e_i correspondente ao autovalor I_i , que é dada por:

$$e_i = \begin{bmatrix} e_{i1} \\ e_{i2} \\ \vdots \\ e_{ip} \end{bmatrix}, \text{ logo, } O = [e_1 e_2 \dots e_p] \Rightarrow R_{p \times p} = O \Lambda O' = \sum_{i=1}^p I_i e_i e_i'$$

Sendo e_i um vetor de comprimento igual a 1, isto é,

$\|e_i\| = (e_{i1}^2 + e_{i2}^2 + \dots + e_{ip}^2)^{1/2} = 1$, $e_i \cdot e_j = 0, \forall i \neq j$, pela ortogonalidade da matriz $O_{p \times p}$.

Então a j -ésima componente principal da matriz $R_{p \times p}$ é definida por :

$$Y_j = e_j' Z = e_{j1} Z_1 + e_{j2} Z_2 + \dots + e_{jp} Z_p \quad (12)$$

Sendo que:

(a) A variância de Y_j é igual a \mathbf{I}_j , e a covariância entre Y_j e Y_k é igual a zero, para qualquer $j \neq k$;

(b) A correlação entre a componente Y_j e a variável padronizada Z_j é igual a :

$$r_{Y_j Z_j} = r_{Y_j X_i} = e_{ji} \sqrt{\mathbf{I}_j} \text{ e, conseqüentemente, as variáveis } Z_j \text{ com os}$$

maiores coeficientes na componente principal Y_j são as mais correlacionadas com a componente;

(c) A proporção da variância total explicada pela j -ésima componente principal

$$\text{é igual } \frac{\mathbf{I}_j}{p}, j=1,2,\dots,p.$$

Aspectos omitidos neste texto podem ser encontrados na literatura referenciada ao longo deste estudo.

5.2. ESTIMATIVA DO NÚMERO DE FATORES

Conhecidos os autovalores da matriz ordenados por ordem decrescente, então o valor de m será definido a partir da análise dos seguintes critérios (MINGOTI, 2005):

- **Critério 1:** a análise da proporção da variância total relacionada com cada autovalor: permanecendo aqueles que representam maiores proporções da variância total, portanto, m será igual ao número de autovalores retidos;

- **Critério 2:** O valor de m será correspondente ao número de autovalores maiores ou iguais a 1.
- **Critério 3:** Análise do gráfico *scree-plot* (fator versus autovalor). No ponto onde houver um decréscimo de importância em relação à variância total haverá um “ponto de salto”. O valor de m será igual ao número de autovalores anteriores ao “ponto de salto”.

5.3. ESTIMATIVA DAS CARGAS FATORIAIS E DA VARIABILIDADE DOS ERROS.

A estimativa do modelo estatístico requer que algumas suposições sejam feitas, entre elas:

- (a) $E [F_{m \times 1}] = 0$, significa que todos os fatores têm média igual a zero;
- (b) $Var [F_{m \times 1}] = I_{m \times m}$, isto é, todos os fatores F_j são não correlacionados e têm variância iguais a 1;
- (c) $E [e_{p \times 1}] = 0$, ou seja, todos os erros têm médias iguais a zero.

$$(d) Var [e_{p \times p}] = \mathbf{y}_{p \times p} = \begin{bmatrix} \mathbf{y}_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \mathbf{y}_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & 0 & \mathbf{y}_p \end{bmatrix},$$

ou seja, os erros são não correlacionados entre si e não têm necessariamente a mesma variância.

- (e) Os vetores $e_{p \times 1}$ e $F_{m \times 1}$ são independentes, isto é, esses vetores representam duas fontes de variação distintas, relacionadas às variáveis padronizadas Z_i .

Nessas condições o modelo fatorial é chamado de ortogonal, onde a ortogonalidade refere-se ao fato dos m fatores serem ortogonais entre si. Assim $R_{p \times p}$ pode ser decomposta, ou seja, $R_{p \times p} = Var(Z) = Var(LF + e) = L L' + e$. Desta relação tem-se:

(i) $Var(Z_i) = l_{i1}^2 + l_{i2}^2 + \dots + l_{im}^2 + \mathbf{y}_i = h_i^2 + \mathbf{y}_i$, o que significa que a variância de Z_i é decomposta na variabilidade explicada pelos m fatores incluídos no modelo fatorial e na variabilidade associada apenas ao erro aleatório. Essas variabilidades são chamadas de comunalidades e unicidades, respectivamente. Como as variáveis Z_i têm variâncias iguais a 1, implica que $h_i^2 + \mathbf{y}_i = 1$.

(ii) $Cov(Z_i, Z_k) = l_{i1}l_{k1} + l_{i2}l_{k2} + \dots + l_{im}l_{km}$, $i, k = 1, 2, \dots, p, i \neq k$.

(iii) $Cov(Z, F) = L_{pm} \Rightarrow Cov(Z_i, F_j) = Corr(Z_i, F_j) = l_{ij}$, $i=1, 2, \dots, p; j=1, 2, \dots, m$.

(iv) Em relação à variância total, a proporção explicada pelo fator F_j será dada por:

$$PVTE_{F_j} = \frac{\sum_{i=1}^p L_{ij}^2}{P} \tag{13}$$

5.4. ROTAÇÃO DE FATORES

Uma ferramenta importante na interpretação de fatores é a rotação fatorial. O objetivo dessa rotação é fazer com que as cargas fatoriais mais expressivas, dentro de um fator, se aproximem de 1. Existem métodos de rotações ortogonais e oblíquas. Neste estudo é utilizada a rotação ortogonal VARIMAX, por ser mais difundida e amplamente discutida na literatura (HAIR et al, 2005) e por proporcionar ajustes satisfatórios aos pesos considerados em cada análise.

Especificamente, os eixos de referência dos fatores são rotacionados em torno da origem, maximizando a variância dos quadrados dos *loadings* dos autovetores para valores mais próximos de 1.

Existe uma matriz ortogonal $T_{m \times m}$ que transforma a matriz de *loadings* $\hat{L}_{p \times m}$ estimada fornecendo uma segunda matriz de *loadings* maximizados. O critério VARIMAX seleciona os coeficientes \tilde{l}_{ij} que maximizam a quantidade V.

$$V = \frac{1}{p} \sum_{j=1}^m \left[\sum_{i=1}^p \tilde{l}_{ij}^4 - \frac{1}{p} \left(\sum_{i=1}^p \tilde{l}_{ij}^2 \right)^2 \right] \quad (14)$$

onde $\tilde{l}_{ij} = \left(\frac{\hat{l}_{ij}^*}{\hat{h}_i} \right)$ sendo \hat{h}_i a raiz quadrada da comunalidade da variável Z_i .

5.5. PROGRAMAS DE CÁLCULOS UTILIZADOS

Para a realização da análise fatorial foi utilizado o software estatístico SPSS (*Statistical Package for the Social Science*) versão 10.0. Os demais procedimentos de cálculos foram realizados com o suporte de planilhas eletrônicas geradas no programa Excel, da Microsoft.

CAPÍTULO 6

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos a partir das metodologias propostas no Capítulo 4, os quais se referem às análises dos resíduos sólidos gerados tanto pelas principais fontes de emissão de material particulado do município de Sete Lagoas quanto pelo típico da região. Além destes, são apresentados os resultados da distribuição do tamanho de partículas presentes no aerossol atmosférico, as concentrações de massa do material particulado inalável e total em suspensão, bem como suas respectivas concentrações elementares.

Para melhor entendimento das informações abordadas, primeiramente, são apresentados os resultados das concentrações de massa do material particulado e da distribuição do tamanho de partículas, bem como das condições dos índices de qualidade do ar durante o período de amostragem (11/01/2005 a 13/02/2005). Em seguida, são relatadas as condições meteorológicas do período considerado.

Posteriormente, são mostrados os dados das concentrações elementares das partículas totais em suspensão (PTS), das partículas inaláveis (PI), das amostras de solo padrão e dos resíduos sólidos agrupados por tipologia. Por fim são apresentados os perfis elementares de fontes poluidoras características de um modelo receptor obtido através da técnica Análise Fatorial utilizando o Método de Componentes Principais.

6.1 CONCENTRAÇÃO DE MASSA DE MATERIAL PARTICULADO

A concentração de massa do material particulado total em suspensão (PTS) e do particulado inalável (PM_{10}) foram obtidas utilizando-se instrumentos com o mesmo princípio físico, conforme descrito no Capítulo 4. Os equipamentos foram instalados na mesma localidade e funcionaram por igual período de tempo. Na FIG. 6.1 apresenta-se o arranjo da estação de monitoramento e qualidade do ar contendo os dois equipamentos utilizados para a amostragem do material particulado presente no aerossol atmosférico de Sete Lagoas.



FIGURA 6.1. Estação de Amostragem da Qualidade do Ar.

Na TAB. 6.1 são mostrados os resultados das concentrações médias de material particulado total em suspensão (PTS) e os índices de qualidade do ar. Pode-se notar que apenas 28% das observações das concentrações de PTS não ultrapassaram o padrão primário diário (concentração média de 24 horas igual a $240 \mu\text{g.m}^{-3}$). No restante dos dias, o padrão primário diário foi ultrapassado, ou seja, durante um período correspondente a um mês de amostragem, o padrão primário diário foi ultrapassado 23 vezes (77% dos dias). A legislação ambiental (CONAMA, 1990) estabelece que o padrão primário diário não pode ser excedido mais de uma vez ao ano. Se for considerado como referência o padrão secundário diário ($150 \mu\text{g.m}^{-3}$) para partículas totais em suspensão (PTS), a situação é ainda mais crítica. Neste caso, o limite só não foi ultrapassado por 2 vezes.

A qualidade do ar apresentou-se na faixa Regular em 21% dos dias, em 38% dos dias na faixa Inadequada, em 38% na faixa de Má qualidade e 3% dos na faixa Péssima.

TABELA 6.1

Concentração de Partículas Totais em Suspensão (PTS) e Qualidade do Ar do município de Sete Lagoas

Identificação da Amostra	Data da Amostragem	Concentração (mg.m ⁻³)	Qualidade do Ar
PTS1	11/01/2005	246	INADEQUADA
PTS2	12/01/2005	327	INADEQUADA
PTS3	13/01/2005	432	MÁ
PTS4	14/01/2005	406	MÁ
PTS5	15/01/2005	393	MÁ
PTS6	16/01/2005	215	REGULAR
PTS7	17/01/2005	331	INADEQUADA
PTS8	18/01/2005	463	MÁ
PTS9	19/01/2005	647	PÉSSIMA
PTS10	25/01/2005	478	MÁ
PTS11	26/01/2005	322	INADEQUADA
PTS12	27/01/2005	258	INADEQUADA
PTS13	28/01/2005	361	INADEQUADA
PTS14	29/01/2005	371	INADEQUADA
PTS15	30/01/2005	226	REGULAR
PTS16	31/01/2005	378	MÁ
PTS17	01/02/2005	149	REGULAR
PTS18	02/02/2005	380	MÁ
PTS19	03/02/2005	525	MÁ
PTS20	04/02/2005	503	MÁ
PTS21	05/02/2005	334	INADEQUADA
PTS22	06/02/2005	250	INADEQUADA
PTS23	07/02/2005	143	REGULAR
PTS24	08/02/2005	423	MÁ
PTS25	09/02/2005	370	INADEQUADA
PTS26	10/02/2005	395	MÁ
PTS27	11/02/2005	227	REGULAR
PTS28	12/02/2005	200	REGULAR
PTS29	13/02/2005	364	INADEQUADA

Conforme mencionados no Capítulo 2, os padrões de qualidade do ar são mais rigorosos para PM_{10} , porque os diâmetros aerodinâmicos destas partículas são menores que $10\ \mu\text{m}$ e, portanto, mais nocivos à saúde humana.

Na TAB. 6.2 são mostrados os resultados das concentrações médias diárias de PM_{10} relacionados com os índices de qualidade do ar. Os resultados não excederam o padrão primário diário de concentração média de 24 horas, cujo valor é igual a $150\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, estabelecido pela legislação ambiental federal e adotado em Minas Gerais. O padrão secundário diário que também é de $150\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ não foi excedido. Em 53% dos dias amostrados, a Qualidade do Ar apresentou-se na faixa Regular, ou seja, as concentrações médias de PM_{10} foram superiores a $50\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

As FIG. 6.2 e 6.3 apresentam a variação da concentração média das partículas totais em suspensão (PTS) e das partículas inaláveis (PM_{10}) durante o período de amostragem considerado. Como pode ser observado, o comportamento da variação temporal da concentração é semelhante em ambos os casos, havendo uma coincidência com relação aos dias em que foram observados os maiores valores de concentração para PTS e PM_{10} .

TABELA 6.2Concentração de Partículas Inaláveis (PM₁₀) e Qualidade do Ar do município de Sete Lagoas.

Identificação da Amostra	Data da Amostragem	Concentração (mg.m⁻³)	Qualidade do Ar
PI1	11/01/2005	73	REGULAR
PI2	12/01/2005	71	REGULAR
PI3	13/01/2005	58	REGULAR
PI4	14/01/2005	68	REGULAR
PI5	15/01/2005	39	BOA
PI6	16/01/2005	62	REGULAR
PI7	17/01/2005	41	BOA
PI8	18/01/2005	66	REGULAR
PI9	19/01/2005	67	REGULAR
PI10	20/01/2005	82	REGULAR
PI11	25/01/2005	28	BOA
PI12	26/01/2005	72	REGULAR
PI13	27/01/2005	18	BOA
PI14	28/01/2005	42	BOA
PI15	29/01/2005	47	BOA
PI16	30/01/2005	25	BOA
PI17	31/01/2005	76	REGULAR
PI18	01/02/2005	16	BOA
PI19	02/02/2005	57	REGULAR
PI20	03/02/2005	132	REGULAR
PI21	04/02/2005	102	REGULAR
PI22	05/02/2005	33	BOA
PI23	06/02/2005	17	BOA
PI24	07/02/2005	63	REGULAR
PI25	08/02/2005	48	BOA
PI26	09/02/2005	65	REGULAR
PI27	10/02/2005	96	REGULAR
PI28	11/02/2005	25	BOA
PI29	12/02/2005	39	BOA
PI30	13/02/2005	42	BOA

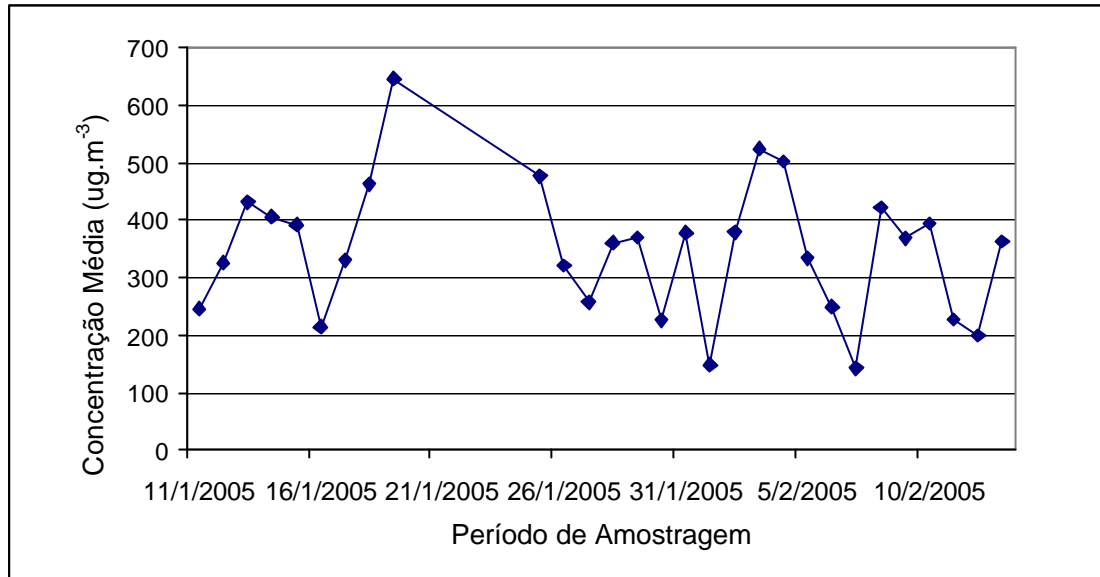


FIGURA 6.2. Variação da Concentração de Partículas Totais em Suspensão (PTS) durante o período de amostragem (11/01/2005 a 13/02/2005).

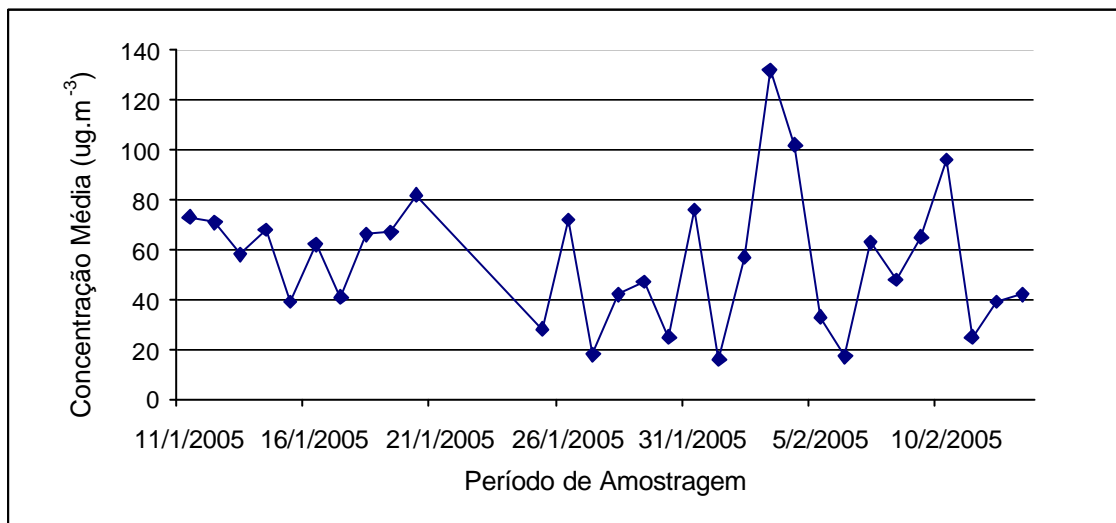


FIGURA 6.3. Variação da Concentração de Partículas Inaláveis (PM₁₀) durante o período de amostragem (11/01/2005 a 13/02/2005).

6.2. DISTRIBUIÇÃO DO TAMANHO DE PARTÍCULAS

Como descrito anteriormente no Capítulo 4, o Impactador em Cascata (IC) é um dispositivo que retira o material particulado do ambiente sob condições isocinéticas e segrega o aerossol em vários estágios em cascata. O IC utilizado no presente estudo possui 6 estágios de separação com pontos de corte em 10 μm ; 10 a 4,2 μm ; 4,2 a 2,1 μm ; 2,1 a 1,3 μm ; 1,3 a 0,7 μm e menores que 0,7 μm .

A campanha de amostragem para determinação do tamanho das partículas ocorreu no período de 03/08/2005, 04/08/2005 e 05/08/2006. Os resultados obtidos em cada uma delas estão apresentados na FIG. 6.4, onde se tem a concentração média de material particulado em função do tamanho das partículas do aerossol atmosférico.

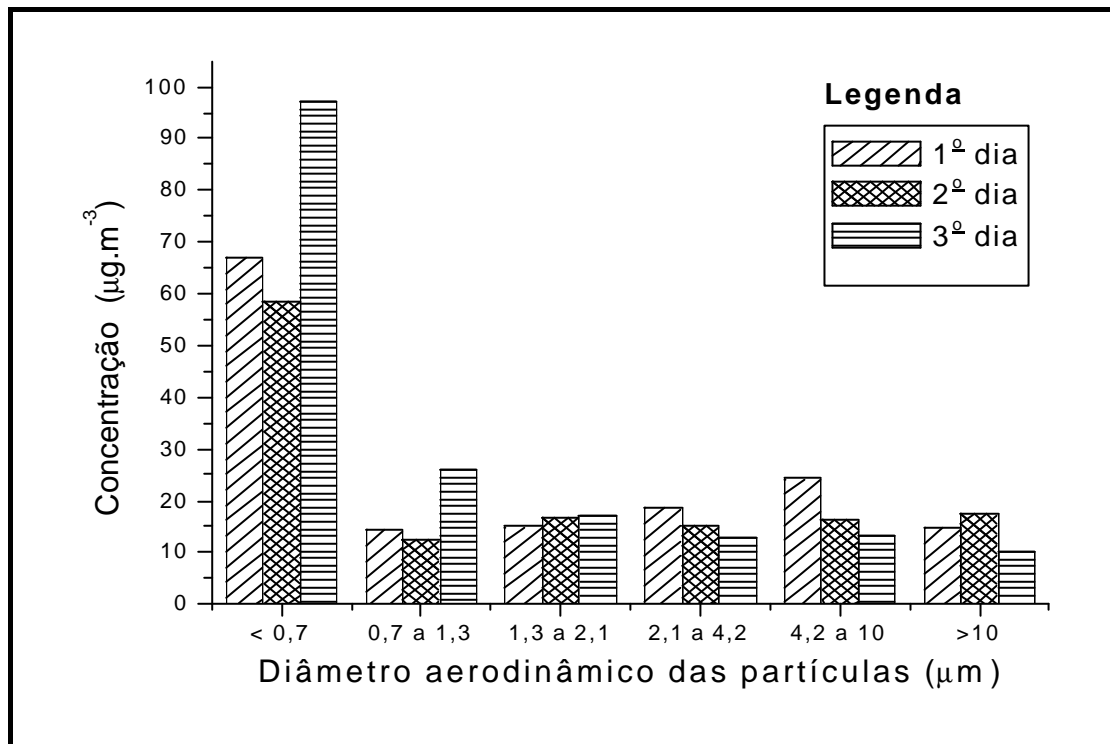


FIGURA 6.4. Concentração de material particulado em função do tamanho das partículas.

A TAB. 6.3 apresenta os resultados das concentrações médias de material particulado para cada um dos estágios do Impactador em Cascata.

TABELA 6.3

Concentrações de material particulado obtidas por meio do IC

Estágio do Impactador em Cascata	Diâmetro das partículas (μm)	Data de Coleta			Concentração Média Total ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	Percentual Observado	Percentual Acumulado
		03/08/2005	04/08/2005	05/08/2005			
		Concentração média por dia de amostragem ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)					
1	< 0,7	97	59	67	78	50	50
2	0,7 a 1,3	26	12	14	19	12	62
3	1,3 a 2,1	17	17	15	17	11	73
4	2,1 a 4,2	13	15	18	14	9	82
5	4,2 a 10,0	13	16	24	15	10	92
6	> 10,0	10	17	15	14	9	100

Esses dados mostraram que os maiores valores das concentrações médias de particulado encontram-se no estágio de coleta de partículas com diâmetro menores que 0,7 μm , que representa 49,8% do material coletado durante o período de amostragem. Além disso, aproximadamente 80% das partículas possuem diâmetro aerodinâmico menor que 2,5 μm .

Os resultados apresentados confirmam a importância de estudos para determinar a composição elementar do material particulado, que irão contribuir para identificar possíveis fontes poluidoras e, portanto, para avaliação e implantação de ações corretivas que levem à melhoria da qualidade do ar na região.

6.3. CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS

Conforme mencionado no Capítulo 4, durante todo o período de amostragem do material particulado presente no aerossol atmosférico de Sete Lagoas, fizeram-se medições de parâmetros meteorológicos na região de estudo. Tais parâmetros foram: a velocidade e a direção do vento no local de amostragem do material particulado.

Verifica-se na FIG. 6.5 que os valores médios mensais da distribuição da direção dos ventos por setores ocorrem no setor leste da região de Sete Lagoas, sendo predominante no sentido leste para oeste.

O mapa do município de Sete Lagoas, apresentado na FIG. 6.6, indica a localização das principais fontes de emissão de material particulado. De acordo com a rosa dos ventos pode se observar que a maioria das fontes, tais como concreteiras, fabricação de produtos cerâmicos e produção de ferro-gusa a carvão vegetal, está localizada na região leste da cidade de Sete Lagoas e, portanto, no setor dos ventos predominantes.

Os dados meteorológicos apresentados nas FIG 6.7 e FIG. 6.8 foram gerados na estação meteorológica da EMBRAPA, situada em Sete Lagoas. O período de medições refere-se ao mês de janeiro e a primeira quinzena de fevereiro de 2005. A série temporal foi apresentada com maior número de medidas para acompanhamento do comportamento dos atributos analisados. Ressalta-se que o período de amostragem dos aerossóis iniciou-se no dia 11/01/2005 que corresponde ao dia de medição 11 do calendário Juliano conforme figuras apresentadas neste subitem.

Na FIG 6.7 são apresentados os dados de velocidade dos ventos durante o período de amostragem do aerossol atmosférico; a velocidade média diária no período foi de $1,5 \text{ m.s}^{-1}$.

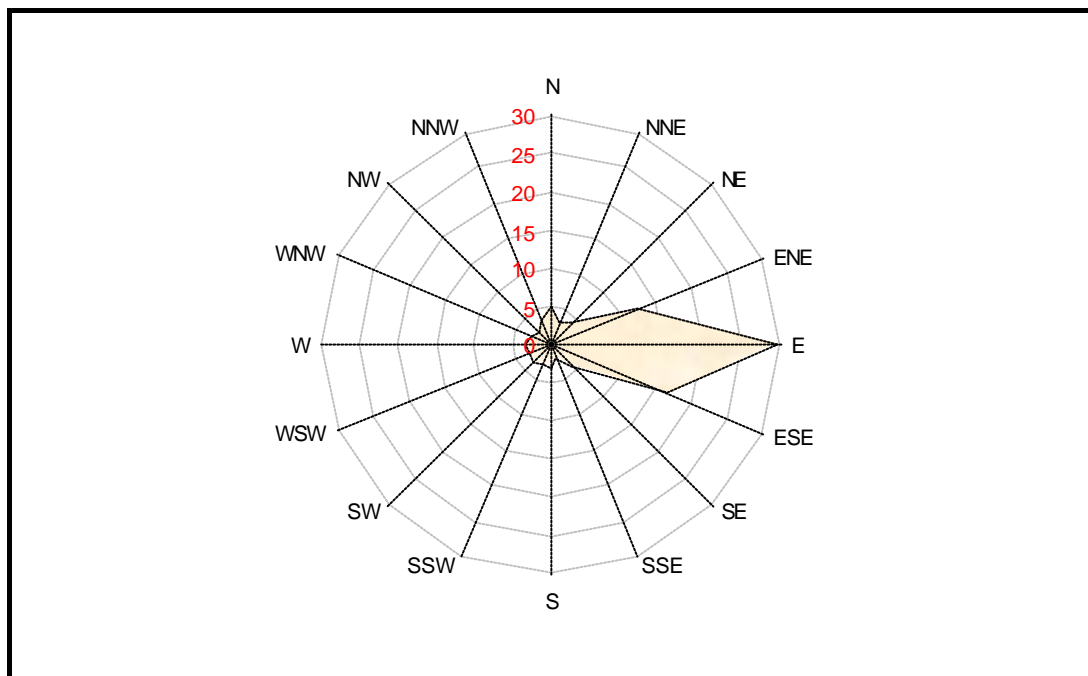


FIGURA 6.5. Rosa de ventos correspondente ao período de amostragem do aerossol atmosférico (11/01/2005 a 13/02/2005).

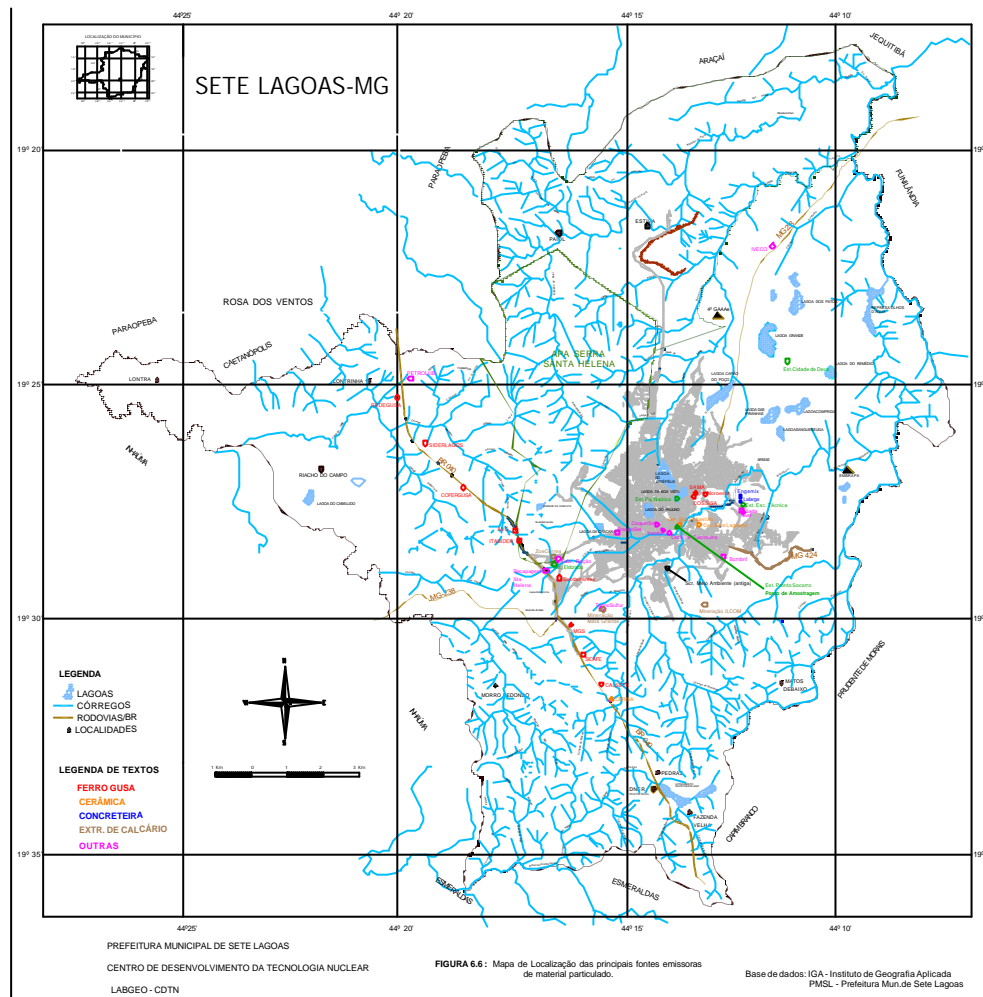


FIGURA 6.6. Mapa do município de Sete Lagoas.

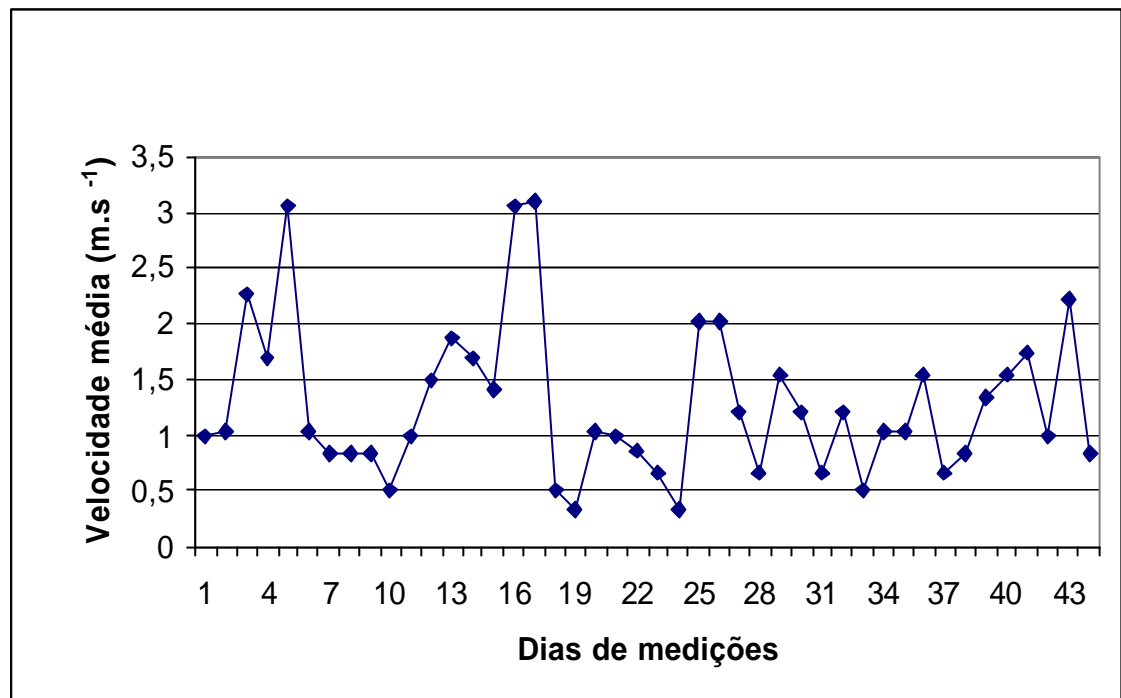


FIGURA 6.7. Velocidade média diária dos ventos.

Na FIG. 6.8 são apresentados os dados referentes ao índice de precipitação pluviométrica e às concentrações das partículas inaláveis no período de amostragem. Como pode ser observado, os dias de maior ocorrência de precipitação coincidem com aqueles em que foram observados os menores valores de concentração de partículas na atmosfera.

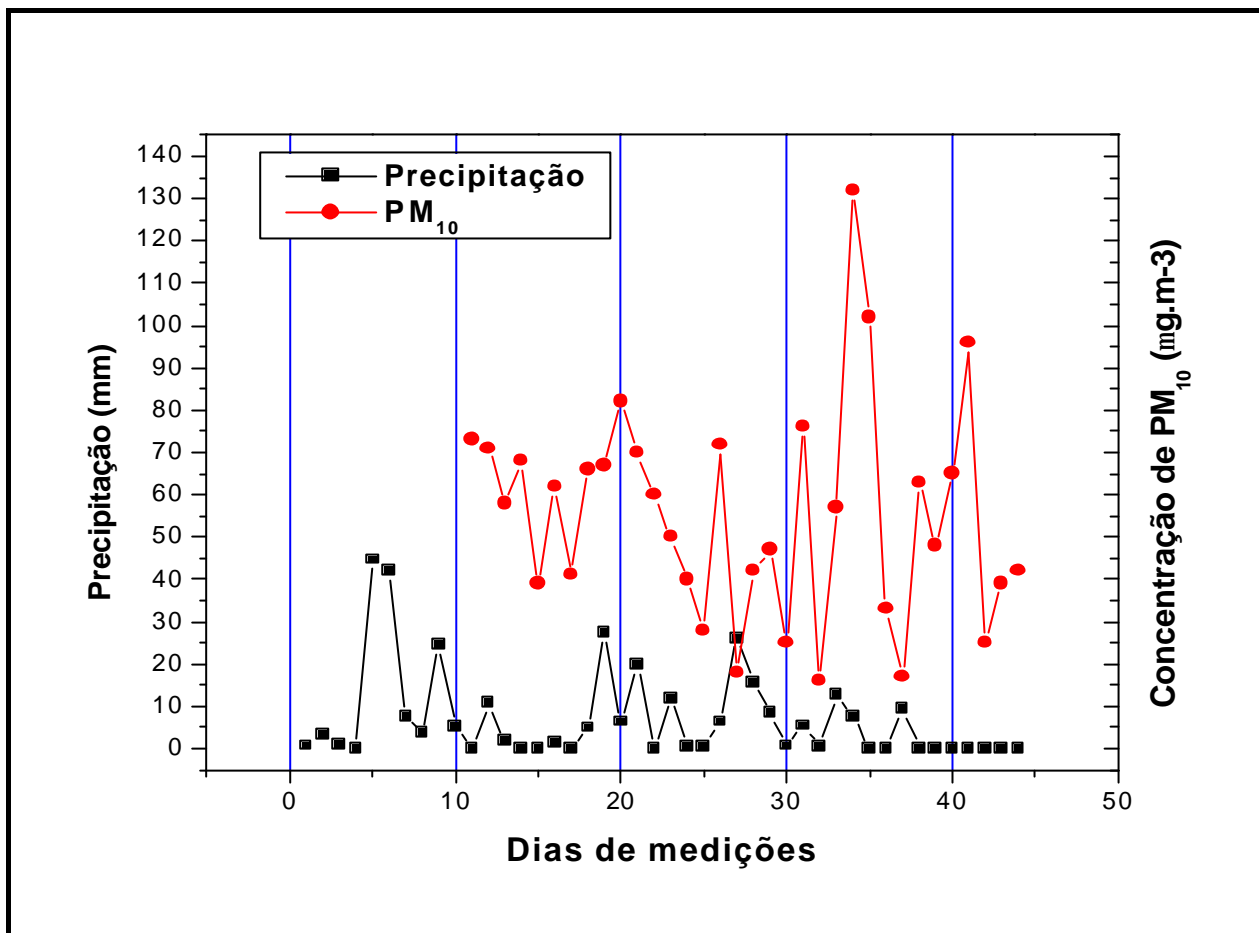


FIGURA 6.8. Comportamento do material particulado inalável e da precipitação pluviométrica média diária.

6.4. AVALIAÇÃO DA CONSISTÊNCIA DOS DADOS OBTIDOS DA APLICAÇÃO DE TÉCNICAS ANALÍTICAS

A avaliação dos resultados da composição elementar de diferentes tipos de amostras, em especial, de informações obtidas por meio do uso de técnicas analíticas sensíveis, requer, numa fase inicial, a validação de todos os dados obtidos. No presente estudo, o processo de avaliação dos dados iniciou-se durante as seguintes fases: de implantação dos procedimentos operacionais e da seleção das matrizes para coleta do material particulado e, ainda, nos testes de preparo das amostras para análise, conforme as metodologias analíticas descritas no Capítulo 4.

Os critérios definidos para a coleta das amostras contribuíram para diminuir o erro associado à obtenção do material de estudo. Finalizada essa etapa, seguiu-se uma rotina de investigação dos dados com o objetivo de diminuir as incertezas associadas aos resultados finais.

De forma a assegurar a precisão e exatidão das amostras analisadas por um determinado método quantitativo, o trabalho envolveu a análise de vários fatores, tais como:

- identificação das anormalidades no funcionamento da instrumentação envolvida nas análises das amostras;
- identificação dos resultados das medidas que pudessem comprometer os valores obtidos;
- verificação da existência de medidas com valores abaixo do limite de detecção dos equipamentos;
- identificação dos valores discrepantes considerando as relações físicas conhecidas entre as variáveis;

A validação dos dados elimina valores decorrentes de fatores que não demonstram a real variabilidade das propriedades medidas. Para cada coleta de amostra há o registro de eventos, tais como condições meteorológicas diárias, de atividades atípicas, do funcionamento irregular dos equipamentos, de alteração ou ajuste de algum parâmetro dos equipamentos e falha no fornecimento de energia elétrica. Esses eventos subsidiam o controle dos processos

envolvidos na coleta e análise das amostras, porque de alguma forma eles podem influenciar o resultado final.

Durante o processo de validação da consistência dos dados foi verificado que nenhum dos resultados obtidos encontrava-se abaixo do limite de detecção da técnica utilizada. Além disso, observou-se que a falta de dados durante um curto período de amostragem estava relacionada ao funcionamento irregular dos equipamentos.

A verificação de *outliers* ou dados discrepantes é outro ponto explorado. Eles representam valores esporádicos que não traduzem a base de dados, mas sim um evento que pode ter sido realmente medido ou, até mesmo, uma contaminação da amostra, que são diretamente traduzidas na medida. Em toda análise, foram identificados apenas dois casos como esse, os quais foram eliminados. Não houve necessidade de estimar esses casos porque as variáveis envolvidas não fizeram parte do processo análise estatística. Essa fase de identificação é de grande importância principalmente quando se faz uso de técnicas de Análise Fatorial. Identificar e estimar valores faltantes faz parte do processo de preparação da base de dados para a Análise de Componentes Principais.

Seguindo os critérios de avaliação de consistência dos dados e para garantir a exatidão e reprodutibilidade das análises, foram analisadas amostras de referências com resultados certificados de solo e de filtro de ar em duplicata. Os resultados encontram-se nas TAB 6.4, 6.5 e 6.6.

Na determinação por ativação neutrônica no reator nuclear de pesquisa do CDTN/CNEN, o TRIGA Mark I IPR-R1, as amostras são irradiadas na Mesa Giratória, onde o maior percentual de nêutrons que compõem o fluxo total de nêutrons é o de térmicos, o que é desejado, uma vez que 80% dos elementos químicos existentes na natureza são, em geral, passíveis de serem ativados por nêutrons térmicos. Essa ativação, entretanto, depende de vários fatores como, concentração do elemento de interesse na amostra, concentração de elementos interferentes presentes na amostra, secção de choque a nêutrons térmicos adequada do elemento em estudo, intensidade da emissão gama característica e etc.

Nessa pesquisa não foram determinados alguns elementos químicos de interesse sob ponto de vista ambiental, tais como o chumbo (Pb), o níquel (Ni), e o silício (Si), o cádmio (Cd) e o cálcio (Ca). Os motivos são descritos abaixo:

- o Pb por reação (n, γ) produz um radionuclídeo que não é emissor gama.

- o Si não têm secção de choque adequada para ser ativado por nêutrons térmicos,
- o Cd apresenta baixa seção de choque a nêutrons térmicos, isto significa que só em amostras sem radionuclídeos que interfiram no espectro gama é que é possível determinar esse elemento. Na matriz em estudo só é possível determinar o elemento se presente em concentrações elevadas, da ordem de percentagem, > 1%;
- o Ni também apresenta baixa seção de choque a nêutrons térmicos. Isto significa que só em amostras em que esse elemento esteja em concentrações elevadas, da ordem de percentagem (> 50% para o Ni) é que ele será determinado;
- O Ca possui um limite de detecção muito alto (vide apêndice) e, portanto, só pode ser determinado pelo método de análise por ativação neutrônica se a concentração existente no material particulado for elevada.

Os resultados apresentados nas TAB. 6.4 a 6.6 demonstram a precisão e exatidão da técnica, que foi avaliada por meio da estimativa do desvio padrão para cada elemento químico medido.

TABELA 6.4

Concentrações de elementos ($\mu\text{g. g}^{-1}$) nos materiais de referência determinados por ativação neutrônica

Elemento	IAEA / Soil-7*		GBW 07411**	
	Valor Experimental	Valor Certificado	Valor Experimental	Valor Certificado
Ag	< 2	NR	6,4 ± 0,5	5,4 ± 2,0
As	13 ± 1	13,4 ± 0,85	202 ± 8	205 ± 23
Au	< 0,01	NR	< 0,02	NR
Ba	169 ± 21	(159)	489 ± 51	550 ± 77
Br	6,5 ± 0,3	(7)	< 3	(3,1)
Cd	< 6	(1,3)	25 ± 4	28,2 ± 2,8
Ce	56 ± 2	61 ± 6,5	67 ± 2	66,3 ± 4,0
Co	9,1 ± 0,3	8,9 ± 0,85	16 ± 1	11,6 ± 2,9
Cr	72 ± 3	60 ± 12,5	64 ± 3	59,6 ± 10,1
Cs	5,4 ± 0,2	5,4 ± 0,75	8,0 ± 0,3	9,3 ± 1,7
Cu	< 100	11 ± 2	< 100	65,4 ± 9,8
Dy	< 8	3,9 ± 1,05	< 17	(4,4)
Eu	1,1 ± 0,1	1,0 ± 0,2	1,3 ± 0,2	1,1 ± 0,2
Fe	26680 ± 938	(25700)	58000 ± 2000	55790 ± 5021
Ga	9 ± 2	(10)	< 30	17,3 ± 6,4
Hf	5,5 ± 0,2	5,1 ± 0,35	5,6 ± 0,2	NR
Hg	< 1	(0,04)	< 2	0,150 ± 0,017
Ho	0,9 ± 0,1	(1,1)	< 1	(0,88)
K	10370 ± 421	(12100)	15700 ± 800	13982 ± 1258
La	28 ± 1	28 ± 1	32 ± 1	32,8 ± 5,3
Mn	650 ± 42	631 ± 60	8300 ± 300	9700 ± 1261
Mo	< 30	(2,5)	< 30	1,5 ± 0,6
Na	2026 ± 121	(2400)	7774 ± 279	8162 ± 898
Nd	33 ± 2	30 ± 6	29 ± 4	27,4 ± 6,0
Rb	51 ± 3	51 ± 4,5	122 ± 8	111 ± 19
Sb	1,7 ± 0,1	1,7 ± 0,2	9,5 ± 0,4	9,2 ± 2,8
Sc	9,1 ± 0,3	8,3 ± 1,05	11,5 ± 0,4	11,0 ± 2,2
Se	< 2	(0,4)	< 3	0,51 ± 0,26
Sm	4,1 ± 0,2	5,1 ± 0,35	4 ± 1	5,4 ± 0,43
Sr	< 159	108 ± 5,5	< 238	130 ± 26
Ta	0,69 ± 0,04	0,8 ± 0,2	0,9 ± 0,1	NR
Tb	0,65 ± 0,03	0,6 ± 0,2	0,70 ± 0,04	0,70 ± 0,27
Th	8,1 ± 0,3	8,2 ± 1,05	10,0 ± 0,4	12,6 ± 5,4
U	2,4 ± 0,1	2,6 ± 0,55	3,0 ± 0,2	3,3 ± 0,8
V	< 90	66 ± 7	< 90	88,5 ± 14,2
W	< 1	NR	8 ± 1	6,9 ± 0,41
Yb	2,4 ± 0,1	2,4 ± 0,35	2,7 ± 0,2	2,5 ± 0,2
Zn	105 ± 8	104 ± 6	4189 ± 100	3800 ± 600

* IAEA, 1984

** NRC CRM, 1991

NR: não reportado

(): valor informativo

TABELA 6.5

Concentrações de elementos no material de referência ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) determinado por ativação neutrônica

Elemento	GXR-6*		GBW 07401**	
	Valor Experimental	Valor Certificado	Valor Experimental	Valor Certificado
As	330 ± 10	330 ± 25	37 ± 1	34 ± 5
Au	$0,14 \pm 0,03$	$0,095 \pm 0,014$	< 2	(0,00005)
Ba	1100 ± 100	1300 ± 100	544 ± 25	590 ± 50
Co	12 ± 1	$13,8 \pm 1,0$	15 ± 1	$14,2 \pm 1,5$
Cs	$3,8 \pm 0,1$	$4,20 \pm 0,21$	$9,0 \pm 0,3$	$9,0 \pm 0,9$
Fe	48000 ± 2000	55800 ± 4100	36720 ± 1297	36330 ± 910
Ga	34 ± 4	35 ± 3	< 20	$19,3 \pm 1,7$
Hf	< 0,5	$4,3 \pm 0,7$	$6,9 \pm 0,3$	$6,8 \pm 0,9$
K	19000 ± 1000	18700 ± 4000	21770 ± 1253	21491 ± 498
La	$14,4 \pm 0,5$	$13,9 \pm 0,9$	33 ± 1	34 ± 3
Na	1000 ± 10	1060 ± 90	12740 ± 447	12316 ± 148
Nd	< 20	(13)	27 ± 2	28 ± 3
Rb	72 ± 2	90 ± 4	138 ± 6	140 ± 8
Sb	$3,7 \pm 0,1$	$3,6 \pm 1,0$	$1,3 \pm 0,1$	$0,87 \pm 0,32$
Sc	24 ± 1	$27,6 \pm 2,6$	$11,5 \pm 0,4$	$11,2 \pm 0,9$
Sm	$2,9 \pm 0,1$	$2,67 \pm 0,15$	$5,5 \pm 0,3$	$5,2 \pm 0,4$
Ta	< 0,1	$0,49 \pm 0,03$	$1,3 \pm 0,1$	$1,4 \pm 0,2$
Tb	< 0,1	(0,4)	$0,85 \pm 0,05$	$0,75 \pm 0,09$
Th	< 1,0	$5,30 \pm 0,22$	$11,8 \pm 0,4$	$11,6 \pm 1,1$
U	< 1,0	$1,54 \pm 0,07$	$3,2 \pm 0,2$	$3,3 \pm 0,6$
W	< 3	$1,9 \pm 0,5$	$3,0 \pm 0,5$	$3,1 \pm 0,4$
Zn	152 ± 3	118 ± 17	741 ± 27	680 ± 39

* U. S. GEOLOGICAL SURVEY ,1988

** NRC CRM, 1998

(): valor informativo

Uma amostra referência de filtro de Teflon também foi analisada e os resultados estão apresentados na TAB. 6.6.

TABELA 6.6

Concentrações dos elementos no material de referência de filtro de ar
para amostragem de metais ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)

Elemento Químico	3087 a *	
	Valor Experimental	Valor Certificado
As	32 ± 1	$35,00 \pm 0,80$
Ba	16 ± 2	$17,48 \pm 0,40$
Cd	$10,4 \pm 0,4$	$10,48 \pm 0,24$
Cr	$7,9 \pm 0,3$	$6,99 \pm 0,16$
Fe	$19,1 \pm 0,6$	$17,48 \pm 0,40$
Mn	$7,5 \pm 0,3$	$6,99 \pm 0,16$
V	40 ± 1	$34,96 \pm 0,80$
Zn	69 ± 2	$69,90 \pm 1,60$

* NIST, 2001

6.5. CARACTERIZAÇÃO DAS PRINCIPAIS FONTES EMISSORAS DE MATERIAL PARTICULADO

As fontes emissoras de material particulado foram agrupadas por tipologia conforme discriminado na seção 4.1.6 e 4.1.7. A descrição de cada uma delas é dada a seguir:

- **Fonte A** – *Solos das proximidades da estação de amostragem de ar e solo padrão da região em estudo* de acordo com caracterização feita pela EMBRAPA (latossolo vermelho escuro): solo característico da região de Sete Lagoas coletado a 15, 30 e 45 cm de profundidade,
- **Fonte B** – *Extração e/ou beneficiamento de calcário*: calcário moído, calcário misturado com solo residual e finos de calcário,
- **Fonte C** – *Fabricação de concreto e de produtos cerâmicos*: areia, pó de brita e cimento, argila, resíduo de coque, e resíduos do forno, e
- **Fonte D** – *Produção de ferro-gusa a carvão vegetal*: pó de balão, finos de minério de ferro, finos de escória e poeira sobre os pisos externos da empresa.

Conforme mencionado anteriormente, a análise por espectrometria de fluorescência de raios-x (FRX) e a análise por ativação neutrônica (AAN) das amostras de resíduos sólidos e solo forneceram informações sobre a concentração dos elementos químicos presentes e a Difratomia de raios-X forneceu informações sobre as fases cristalinas presentes nas amostras. Os resultados provenientes da técnica de difração de raios-X (DRX) foram obtidos no laboratório de difratometria de raios-X do Serviço de Tecnologia Mineral do CDTN/CNEN. A técnica de ativação neutrônica foi realizada no Laboratório de Ativação Neutrônica do Serviço de Reator e Irradiação, Divisão de Tecnologia Nuclear (CDTN/CNEN), sendo que os cálculos foram executados pela autora dessa dissertação de mestrado. Além da AAN, a composição elementar dos resíduos sólidos foi determinada por meio do uso da técnica de fluorescência de raios-X (FRX), no Laboratório de Fluorescência de raios-X do Centro de Química e Meio Ambiente do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (CQMA/IPEN), São Paulo.

6.5.1. Resultados da Análise de Concentração Elementar Utilizando a Técnica de Ativação Neutrônica.

A TAB. 6.7 apresenta o resumo para cada fonte discriminada na seção 6.5. Os valores apresentados referem-se às concentrações elementares máximas encontradas em cada tipologia avaliada. As concentrações, com suas incertezas associadas, relativas a cada resíduo analisado por tipologia estão apresentadas no Apêndice A.

Ressalta-se que, dentre os elementos listados na TAB. 6.7, o Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, Ti e Zn apresentam-se em concentrações superiores a $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$, concentrações não consideradas como traço. Os demais elementos estão na faixa de ppm ou $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$.

Os perfis ou assinaturas das Fontes A, B, C e D podem ser visualizados nas FIG. 6.9, 6.10, 6.11 e 6.12. Observa-se que, de uma maneira geral, os elementos químicos predominantes são o Al, Ba, Ca, Fe, K, Mg, Na, Ti e Zn.

TABELA 6.7

Composição elementar (AAN) das principais fontes emissoras de material particulado do município de Sete Lagoas.

Elementos Químicos	Concentração (mg.g ⁻¹)			
	Fonte A Solo	Fonte B Extração e/ou beneficiamento de calcário	Fonte C Fabricação de concreto e de produtos cerâmicos	Fonte D Produção de ferro-gusa a carvão vegetal
As	73	<2	17	17
Al	216906	31770	123391	50593
Ba	2214	535	1013	1504
Br	6	<2	4	,2
Ca	75510	282800	398700	149500
Ce	165	31	106	158
Co	5	5	12	5
Cr	354	24	103	76
Cs	16	6	88	2
Dy	9	<2	<2	<2
Eu	3	<1	2	19
Fe	126200	13590	282400	534400
Ga	59	<20	<20	<20
Hf	13	4	6	5
K	12300	31610	76200	1189
La	69	18	61	112
Mg	16414	16773	27641	<10
Mn	970	305	19899	4440
Mo	9	<4	<4	30
Na	1165	4483	8273	971
Nd	67	<20	44	54
Rb	94	95	233	<20
Sb	3	<0,3	7	6
Sc	32	5	19	15
Se	<10	<10	17	<10
Sm	8	2	6	9
Sr	376	372	2610	1066
Ta	3	<0,1	1	<0,1
Tb	2	<0,1	1	1
Th	30	9	24	6
Ti	11045	1225	4733	<800
U	6	1	9	28
V	206	31	107	130
W	4	<3	<3	<3
Yb	4	1	4	22
Zn	1291	38	5923	79
Zr	669	<350	<350	<350

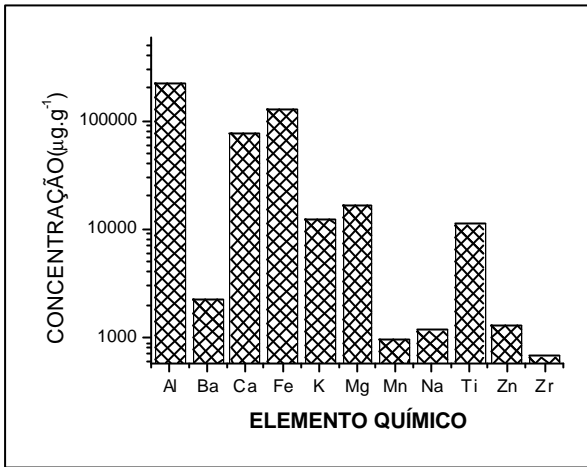


FIGURA 6.9: Principais concentrações elementares da Fonte A.

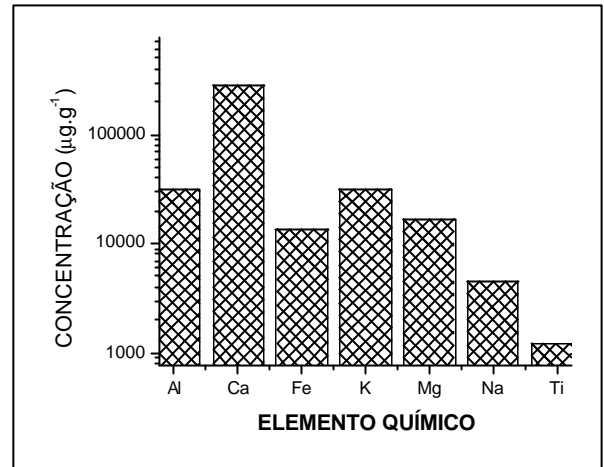


FIGURA 6.10: Principais concentrações elementares da Fonte B.

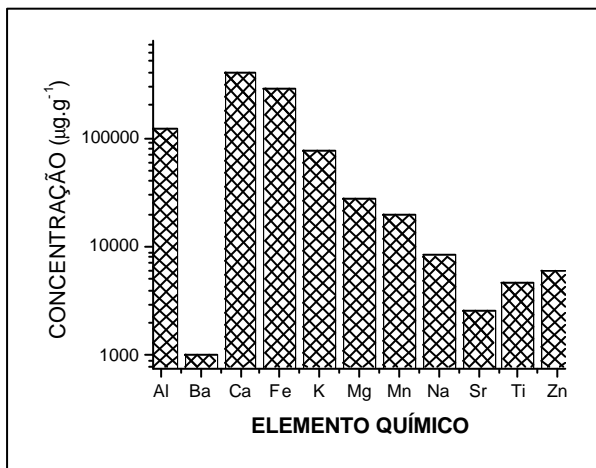


FIGURA 6.11: Principais concentrações elementares da Fonte C.

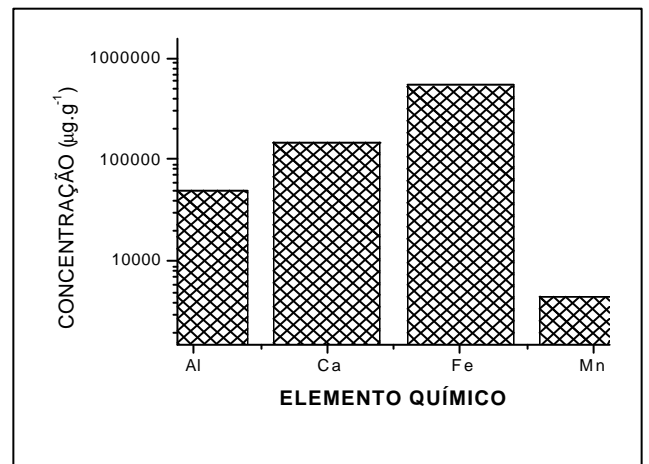


FIGURA 6.12: Principais concentrações elementares da Fonte D.

6.5.2. Resultados das Análises de Concentração Elementar pelo Método de Espectrometria de Fluorescência de Raios-X

Conforme mencionado no Capítulo 4, a espectrometria de fluorescência de raios-X (FRX) foi utilizada apenas para as análises das amostras de resíduos sólidos industriais e de solos. Este procedimento foi adotado levando-se em consideração, não apenas a importância da comparação dos resultados obtidos por diferentes métodos analíticos, mas também a capacidade de atendimento externo do Laboratório de Fluorescência de Raios-X do Centro de Química e Meio Ambiente do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN). Os resultados obtidos complementaram as informações relativas à composição elementar dessas amostras e verificaram a consistência dos resultados encontrados pelo método de análise por ativação neutrônica.

Na TAB. 6.8 são apresentados os resultados das concentrações elementares mais significativas obtidas por espectrometria FRX. No Apêndice B estão anexados os relatórios completos dos resultados com a incerteza associada.

Os resultados das análises indicaram que os elementos químicos que mais contribuem para a concentração total de cada uma das fontes consideradas foram o Al, Ca, Fe e Si. O Fe representa 50,0% dos constituintes da Fonte D. A Fonte C tem na sua constituição 48,0% de Ca e 35,4% de Fe. A extração de calcário, denominada Fonte B, tem como elemento predominante o Ca com 41,7% de sua composição, ficando o Si como o 2º elemento mais significativo com 3,6% de contribuição. A Fonte A tem também a presença desses elementos, porém, apresenta uma contribuição mais equilibrada. O Al representa 18,9%, o Si contribui com 17%, o Fe com 13,9% e o Ca com 7,0% do total da constituição elementar da Fonte A.

As frações complementares para cada uma das fontes analisadas são, geralmente, distribuídas entre outros elementos como Na, Mn, Mg e K, que representam percentuais inferiores a 2,0%. A exceção do K na Fonte C, perfazendo 5,0% da constituição elementar daquele emissor.

TABELA 6.8

Composição elementar (FRX) das principais fontes emissoras de material particulado do município de Sete Lagoas

Elementos Químicos	Concentração (%)			
	Fonte A Solo	Fonte B Extração e/ou beneficiamento de calcário	Fonte C Fabricação de concreto e de produtos cerâmicos	Fonte D Produção de ferro-gusa a carvão vegetal
Al	17,4	1,8	6,7	3,1
Ca	8,2	41,7	48,0	7,7
Cr	0,03	< 0,0007	0,02	0,02
Fe	12,3	1,1	25,4	50,0
K	1,7	0,8	5,2	0,8
Mg	0,4	1,5	1,3	0,3
Mn	0,1	0,03	1,2	0,26
Na	0,1	0,1	0,6	0,2
Ni	0,02	0,01	0,02	0,01
O	50,3	49,2	50,7	28,6
P	0,2	0,08	0,6	0,11
Pb	0,03	NR	0,7	0,04
S	0,1	0,05	0,8	0,06
Si	16,5	3,6	14,2	8,6
Ti	1,5	0,2	0,5	0,1

NR: não reportado

No geral, os resultados obtidos pela AAN estão coerentes com os obtidos por FRX. Comparando os resultados das duas técnicas, pode-se observar que a AAN não registra concentrações para o Na da Fonte A, para o Ti e Mg da Fonte D. Essas questões podem ser explicadas pelos Limites de Detecção (LD) para os respectivos elementos dentro de cada matriz analisada, conforme tabela anexa ao Apêndice A.

Os resultados obtidos da espectrometria FRX foram obtidos em percentual, considerando uma incerteza associada de aproximadamente 10% (IPEN, 2005).

As incertezas determinadas pela AAN estão associadas a cada elemento analisado, considerando as interferências dos demais radionuclídeos presentes na amostra analisada. As incertezas de cada elemento estão apresentadas nas Tabelas dos resultados de cada técnica utilizada, constantes do Apêndice A.

6.5.3. Resultados das Análises Relativas à Composição Mineralógica

Além da composição elementar, um material pode ser caracterizado pela sua composição mineralógica. Os resíduos sólidos e as amostras de solo foram analisados pelo método de difração de raios-X (DRX), conforme metodologia descrita no Capítulo 4.

Os resultados das análises indicaram a frequência com que os diferentes minerais que compõem os materiais analisados são observados. Os resultados foram sintetizados e apresentados de acordo com a presença dos minerais na amostra analisada. A análise resultante foi semi-quantitativa e os resultados estão apresentados em classes percentuais, de acordo com as seguintes categorias: menores que 3%, de 3% a 10%, de 10% a 30% e maiores que 30%.

A distribuição de frequências dos minerais mostrou a presença marcante de alguns silicatos, carbonatos e óxidos de ferro no material analisado. A calcita e o quartzo são predominantes nas amostras, estando presentes na fração maior que 30%. Os óxidos de ferro estão presentes nas frações menores que 30%. Suas formas são variadas. Podendo-se destacar a hematita, magnetita e goethita, que se apresentam mais frequentes na fração de 3% a 10%. O resumo das distribuições dos minerais está apresentado na TAB. 6.9. A caracterização (JCPDS, 2000) e a composição de cada mineral citado nessa análise estão relacionadas nos

resultados das análises emitidos pelo Serviço de Tecnologia Mineral do CDTN, que se encontram no Apêndice A.

Os minerais predominantes nas amostras tais como hematita, quartzo, calcita, caulinita, albita e microclina têm a seguinte composição química: Fe_2O_3 , SiO_2 , CaCO_3 , $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$, Ca_3SiO_5 e $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$, respectivamente. Na segunda categoria outros minerais encontram-se presentes: goethita (FeO.OH), magnetita (Fe_3O_4), periclásio (MgO) e gibbsita ($\text{Al}_2\text{O}_3.3\text{H}_2\text{O}$).

Observa-se na TAB. 6.9 que a predominância dos minerais para cada fonte analisada apresenta coerência com os resultados obtidos através da AAN. Como, por exemplo, o Fe_2O_3 (hematita), onde o Fe possui concentração elevada de aproximadamente 50%.

É importante ressaltar que alguns minerais são específicos de determinadas fontes, podendo ser seus traçadores. É o caso da ilmenita na Fonte A, dos minerais anidrita, larnita, lime e periclásio presentes na Fonte C e a siderita e wustita presentes na Fonte D.

TABELA 6.9

Composição mineralógica (DRX) dos resíduos procedentes das principais fontes poluidoras emissoras de material particulado

Amostra	Mineral identificado			
	> 30%	30% a 10%	10% a 3%	< 3%
Fonte A	quartzo	Calcita caulinita microclina	gibbsita goethita hematita	albita dolomita ilmenita magnetita moscovita rutilo
Fonte B	calcita	quartzo	caulinita dolomita moscovita	hematita magnetita
Fonte C	quartzo	calcita caulinita goethita hematita magnetita	albita larnita lime microclina merwinita moscovita periclásio portlandita	anatásio anidrita gibbsita gipsita
Fonte D	hematita	quartzo	calcita gibbsita goethita rutilo	albita anatásio caulinita ferro magnetita microclina moscovita portlandita siderita wustita

6.6. CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL PARTICULADO PRESENTE NOS AEROSSÓIS ATMOSFÉRICOS

Conhecida as concentrações de massa do material particulado, a distribuição do tamanho de partículas e as condições meteorológicas durante o período de estudo, a etapa seguinte do trabalho constituiu-se na identificação da composição elementar das frações das partículas inaláveis e totais em suspensão.

Como mencionado no Capítulo 4, o método analítico usado para determinar a composição elementar foi a análise por ativação neutrônica e para análise mineralógica foi utilizada a difratometria de raios-X

6.6.1. Resultados da Composição Elementar Utilizando o Método de Ativação Neutrônica

Os resultados da concentração elementar pelo método de ativação neutrônica de cada amostra foram obtidos após terem sido descontadas as concentrações elementares encontradas nas matrizes, que foram definidas como “brancos”. Os brancos são filtros não amostrados com as mesmas dimensões das amostras. Cada batelada de amostras irradiadas, se de filtro de celulose ou de microssílica, foi analisada acompanhada por um branco de filtro correspondente. Os resultados finais dos valores de concentração de massa de cada um dos elementos presentes nas amostras de branco são mostrados na TAB. 6.10.

TABELA 6.10

Composição elementar ($\mu\text{g.g}^{-1}$) das matrizes de celulose e microssilica determinada por AAN

Elemento Químico	Matriz de celulose	Matriz de microssilica
Al	32 ± 2	3345 ± 119
Ce	< 3	8 ± 2
Cl	130 ± 13	323 ± 79
Cr	< 5	19 ± 4
Hf	$< 0,30$	$2,0 \pm 0,1$
Mg	< 69	1081 ± 179
Sb	$< 0,3$	$0,9 \pm 0,1$
Sc	$< 0,02$	$0,07 \pm 0,02$
Sm	< 1	$0,26 \pm 0,03$
Zn	< 4	15 ± 3

Os resultados das concentrações elementares máximas, mínimas e médias das partículas totais em suspensão (PTS) e das partículas inaláveis (PM_{10}) encontram-se listados nas TAB. 6.11 e 6.12. A lista completa das concentrações é apresentada no Apêndice A.

TABELA 6.11

Concentração elementar das Partículas Totais em Suspensão (PTS) determinada por AAN

Elemento Químico	Concentração (ng. m ⁻³)				Desvio Padrão
	Mínima	Máxima	Mediana	Média	
Al	3498,95	30786,40	9891,65	11617,89	7169,82
As	1,85	26,09	5,57	6,69	4,83
Ba	16,95	77,64	40,19	44,02	19,21
Br	8,61	70,51	20,60	24,53	14,60
Ce	2,73	26,59	8,02	10,26	6,29
Cl	556,23	3252,12	1333,24	1467,93	725,37
Co	0,46	21,23	1,73	2,63	4,09
Cr	6,40	62,42	27,54	27,83	17,74
Cs	0,64	4,64	1,86	1,92	0,97
Cu	1191,68	8627,97	2487,66	3259,90	1958,62
Dy	NA	NA	NA	NA	NA
Eu	2,49	160,77	3,53	19,66	49,61
Fe	7016,76	40645,56	12131,55	15161,27	8126,98
Ga	2,51	2283,91	32,08	504,45	804,92
Hf	0,49	2,04	1,02	1,19	0,54
I	2,83	16,63	7,84	8,44	3,84
K	1191,685	5267,87	2019,05	2352,10	1080,85
La	1,33	22,69	4,04	6,13	5,27
Mg	635,15	2342,33	1234,33	1345,75	523,18
Mn	35,37	212,07	89,25	97,80	43,18
Na	321,21	4008,80	914,00	1249,78	947,91
Sb	2,23	41,64	7,31	10,38	10,16
Sc	0,60	3,21	1,21	1,51	0,78
Se	8,59	20,75	12,60	13,98	6,19
Sm	6,63	487,54	24,56	75,62	127,23
Ta	1,05	25,65	9,08	9,86	7,12
Tb	1,34	5,28	3,33	3,28	1,02
Th	0,42	6,59	2,21	2,61	1,79
Ti	30,32	549,29	257,34	269,58	132,45
U	12,45	88,46	38,03	38,06	21,78
V	4,96	27,27	10,83	10,80	4,95
W	1,20	348,10	3,45	56,04	105,94
Yb	25,29	1012,74	196,70	349,56	333,23
Zn	101,24	713,69	329,49	316,78	139,65

NA: não aplicável.

TABELA 6.12Concentração elementar das Partículas Inaláveis (PM₁₀) determinada por AAN

Elemento Químico	Concentração (ng. m ⁻³)				Desvio Padrão
	Mínima	Máxima	Mediana	Média	
Al	5,23	178,43	92,93	91,21	37,07
As	0,50	6,39	1,24	1,70	1,50
Ba	119,27	6053,57	801,65	924,96	987,28
Br	1,24	19,97	5,34	6,42	4,70
Ce	NA	NA	32,13	NA	NA
Cl	122,97	3973,76	317,72	1385,28	1499,49
Co	0,14	2,55	1,01	1,13	0,57
Cr	0,93	76,84	13,13	14,85	14,82
Cs	0,57	2,23	0,86	1,00	0,46
Cu	429,04	5489,34	4012,52	667,31	1657,74
Dy	0,28	2,69	1,47	1,50	0,69
Eu	2,33	9059,47	7,97	3023,26	5227,51
Fe	2,66	15435,77	4693,34	5174,60	3174,83
Ga	66,66	904,45	192,49	229,88	199,90
Hf	NA	NA	NA	NA	NA
I	NA	NA	NA	NA	NA
K	NA	NA	NA	NA	NA
La	0,17	12,76	1,79	2,98	3,39
Mg	8,48	101,14	39,61	43,52	22,37
Mn	16,43	297,97	69,46	94,34	71,30
Na	2914,55	57125,17	9712,18	14296,58	13564,51
Sb	0,25	18,60	2,58	3,68	3,54
Sc	0,01	2,06	0,67	0,70	0,39
Se	NA	NA	NA	NA	NA
Sm	1,26	12129,98	16,31	498,69	2372,96
Ta	0,39	11,70	5,62	5,39	3,18
Tb	0,31	0,84	0,58	0,58	0,37
Th	0,35	9,78	1,59	1,81	1,80
Ti	NA	NA	NA	NA	NA
U	1,40	176,89	10,00	52,40	62,63
V	0,01	0,21	0,10	0,09	0,05
W	NA	NA	NA	NA	NA
Yb	1,62	55,28	2,71	5,75	12,04
Zn	20,00	305,16	94,44	112,08	69,57

NA: não aplicável

Observa-se que as concentrações elementares possuem uma grande variabilidade. Conseqüentemente, a média aritmética não é uma boa medida de locação, por ser muito sensível a valores extremos. Essa situação encontra-se presente tanto para as concentrações do material particulado total em suspensão quanto para o particulado inalável. Nesse caso, a medida de tendência mais representativa é a mediana porque não sofre muita influência de valores extremos (CÉSAR *et al.*, 2003)

Apesar de não ser uma boa indicadora de medida de locação central, a média aritmética é um indicativo de não normalidade dos dados, uma vez que as concentrações máximas encontradas para o material particulado não apresentam proximidades com esta média (MILIONE, 2004). Essas observações podem ser verificadas também em outros estudos, onde as concentrações de massa, referentes a dados ambientais são consideradas uma distribuição de probabilidades aproximadas da lognormal (ARTAXO, 1985; ANDRADE, 1993).

Na FIG. 6.13 são apresentados os resultados das concentrações elementares das partículas totais em suspensão dos elementos mais significativos presentes no material particulado amostrado. Como pode ser observado, o Al e o Fe são os elementos químicos predominantes. A literatura (CASTANHO, 1999; BHAVE, 2001) reporta que esses elementos são geralmente associados a traçadores do solo e da indústria siderúrgica. Na seqüência, têm-se o Cl, Cu, K, Mg e Na, que são elementos que podem ser associados aos processos de queima de combustíveis fósseis e vegetais. Por último, destaca-se o Ti, que é normalmente associado a elemento traçador do solo e o Zn podendo ser associado à produção de ligas de latão, processos de transformação de cimento e queima de carvão.

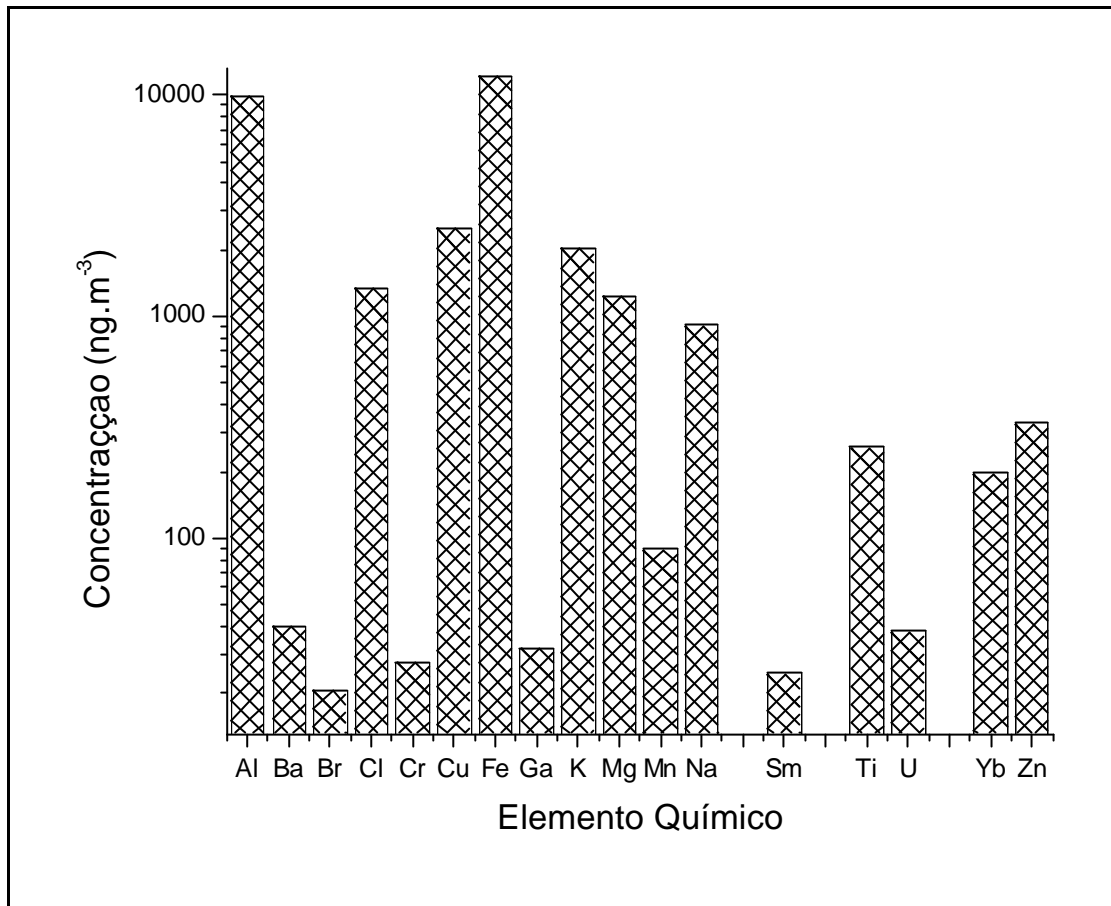


FIGURA 6.13. Principais concentrações elementares do particulado total em suspensão

Conforme apresentado na FIG. 6.14, o material particulado inalável também é constituído de grupos distintos. O primeiro grupo destaca-se pela elevada concentração de Cu e de Na, os quais podem ser associados a processos industriais com queima de combustível fóssil (COHEN *et al.*, 2000).

O Fe aparece destacado seguido do terceiro grupo onde estão presentes o Ba, Cl, Eu e Sm, os quais podem ser associados a processos industriais e a ressuspensão do solo (CHUNG *et al.*, 2005).

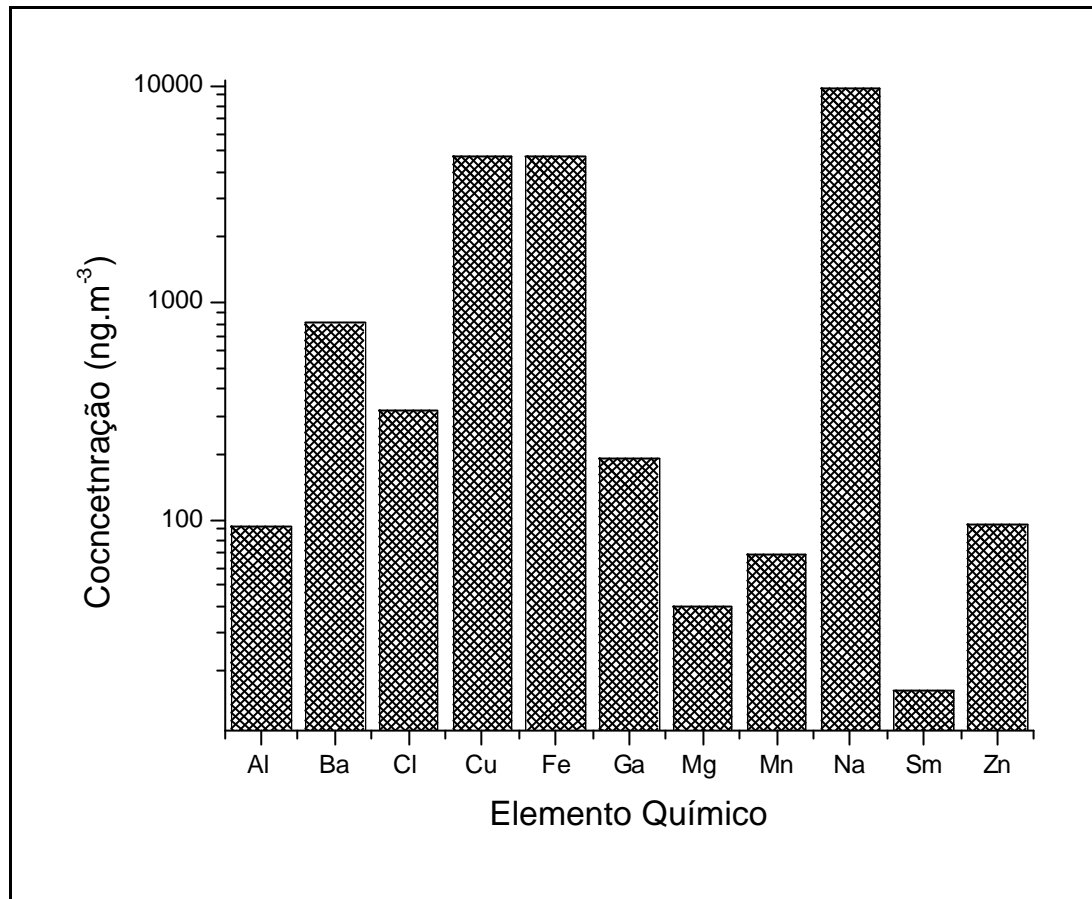


FIGURA 6.14. Principais concentrações elementares do particulado inalável.

Alguns elementos aparecem no material particulado total em suspensão e outros no particulado inalável. A ocorrência ou não de determinado elemento na matriz está relacionada ao limite de detecção (LD) da técnica de AAN para cada elemento químico considerando a matriz de celulose e matriz de microsilica. Estes limites foram determinados a partir do *background* calculado na região de energia onde o pico é suposto estar presente (DE CORTE, 2002). Os LD encontram-se apresentados no Apêndice A.

6.6.2. Resultados das Análises Relativas à Composição Mineralógica

Além da AAN, o material particulado presente no aerossol atmosférico coletado também foi caracterizado pela técnica de difração de raios-X. As análises levaram em consideração as intensidades das principais reflexões das fases e as comparações entre as mesmas, avaliando-se as quantidades relativas dos teores dos minerais em cada amostra analisada.

As amostras de brancos foram em duplicatas para os dois tipos de matriz. Em ambos os casos, não foram identificadas fases cristalinas no material.

Da mesma forma que os materiais coletados nas fontes emissoras, os resultados das análises do material particulado foram apresentados em classes com a mesma divisão de categorias conforme descrito na seção 6.5.3.

Conforme apresentado na TAB 6.13, a calcita está presente, tanto no material particulado inalável e como no particulado total em suspensão, numa frequência maior que 30%. O quartzo é predominante na categoria de 30% a 10%. As variações de fases cristalinas para as duas frações de material particulado só foram observadas nas frequências abaixo de 10%.

TABELA 6.13

Composição mineralógica do material particulado presente no aerossol atmosférico determinada por DRX

Amostra	Mineral identificado			
	> 30%	30% a 10%	10% a 3%	< 3%
Particulado Total em Suspensão	calcita	quartzo	hematita talco	albita
				bassanita
				caulinita
				dolomita
				gibbsita
				gipsita
				goethita
				ilmenita
				magnetita
				moscovita
Particulado Inalável	calcita	quartzo	hematita moscovita gipsita	anidrita
				dolomita
				caulinita
				gipsita
				goethita
				magnetita
				microclina
				portlandita
				rutilo
				siderita

Observa-se na TAB. 6.13 que a predominância dos minerais identificados no material particulado é semelhante àqueles encontrados nos materiais das fontes emissoras relacionados na TAB. 6.12.

6.7. RESULTADOS DA ANÁLISE FATORIAL UTILIZANDO O MÉTODO DE COMPONENTES PRINCIPAIS

A Análise Fatorial (JOHNSON; WICHERN, 1998) usa pesos e fatores para compor modelos com base em equações lineares. Portanto, é preciso calcular os m fatores envolvidos e o n pesos atribuídos a cada fator. Considerando que o modelo possui p variáveis, é necessário estimar $p(p+1)/2$ parâmetros (MINGOTI, 2005).

No presente estudo, em função do número de variáveis (elementos químicos) ser muito maior que o número de observações (amostras), a análise exploratória foi reduzida devido ao elevado número de parâmetros a serem estimados. Quanto maior o número de parâmetros a serem estimados, menor o número de graus de liberdade e, conseqüentemente, a precisão da análise será menor (HAIR *et al.*, 2005). Essas condições iniciais se fazem presentes ao longo da análise estatística para os dados referentes ao material particulado total em suspensão e ao particulado inalável.

6.7.1. Análise das Concentrações Elementares das Partículas Totais em Suspensão (PTS)

A análise de componentes principais para o material particulado total em suspensão (PTS) foi realizada utilizando 12 variáveis (Al, As, Cl, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Sm, Ti, V) com 29 observações. A escolha do número de fatores retidos foi feita com base na fração de explicação da variância total, na variabilidade das variáveis individuais e nos autovalores maiores que 1.

O modelo ajustado é composto de 3 fatores que explicam 79,3% da variabilidade dos dados. O fator 1 explica 46% da variância total, o fator 2 explica 24% e o fator 3 representa 9% da variância. Esses valores encontram-se discriminados na TAB. 6.14

TABELA 6.14

Autovalores e variâncias associados aos componentes retidos na análise das concentrações elementares do PTS

Fator	Autovalor	Variância Explicada (%)	Variância Acumulada (%)
1	5,5	46,1	46,1
2	2,9	24,0	70,0
3	1,1	9,3	79,3

Como pode ser observado na FIG. 6.15, existe uma mudança acentuada de direção da curva entre os fatores 3 e 4. Esta mudança só ocorre quando o autovalor é menor que 1 e indica que a extração de mais de 3 fatores não leva a um aumento significativo na variância total.

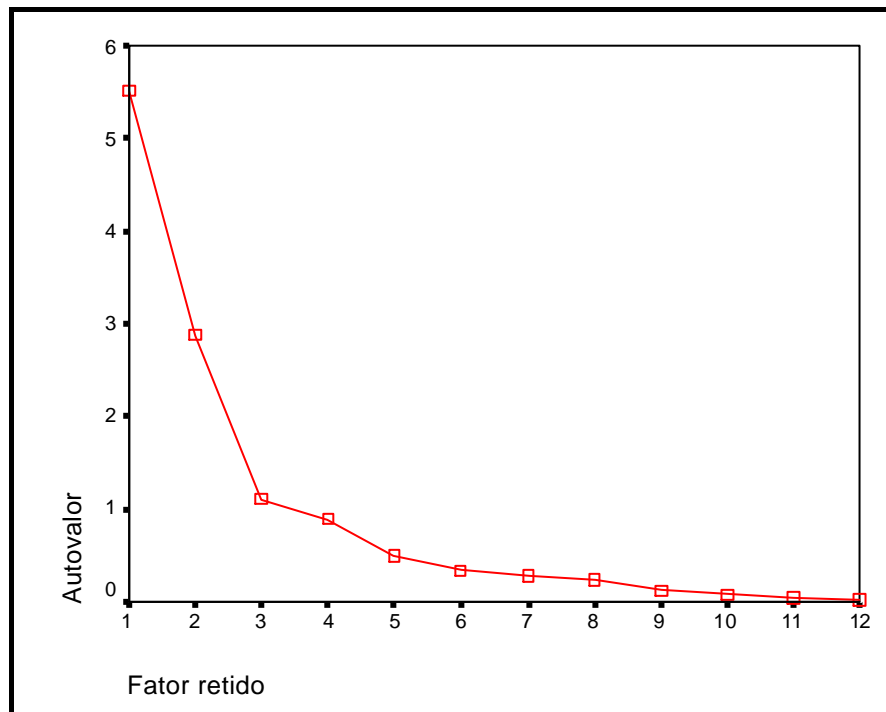


FIGURA 6.15: Autovalores em função dos fatores retidos na análise do PTS.

Além dos valores de variabilidade total atribuída aos fatores retidos, são avaliadas as variabilidades individuais explicadas pelo modelo proposto. Observa-se na TAB. 6.15 que as comunalidades (h^2) relativas a cada variável considerada no modelo são significativas, apresentando valores superiores a 0,78. Para as variáveis Cu, Mn e Sm, o modelo explica mais de 90%. O modelo explica também mais de 80% da variabilidade do As, Fe, K e V.

TABELA 6.15

Pesos e comunalidades obtidos na análise de componentes principais das partículas totais em suspensão

Elemento Químico	Fatores			Comunalidade h^2
	1	2	3	
Al	0,126	0,289	0,869	0,885
As	0,884	0,250	0,127	0,866
Cl	0,298	0,311	0,155	0,825
Cu	0,917	0,184	0,058	0,878
Fe	0,200	0,896	0,261	0,911
K	0,065	0,189	0,759	0,789
Mg	0,177	0,696	0,393	0,813
Mn	0,008	0,933	0,184	0,936
Na	0,880	-0,024	0,209	0,938
Sm	0,941	0,006	-0,135	0,906
Ti	-0,001	0,604	0,632	0,779
V	0,001	0,220	0,833	0,877

Os resultados expressos na TAB. 6.15 foram obtidos após rotação VARIMAX das componentes principais. A rotação foi realizada para proporcionar uma melhor clareza nas cargas fatoriais, possibilitando a identificação do fator com uma fonte poluidora conhecida.

Observando-se os coeficientes (pesos) relacionados com cada fator para cada elemento avaliado, sabendo-se que estes coeficientes representam a correlação entre o fator e o elemento químico e que foram obtidas 29 amostras, adotou-se na análise final o ponto de corte de 0,7 como participação significativa de um elemento na composição de um fator retido.

Conforme verificado na TAB. 6.15 o fator 1 possui altos pesos para o Sm, Cu, As e Na. Estes elementos podem ser associados à extração e/ou beneficiamento de calcário, fabricação de concreto e produtos cerâmicos, bem como a outros tipos de processos industriais.

O Fator 2 tem os elementos Mn e Fe como maiores participantes, os quais sugerem a associação à fonte solo e à produção de ferro-gusa à carvão vegetal.

O Fator 3 tem altos pesos para o V, Al, K, apresentando também uma boa contribuição do Ti. Estes elementos estão associados, principalmente, à fonte solo e à queima de óleo combustível usado em caldeiras (ANDRADE, 1993).

Nem todos os elementos encontrados nas amostras de material particulado foram observados nas amostras de resíduos sólidos e de solo. Deve ser ressaltado que o trabalho não incluiu a amostragem e análise de todas as fontes de emissão, como por exemplo, as fontes veiculares. Nos casos em que não foi possível relacionar os elementos químicos com as fontes emissoras de material particulado foram utilizados dados de assinaturas de fontes da literatura.

Um ponto importante a ser mencionado é o fato das principais fontes emissoras de material particulado consideradas no presente estudo utilizarem, basicamente, as mesmas matérias-primas em seus processos produtivos e possuir em sua composição constituintes elementares do solo. Portanto, é de se esperar que todos os fatores estejam associados à fonte solo.

6.7.2. Análise das Concentrações Elementares das Partículas Inaláveis

Para as concentrações elementares do material particulado inalável foi realizada análise de componentes principais com 10 variáveis (Al, Ba, Cr, Fe, Dy, Mg, Mn, Na, V, Zn) e com 30 observações. Foram consideradas as variáveis completas, sendo que apenas uma apresentou casos faltantes da ordem de 10%.

Conforme observado na TAB. 6.16, existe uma queda acentuada na variância explicada entre os fatores 4 e 5. O mesmo pode ser verificado observando-se a FIG.6.16, sendo a condição de corte para autovalores maiores que 1. O autovalor para o Fator 4 é de 1,193 enquanto que o Fator 5 apresenta um autovalor de 0,88. Isto demonstra que a retenção de 5 fatores apresenta insignificante contribuição para o modelo estatístico adotado.

TABELA 6.16

Autovalores e variâncias associados aos componentes retidos na análise das concentrações elementares do PM₁₀

Fator	Autovalor	Variância (%)	Variância
			Acumulada (%)
1	3,2	31,5	31,5
2	2,0	20,1	51,7
3	1,4	13,9	65,6
4	1,2	11,9	77,5

Diante dos resultados, o modelo adotado foi aquele com 4 fatores retidos e que apresentaram autovalores maiores que 1. A variância total explica 77,5 % da variabilidade dos dados. O Fator 1 explica 31,5% da variância total, o fator 2 explica 20,1% e os fatores 3 e 4 explicam respectivamente 13,9 e 11,9 da variância total do modelo.

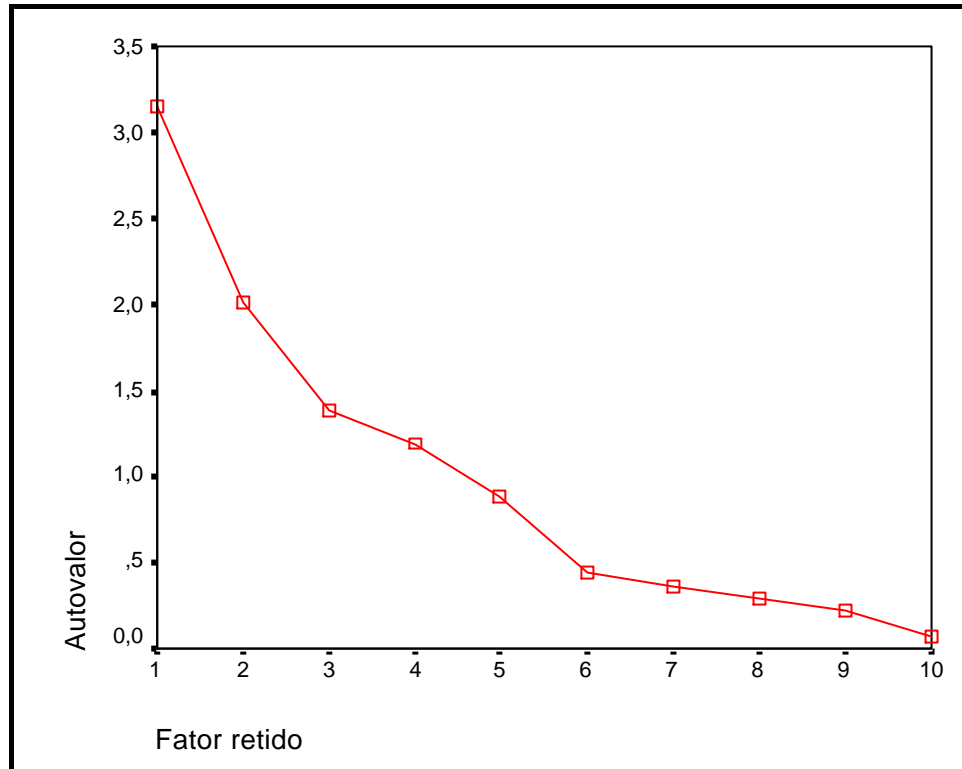


FIGURA 6.16. Autovalores em função dos fatores retidos na análise do PM_{10} .

Da mesma forma procedida na análise do PTS, os dados apresentados na TAB. 6.17 são resultados da aplicação da análise de componentes principais após rotação VARIMAX. Os resultados indicam que o modelo de 4 fatores representa satisfatoriamente as variáveis originais.

O peso associado a cada variável componente de um fator está associado à correlação entre o elemento e o fator retido. O Fator 1 tem maiores valores atribuídos para o Ba, Fe e o Cr os quais são elementos associados à indústria siderúrgica. O Fator 2 tem altos pesos para o Mn e Dy, os quais estão associados à fonte solo.

O Fator 3 possui maiores valores para o Al e o V, os quais provavelmente estão associados à queima de combustíveis e à fonte solo. O Fator 4 é melhor explicado pelo Na e Zn, que estão associados à fabricação de concreto e de produtos cerâmicos.

TABELA 6.17

Pesos e comunalidades obtidos na análise de componentes principais das partículas inaláveis

Elemento Químico	Fatores				Comunalidade h^2
	1	2	3	4	
Al	-0,030	0,115	0,885	-0,058	0,818
Ba	0,948	-0,085	-0,058	0,002	0,914
Cr	0,941	-0,193	-0,041	-0,010	0,926
Dy	-0,284	0,870	-0,072	-0,017	0,854
Fe	0,774	-0,054	-0,102	0,391	0,780
Mg	-0,016	0,040	0,005	0,051	0,971
Mn	-0,015	0,890	0,192	0,099	0,842
Na	-0,055	0,309	0,205	0,847	0,870
V	-0,116	0,004	0,886	0,190	0,856
Zn	0,357	-0,219	-0,059	0,748	0,796

Da mesma forma que no modelo para PTS, os valores negativos não são representativos nesta análise, pois seus valores absolutos não são aproximados de 1.

Os valores atribuídos a comunalidades são superiores a 70%. Observa-se que o modelo explica mais de 90% da variabilidade individual do Ba, Mg e o Cr. Mais 80% da variabilidade do Dy, Mn, Al, V e Na são explicadas pelo modelo. O Fe e o Zn têm aproximadamente 80% da suas variabilidades explicadas. Se a variabilidade individual deve ser 1, então o erro aleatório médio é menor que 14%.

CAPÍTULO 7

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

7.1 CONCLUSÕES

No presente capítulo são apresentadas as principais conclusões extraídas deste trabalho, o qual focou na identificação e quantificação da contribuição de fontes e a importância das emissões de material particulado por diferentes tipologias industriais do município de Sete Lagoas, MG. Para tanto, foi realizada uma campanha de amostragem durante o período de 11/01/2005 a 13/02/2005 e a contribuição de cada fonte de emissão foi estimada por meio do uso de modelos receptores.

Levantamentos feitos na Fundação Estadual de Meio Ambiente (FEAM) indicaram que as principais tipologias industriais existentes no município de Sete Lagoas são a produção de ferro-gusa a carvão vegetal, a extração e beneficiamento de calcário e a fabricação de concreto e produtos de cerâmica. Com o objetivo de conhecer a assinatura das fontes, ou mais especificamente, a composição elementar do material particulado, emitido por fontes presentes nestas tipologias, foram coletadas amostras de solo e dos resíduos sólidos comumente armazenados em pilhas dispostas ao ar livre nos pátios das indústrias. Todas as amostras foram analisadas por ativação neutrônica, espectrometria de fluorescência e difração de raios-X.

Os resultados da análise por ativação neutrônica mostraram que os elementos químicos predominantes nas amostras de resíduos sólidos e solo são o Al, Ba, Ca, Fe, K, Mg, Na, Ti e Zn. Estes resultados se mostraram coerentes com aqueles obtidos pelo método de espectrometria de fluorescência de raios-X. Neste caso, foi observado que o Fe representa 50,0% dos constituintes da fonte correspondente à produção de ferro-gusa a carvão vegetal. Os resíduos sólidos gerados pela fabricação de concreto e de produtos cerâmicos possuem na sua constituição 48,0% de Ca e 35,4% de Fe. A extração e/ou beneficiamento de calcário tem como elemento predominante o Ca com 41,7% de sua composição, sendo o Si o segundo elemento mais significativo com 3,6% de contribuição. O solo também possui a presença desses elementos, porém, com uma contribuição mais equilibrada. O Al representa 18,9%, o Si contribui com 17%, o Fe com 13,9% e o Ca com 7,0%.

A análise da composição mineralógica das amostras de solo e de resíduos sólidos indicou a presença marcante dos silicatos, carbonatos e óxidos de ferro nos materiais analisados. A calcita e o quartzo são predominantes, estando presentes na fração maior que 30%. Os óxidos de ferro estão presentes nas frações menores que 30%. Suas formas são variadas. Podendo-se destacar a hematita, magnetita e goethita, que se apresentam mais freqüentes na fração de 3% a 10%.

As partículas inaláveis (PM_{10}) presentes nos aerossóis atmosféricos foram coletadas por um amostrador PM_{10} e as partículas totais em suspensão (PTS) por um amostrador de alto-volume. A determinação do tamanho das partículas foi feita por meio do uso de um Impactador em Cascata com Deposição Uniforme. As concentrações de massa foram obtidas por meio de análise gravimétrica, a composição elementar por Análise de Ativação Neutrônica e a sua composição mineralógica pelo método de difração de raios-X.

Foram observados valores mínimo e máximo da concentração de massa para partículas totais em suspensão de $143 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ e $647 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, respectivamente. Para as partículas inaláveis foi encontrado um valor mínimo de $16 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ e máximo de $132 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

Os valores elevados de concentração de massa das partículas totais em suspensão (PTS) indicaram a condição inadequada da qualidade do ar na região. Neste caso, foi verificado que 76% dos dias correspondentes ao período de amostragem apresentaram qualidade do ar considerada Inadequada ou Má. Por outro lado, em 53% desses dias, a qualidade do ar para as partículas inaláveis foi considerada como Regular.

A distribuição do tamanho das partículas delineou um cenário preocupante, uma vez que 80% das partículas presentes no aerossol atmosférico referem-se às frações de partículas com diâmetro aerodinâmico menor que $2,5 \mu\text{m}$ correspondendo, portanto, em sua maioria, àquela fração que pode atingir as vias respiratórias inferiores (nível alveolar) e provocar sérios danos à saúde humana.

A técnica de análise por ativação neutrônica mostrou-se eficiente para as análises das amostras de material particulado depositado sobre os filtros de celulose e microsilica utilizados para a coleta de PTS e PM_{10} , respectivamente. Com essa metodologia não há necessidade de preparação das amostras e as análises são multielementares, simultâneas e não destrutivas, o que permitiu a determinação de vários elementos no material particulado com número atômico compreendido entre 13 (Al) ao 238 (U). Entretanto, ela tem que ser

complementada por outro tipo de análise para que elementos químicos importantes do ponto de vista ambiental (por exemplo, Si, Cd, Ca, Pb, etc) também possam ser determinados.

De uma maneira geral, os elementos químicos predominantes no material particulado presente nos aerossóis foram o Al, Ca, Fe, K, Mg e Na. A análise da composição mineralógica pelo método de difração de raios-X indicou que os minerais presentes em maior abundância, tanto no PTS como no PM₁₀, são a calcita (> 30%) e quartzo (de 10 a 30%).

Todos os resultados da análise por ativação neutrônica do material particulado foram submetidos a uma análise estatística multivariada. A aplicação de um modelo receptor utilizando a Análise Fatorial por meio do método de Componentes Principais permitiu a identificação e associação das fontes emissoras com a composição elementar das partículas totais em suspensão e das partículas inaláveis.

Para o particulado total em suspensão foram identificados 3 fatores. A fonte correspondente à extração e beneficiamento de calcário, fabricação de concreto e produtos cerâmicos, bem como de outros processos industriais não identificados por meio da análise da composição elementar dos resíduos sólidos gerados explicaram 46% da variabilidade do PTS. Os marcadores Mn e Fe identificaram as fontes solo e produção de ferro-gusa, representando 24% da variabilidade. A fonte queima de combustível e fonte solo explicaram 19% do modelo proposto.

Na análise estatística do particulado inalável foram identificados quatro fatores. O fator predominante, com explicação de 31% da variabilidade, foi aquele associado à indústria siderúrgica, ou seja, a produção de ferro-gusa a carvão vegetal. A fonte solo representou 20% da modelagem proposta. A associação às fontes queima de combustível e ao solo ficaram por conta dos 14%, atribuídos às contribuições dos marcadores Mn e V. A fonte correspondente à fabricação de concreto e produtos cerâmicos representou 12% da contribuição ao modelo. O restante da variabilidade está provavelmente associado a outras fontes industriais menos expressivas e, portanto, não consideradas neste trabalho.

A combinação de todas essas informações, juntamente com os dados meteorológicos (em especial, a direção predominante dos ventos) e os de posicionamento geográfico das fontes, sugerem que a poeira do solo e as fontes industriais tais como aquelas relacionadas à produção de ferro-gusa a carvão vegetal e à fabricação de concreto e produtos cerâmicos

constituem-se nos maiores contribuintes de emissão do material particulado presente nos aerossóis atmosférico da região.

Um ponto importante a ser mencionado é o fato de que as matérias-primas utilizadas nas diferentes tipologias industriais consideradas no presente trabalho serem basicamente as mesmas. Portanto, é de se esperar que a composição elementar das diferentes fontes de emissão seja semelhante, o que dificulta o processo de identificação por meio do uso de modelo receptor. A obtenção de dados mais conclusivos, bem como a redução das incertezas associadas aos resultados finais envolveria não apenas um tempo de amostragem maior, mas também de um maior número de pontos representativos da região em estudo. Entretanto, em decorrência de dificuldades operacionais e de limitações financeiras não foi possível a realização de experimentos adicionais, sendo esta uma proposta para trabalhos futuros.

Finalmente, deve ser enfatizado que a maior contribuição deste estudo tenha sido provavelmente verificar, por meio da aplicação de técnicas nucleares e da análise estatística pelo Método das Componentes Principais, que existem diversas fontes cujas emissões podem levar a degradação da qualidade do ar no município de Sete Lagoas. Portanto, qualquer medida para melhoria das condições ambientais na região deve incentivar o controle das emissões atmosféricas de todas elas e não apenas daquelas existentes em maior número.

7.2. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

No sentido de complementar este estudo, sugere-se que seja realizado experimentos adicionais com o objetivo de descrever mais claramente as fontes e os processos de geração e transformações dos aerossóis atmosféricos do município de Sete Lagoas, MG, o que implica em:

- um melhor conhecimento dos perfis das fontes emissoras, incluindo a contribuição das emissões veiculares e de fontes estacionárias;
- coleta e análise por meio do uso de técnicas nucleares (ativação neutrônica e espectrometria de fluorescência de raios-X) de partículas com diâmetros menores que 2,5 μm , pois 80% do material particulado encontrado no município está concentrado abaixo dessa fração.
- realização de estudos de dispersão atmosférica por meio do uso de modelos fonte para complementação dos resultados obtidos por meio do uso de modelos receptores;
- inclusão de traçadores gasosos visando, principalmente, a identificação da fonte veículos;
- realização de medidas periódicas com o objetivo de acompanhar as mudanças das estruturas das fontes emissoras e as conseqüentes interferências na composição do aerossol atmosférico.

REFERÊNCIAS

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ASTDR) **Public Health Assessment Guidance Manual**. 2001. Pesquisa realizada em 13 de março de 2005. Disponível em: <http://www.astdr.cdc.ov/HAC/HAGM_1992/toc-html.html.>

ADLOFF, J. P.; GUILLAUMONT, R. **Fundamentals of Radiochemistry**. Boca Raton: CRC Press, 1993.

ALEMÓN, E. HERRERA, L. ORTIZ, E. LONGORIA, L.C. **Instrumental nuclear activation analysis (INAA) characterization of environmental air filter samples**. Applied Radiation and Isotopes. 60, pp 815-823, 2004.

ALMEIDA, S.M. FREITAS, M.C., REIS, M.A, PIO, C.A. **Quality assessment on airborne particulate matter of K₀-INAA**. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, vol.257, 3, pp 609-613, 2003.

ALVES, C. **Aerossóis atmosféricos: perspectiva histórica, fontes, processos químicos de formação e composição orgânica**. Química Nova. Vol.28, 5, pp 859-870 , 2005.

AMIEL, S. **Nondestructive Activation Analysis: with nuclear reactors and radioactive neutron sources**. Elsevier Scientific Publishing Company, 1981.

ANDERS, M.W. DEKANT, B. **Conjugation-dependent carcinogenicity and toxicity of foreign compounds**. Advances in Pharmacology. Vol. 25, p 200, 1994.

ANDRADE, M. F. **Identificação de Fontes da Matéria Particulada do Aerossol Atmosférico de São Paulo**. Tese de Doutorado. Instituto de Física da Universidade de São Paulo, 1993

ARBEX, M.A. CANÇADO, J.E.D. PEREIRA, L.A.A.BRAGA, A.L.F.B., SALDIVA, P.H.N. **Queima de Biomassa e Efeitos sobre a Saúde**. Jornal Brasileiro de Pneumologia. 30(2), pp-158-175, 2004.

ARTAXO, P. **“Modelos Receptores aplicados à determinação de fontes de aerossóis remotos”**. Tese de Doutorado. Instituto de Física da Universidade de São Paulo, 1985.

ARTAXO, P, GERAB, F., SWITLICKI, E., PALLON, J. **Aerosol Individual Particle Analysis**. Revista Brasileira de Pesquisa e Desenvolvimento da Comissão Nacional de Energia Nuclear, São Paulo, 1997.

ARTAXO, P. **“Aerosol Characterization Study in Santiago do Chile Wintertime 1998”**. Pesquisa realizada em 15 de maio de 2004. Disponível em: <http://www.conama.cl/rm/568/articles-2582_1998.pdf.>

ARTAXO, P., CASTANHO, A.P., YAMASOE, M.A., MARTINS, J.V., LONGO, K.M. **Analysis of Atmospheric Aerosols by PIXE: The Importance of Real Time and Complementary Measurements.** Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B. 150, pp 312-321, 1999

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 8969** : Poluição do ar – terminologia. São Paulo, 1985.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9547**: Material Particulado em Suspensão no Ar Ambiente – Determinação da concentração total pelo método do amostrador de grande volume – método de ensaio. São Paulo, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10007** : Amostragem de Resíduos – Procedimento. São Paulo, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13412** : Material Particulado em Suspensão na Atmosfera – Determinação da concentração de partículas inaláveis pelo método do amostrador de grande volume acoplado a um separador inercial de partículas – método de ensaio. São Paulo, 1995.

BAKONYI, S.M.C. DANNI-OLIVEIRA, I.M. MARTINS, L.C. BRAGA, A.L.F. **Poluição atmosférica e doenças respiratórias em crianças na cidade de Curitiba, PR.** Revista Saúde Pública. 38, 5, pp695-700, 2004.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONOMICO E SOCIAL (BNDES). **Mineração e Metalurgia** - Áreas de Operações Industriais 2 – Setorial 3 –Rio de Janeiro, 2002.

BASCON, R., BROMBREG, P.A., COSTA, D.A., DEVLIN R., DOCKERY D.W., FRAMPTON, L. W., SAMET J.M., SPEIZER F.E., UTELL, M. **Health effects of outdoor air pollution.** Am. J. Respir. Crit. Care Med., 153: 3-50, 1996^A.

BEHAN., P.O. **Chronic fatigue syndrome as a delayed reaction to chronic low-dose organofosphate exposure.**J. Nutri. Med. Vol. 6, pp341-350, 1996.

BHAVE, P.V. CASS, G.R. FERGENSON, D.P., PRATHER, K.A **Source apportionment of fine particulate matter by clustering single-particle data: tests of receptor model accuracy.** Environment Science Technology. 25, pp-2060-2072, 2001.

CANADIAN CHEMICAL PRODUCERS´ ASSOCIATION – **Ambient Particulate Matter: Characterization Guidelines.** Ottawa, 2002.

CAO, L., TIAN, W., NI, B., ZHANG, Y. WANG, P. **Preliminary study of airborne particulate matter in a Beijing sampling station by instrumental neutron activation analysis.** Atmospheric Environment 36, pp 1951–1956, 2002.

CAPRA, F. **O ponto de mutação. A ciência, a sociedade e a cultura emergente.** São Paulo, Cultrix, 1982.

CASTANHO, A. D. A. A Determinação Quantitativa de Fontes de Material Particulado na Atmosfera da Cidade de São Paulo. Tese de Mestrado. Instituto de Física da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999.

CELLI, C.E. MARQUES, K.A. TEIXEIRA, D. BACHIEGA, E. MACHADO, A.P. G. BRUNO, R.L. CARVALHO, W.M. AGUIAR, M.L. COURY, J.R. Concentração de material particulado suspenso na atmosfera em São Carlos-SP. Engenharia Sanitária e Ambiental, ol.8,1pp 6-12, 2003.

CENTRO ESTADUAL DE TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS (CETEC). PROJETO VIDA – Viabilidade Industrial e Defesa Ambiental. Zoneamento Geotécnico e Aptidão dos Terrenos. CPRM.V.7, 36 p.Belo Horizonte, 1996.

CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIA NUCLEAR (CDTN). Programa de Monitoração da Qualidade ao Ar nas cidades de Sete Lagoas, Itaúna e Divinópolis. Belo Horizonte, 2002.

CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIA NUCLEAR (CDTN). Operation manual of the reactor TRIGA IPR-R1. Belo Horizonte, 2001..

CÉSAR, C.C. SOARES, J.F. FARIAS, A.A. Introdução à estatística. LTC. 2ª ed. Belo Horizonte, 1998..

CHOW, J.C. A Composite Modeling Approach to Assess Air Pollution Source/Receptor Relationships. Sc.D. Dissertation, Harvard University, Cambridge, MA, 1985.

CHOW, J.C, WATSON, J.G. Receptor Models for air quality management. Air & Waste Mangement ,pp 15-23, 2004

CHOW, J.C, WATSON, J.G. ASHBAUGH, L.L. MAGLIANO, K.L. Similiarities and differences in pm10 chemical source profiles for geological dust from the San Joaquin Valley, California. Atmospheric Environment. 37, pp-1317-1340, 2002.

CHUNG, Y.S., LIM, J.M., MOON, J. H. KIM, S.H. CHO, H.J. KIM, Y.H. Measurement of the Elemental Composition in Airborne Particulate Matter Using Instrumental Neutron Activation Analyse. Journal of the Korean Nuclear Society. Vol. 36, 5, pp. 450-459, 2004.

CHUNG, Y.S., KIM. S.H, MOON, J.H.DIM, Y.J, LIM, J.M.LEE,J.H. Source identification and long-term monitoring of airborne particulate matter (PM_{2,5}/PM₁₀) in a urban region of Korea. vol. 267,1,pp 35-48, 2006.

COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES (CEC) Guide to the approximation of European Union Environmental Legislation. 1997.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). Relatório das Águas, São Paulo, 2001.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). Relatório da qualidade do ar no Estado de São Paulo - 1994, São Paulo, 1995.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). **Modelo Receptor - Estudo de Caracterização de Aerossóis na Região Metropolitana de São Paulo** - Cerqueira César. Relatório Técnico – São Paulo, 2002.

CONSELHO DE POLÍTICA DE MEIO AMBIENTE (COPAM) – Deliberação Normativa 49 – **estabelece parâmetros para emissões atmosféricas para as atividades das indústrias não integradas de ferro gusa**. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1998.

CONSELHO DE POLÍTICA DE MEIO AMBIENTE (COPAM) – Deliberação Normativa 74 – **estabelece critérios para classificação de empreendimentos e atividades modificadoras do meio ambiente passíveis de autorização ambiental ou de licenciamento ambiental**. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução CONAMA Nº 003/90**, Brasília, 1990.

CULLITY, B.D. **Elements of X-Ray**. Addison-Wesley, 2a ed, Londres, 1978.

DE CORTE, F. **The standardization of standardless NAA**. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, vol. 248, 1, pp.13-20, 2001.

DE CORTE, F. **The k₀ - standardisation method; a move to the optimisation of neutron activation analysis**, Ryksuniversiteit Gent, Faculteit Van de Wetenschappen, Bélgica, 1986.

DIAS, J. W. C. **Manual de Operação – Amostrador de Grande Volume para Partículas Totais em Suspensão – AGV PTS**. ENERGÉTICA. Rio de Janeiro, 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA (EMBRAPA). **Solos do campo experimental da Embrapa Milho e Sorgo: suas características e classificação no novo sistema brasileiro**. Embrapa Solos, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento; nº 5, Rio de Janeiro, 2002.

ENVIRONMENT AUSTRALIA (EA), **Review of data on heavy metals in ambient air in Austrália**. Technical Report nº. 3, Sidney, 2002.

ENERGÉTICA LTDA. (2004) . www.energetica.com.ar disponível em : 20/10/2004.

European Commission (EC) **Economic Evaluation of air quality targets Heavy metals**. Final Report. Entec UK Limited, 2001.

FIRKET, M. **Sur les causes des accidents survenus dans la vallée de la Meuse, lors des brouillards de décembre 1930**. Bull. Acad. Roy. Méd. Belg., 11, pp 683-741, 1931.

FREITAS, M.C. REIS, M.A. MARQUES, A.P. ALMEIDA, S.M. FARINHA, M.M. OLIVEIRA, O. VENTURA, M.G. PACHECO, A.M.G BARROS, L.I.C. **Monitoring of environmental contaminants: 10 years of application of K₀-INAA**. J. Radioanal. and Nucl. Chem., 257, 3, pp 621-625, 2003.

FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE MINAS GERAIS (FAPEMIG). **Projeto TEC 833/92**. Relatório Final: Monitoramento da Qualidade do Ar nas Regiões Pólo do Setor Independente de Produção de Ferro Gusa de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1997.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE ENGENHARIA DE MEIO AMBIENTE (FEEMA). **Relatório Anual da Qualidade do Ar**. Relatório Técnico. Rio de Janeiro, 2004..

Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM). **Licenciamento ambiental: coletânea de legislação**.; Projeto Minas Ambiente. 2a. Edição, 2000.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (FEAM). **“Qualidade do Ar”** 2002. Disponível em <<http://www.feam.br/principal/home.asp>>. Pesquisa realizada em 13/10/2004.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (FEAM). **“Qualidade do Ar”** 2004. Disponível em <<http://www.feam.br/principal/home.asp>>. Pesquisa realizada em 05/09/2005.

GHOSE, M.H., PAUL, R., BERNEJEE, R.K. **Assessment of the status of urban air pollution and its impact on human health in the city of Kolkata**. Environmental Monitoring and Assessment. Vol. 108, pp 151-167, 2005.

GODISH, T. **Air Quality**. Lewis Publishers, 3rd. ed. New York, 1997.

GOUVEIA, N.C., **Air pollution and health effects in São Paulo, Brazil: a time series analysis**. Tese de Doutorado - Faculty of Medicine of the University of London, Londres, 1997.

GRASEBY ANDERSEN. **Operator Manual – PM 10 High Volume – Air Sampler** . Graseby GMW. New York, 1998

HAIR, J.F. ANDERSON, R.E. TATHAM, R.L. BLACK, W.C. **Análise Multivariada de Dados**. Bookman, 5^a edição. Porto Alegre, 2005.

HOPKE, P.K.; GLADNEY, E.S.; GORDEN, G.E.; ZOLLER, W.H.; JONES, A.G. **The Use of Multivariate Analysis to Identify Sources of Selected Elements in Boston Urban Aerosol**; Atmospheric Environment, v.10, p.1015-1025, 1976

HOPKE, P.K. **Receptor Modeling in Environmental Chemistry**. John Wiley, New York, 1985.

HOPKE, P.K. **Receptor Modeling for Air Quality Management**. Elsevier Press, Amsterdam, 1991.

HOPKE, P.K.; LANDSBERGER, S.; CREATCHMAN, M. **Elemental Analysis of Airborne Particles: An Introduction to Source Receptor Modeling**.: Gordon and Breach Science, Amsterdam 1999.

HOPKE, P.K. **Recent Developments in Receptor Modeling**. J. Chemom, v.17 n.5, p.255-265, 2003.

HYPERLAB-PC 2002. **User's Manual**, Institute of Isotopes, V5.0, Budapest Hungary, 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo demográfico**. Rio de Janeiro, 2003.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). **Perspectiva do Meio Ambiente Mundial – GEO 3** – Programa da Nações Unidas para o Meio Ambiente-PNUMA. Universidade Livre da Mata Atlântica-UMA. Brasília, 2004

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL DE MINAS GERAIS (INDI) **Ferro gusa - perfil setorial** - INDI/P1/MM/004/EP/-/05/99, Rio de Janeiro, 1999.

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES (IPEN). **Relatório de análise**. Centro de Química e Meio Ambiente. São Paulo, 2005.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA) **Certified reference material IAEA/SOIL 7**. Vienna, 1984.

JACOMINO, V.F., ANDRADE DE CASTRO, L.F.; RIBEIRO, E.D.R.; LEÃO, M.M.D.; SOUZA, C.M.; OMES, A.M.; ALMEIDA, M.L.B E LOPES, L.E.F. **Controle Ambiental das Indústrias de Ferro-Gusa em Altos Fornos a Carvão Vegetal**. Segrac Editora e Gráfica Ltda, Projeto Minas Ambiente, Belo Horizonte, 2002.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D.W. **Applied Multivariate Statistical Analysis**. Prentice-Hall, Inc. New Jersey, 1999.

JOINT COMMITTEE ON POWDER DIFFRACTION STANDARDS (JCPDS). **Powder Diffraction File**, International Center for Diffraction Data-ICDD, Alphabetical Indexes, Sets 1-52, Pennsylvania, (2000).

KARAKA, D. , ÖLMEZ, I., TOSUN, S. AND TUNCEL, G. **Trace and major element compositions of Black Sea aerosol**. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. Vol 259(1), PP 187-192, 2004.

KINNEY , P.L. & ÖZKAYNAK, H. **Associations of daily mortality and air pollution in Los Angeles county**. Environ. Research, 54: 99-120, 1994.

KNATH, R. H., **Calibration of a modified Sierra Model 235 Slotted Cascade Impactor – EML-360** - Environmental Measurements Laboratory – New York, New York – Technical Information Center – United States Department Of Energy, 1979.

KOMARNICKI, G.J. **Lead and cadmium in indoor air and the urban environment**. Environ Pollut. 136(1):47-61, 2004

KRULL, I.S.; „**Trace metal analysis and speciation**“, Elsevier, Amsterdam (1991).

KUCERA, J. **Selected environmental applications of neutron activation analysis**. IAEA-TECODC-1215, pp-4356, 2005.

LANDSBERGER, S. & CREATCHMAN, M. **Elemental Analysis of Airborne Particles** (Advances in Environmental, Industrial and Process Control Technologies). Gordon and Breach Science Publishers, Amsterdam, 1999.

LIFSHIN, E. **X-Ray Characterization of Materials**. Wiley-VCH. New York, 1999.

LIN, C.A. **Efeitos da Poluição atmosférica sobre a morbidade respiratória aguda na população infantil de São Paulo**. Dissertação de Doutorado. Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

LIU, D.H.F. & LIPTAK, B.G. **Environmental Engineer's Handbook**. Lewis Publishers, New York, 1997.

LOBINSKI, R. AND Z. MARCZENKO. **Spectrochemical trace analysis for metals and metalloids**, Elsevier, Amsterdam, 1996.

LOGAN, W.P.D., **Mortality in the London fog incident, 1952**. Lancet, 1: 336-338, 1953.

MANAHAN, S. E. **Environmental Chemistry**. CRC Press. 8^a ed. New York, 2005.

MARTINEZ, T. LARTIGUE, J. NAVARRETE, M. AVILA, P. LOPEZ, C. CABRERA, L. VILCHIS, V. **Determination of pollutants in dwellings by neutron activation analysis and X-ray fluorescence**. Journal of radioanalytical and nuclear chemistry. Vol. 216, 1, pp 37-39, 1996.

MACCHIONE, M.; OLIVEIRA, A.P.; GALLAFRIO, C.T.; MUCHÃO, F.P.; OBARA, M.T; GUIMARÃES, E.T.; ARTAXO, P.; KING, M.; LORENZI-FILHO, G.; JUNQUEIRA, V.C.B. e SALDIVA, P.H.N. **Acute Effects of Inhalable Particles on the Frog Palate Mucociliary Epithelium**. Environmental Health Perspectives Volume 107, Number 10, 1999.

MENEZES, M. Â. B. C., SABINO, C. V. S. FRANCO, M. B. KASTNER, G. F. MONTOYA ROSSI, E. H. **k_0 -Instrumental Neutron Activation establishment at CDTN, Brazil: a successful story**. J. Radioanal. and Nucl. Chem., 257, pp 627-632 2003.

MILIONE, G. **Estatística Geral e Aplicada**. THOMSON. São Paulo, 2004.

MINGOTI, S.A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: Uma abordagem aplicada**. Editora UFMG. Belo Horizonte, 2005.

MONTGOMERY, D.C. RUNGER, G.C. **Applied Statistics and Probability for Engineers**. John Wiley & Sons Inc. 2a ed. New York, 1999.

MURRAY, F. **Contaminación Atmosférica regional em los países en desarrollo**. SEI – Stockholm Environment Institute. Sección 2.1. Impactos em la salud, Estocolmo, 1998.

NATION INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY (NIST). **Particle Size characterization**. Special Publication 960-I. Material Science Engineering Laboratory. Washington, 2001.

NATURAL RESEARCH CENTRE FOR CRM, **Group for standard materials of soil componenets**. Harbin, China: 1991. 5p (GBW 07411)Soil

NATURAL RESEARCH CENTRE FOR CRM, **Certified values of soil reference materials**. China: 1998. 3p (GBW 07401 – GSS-1)Soil

NATURAL RESOURCES DEFENSE COUNCIL (NRDC). **Breath-taking Premature Mortality Due to Particulate Air Pollution in 239 American Cities - Guide to Mortality and Pollution Tables**. 2004 <http://www.nrdc.org/air/pollution/bt/btinx.asp>. Pesquisa realizada em 05/09/2005.

OLIVEIRA, M. R. C. MARTINS, J. **Caracterização, classificação e reciclagem do resíduo sólido “pó do balão”, gerado na indústria siderúrgica de ferro-gusa - não integrada a carvão vegetal e seu aproveitamento tecnológico na fabricação de tijolos cerâmicos vermelhos para uso na construção civil: estudo de um caso na região de Sete Lagoas/MG**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2001.

OLMEZ, I., GONE, J., AMES, M. **Physical and Chemical Characterization of Atmospheric Ultrafine Particles in the Los Angeles Area** Environ. Sci. Technol., **32** (9), pp 1153 -1161, 1998.

OPREA, C.C. MIHUL, A.L. **R-Mode Fator analysis applied to the exploration of air pollution in the south of Romania**. Romanian Reports in Physics. Vol. 55, 32, pp-91-110, 2002.

OSTRO, B.D., **Air pollution and morbidity revisited: A specification test**. J Environ Econ Manage 14, pp. 87-98, 1987.

OSTRO, B.D, ESKELAND, G.S, SANCHEZ, J.M, FEYZIOGLU T. **Air pollution and health effects: A study of medical visits among children in Santiago, Chile**. Environ Health Perspect. 107(1), pp 69-73, 1999

PANDIS, S.N., HARLEY, R.A., CASS, G.R., and SEINFELD, J.H. **Secondary Aerosol Formation and Transport**. Atmospheric Environment, Vol. 26A, pp 2269-2282, 1992

PANTAZOPOULOU, A. KATSOUYANNI, K., KOUREA-KREMASTINO, J. TRICHOPOULOS, D. **Short-term effects of air pollution on hospital emergency outpatient visits and admissions in the greater Athens, Greece area**. Environ. Research, 69: 31-36, 1995.

PARR, R.M. STONE, S.F. ZEISLER,R. **Environmental protection: nuclear analytical techniques in air pollution monitoring and research**. IAEA BULLETIN2, pp16-23, 2000.

PARRY, S. J. **Handbook of Neutron Activation Analysis**. New York. Viridian Publishing 1990..

POPE, C.A. *et al* . **Particulate air pollution as predictor of mortality in a prospective study of US adults**, Am J Resp Crit Care Med 151, pp. 669-674, 1995.

PREFEITURA DE SETE LAGOAS – MG. **Perfil Informativo**. Sete Lagoas, 2000. Disponível em <<http://www.setelagoas.mg.gov.br/index.php/perfil-a4.pdf>>. pesquisa realizada em 10/08/2004.

PROBST, T. U., RIETZB, A. B., ALFASSI, Z.B. **Platinum concentrations in Danish air samples determined by instrumental neutron activation analysis**. J. Environ. Monit. 3, pp 217–219, 2001

PROJETO MINAS AMBIENTE . Ensino e Desenvolvimento Tecnológico para Controle Ambiental na Indústria. Subprojeto Ferro-Gusa. **Monitoramento da Qualidade do Ar em Divinópolis e Sete Lagoas**. Relatório de Avaliação dos Resultados – Período: Março/1999 a Fevereiro/2000, Belo Horizonte, 2000.

PROJETO MINAS AMBIENTE. Ensino e Desenvolvimento Tecnológico para Controle Ambiental na Indústria. Subprojeto Ferro-Gusa. **Monitoramento da Qualidade do Ar em Divinópolis e Sete Lagoas**. Relatório de Avaliação dos Resultados – Período: março/2000 a fevereiro/2002, Belo Horizonte, 2002.

QIN, Y. ODUYEMI, K. **Atmospheric aerosol source identification and estimates of source contributions to air pollution in Dundee, UK**. Atmospheric Environment 37, pp 1799-1809, 2003

RABANO, E.S., N.T. CASTILLO AND K.J. TORRE. **Speciation of Arsenic in Ambient Aerosols Collected in Los Angeles**, J. Air Pollut. Control. Assoc. 39, 76-80, 1989.

RIGOTTO, R.M. **Environmental Health & Worker's Health: a promising approach between the Green and the Red**. Rev. bras. Epidemiol. vol.6, nº.4, p.388-404, 2003.

RIZO, O.D. PERAZA, H.E. **Analisis expreso por activacion neutronica de residuales siderurgicos**. Revista Cubana de Física. Vol.18,1,pp 63-66, 1999.

SABINO,C. V. S H. M. ROSSI, G. F. KASTNER, M. B. Franco. **Tests to establish the k_0 -method at CDTN/CNEN, using the reactor TRIGA MARK I IPR-RI**. CDTN-805/95, Belo Horizonte, 1995.

SALDIVA, P.H.N., LICHTENFELS, A.J.F.C. PAIVA, P.S.O. BARONE,I.A, MARTINS, M.A, MASSAD,E. PEREIRA, J.C.R. XAVIER, V.P, SINGER, J.M. BOHM, G.M. **Association between air pollution and mortality due to respiratory diseases in children in São Paulo, Brazil: a preliminary report**. Environment Research. 65, pp218-225, 1994.

SALDIVA, P.H.N., POPE C.A., SCHWARTZ, J., DOCKERY, D.W., LICHTENFELS, A.J., SALGE J.M., BARONE, I., BOHM, G.M. **Air pollution and mortality in elderly People: a time-series study in São Paulo, Brazil**. Arch. Environ. Health, 50(2): 159-163, 1995.

SALMA I.; ZEMPLÉN-PAPP E. **Instrumental neutron activation analysis for studying size-fractionated aerosols**. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. Vol 435, Number 3, pp. 462-474, 1999.

SALMA, OCSKAYA, R., RAESB, N., MAENHAUTB, W. **Fine structure of mass size distributions in an urban environment** .Atmospheric Environment. 39, 5363–5374, 2005.

SCAPIN, M.. SATO, I.M. SALVADOR, V.L.R.SCAPIN, V.O.**Validação do método e avaliação da incerteza na determinação de maiores e menores constituintes em solos e sedimentos por WDXRF**. International Nuclear Atlantic Conference- INAC . Brasil, 2005

SCHWARTZ, J. & MORRIS, R. **Air pollution and hospital admissions for cardiovascular diseases in Detroit, Michigan**. Am. J. Epidemiol., 142:23-35, 1995.

SNYDER, R. L., **X-ray Characterization of Materials**. Willey-VCH, 1999.

SENA, M.M.; POPPI, R.J.; ROSA T. S. FRIGHETTO, R. T. S.; VALARINI, P.J. **Avaliação do uso de métodos quimiométricos em análise de solos**. Química Nova, vol.23, n.4. São Paulo, 2000.

SEINFELD, J.H. **Atmospheric chemistry and physics from air pollution to climate change**. Wiley, New York, 1986.

SOUZA JR, P. A. QUEIROZ. A.R.S.de, MORIMOTO, T., GUIMARÃES, A.F., GARG, V. K. **Air pollution investigation in Vitória metropolitan region, ES, Brazil**. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, vol. 246, 1, pp 85-90, 2000.

SPADARO, J. V. **Quantifying the Impacts of Air Pollution**, Workshop/Research Co-ordination Meeting of the International Atomic Energy Agency.Trieste, Italy, 1999.

SIMONITS, J. OSTRO, S. KALVIN, B. FAZEKAS. **HyperLab: A new concept in gamma-ray spectrum analysis**. J. Radioanal. Nucl. Chem., 257, pp 589-595, 2003.

STEINNES, E. **Neutron activation techniques in environmental studies**. Journal of Radionalytical and Nuclear Chemistry. Vol.243,1, pp 235-239, 1999.

SUNYER, J., CASTELLSAGUE J, SAEZ M, TOBIAS A, ANTO JM. **Air pollution and mortality in Barcelona**, J Epidem Comm Health. 50 (suppl 1): S76-S80, 1996.

TOULOUMI, G., SAMOLI, E., KATSOUYANNI, K. **Daily mortality and "winter type" air pollution in Athens, Greece - a time series analysis within the APHEA project**. J. Epidemiol. Comm. Health. 50(suppl 1):S47-S51, 1996.

TSUKADA, H. TAKEDA, A. HASEGAWA, H. UEDA,S. IYOGI, T. **Comparison of NAA and ICP_MS for the determination of major and trace elements in enviornmental samples**. Journal of Radionalytical and Nuclear Chemistry. Vol.263,3, pp 773-778, 2004

TURPIN, B. **Options for characterizing organic particulate matter**. Environmental Science & Technology. Vol 1, pp76-78, 1999.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (US-EPA) **Air Quality Criteria for particulae matter**. Vol.I and II. Research Triangle Park, NC, New York, 2004.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (US-EPA) **Determination of Metals in Ambient Particulate Matter using Neutron Activation Analysis (NAA) Gamma Spectrometry**. Compendium of Methods for the Determination of Inorganic Compounds in Ambient Air Compendium Method IO-3.7. Center for Environmental Research Information Office of Research and Development Cincinnati, 1999.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (US-EPA).. “**Air Pollution and Health Risk**”. 2005 Disponível em: <http://www.epa.gov/ttn/atw/3_90_022.html>. Pesquisa realizada em 31 de maio de 2005.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (US-EPA). “**Receptor Models**”. 2004. Pesquisa realizada em 05 de maio de 2004. Disponível em: <<http://www.epa.gov/scram001/tt23.htm>>.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (US-EPA). “**Guideline on Speciated Particulate Monitoring**”. 1998. Pesquisa realizada em 01 de junho de 2004. Disponível em: <<http://www.epa.gov/ttn/amtic/files/ambient/pm25/spec/drispec.pdf>>.

U. S. GEOLOGICAL SURVEY (USGS), **Compilation of Elemental Concentration Data for USGS Geochemical Exploration Reference Materials, GXR-6**. Geostandards Newsletter, v.14, n.1, p.21 – 118, 1998.

U.S. GOVERNMENT. CODE OF FEDERAL REGISTER. **CFR 40. Protection of Environment**. Washington, 1994.

VANLOON, G.W.; DUFFY, S.J. **Environmental chemistry**. A global perspective. Oxford: Oxford University Press, 2000.

VIGOTI, M.A., ROSSI, G., BISANTI, L., ZANOBBETTI, A., SCHWARTZ, J. **Short term effects of urban air pollution on respiratory health in Milan**, Italy, 1980-89. J. Epidemiol. Comm. Health. 50(suppl 1):S71-S75, 1996.

WANG, C.F. CHAUNG, E.E. CHIANG, P.C. ARAS, N.K. **Analytical procedures on Multi-element determinations of airborne particles for receptor model use**. Analyst, vol. 120, pp 2521-2527, 1995.

WATSON, J.G. **Chemical Element Balance Receptor Model Methodology for Assessing the Sources of Fine and Total Suspended Particulate Matter in Portland, Oregon**. Ph.D. Dissertation, Oregon Graduate Center, Beaverton, 1979.

WATSON, J.G. **Overview of Receptor Model Principles**. Journal Air Pollution Control Assoc. 34 (6), 619-623, 1984.

WATSON, J.G.; CHOW C.J. **Receptor Models for Air Quality Management**. Air & Waste Management Association, 2004.

WITKOWSKA, E. SZCZEPANIAK, K., BIZIUK, M. **Some applications of neutron activation analysis: A review**. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. Vol.265,1, pp 141-150, 2004

WITTE, R.S. WITTE, J.S. **Estatística**. LTC. 7a ed. New York, 2005.

WOJTYNIAK, B. & PIEKARSKI, T. **Short term effect of air pollution on mortality in Polish urban populations - what is different?**. J. Epidemiol. Comm. Health, 50(suppl 1):S36-S41, 1996.

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

YOUNES, N. ROBOUCH, P. **A Web tool for calculating K0-NAA uncertainties**. Journal of Radianalytical and Nuclear Chemistry. Vol. 257,3,pp 665-667, 2003.

ZMIRROU, D. **Some Issues on health impacts of air pollution**. Edited by Bourton, C. vol.2, pp 265-276, 1996.

APENDICE A

CONCENTRAÇÃO ELEMENTAR DE PARTÍCULAS INALÁVEIS - PI

AMOSTRA	Concentração ($\mu\text{g.g}^{-1}$)															
	Al	As	Ba	Br	Cl	Co	Cr	Cs	Cu	Dy	Eu	Fe	Ga	La		
PM1	5,23 ± 0,02	0,20 ± 0,03	260 ± 9	1,41 ± 0,08	653 ± 68		4,38 ± 0,41		87 ± 1	0,44 ± 0,09		1740 ± 66	57 ± 2	0,543 ± 0,030		
PM2	63,14 ± 0,26	0,81 ± 0,13	201 ± 7		866 ± 90	0,55 ± 0,07	0,55 ± 0,05			0,64 ± 0,12		1313 ± 50	80 ± 3	0,228 ± 0,013		
PM3	99,76 ± 0,42		247 ± 9		1211 ± 126	0,53 ± 0,07	2,56 ± 0,24		1004 ± 15	0,70 ± 0,14		1976 ± 75	82 ± 3	3,252 ± 0,179		
PM4	124,61 ± 0,52		225 ± 8				1,31 ± 0,12			0,67 ± 0,13		2746 ± 104	120 ± 5			
PM5	178,43 ± 0,75	1,83 ± 0,30	183 ± 7		1013 ± 105	0,63 ± 0,08	1,61 ± 0,15	0,29 ± 0,05	1353 ± 20	0,46 ± 0,09	0,67 ± 0,11	1448 ± 55	97 ± 4	3,653 ± 0,201		
PM6	121,39 ± 0,51		183 ± 7				6,41 ± 0,55			0,69 ± 0,13		1389 ± 53	22 ± 1	0,177 ± 0,010		
PM7	57,16 ± 0,24		195 ± 7				7,61 ± 0,54			0,86 ± 0,17		582 ± 22	22 ± 1	0,053 ± 0,003		
PM8	98,05 ± 0,41		200 ± 7				10,29 ± 0,67		1522 ± 23	0,55 ± 0,11		1007 ± 38	244 ± 10	1,250 ± 0,069		
PM9	93,63 ± 0,39		211 ± 8	3,52 ± 0,20			0,27 ± 0,03		1582 ± 24	0,70 ± 0,14		1858 ± 71	261 ± 11	1,043 ± 0,057		
PM10	107,45 ± 0,45	0,41 ± 0,07		1,16 ± 0,07			10,17 ± 0,71			0,46 ± 0,09		1780 ± 68	26 ± 1	0,338 ± 0,019		
PM11	171,21 ± 0,71	1,20 ± 0,20		6,34 ± 0,36		0,40 ± 0,05	5,41 ± 0,51	0,23 ± 0,04		0,63 ± 0,12		1 ± 0		0,718 ± 0,040		
PM12	82,52 ± 0,34	0,27 ± 0,04	294 ± 11	3,08 ± 0,17	66 ± 7	0,36 ± 0,04	4,43 ± 0,41	0,20 ± 0,04		0,20 ± 0,01		1431 ± 54	24 ± 1			
PM13	99,17 ± 0,41	0,16 ± 0,03	252 ± 9	1,16 ± 0,07	39 ± 4	0,42 ± 0,05	4,93 ± 0,46	0,29 ± 0,05		0,65 ± 0,07		1627 ± 62	28 ± 1			
PM14	86,60 ± 0,36	0,18 ± 0,03	315 ± 11	0,66 ± 0,04	43 ± 4	0,28 ± 0,03	4,31 ± 0,40	0,29 ± 0,05		0,71 ± 0,10		1215 ± 46	37 ± 1			
PM15	100,04 ± 0,42	0,24 ± 0,04	276 ± 10	0,40 ± 0,02	52 ± 5	0,29 ± 0,04	3,57 ± 0,33	0,72 ± 0,13		0,09 ± 0,02		2102 ± 80	25 ± 1			
PM16	85,44 ± 0,36	0,19 ± 0,03	310 ± 11	0,64 ± 0,04	62 ± 6	0,33 ± 0,04	1,74 ± 0,16	0,22 ± 0,04		0,19 ± 0,01		872 ± 33	42 ± 2			
PM17	127,96 ± 0,53		284 ± 10	0,53 ± 0,03	103 ± 11	0,29 ± 0,04	5,81 ± 0,54	0,22 ± 0,04		0,85 ± 0,09		2091 ± 79				
PM18	129,40 ± 0,54	0,29 ± 0,05	275 ± 10	0,67 ± 0,04	543 ± 57	0,32 ± 0,04	4,21 ± 0,39			0,21 ± 0,02		1187 ± 45	24 ± 1			
PM19	104,15 ± 0,43		98 ± 4	1,12 ± 0,06		0,11 ± 0,01	10,79 ± 0,74			0,39 ± 0,08		419 ± 16		0,265 ± 0,015		
PM20	93,83 ± 0,39	0,31 ± 0,05	285 ± 10			0,32 ± 0,04	3,74 ± 0,35	0,33 ± 0,06		0,32 ± 0,06		4100 ± 156	46 ± 2			
PM21	64,05 ± 0,27		273 ± 10			0,35 ± 0,04	8,78 ± 0,82	0,57 ± 0,10		0,25 ± 0,05	2,49 ± 0,03	2196 ± 83	36 ± 1	0,082 ± 0,005		
PM22	71,03 ± 0,30		244 ± 9	2,12 ± 0,12			4,65 ± 0,43			0,35 ± 0,07		1431 ± 54	39 ± 2	0,160 ± 0,009		
PM23	50,84 ± 0,21	0,57 ± 0,09	250 ± 9	2,42 ± 0,14		0,22 ± 0,03	1,67 ± 0,16	0,18 ± 0,03		0,30 ± 0,06		849 ± 32	63 ± 3	0,483 ± 0,027		
PM24	102,74 ± 0,43	0,83 ± 0,14	193 ± 7	3,93 ± 0,22		0,31 ± 0,04	4,51 ± 0,42			0,15 ± 0,03		1357 ± 52	69 ± 3			
PM25	92,23 ± 0,39		245 ± 9	1,94 ± 0,11		0,23 ± 0,03	3,09 ± 0,29	0,27 ± 0,05		0,31 ± 0,06		1173 ± 45	67 ± 3	1,068 ± 0,059		
PM26	5,24 ± 0,02		274 ± 10			0,24 ± 0,03	5,01 ± 0,47	0,30 ± 0,05		0,14 ± 0,03		2337 ± 89	74 ± 3	0,817 ± 0,045		
PM27	76,60 ± 0,32	0,56 ± 0,09	321 ± 12	2,69 ± 0,15		0,45 ± 0,06	8,76 ± 0,82	0,38 ± 0,07		0,41 ± 0,08		2276 ± 86	69 ± 3	1,251 ± 0,069		
PM28	77,73 ± 0,32	0,42 ± 0,07	296 ± 11	2,17 ± 0,12			3,53 ± 0,33	0,26 ± 0,05		0,55 ± 0,11		1481 ± 56		0,517 ± 0,028		
PM29	81,12 ± 0,34	0,57 ± 0,09	1952 ± 71	3,24 ± 0,18		0,82 ± 0,10	24,77 ± 2,32		138,3257 ± 2,088	0,91 ± 0,11		4977 ± 189	95 ± 4	1,391 ± 0,077		
PM30	85,60 ± 0,36		37 ± 1	1,43 ± 0,08		0,04 ± 0,01	30,63 ± 1,81			0,73 ± 0,14		184 ± 7	121 ± 5			

APENDICE A

CONCENTI

AMOSTRA	Concentração (µg.g ⁻¹)																									
	Mg	Mn	Na	Sb	Sc	Sm	Ta	Tb	Th	U	V	Yb	Zn													
PM1	68 ± 8	27,3 ± 1,3	3248 ± 8	1,13 ± 0,08	0,3656 ± 0,0104	0,43 ± 0,01	3,55 ± 0,11	±	0,33 ± 0,03	±	0,1013 ± 0,0067	0,6 ± 0,1	22,7 ± 1,3													
PM2	20 ± 2	43,2 ± 2,0	3250 ± 8	0,79 ± 0,06	0,1440 ± 0,0041	0,40 ± 0,01	1,76 ± 0,05	±	0,11 ± 0,01	±	0,0093 ± 0,0006	±	10,6 ± 0,6													
PM3	101 ± 11	66,4 ± 3,0	15750 ± 39	1,06 ± 0,08	0,1997 ± 0,0057	56,31 ± 1,59	2,23 ± 0,07	0,10 ± 0,01	0,28 ± 0,02	34,9 ± 3,1	0,1136 ± 0,0075	±	25,8 ± 1,4													
PM4	43 ± 5	71,5 ± 3,3	16048 ± 40	1,33 ± 0,10	0,2147 ± 0,0061	3800,56 ± 107,58	2,36 ± 0,07	±	0,14 ± 0,01	55,4 ± 4,9	0,1754 ± 0,0116	±	78,4 ± 4,4													
PM5	50 ± 6	5,5 ± 0,3	16351 ± 40	0,91 ± 0,07	0,2316 ± 0,0074	68,69 ± 1,94	2,41 ± 0,07	±	0,30 ± 0,02	30,6 ± 2,7	0,1595 ± 0,0105	15,8 ± 3,1	46,5 ± 2,6													
PM6	61 ± 7	39,6 ± 1,8	3138 ± 8	0,84 ± 0,06	0,2105 ± 0,0060	±	2,36 ± 0,07	±	±	±	0,0897 ± 0,0059	±	46,9 ± 2,6													
PM7	34 ± 4	22,2 ± 1,0	3131 ± 8	0,71 ± 0,05	0,1018 ± 0,0029	±	1,51 ± 0,05	±	0,19 ± 0,02	±	0,0326 ± 0,0021	±	28,0 ± 1,6													
PM8	25 ± 3	43,3 ± 2,0	7996 ± 20	1,04 ± 0,08	0,1324 ± 0,0037	11,12 ± 0,31	1,65 ± 0,05	0,10 ± 0,01	0,15 ± 0,01	6,4 ± 0,6	0,0861 ± 0,0057	0,8 ± 0,2	17,0 ± 1,0													
PM9	48 ± 5	51,9 ± 2,4	8256 ± 20	0,74 ± 0,05	0,1413 ± 0,0040	12,28 ± 0,35	1,64 ± 0,05	±	±	2,7 ± 0,2	0,0363 ± 0,0024	1,2 ± 0,2	29,1 ± 1,6													
PM10	8 ± 1	54,3 ± 2,5	2954 ± 7	1,06 ± 0,06	0,2175 ± 0,0062	±	2,12 ± 0,06	±	0,13 ± 0,01	±	0,1764 ± 0,0116	±	20,9 ± 1,2													
PM11	20 ± 2	94,6 ± 4,3	4870 ± 12	2,77 ± 0,20	0,2470 ± 0,0070	7,84 ± 0,22	±	±	0,78 ± 0,06	35,9 ± 3,2	0,2139 ± 0,0141	±	18,2 ± 1,0													
PM12	10 ± 1	8,4 ± 0,4	975 ± 2	0,78 ± 0,06	0,2471 ± 0,0070	3,19 ± 0,09	0,17 ± 0,01	±	0,53 ± 0,04	±	0,1031 ± 0,0068	0,7 ± 0,1	13,3 ± 0,7													
PM13	27 ± 3	11,2 ± 0,5	979 ± 2	0,81 ± 0,06	0,2749 ± 0,0078	3,21 ± 0,09	±	±	0,62 ± 0,05	±	0,1087 ± 0,0072	0,8 ± 0,2	15,7 ± 0,9													
PM14	31 ± 3	8,6 ± 0,4	1002 ± 2	0,64 ± 0,05	0,1561 ± 0,0057	3,47 ± 0,10	±	±	0,34 ± 0,03	±	0,0686 ± 0,0045	0,9 ± 0,2	42,3 ± 1,8													
PM15	25 ± 3	11,6 ± 0,5	937 ± 2	0,56 ± 0,04	0,2591 ± 0,0073	0,79 ± 0,02	±	±	0,71 ± 0,06	±	0,0879 ± 0,0058	1,0 ± 0,2	60,2 ± 3,4													
PM16	37 ± 4	11,9 ± 0,5	985 ± 2	0,53 ± 0,04	0,1136 ± 0,0032	3,60 ± 0,10	±	±	0,55 ± 0,04	±	0,0644 ± 0,0042	0,9 ± 0,2	19,9 ± 1,1													
PM17	52 ± 6	5,3 ± 0,2	1018 ± 3	3,69 ± 0,27	0,2665 ± 0,0075	3,15 ± 0,09	±	±	0,58 ± 0,05	±	0,1346 ± 0,0089	0,6 ± 0,1	54,0 ± 3,0													
PM18	48 ± 5	12,6 ± 0,6	1034 ± 3	0,99 ± 0,07	0,1474 ± 0,0042	3,89 ± 0,11	1,48 ± 0,04	±	0,49 ± 0,04	±	0,1301 ± 0,0086	0,9 ± 0,2	6,3 ± 0,4													
PM19	46 ± 5	20,2 ± 0,9	2957 ± 7	0,35 ± 0,03	0,0279 ± 0,0008	0,58 ± 0,02	0,52 ± 0,02	±	±	±	0,1301 ± 0,0086	±	17,6 ± 1,0													
PM20	53 ± 6	22,5 ± 1,0	1025 ± 3	1,06 ± 0,08	0,3694 ± 0,0105	3,44 ± 0,10	±	±	0,81 ± 0,06	±	0,0973 ± 0,0064	0,9 ± 0,2	34,7 ± 1,9													
PM21	21 ± 2	54,2 ± 2,5	3032 ± 8	5,82 ± 0,43	0,3590 ± 0,0102	±	±	±	0,71 ± 0,06	±	0,0094 ± 0,0006	±	46,0 ± 2,6													
PM22	78 ± 9	37,6 ± 1,7	2901 ± 7	0,98 ± 0,07	0,2078 ± 0,0059	0,85 ± 0,02	±	0,26 ± 0,03	0,58 ± 0,05	±	0,1063 ± 0,0070	±	23,3 ± 1,3													
PM23	30 ± 3	30,2 ± 1,4	3005 ± 7	0,49 ± 0,04	0,0989 ± 0,0028	2,52 ± 0,07	±	±	0,18 ± 0,01	±	0,0290 ± 0,0019	1,3 ± 0,3	40,0 ± 2,2													
PM24	57 ± 6	14,3 ± 0,7	6843 ± 17	0,58 ± 0,04	0,1887 ± 0,0053	12,35 ± 0,35	±	±	0,60 ± 0,05	2,7 ± 0,2	0,0936 ± 0,0062	0,7 ± 0,1	60,3 ± 3,4													
PM25	94 ± 10	21,2 ± 1,0	7068 ± 17	0,71 ± 0,05	0,1659 ± 0,0047	10,24 ± 0,29	±	±	0,45 ± 0,04	3,2 ± 0,3	0,1051 ± 0,0069	1,8 ± 0,4	38,3 ± 2,1													
PM26	68 ± 8	12,3 ± 0,6	6519 ± 16	0,79 ± 0,06	0,3219 ± 0,0091	8,34 ± 0,24	0,12 ± 0,04	±	0,91 ± 0,07	2,2 ± 0,2	0,1013 ± 0,0067	0,7 ± 0,1	97,8 ± 5,5													
PM27	36 ± 4	30,6 ± 1,4	6900 ± 17	1,21 ± 0,09	0,3730 ± 0,0106	10,64 ± 0,30	±	±	0,92 ± 0,07	2,4 ± 0,2	0,0435 ± 0,0029	±	41,4 ± 2,3													
PM28	40 ± 4	28,9 ± 1,3	4773 ± 12	0,73 ± 0,05	0,2366 ± 0,0067	6,34 ± 0,18	±	±	0,45 ± 0,04	±	0,0301 ± 0,0020	1,1 ± 0,2	10,1 ± 0,6													
PM29	35 ± 4	12,4 ± 0,6	6489 ± 16	1,74 ± 0,13	0,6655 ± 0,0188	12,43 ± 0,35	2,53 ± 0,08	±	3,15 ± 0,25	0,5 ± 0,0	0,0513 ± 0,0034	1,6 ± 0,3	75,2 ± 2,0													
PM30	39 ± 4	15,6 ± 0,7	1064 ± 3	0,08 ± 0,01	0,0019 ± 0,0001	8,50 ± 0,24	0,31 ± 0,01	±	±	±	0,0590 ± 0,0039	0,5 ± 0,1	25,6 ± 1,4													

CONCENTRAÇÃO ELEMENTAR DO MATERIAL PARTICULADO TOTAL EM SUSPENSÃO - PTS

Amostra	Concentração (µg.g ⁻¹)																		
	Al	As	Ba	Br	Cl	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Eu	Fe	Ga	Hf	I	K	La		
PTS1	2899,2 ±	17,2 1,701 ±	0,07 23,89 ±	2,8 3,48 ±	0,11 171,1 ±	5,5 5,586 ±	0,7 0,805 ±	0,10 6,904 ±	0,8 0,331 ±	0,07 426,2 ±	2,62 ±	4303,9 ±	119 0,799 ±	0,06 0,46 ±	0,10 2,328 ±	1,9 1044 ±	141 2,313 ±	0,07	
PTS2	1076,2 ±	7,5 0,568 ±	0,02 ±	2,683 ±	0,08 187,1 ±	4,1 1,679 ±	0,2 0,379 ±	0,05 1,967 ±	0,2 0,196 ±	0,04 462 ±	2,84 ±	2187,7 ±	61 0,977 ±	0,08 ±	0,05 0,278 ±	0,06 1,105 ±	0,1 448,7 ±	61 0,868 ±	0,03
PTS3	1310,6 ±	9,4 0,792 ±	0,03 ±	2,411 ±	0,08 168,4 ±	5,2 2,142 ±	0,3 ±	2,274 ±	0,3 ±	444,6 ±	2,73 ±	3410,8 ±	94 0,704 ±	0,05 0,278 ±	0,06 1,105 ±	0,1 545,8 ±	74 0,919 ±	0,03	
PTS4	1230,4 ±	7,3 0,894 ±	0,04 ±	3,397 ±	0,11 170,1 ±	5,4 1,981 ±	0,3 0,482 ±	0,06 2,466 ±	0,3 ±	437,8 ±	2,69 ±	3235,6 ±	64 0,918 ±	0,07 ±	0,08 0,806 ±	0,09 555,8 ±	82 0,952 ±	0,03	
PTS5	1650,7 ±	9,8 0,812 ±	0,03 ±	2,761 ±	0,09 198 ±	5,8 3,227 ±	0,4 0,449 ±	0,05 2,934 ±	0,4 0,255 ±	0,06 373 ±	2,60 ±	2223,1 ±	62 1,356 ±	0,10 ±	0,08 0,806 ±	0,09 555,8 ±	75 1,294 ±	0,04	
PTS6	1717,2 ±	6,4 1,001 ±	0,04 ±	5,006 ±	0,16 393,3 ±	5,9 1,489 ±	0,2 ±	2,305 ±	0,3 ±	419,6 ±	2,58 1,564 ±	0,27 1582,6 ±	44 4,645 ±	0,36 0,365 ±	0,08 0 ±	0,09 555,8 ±	86 1,252 ±	0,04	
PTS7	940,84 ±	5,5 0,544 ±	0,02 ±	2,136 ±	0,07 314,5 ±	5,8 1,544 ±	0,2 0,262 ±	0,03 ±	0,3 ±	266 ±	3,06 ±	1661,4 ±	46 4,828 ±	0,37 ±	0 ±	0,09 555,8 ±	36 0,687 ±	0,02	
PTS8	1073,3 ±	6,8 0,676 ±	0,03 ±	3,614 ±	0,11 323,5 ±	16,5 1,411 ±	0,2 0,181 ±	0,02 2,411 ±	0,3 ±	374,7 ±	3,02 ±	2261,6 ±	63 6,994 ±	0,54 ±	0,961 ±	0,09 330,2 ±	45 0,772 ±	0,02	
PTS9	1223,7 ±	4,8 0,849 ±	0,04 ±	6,134 ±	0,19 424,5 ±	6,5 0,952 ±	0,1 0,496 ±	0,06 ±	0,515 ±	0,11 423,6 ±	2,60 ±	3712,5 ±	103 11,96 ±	0,92 ±	2,17 ±	1,8 1250 ±	169 0,813 ±	0,03	
PTS10	1503,3 ±	5,1 1,154 ±	0,05 ±	4,583 ±	0,14 342,3 ±	5,9 2,229 ±	0,3 0,634 ±	0,08 1,585 ±	0,2 0,661 ±	0,14 504,5 ±	3,10 ±	3480,6 ±	96 16,8 ±	1,30 0,143 ±	0,03 1,928 ±	1,6 1638 ±	222 1,339 ±	0,04	
PTS11	1500,4 ±	4,9 3,847 ±	0,17 ±	±	381,7 ±	6,7 0,54 ±	0,1 0,238 ±	0,03 5,582 ±	0,7 0,289 ±	0,06 1111 ±	6,82 0,528 ±	0,09 2257,6 ±	62 336,7 ±	25,96 0,297 ±	0,07 0 ±	6,067 ±	1 2,895 ±	0,09	
PTS12	1677,5 ±	9,1 2,022 ±	0,09 ±	±	255,1 ±	6 1,607 ±	0,2 0,289 ±	0,03 6,354 ±	0,8 0,262 ±	0,06 916,8 ±	5,10 0,542 ±	0,09 1608,3 ±	44 250,3 ±	19,30 0,112 ±	0,02 0 ±	7,271 ±	1 3,272 ±	0,10	
PTS13	859,94 ±	4,1 ±	±	±	130,9 ±	1,5 3,54 ±	0,5 1,918 ±	0,23 7,788 ±	0,9 0,354 ±	0,08 1428 ±	8,77 0,542 ±	0,09 4258,3 ±	118 232,8 ±	17,95 0,25 ±	0,06 0 ±	2247 ±	304 2,164 ±	0,07	
PTS14	1222,3 ±	7,4 1,66 ±	0,07 ±	±	11,81 ±	0,37 210,5 ±	4,9 1,46 ±	0,2 0,238 ±	0,03 6,488 ±	0,8 0,31 ±	0,07 1133 ±	6,96 0,528 ±	0,09 1885,4 ±	52 221,5 ±	17,08 ±	122 ±	17 2,759 ±	0,09	
PTS15	1178,9 ±	6,5 1,072 ±	0,05 ±	±	3,356 ±	0,10 177,3 ±	5,7 1,436 ±	0,2 0,273 ±	0,03 3,859 ±	0,5 0,354 ±	0,08 506 ±	3,10 ±	3015,5 ±	83 ±	0,17 ±	0,04 ±	0 ±	51 0,552 ±	0,02
PTS16	866,32 ±	4,1 0,715 ±	0,03 2,874 ±	±	0,6 5,858 ±	0,18 387,4 ±	5,8 0,54 ±	0,1 0,089 ±	0,01 2,028 ±	0,2 0,145 ±	0,03 345,5 ±	2,12 ±	1280,5 ±	35 ±	±	0,982 ±	0,08 256,3 ±	35 0,234 ±	0,01
PTS17	2835,3 ±	15,6 1,108 ±	0,05 6,263 ±	±	1,1 4,407 ±	0,14 228,8 ±	4,7 0,672 ±	0,1 0,275 ±	0,03 7,108 ±	0,9 0,238 ±	0,05 313 ±	1,92 0,542 ±	0,09 2591,7 ±	72 ±	0,116 ±	0,03 1,279 ±	0,11 350,6 ±	47 0,521 ±	0,02
PTS18	1270,4 ±	7,1 0,617 ±	0,03 9,013 ±	±	1,3 2,847 ±	0,09 166,4 ±	5,1 0,746 ±	0,1 0,353 ±	0,04 6,065 ±	0,7 0,168 ±	0,04 285,4 ±	0,92 ±	1576,4 ±	49 ±	±	1,315 ±	0,12 265,9 ±	36 0,327 ±	0,01
PTS19	2517,8 ±	14,9 1,197 ±	0,05 9,005 ±	±	1,3 6,701 ±	0,21 174 ±	5,3 2,098 ±	0,3 0,391 ±	0,41 6,285 ±	0,8 0,281 ±	0,06 388,9 ±	3,13 ±	1930,6 ±	53 ±	±	1,296 ±	0,12 422,9 ±	57 0,544 ±	0,02
PTS20	3532,8 ±	20,9 1,727 ±	0,07 4,929 ±	±	3,2 5,659 ±	0,18 210 ±	5,5 3,678 ±	0,5 0,393 ±	0,05 6,978 ±	0,8 0,327 ±	0,07 542,6 ±	3,33 ±	5621,8 ±	156 ±	0,25 ±	0,06 2,097 ±	1,8 562,7 ±	76 0,896 ±	0,03
PTS21	3713,8 ±	22,0 1,364 ±	0,06 4,091 ±	±	1,2 3,966 ±	0,12 284,6 ±	5,2 1,309 ±	0,2 0,316 ±	0,04 7,31 ±	0,9 0,388 ±	0,09 517,8 ±	4,80 0,528 ±	0,09 2908,3 ±	80 ±	±	1,079 ±	0,1 469,5 ±	64 0,8 ±	0,02
PTS22	2039,2 ±	12,1 0,786 ±	0,03 0 ±	±	1,685 ±	0,07 161,9 ±	3,7 1,333 ±	0,2 0,117 ±	0,01 3,581 ±	0,4 0,137 ±	0,03 458,4 ±	2,81 ±	1776,7 ±	49 ±	0,099 ±	0,02 1,057 ±	0,11 950,7 ±	129 0,442 ±	0,01
PTS23	1591,6 ±	8,5 0,721 ±	0,03 0 ±	±	3,209 ±	0,10 184,4 ±	3,9 ±	0,0 0,084 ±	0,01 3,271 ±	0,4 0,255 ±	0,06 430 ±	2,64 ±	1271,5 ±	38 ±	±	1,162 ±	0,11 232,7 ±	31 0,331 ±	0,01
PTS24	2655 ±	15,7 0,923 ±	0,04 0 ±	±	3,489 ±	0,12 410,8 ±	11,3 0,557 ±	0,1 0,192 ±	0,02 ±	0,275 ±	0,06 734,4 ±	4,51 ±	2270,9 ±	63 ±	±	1,446 ±	0,12 347,5 ±	47 0,603 ±	0,02
PTS25	2202,1 ±	5,7 0,692 ±	0,03 0 ±	±	4,455 ±	0,14 336,5 ±	20,5 0,751 ±	0,1 0,114 ±	0,01 1,943 ±	0,2 0,332 ±	0,07 741,6 ±	4,55 ±	1563,6 ±	38 ±	±	1,726 ±	0,12 320,5 ±	43 0,47 ±	0,01
PTS26	4281,7 ±	25,3 1,066 ±	0,05 0 ±	±	5,205 ±	0,16 294,3 ±	6,2 3,097 ±	0,4 0,385 ±	0,05 6,708 ±	0,8 0,312 ±	0,07 614,8 ±	4,22 0,445 ±	0,08 3355,4 ±	93 ±	0,098 ±	0,02 1,747 ±	0,12 492,5 ±	67 1,043 ±	0,03
PTS27	3059,7 ±	18,1 1,224 ±	0,05 0 ±	±	4,315 ±	0,13 312,2 ±	5,9 2,947 ±	0,4 0,433 ±	0,05 6,795 ±	1,1 0,362 ±	0,08 739,9 ±	4,54 22,65 ±	0,42 2596,4 ±	72 ±	0,224 ±	0,05 1,622 ±	0,12 646,6 ±	88 0,788 ±	0,02
PTS28	2439,5 ±	14,4 0,887 ±	0,04 0 ±	±	2,248 ±	0,07 150,8 ±	2,9 1,698 ±	0,2 0,309 ±	0,04 4,995 ±	0,6 0,33 ±	0,07 334,7 ±	2,69 ±	2127,3 ±	59 ±	0,079 ±	0,02 0,45 ±	0,06 219,5 ±	30 0,643 ±	0,02
PTS29	2016,5 ±	10,5 0,567 ±	0,02 0 ±	±	2,398 ±	0,11 136 ±	1,7 ±	0,0 0,166 ±	0,02 ±	±	365,8 ±	1,80 0,471 ±	0,08 1660,3 ±	46 ±	±	0 ±	306,1 ±	41 0,521 ±	0,02

APENDICE

CONCE

Amostra	Concentração (µg.g ⁻¹)																	
	Mg	Mn	Na	Sb	Sc	Se	Sm	Ta	Tb	Th	Ti	U	V	W	Yb	Zn		
PTS1	493 ±	155 26,63 ±	1,9 266 ±	3,0 0 ±	0,843 ±	0,843 ±	12,05 ±	0,07 7,89 ±	2,1 0,625 ±	0,08 0,83 ±	0,16 138,7 ±	8,2 ±	4,553 ±	0,23 ±	±	31,15 ±	1,4	
PTS2	202,5 ±	69 17,58 ±	0,62 111,8 ±	1,3 0 ±	0,212 ±	0,212 ±	3,048 ±	0,08 2,262 ±	0,6 ±	0,226 ±	0,04 35,86 ±	3,2 ±	1,552 ±	0,04 ±	±	82,44 ±	3,8	
PTS3	253,9 ±	90 26,2 ±	2,1 114,9 ±	1,3 0 ±	0,243 ±	0,243 ±	3,819 ±	0,10 2,543 ±	0,7 ±	0,3 ±	0,06 50,19 ±	6,3 ±	1,75 ±	0,09 ±	±	44,73 ±	2,1	
PTS4	257,8 ±	91 26,68 ±	2,4 98,74 ±	1,1 0 ±	0,266 ±	0,005 ±	4,347 ±	0,08 2,457 ±	0,7 ±	0,261 ±	0,05 51,72 ±	3 ±	1,741 ±	0,09 ±	±	50,18 ±	2,3	
PTS5	266,6 ±	93 21 ±	1,5 83,61 ±	0,9 0 ±	0,338 ±	0,338 ±	6,271 ±	0,16 3,1 ±	0,8 ±	0,43 ±	0,08 65,14 ±	4,6 4,846 ±	1,6 2,188 ±	0,11 ±	±	46,68 ±	2,2	
PTS6	183,8 ±	10 21,77 ±	1,3 125,9 ±	1,4 0 ±	0,168 ±	0,168 ±	6,475 ±	0,16 1,63 ±	0,4 ±	0,075 ±	0,01 51,9 ±	1,9 ±	2,204 ±	0,11 ±	±	68,32 ±	3,2	
PTS7	264,8 ±	89 13,11 ±	0,62 114,8 ±	1,3 0 ±	0,202 ±	0,202 ±	3,731 ±	0,11 2,086 ±	0,6 ±	0,113 ±	0,02 58,84 ±	2,6 ±	1,243 ±	0,06 ±	±	80,8 ±	3,7	
PTS8	203,6 ±	69 16,71 ±	1,4 122,9 ±	1,4 0 ±	0,194 ±	0,194 2,307 ±	0,5 4,841 ±	0,08 2,243 ±	0,6 0,395 ±	0,05 0,262 ±	0,05 30,84 ±	2,5 3,939 ±	0,3 1,391 ±	0,07 ±	±	44,51 ±	2,1	
PTS9	288,7 ±	71 25,55 ±	2,7 161,6 ±	1,8 0 ±	0,215 ±	0,005 ±	6,399 ±	0,16 1,277 ±	0,3 ±	0,098 ±	0,02 54,13 ±	3 ±	1,556 ±	0,04 ±	±	57,24 ±	2,7	
PTS10	309 ±	100 27,41 ±	2,6 172,1 ±	1,9 0 ±	0,339 ±	0,339 ±	10,29 ±	0,26 2,973 ±	0,8 ±	0,211 ±	0,04 61,17 ±	1,2 6,039 ±	0,7 2,291 ±	0,11 ±	±	41,93 ±	1,9	
PTS11	148,1 ±	9 13,28 ±	0,63 591 ±	6,7 0,489 ±	0,01 0,177 ±	0,177 ±	68,23 ±	1,71 ±	0,551 ±	0,07 0,432 ±	0,08 15,04 ±	1,8 ±	1,37 ±	0,05 51,32 ±	5,90 20,75 ±	2,0 48,85 ±	2,3	
PTS12	337,7 ±	111 15,85 ±	0,7 526,3 ±	6,0 1,551 ±	0,04 0,087 ±	0,087 ±	70,29 ±	1,76 ±	0,527 ±	0,07 0,308 ±	0,06 42,97 ±	3 ±	1,801 ±	0,09 24,54 ±	2,82 140,7 ±	13,4 58,32 ±	2,7	
PTS13	127,1 ±	21 14,58 ±	0,6 372,2 ±	4,2 1,386 ±	0,04 0,394 ±	0,394 ±	41,05 ±	1,03 ±	0,551 ±	0,07 0,859 ±	0,16 55,2 ±	2,9 3,411 ±	0,3 0,981 ±	0,03 16,43 ±	1,89 99,45 ±	9,5 39,32 ±	1,8	
PTS14	225,7 ±	75 14,81 ±	0,6 236,9 ±	2,7 5,354 ±	0,09 0,233 ±	0,233 ±	50,32 ±	1,26 0,218 ±	0,1 0,56 ±	0,07 0,457 ±	0,09 30,77 ±	3,3 7,067 ±	0,7 0,831 ±	0,05 5,481 ±	0,63 ±	75,96 ±	3,5	
PTS15	287,8 ±	96 19,94 ±	1,7 73,45 ±	0,8 0,745 ±	0,02 0,258 ±	0,258 ±	2,484 ±	0,08 ±	0,861 ±	0,11 0,585 ±	0,11 4,94 ±	2,7 11,16 ±	1,0 0,962 ±	0,04 0,195 ±	0,03 29,48 ±	2,8 68,64 ±	3,2	
PTS16	184,6 ±	62 9,196 ±	0,25 251,6 ±	2,8 0 ±	0,109 ±	0,109 ±	1,163 ±	0,02 ±	0,541 ±	0,07 0,184 ±	0,03 14,84 ±	3,6 3,842 ±	0,6 0,999 ±	0,05 ±	0,00 13,23 ±	1,3 36,73 ±	1,7	
PTS17	207,2 ±	69 16,03 ±	1,3 150,1 ±	1,7 2,86 ±	0,08 0,169 ±	0,003 ±	2,378 ±	0,04 ±	0,517 ±	0,07 0,478 ±	0,09 47,52 ±	2,5 5,472 ±	0,9 2,394 ±	0,12 0,287 ±	0,04 ±	62,32 ±	2,9	
PTS18	120,7 ±	40 6,719 ±	0,22 85,01 ±	1,0 0,425 ±	0,01 0,117 ±	0,117 ±	1,554 ±	0,04 ±	0,729 ±	0,10 0,288 ±	0,05 22,89 ±	2,2 ±	1,292 ±	0,06 0,528 ±	0,03 ±	29,55 ±	1,4	
PTS19	209,5 ±	70 11,59 ±	0,57 92,16 ±	1,0 1,939 ±	0,06 0,23 ±	0,230 ±	3,236 ±	0,12 ±	0,442 ±	0,06 0,519 ±	0,10 41,59 ±	2,1 8,396 ±	0,8 2,137 ±	0,11 0,505 ±	0,04 60,7 ±	5,8 66,04 ±	3,1	
PTS20	320,9 ±	107 29,33 ±	2,9 141,8 ±	1,6 1,012 ±	0,03 0,412 ±	0,412 ±	5,482 ±	0,14 ±	0,185 ±	0,02 0,912 ±	0,17 75,58 ±	1,9 10,36 ±	1,0 1,536 ±	0,04 0,575 ±	0,03 140,1 ±	13,3 54,28 ±	2,5	
PTS21	256,2 ±	85 17,79 ±	0,15 213,5 ±	2,4 5,023 ±	0,14 0,388 ±	0,388 ±	4,722 ±	0,14 ±	±	0,763 ±	0,14 66,26 ±	2,8 10,67 ±	1,0 3,289 ±	0,16 0,25 ±	0,04 77,48 ±	7,4 55,36 ±	2,6	
PTS22	168 ±	8 15,59 ±	0,12 137,9 ±	1,6 0,805 ±	0,02 0,194 ±	0,004 ±	2,809 ±	0,05 ±	0,56 ±	0,07 0,36 ±	0,07 34,93 ±	2,6 4,615 ±	0,7 2,112 ±	0,11 ±	±	61,59 ±	5,9 35,14 ±	1,6
PTS23	158,7 ±	9 9,926 ±	0,26 133 ±	1,5 0,693 ±	0,09 0,143 ±	0,143 ±	2,119 ±	0,05 0,288 ±	0,1 0,843 ±	0,11 0,286 ±	0,05 22,69 ±	2,9 ±	1,698 ±	0,08 ±	±	29,91 ±	2,8 32,37 ±	1,5
PTS24	267,6 ±	89 14,08 ±	0,11 435,1 ±	4,9 1,014 ±	0,03 0,246 ±	0,246 ±	4,487 ±	0,11 ±	±	0,512 ±	0,10 50,83 ±	3 ±	2,22 ±	0,11 ±	±	81,38 ±	3,8	
PTS25	200,2 ±	67 9,662 ±	0,25 318,6 ±	3,6 0,966 ±	0,03 0,174 ±	0,174 ±	3,702 ±	0,11 ±	±	0,306 ±	0,04 0,363 ±	0,07 40,37 ±	4,4 2,374 ±	0,5 1,78 ±	0,09 ±	7,916 ±	0,8 52,01 ±	2,4
PTS26	303,2 ±	101 17,22 ±	0,15 324,7 ±	3,7 1,144 ±	0,03 0,419 ±	0,419 1,278 ±	0,3 8,631 ±	0,22 0,065 ±	0,002 0,613 ±	0,08 0,946 ±	0,18 62,19 ±	3,6 6,09 ±	0,6 3,019 ±	0,15 ±	±	13,53 ±	1,3 106,2 ±	4,9
PTS27	261,4 ±	87 14,66 ±	1,1 342 ±	3,9 1,422 ±	0,04 0,367 ±	0,367 2,924 ±	0,6 16,46 ±	0,41 0,148 ±	0,004 0,566 ±	0,08 0,73 ±	0,14 53,23 ±	3,7 5,878 ±	0,7 1,519 ±	0,04 0,525 ±	0,04 29,93 ±	2,8 77,13 ±	3,6	
PTS28	213 ±	71 12,1 ±	0,6 224,6 ±	2,5 1,175 ±	0,03 0,301 ±	0,301 ±	5,74 ±	0,14 0,069 ±	0,002 ±	0,622 ±	0,12 54,99 ±	3,4 3,017 ±	0,6 1,932 ±	0,10 ±	±	±	32,75 ±	1,5
PTS29	137,1 ±	7 9,158 ±	0,24 99,49 ±	1,1 0,888 ±	0,03 0,23 ±	0,004 ±	2,566 ±	0,07 ±	±	0,253 ±	0,05 46,96 ±	3,2 2,357 ±	0,2 1,796 ±	0,09 ±	±	±	22,23 ±	1,0

Elemento Químico	Amostra de Resíduos																	
	P161		P162		P163		P164		P165		P166		P167		P168		P169	
	Conc.(µg.g ⁻¹)	Erro/LD	Conc.(µg.g ⁻¹)	Erro/LD	Conc.(µg.g ⁻¹)	Erro/LD	Conc.(µg.g ⁻¹)	Erro/LD	Conc.(µg.g ⁻¹)	Erro/LD	Conc.(µg.g ⁻¹)	Erro/LD	Conc.(µg.g ⁻¹)	Erro/LD	Conc.(µg.g ⁻¹)	Erro/LD	Conc.(µg.g ⁻¹)	Erro/LD
Ag	<	6,25	<	5,50	<	3,95E+00	<	5,95E+00	<	5,46E+00	<	2,80E+00	<	4,96E+00	<	4,95E+00	<	3,86E+00
As	16,67	+/- 0,65	<	2,54	1,14E+01	+/- 2,23E+00	1,15E+01	+/- 2,43E+00	2,05E+01	+/- 2,26E+00	1,10E+01	+/- 8,63E-01	1,68E+01	+/- 1,17E+00	5,53E+00	+/- 8,75E-01	1,23E+01	+/- 1,14E+00
Au	<	0,02	<	0,03	<	2,94E-02	<	3,15E-02	<	2,66E-02	<	1,90E-02	<	2,38E-02	<	3,18E-03	<	2,62E-02
Ba	<	32,60	1504,00	+/- 72,49	<	2,48E+02	<	7,16E+01	<	2,31E+02	2,33E+02	+/- 2,55E+01	3,47E+02	+/- 5,85E+01	3,99E+02	+/- 4,80E+01	<	2,94E+02
Br	<	1,12	<	3,09	<	5,00E+00	<	5,43E+00	<	4,65E+00	<	2,18E+00	<	2,81E+00	<	2,53E+00	4,47E+00	+/- 5,94E-01
Ca	<	22710,00	149500,00	+/- 17430,00	<	1,36E+04	<	1,57E+04	<	1,42E+04	7,55E+04	+/- 9,24E+03	<	1,87E+04	<	1,28E+04	<	1,78E+04
Cd	<	15,10	<	24,75	<	2,73E+01	<	2,95E+01	<	2,54E+01	<	1,66E+01	<	2,08E+01	<	1,94E+01	3,08E+01	+/- 5,81E+00
Ce	24,04	+/- 2,10	158,00	+/- 5,84	1,55E+01	+/- 1,30E+00	1,93E+01	+/- 1,74E+00	7,98E+01	+/- 3,19E+00	4,24E+01	+/- 2,03E+00	1,04E+02	+/- 3,96E+00	1,06E+02	+/- 4,09E+00	1,39E+01	+/- 1,40E+00
Cl	<	12130,00	<	100,00	<	1,30E+05	<	1,30E+05	<	1,30E+05	<	1,30E+05	<	1,30E+05	<	1,30E+05	<	1,30E+05
Co	3,14	+/- 0,23	0,93	+/- 0,16	3,30E+00	+/- 1,53E-01	5,10E+00	+/- 2,43E-01	4,19E+00	+/- 2,08E-01	4,71E+00	+/- 1,94E-01	1,21E+01	+/- 4,63E-01	9,28E+00	+/- 3,82E-01	6,18E+00	+/- 2,45E-01
Cr	33,38	+/- 4,29	71,06	+/- 4,25	3,79E+01	+/- 2,70E+00	7,59E+01	+/- 4,25E+00	2,35E+02	+/- 8,92E+00	5,63E+01	+/- 2,75E+00	8,75E+01	+/- 4,39E+00	5,05E+01	+/- 3,53E+00	7,69E+01	+/- 3,89E+00
Cs	<	1,31	2,07	+/- 0,25	<	8,19E-01	<	9,00E-01	<	3,36E-01	2,92E+00	+/- 1,60E-01	8,70E+00	+/- 3,72E-01	5,82E+00	+/- 2,93E-01	8,81E+01	+/- 3,10E+00
Cu	<	12,93	<	122,70	<	3,09E+03	<	2,27E+03	<	3,05E+03	<	2,95E+02	<	1,63E+02	<	3,73E+02	<	4,67E+02
Dy	<	1,66	<	6,10	<	1,19E-01	<	1,77E-01	<	1,27E-01	<	6,09E-02	2,19E+00	+/- 3,88E-01	<	1,53E-01	<	1,24E-01
Eu	<	0,18	2,58	+/- 0,48	<	1,19E-01	<	1,77E-01	<	1,27E-01	<	6,09E-02	2,19E+00	+/- 3,88E-01	<	1,53E-01	<	1,24E-01
Fe	534400,00	+/- 18780,00	161400,00	+/- 5668,00	4,56E+05	+/- 1,60E+04	5,12E+05	+/- 1,80E+04	7,37E+04	+/- 2,60E+03	1,26E+05	+/- 4,43E+03	1,04E+05	+/- 3,67E+03	4,85E+04	+/- 1,72E+03	2,82E+05	+/- 9,92E+03
Ga	<	7,33	<	57,84	<	1,07E+03	<	1,20E+03	<	9,02E+02	<	1,16E+02	<	1,44E+02	<	1,28E+02	<	1,81E+02
Gd	<	1,32E+01	<	1,28E+01	<	1,32E+01	<	1,28E+01	<	1,32E+01	<	1,28E+01	<	1,32E+01	<	1,28E+01	<	1,32E+01
Ge	<	1,06	5,28	+/- 0,30	<	5,93E-01	1,59E+00	+/- 2,34E-01	7,16E+00	+/- 3,05E-01	4,67E+00	+/- 1,90E-01	6,23E+00	+/- 2,82E-01	4,96E+00	+/- 2,52E-01	<	5,60E-01
Hf	<	0,70	<	4,10	<	2,88E+00	<	4,31E+00	<	4,11E+00	<	2,16E+00	<	3,72E+00	<	3,84E+00	<	3,33E+00
Hg	<	0,40	<	2,80	<	5,70E+00	<	6,04E+00	<	6,10E+00	<	2,16E+00	<	3,68E-01	<	2,72E+00	<	2,84E+00
Ho	<	5731,00	<	5731,00	<	5731,00	<	5731,00	<	5731,00	<	5731,00	<	5731,00	<	5731,00	<	5731,00
I	<	5731,00	<	5731,00	<	5731,00	<	5731,00	<	5731,00	<	5731,00	<	5731,00	<	5731,00	<	5731,00
In	<	1,22E+01	<	1,86E+01	<	1,74E+01	<	1,86E+01	<	1,74E+01	<	8,91E+00	<	1,56E+01	<	1,66E+01	<	1,35E+01
Ir	<	4,23E+01	<	6,14E+01	<	6,14E+01	<	6,14E+01	<	8,30E+01	<	7,69E+00	<	1,80E+01	<	2,16E+01	<	1,58E+01
K	1189,00	+/- 116,90	<	4247,00	<	5,97E+04	<	6,06E+04	<	8,77E+04	1,23E+04	+/- 2,77E+03	1,65E+04	+/- 3,39E+03	<	1,47E+04	<	3,78E+03
La	15,78	+/- 0,57	111,80	+/- 3,97	9,03E+00	+/- 3,83E-01	1,14E+01	+/- 4,66E-01	3,67E+01	+/- 1,33E+00	2,20E+01	+/- 7,99E-01	4,74E+01	+/- 1,69E+00	6,09E+01	+/- 2,16E+00	6,97E+00	+/- 2,94E-01
Mn	1027,00	+/- 36,11	1761,00	+/- 62,19	<	1,28E+01	<	8,19E+00	<	4,81E+00	<	4,83E+00	<	1,08E+01	<	1,04E+01	<	4,51E+00
Mo	<	7,42	30,41	+/- 3,61	<	2,59E+02	<	2,99E+02	1,03E+03	+/- 1,35E+02	1,17E+03	+/- 5,30E+01	3,34E+02	+/- 3,52E+01	9,83E+02	+/- 5,54E+01	<	6,15E+01
Na	161,40	+/- 6,28	970,70	+/- 57,59	<	6,21E+00	<	5,16E+00	<	1,64E+01	<	1,04E+01	4,37E+01	+/- 5,65E+00	3,50E+01	+/- 5,55E+00	<	2,71E+01
Nd	<	9,43	53,61	+/- 5,16	<	1,56E+00	<	2,15E+00	<	1,78E+00	<	8,69E-01	<	2,07E+00	<	2,24E+00	<	1,81E+00
Os	<	8,98E+03	<	9,29E+03	<	8,98E+03	<	9,29E+03	<	1,34E+04	<	1,52E+03	<	2,00E+03	<	2,15E+03	<	2,15E+03
Pd	<	2,02E+02	<	2,02E+02	<	2,02E+02	<	2,02E+02	<	2,81E+02	<	8,67E+01	<	1,06E+02	<	1,15E+02	<	6,75E+01
Pr	<	1,33E+01	<	1,33E+01	<	1,33E+01	<	1,22E+01	<	1,22E+01	<	9,41E+00	<	1,17E+01	<	1,13E+01	<	1,24E+01
Pt	<	42,00	<	45,72	<	4,51E+01	<	2,60E+01	5,48E+01	+/- 8,10E+00	5,17E+01	+/- 8,28E+00	1,15E+02	+/- 1,04E+01	1,19E+02	+/- 1,21E+01	9,34E+01	+/- 1,21E+01
Rb	<	2,75E-01	<	2,75E-01	<	2,75E-01	<	2,75E-01	<	2,56E-01	<	2,11E-01	<	2,63E-01	<	2,51E-01	<	2,73E-01
Re	<	5,37E+00	<	8,16E+00	<	5,37E+00	<	8,16E+00	<	7,65E+00	<	3,93E+00	<	7,01E+00	<	6,98E+00	<	5,78E+00
Ru	6,39	+/- 0,27	0,82	+/- 0,15	4,77E+00	+/- 1,97E-01	4,34E+00	+/- 2,14E-01	3,31E+00	+/- 1,62E-01	2,13E+00	+/- 1,06E-01	1,01E+00	+/- 1,06E-01	1,41E+00	+/- 1,05E-01	7,17E+00	+/- 3,80E-01
Sb	3,71	+/- 0,13	15,43	+/- 0,54	2,47E+00	+/- 8,83E-02	3,17E+00	+/- 1,15E-01	1,67E+01	+/- 6,20E-01	6,41E+00	+/- 2,30E-01	1,85E+01	+/- 6,58E-01	1,18E+01	+/- 4,17E-01	3,05E+00	+/- 1,10E-01
Se	<	6,73	<	4,46	<	1,34E+00	<	3,66E+00	<	6,09E+00	<	3,90E+00	<	5,30E+00	<	3,61E+00	1,68E+01	+/- 4,04E+00
Sm	1,73	+/- 0,07	9,08	+/- 0,57	1,10E+00	+/- 4,84E-02	1,29E+00	+/- 5,54E-02	3,90E+00	+/- 1,41E-01	2,09E+00	+/- 3,90E-02	6,24E+00	+/- 2,87E-01	5,47E+00	+/- 1,94E-01	1,19E+00	+/- 4,87E-02
Sn	<	4,08E+02	<	4,96E+02	<	4,08E+02	<	4,96E+02	<	4,52E+02	<	2,72E+02	<	5,21E+02	<	5,15E+02	<	4,59E+02
Sr	<	640,00	1066,00	+/- 149,10	<	9,62E+01	<	1,61E+02	<	1,68E+02	3,76E+02	+/- 7,48E+01	<	5,24E+02	<	5,20E+02	<	2,53E+02
Ta	<	0,60	<	0,26	<	2,40E-01	<	2,24E-01	1,20E+00	+/- 1,17E-01	8,11E-01	+/- 6,65E-02	1,16E+00	+/- 1,04E-01	8,33E-01	+/- 1,18E-01	<	4,01E-01
Tb	1,03	+/- 0,20	1,37	+/- 0,08	<	2,26E-01	<	4,58E-01	8,23E-01	+/- 5,96E-02	5,80E-01	+/- 1,45E-01	1,15E+00	+/- 7,58E-02	9,90E-01	+/- 8,22E-02	<	2,67E-01
Te	<	2,93E+01	<	2,00E+01	<	2,93E+01	<	2,00E+01	<	2,63E+01	<	2,62E+01	<	3,24E+01	<	2,96E+01	<	1,82E+01
Th	<	1,12	6,36	+/- 0,32	1,22E+00	+/- 1,83E-01	2,86E+00	+/- 2,43E-01	1,59E+01	+/- 6,01E-01	8,10E+00	+/- 3,15E-01	1,34E+01	+/- 5,20E-01	2,44E+01	+/- 8,93E-01	1,77E+00	+/- 1,96E-01
Tm	<	8,85E-01	<	1,64E+00	<	8,85E-01	<	1,64E+00	<	8,80E-01	<	4,14E-01	<	1,57E+00	<	1,69E+00	<	1,24E+00
U	6,00	+/- 0,25	27,97	+/- 1,02	2,92E+00	+/- 4,81E-01	2,73E+00	+/- 2,44E-01	3,74E+00	+/- 4,69E-01	2,69E+00	+/- 1,74E-01	3,02E+00	+/- 2,12E-01	2,82E+00	+/- 2,01E-01	2,14E+00	+/- 1,94E-01
W	<	1,63	<	8,73	<	2,14E+01	<	2,31E+01	<	2,00E+01	<	6,12E+00	<	7,93E+00	<	7,25E+00	<	8,74E+00
Yb	<	1,10	4,81	+/- 0,31	<	6,04E-01	2,24E+01	+/- 3,13E+00	2,40E+00	+/- 2,82E-01	1,15E+00	+/- 2,10E-01	3,81E+00	+/- 2,68E-01	2,09E+00	+/- 2,22E-01	<	5,04E-01
Zn	<	12,39	<	28,13	7,93E+01	+/- 1,02E+01	<	4,14E+01	1,29E+03	+/- 4,74E+01	2,12E+02	+/- 9,96E+00	7,57E+01	+/- 8,58E+00	2,36E+02	+/- 1,29E+01	5,92E+03	+/- 2,17E+02
Zr	<	1055,00	<	689,40	<	6,67E+02	<	2,01E+02	<	3,78E+02	<	1,85E+02	<	4,82E+02	<	2,97E+02	<	6,26E+02

CONCENTRAÇÃO ELEMENTAR DOS PRINCIPAIS RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS

Elemento Químico	Amostra de Resíduos																								
	P170		P171		P172		P173		P174		P175		P176		P177										
	Conc.(µg.g ⁻¹)	Erro/LD	Conc.(µg.g ⁻¹)	Erro/LD	Conc.(µg.g ⁻¹)	Erro/LD	Conc.(µg.g ⁻¹)	Erro/LD	Conc.(µg.g ⁻¹)	Erro/LD	Conc.(µg.g ⁻¹)	Erro/LD	Conc.(µg.g ⁻¹)	Erro/LD	Conc.(µg.g ⁻¹)	Erro/LD									
Ag	<	1,61E+00	<	5,08E+00	<	4,19E+00	<	9,02E-01	<	1,84E+00	<	1,81E+00	<	1,66E+00	<	1,93E+00									
As	<	1,25E+00	4,14E+01	+/-	2,15E+00	1,10E+01	+/-	1,16E+00	6,10E+00	+/-	5,72E-01	<	2,58E+00	<	9,49E-01	<	2,86E+00								
Au	<	1,15E-02	<	2,79E-02	<	2,02E-02	<	8,35E-03	<	1,30E-02	<	1,28E-02	<	1,15E-02	<	1,29E-02									
Ba	1,01E+03	+/-	4,35E+01	2,21E+03	+/-	9,04E+01	4,27E+02	+/-	4,34E+01	<	6,34E+00	5,46E+02	+/-	3,08E+01	5,35E+02	+/-	3,00E+01	<	1,15E+02	1,56E+02	+/-	2,61E+01			
Br	<	1,31E+00	5,03E+00	+/-	6,62E-01	<	2,77E+00	<	1,05E+00	<	1,73E+00	<	1,70E+00	<	1,60E+00	<	8,09E-01								
Ca	2,74E+05	+/-	1,23E+04	<	1,96E+04	3,99E+05	+/-	1,93E+04	3,69E+05	+/-	1,61E+04	<	5,09E+03	<	4,99E+03	2,83E+05	+/-	2,83E+05	2,83E+05	+/-	1,27E+04	2,54E+05	+/-	1,21E+04	
Cd	<	1,04E-01	<	2,60E+01	<	1,87E+01	<	8,16E+00	<	8,16E+00	<	3,43E+00	<	3,37E+00	<	1,02E+01	<	1,19E+01							
Ce	1,42E+01	+/-	9,34E-01	1,02E+02	+/-	4,03E+00	4,71E+01	+/-	2,19E+00	<	2,10E+00	3,17E+01	+/-	1,47E+00	3,11E+01	+/-	1,44E+00	1,58E+01	+/-	8,57E-01	1,98E+01	+/-	9,94E-01		
Cl																									
Co	2,01E+00	+/-	1,02E-01	4,93E+00	+/-	2,23E-01	5,24E+00	+/-	2,44E-01	3,10E-01	+/-	7,47E-02	8,20E-01	+/-	1,07E-01	8,04E-01	+/-	1,05E-01	3,65E+00	+/-	2,00E-01	5,33E+00	+/-	2,27E-01	
Cr	1,43E+01	+/-	1,37E+00	3,54E+02	+/-	1,30E+01	1,03E+02	+/-	4,67E+00	<	3,63E+00	<	7,00E+00	<	6,87E+00	1,91E+01	+/-	1,45E+00	2,45E+01	+/-	1,69E+00				
Cs	2,12E+00	+/-	1,04E-01	1,11E+01	+/-	4,46E-01	1,60E+00	+/-	1,86E-01	<	1,07E-01	1,03E+00	+/-	9,22E-02	1,01E+00	+/-	9,04E-02	4,58E+00	+/-	1,79E-01	6,12E+00	+/-	2,33E-01		
Cu	<	2,16E+02	<	4,60E+02	<	4,92E+02	<	3,69E+02	<	4,75E+02	<	4,68E+02	<	4,71E+02	<	4,88E+02	<	4,88E+02	<	4,88E+02	<	4,88E+02	<	4,88E+02	
Dy																									
Eu	<	2,37E+05	<	7,26E-02	2,67E+00	+/-	3,93E-01	<	1,27E-01	<	4,49E-02	<	6,77E-02	<	6,64E-02	<	5,46E-02	<	5,46E-02	<	5,99E-02	<	5,99E-02		
Fe	9,54E+03	+/-	3,47E+02	6,64E+04	+/-	2,34E+03	1,66E+04	+/-	6,13E+02	9,31E+02	+/-	5,73E+01	2,57E+03	+/-	1,32E+02	2,52E+03	+/-	1,29E+02	9,80E+03	+/-	3,56E+02	1,36E+04	+/-	4,89E+02	
Ga	<	7,66E+01	<	3,08E+02	<	2,30E+02	<	1,18E+02	<	1,46E+02	<	1,46E+02	<	1,44E+02	<	1,48E+02	<	1,48E+02	<	1,48E+02	<	1,48E+02	<	1,48E+02	
Gd	<	9,55E+00	<	2,00E+01	<	1,68E+01	<	5,02E+00	<	6,93E+00	<	6,93E+00	<	6,93E+00	<	6,93E+00	<	6,93E+00	<	6,93E+00	<	6,93E+00	<	6,93E+00	
Ge	<	1,91E+05	<	1,91E+05	<	1,91E+05	<	1,91E+05	<	1,91E+05	<	1,91E+05	<	1,91E+05	<	1,91E+05	<	1,91E+05	<	1,91E+05	<	1,91E+05	<	1,91E+05	
Hf	1,41E+00	+/-	8,92E-02	6,41E+00	+/-	3,17E-01	2,55E+00	+/-	1,77E-01	<	7,81E-02	4,02E+00	+/-	1,73E-01	3,94E+00	+/-	1,69E-01	1,17E+00	+/-	8,42E-02	1,39E+00	+/-	9,19E-02		
Hg	<	1,53E+00	<	4,05E+00	<	3,38E+00	<	9,66E-01	<	1,92E+00	<	1,88E+00	<	1,88E+00	<	1,48E+00	<	1,48E+00	<	1,48E+00	<	1,48E+00	<	1,48E+00	
Ho	<	1,92E+00	<	1,48E+00	<	1,48E+00	<	1,48E+00	<	1,48E+00	<	1,48E+00	<	1,48E+00	<	1,48E+00	<	1,48E+00	<	1,48E+00	<	1,48E+00	<	1,48E+00	
I																									
In	<	7,46E+00	<	1,73E+01	<	1,47E+01	<	4,55E+00	<	8,81E+00	<	8,81E+00	<	8,81E+00	<	8,81E+00	<	8,81E+00	<	8,81E+00	<	8,81E+00	<	8,81E+00	
Ir	<	1,41E+01	<	2,30E+01	<	3,39E+01	<	3,39E+01	<	3,39E+01	<	3,39E+01	<	3,39E+01	<	3,39E+01	<	3,39E+01	<	3,39E+01	<	3,39E+01	<	3,39E+01	
K	7,62E+04	+/-	4,84E+03	<	3,13E+04	<	3,28E+04	<	1,83E+04	3,21E+04	+/-	7,80E+03	3,16E+04	+/-	7,68E+03	3,16E+04	+/-	7,68E+03	3,16E+04	+/-	7,68E+03	3,16E+04	+/-	7,68E+03	
La	8,81E+00	+/-	3,29E-01	5,01E+01	+/-	1,79E+00	3,29E+01	+/-	1,19E+00	8,41E-01	+/-	8,04E-02	1,85E+01	+/-	6,82E-01	1,82E+01	+/-	6,70E-01	7,49E+00	+/-	3,44E-01	1,01E+01	+/-	3,86E-01	
Mn																									
Mo	<	7,40E+00	<	1,31E+01	<	1,03E+01	<	6,16E+00	<	6,16E+00	<	6,16E+00	<	6,16E+00	<	6,16E+00	<	6,16E+00	<	6,16E+00	<	6,16E+00	<	6,16E+00	
Na	8,27E+03	+/-	2,95E+02	3,57E+02	+/-	6,34E+01	3,20E+02	+/-	5,61E+01	<	9,10E+01	4,55E+03	+/-	1,85E+02	4,48E+03	+/-	1,83E+02	1,32E+03	+/-	6,59E+01	5,03E+02	+/-	4,70E+01		
Nd	<	1,79E+01	5,00E+01	+/-	6,51E+00	<	1,64E+01	<	1,64E+01	<	1,24E+01	<	1,24E+01	<	1,21E+01	<	1,22E+01	<	1,22E+01	<	1,22E+01	<	1,22E+01		
Os	<	1,13E+00	<	2,60E+00	<	2,17E+00	<	7,43E-01	<	1,23E+00	<	1,20E+00	<	1,20E+00	<	1,02E+00	<	1,02E+00	<	1,02E+00	<	1,02E+00	<	1,02E+00	
Pd	<	1,53E+03	<	4,95E+03	<	3,93E+03	<	2,57E+03	<	2,77E+03	<	2,77E+03	<	2,77E+03	<	2,77E+03	<	2,77E+03	<	2,77E+03	<	2,77E+03	<	2,77E+03	
Pr	<	1,01E+02	<	1,70E+02	<	1,70E+02	<	1,70E+02	<	1,70E+02	<	1,70E+02	<	1,70E+02	<	1,70E+02	<	1,70E+02	<	1,70E+02	<	1,70E+02	<	1,70E+02	
Pt	<	7,79E+00	<	1,39E+01	<	1,10E+01	<	6,34E+00	<	6,34E+00	<	6,34E+00	<	6,34E+00	<	6,34E+00	<	6,34E+00	<	6,34E+00	<	6,34E+00	<	6,34E+00	
Rb	2,33E+02	+/-	9,65E+00	9,38E+01	+/-	9,86E+00	4,22E+01	+/-	1,02E+01	<	1,29E+01	9,70E+01	+/-	6,86E+00	9,51E+01	+/-	6,73E+00	3,45E+01	+/-	4,11E+00	4,26E+01	+/-	5,02E+00		
Re	<	1,77E-01	<	3,03E-01	<	2,40E-01	<	1,39E-01	<	1,39E-01	<	1,39E-01	<	1,39E-01	<	1,39E-01	<	1,39E-01	<	1,39E-01	<	1,39E-01	<	1,39E-01	
Ru	<	2,44E+00	<	7,51E+00	<	6,16E+00	<	6,16E+00	<	6,16E+00	<	6,16E+00	<	6,16E+00	<	6,16E+00	<	6,16E+00	<	6,16E+00	<	6,16E+00	<	6,16E+00	
Sb	<	1,62E-01	1,93E+00	+/-	1,31E-01	1,27E+00	+/-	1,43E-01	<	7,36E-02	<	2,06E-01	<	2,02E-01	3,91E-01	+/-	5,74E-02	4,32E-01	+/-	5,37E-02	4,32E-01	+/-	5,37E-02		
Sc	2,76E+00	+/-	9,86E-02	2,14E+01	+/-	7,64E-01	9,06E+00	+/-	3,19E-01	2,16E-01	+/-	1,46E-02	8,58E-01	+/-	3,24E-02	8,42E-01	+/-	3,18E-02	3,61E+00	+/-	1,34E-01	4,88E+00	+/-	1,74E-01	
Se	<	1,36E+00	<	5,43E+00	<	3,11E+00	<	3,11E+00	<	5,26E-02	<	3,00E+00	<	2,95E+00	<	1,32E+00	<	1,32E+00	<	1,32E+00	<	1,32E+00	<	1,32E+00	
Sm	7,14E-01	+/-	3,13E-02	8,20E+00	+/-	3,45E-01	2,62E+00	+/-	1,25E-01	2,18E-01	+/-	1,38E-02	1,75E+00	+/-	6,61E-02	1,71E+00	+/-	6,49E-02	1,18E+00	+/-	4,59E-02	1,45E+00	+/-	5,51E-02	
Sn	<	1,90E+02	<	5,43E+02	<	4,42E+02	<	4,42E+02	<	1,14E+02	<	2,25E+02	<	2,21E+02	<	1,91E+02	<	1,91E+02	<	1,91E+02	<	1,91E+02	<	1,91E+02	
Sr	2,61E+03	+/-	1,05E+02	<	4,80E+02	2,24E+03	+/-	1,33E+02	1,98E+03	+/-	7,88E+01	<	1,37E+02	<	1,35E+02	3,72E+02	+/-	4,95E+01	<	2,21E+02	<	2,21E+02	<	2,21E+02	
Ta	2,52E-01	+/-	6,29E-02	1,28E+00	+/-	8,82E-02	<	4,44E-01	<	9,16E-02	1,94E-01	+/-	4,05E-02	1,90E-01	+/-	3,98E-02	2,50E-01	+/-	6,31E-02	3,60E-01	+/-	6,96E-02	3,60E-01	+/-	6,96E-02
Tb	<	1,56E-01	1,81E+00	+/-	8,92E-02	6,87E-01	+/-	7,06E-02	<	9,84E-02	2,89E-01	+/-	3,06E-02	2,83E-01	+/-	3,00E-02	1,82E-01	+/-	3,79E-02	2,53E-01	+/-	7,63E-02	2,53E-01	+/-	7,63E-02
Te	<	1,53E+01	<	3,42E+01	<	2,45E+01	<	9,88E+00	<	1,62E+01	<	1,59E+01	<	1,59E+01	<	1,32E+01	<	1,32E+01	<	1,32E+01	<	1,32E+01	<	1,32E+01	
Th	2,72E+00	+/-	1,32E-01	1,63E+01	+/-	6,24E-01	5,49E+00	+/-	2,75E-01	<	1,50E-01	9,20E+00	+/-	3,55E-01	9,02E+00	+/-	3,48E-01	3,03E+00	+/-	1,40E-01	3,86E+00	+/-	1,72E-01		
Tm	<	7,94E-01	<	1,68E+00	<	1,44E+00	<	1,44E+00	<	3,77E-01	<	4,75E-01	<	4,66E-01	<	4,66E-01	<	4,66E-01	<	4,66E-01	<	4,66E-01	<	4,66E-01	
U	<	3,54E-01	6,30E+00	+/-	8,16E-01	9,18E+00	+/-	3,76E-01	1,04E+00	+/-	1,01E-01	1,09E+00	+/-	1,40E-01	1,07E+00	+/-	1,37E-01	<	3,91E-01	<	3,91E-01	<	3,91E-01		
W	<	9,95E+00	<	1,26E+01	<	9,16E+00	<	3,89E+00	<	5,84E+00	<	5,84E+00	<	5,84E+00	<	5,84E+00	<	5,84E+00	<	5,84E+00	<	5,84E+00	<	5,84E+00	
Yb	5,94E-01	+/-	1,24E-01	3,54E+00	+/-	2,85E-01	2,37E+00	+/-	1,92E-01	<	1,75E-01	<	5,14E-01	5,54E-01	+/-	1,31E-01									

APENDICE B - Resultados obtidos por FRX



comissão nacional de energia nuclear
instituto de pesquisas energéticas e nucleares
Centro de Química e Meio Ambiente – CQMA – E-mail: central@ipen.br

01. N° Páginas : 01/21

RELATÓRIO DE ANÁLISE

02. **PROCEDÊNCIA :** IPEN/CNEN-SP - CQMA
03. **ENDEREÇO :** Avenida Lineu Prestes, 2242 - Cidade Universitária – SP
- CEP : 05508 - 000
Tel : 011 3816-9025
04. **INTERESSADO :** Sr.(a) : Dra. Ivone Mulako Sato
05. **ANÁLISE SOLICITADA :** Análise Química por Fluorescência de Raios X
06. **AMOSTRA :**
07. **ORGÃO EXECUTOR :** INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
Centro de Química e Meio Ambiente - CQMA
Avenida Lineu Prestes, 2242 - Cidade Universitária – SP
CEP : 05508 - 000
Tel.: (011) 3816-9342 - Fax: (011) 3816-9325
08. **LABORATÓRIO DE FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X**
09. **Cláusulas de Responsabilidade**
- A .** Os resultados obtidos se referem somente ao material submetido ao ensaio.
- B .** Não se admite qualquer responsabilidade referente à exatidão da amostragem, a menos que esta tenha sido efetuada mediante nossa própria supervisão. Salvo menção expressa, as amostras foram livremente selecionadas pelo solicitante.
- C .** A reprodução deste relatório está autorizada em sua forma integral. A reprodução parcial só é permitida com a autorização expressa do CQMA.
- ATENÇÃO:** As amostras deverão ser retiradas após 30 dias da data de emissão do laudo de análise. Após 60 dias da emissão do mesmo, o laboratório descartará as amostras não retiradas pelo cliente.
10. São Paulo, 09 de Agosto de 2005

11. Interessado : Dra. Ivone M. Sato 12. Registro Geral Nº : 8149/05
13. Amostra : FRX-13 14. Nº páginas : 02/21

Junho/2005

Relatório de Ensaio

15. Analista : MSc. Marcos Antonio Scapin
16. Técnica Analítica : Fluorescência de Raios-X (WDXRF)
17. Laboratório: Laboratório de Fluorescência de Raios-X

18. RESULTADOS :

Elem./Comp.	%	Elem./Comp.	%	Elem./Comp.	
Fe	55.1	P	0.09		
O	33.0	Ti	0.07		
Si	5.5	S	0.03		
Ca	3.0	Sr	0.02		
Al	2.5	Cl	0.02		
Na	0.31	Zr	0.008		
Mn	0.21	As	0.006		
K	0.12				
Mg	0.10				

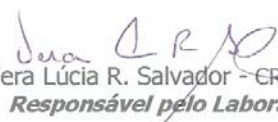
19. 08/08/05 09/08/05
Data Entrada Data Saída

20. COMENTÁRIOS :

Análise Semi-Quantitativa – Método de Parâmetros Fundamentais – Ensaio direto não destrutivo (pastilha prensada).

Erro relativo em termos de coeficiente de variação percentual inferior a 10%

21. Dra Maria Ap. F. Pires - CRQ: 04108833
Centro de Química e Meio ambiente
Gerente


MSc. Vera Lúcia R. Salvador - CRQ: 04203181
Responsável pelo Laboratório



Avenida Lineu Prestes, 2242 - Cidade Universitária - CEP 05508-000
Fone: (011) 3816-9342 - Fax: (011) 3816-9325 - São Paulo - SP

11. Interessado : Dra. Ivone M. Sato 12. Registro Geral N° : 8150/05
13. Amostra : FRX-14 14. N° páginas : 03/21

Junho/2005

Relatório de Ensaio

15. Analista : MSc. Marcos Antonio Scapin
16. Técnica Analítica : Fluorescência de Raios-X (WDXRF)
17. Laboratório: Laboratório de Fluorescência de Raios-X

18. RESULTADOS :

Elem./Comp.	%	Elem./Comp.	%	Elem./Comp.	%
O	37.3	Sr	0.18	Y	0.01
Ca	21.2	Na	0.15	Ni	0.01
Fe	19.1	P	0.13	Rb	0.006
Si	14.4	S	0.06		
Al	4.7	W	0.05		
K	1.3	Zr	0.03		
Mg	0.53	Cr	0.02		
Mn	0.47	Co	0.02		
Ti	0.23	Cl	0.02		

19. 08|08|05 09|08|05
Data Entrada Data Saída

20. COMENTÁRIOS :

Análise Semi-Quantitativa – Método de Parâmetros Fundamentais – Ensaio direto não destrutivo (pastilha prensada).

Erro relativo em termos de coeficiente de variação percentual inferior a 10%

21. Dra Maria Ap. F. Pires - CRQ: 04108833
Centro de Química e Meio ambiente
Gerente

Msc. Vera Lúcia R. Salvador
MSc. Vera Lúcia R. Salvador - CRQ: 04203
Responsável pelo Laboratório



Avenida Lineu Prestes, 2242 - Cidade Universitária - CEP 05508-000
Fone: (011) 3816-9342 - Fax: (011) 3816-9325 - São Paulo - SP

FM-CQMA-0901-

11. Interessado : Dra. Ivone M. Sato 12. Registro Geral Nº : 8151/05
13. Amostra : FRX-15 14. Nº páginas : 04/21

Junho/2005

Relatório de Ensaio

15. Analista : MSc. Marcos Antonio Scapin
16. Técnica Analítica : Fluorescência de Raios-X (WDXRF)
17. Laboratório: Laboratório de Fluorescência de Raios-X

18. RESULTADOS :

Elem./Comp.	%	Elem./Comp.	%	Elem./Comp.	
Fe	78.5	P	0.12		
O	13.3	Ti	0.09		
Ca	3.0	S	0.08		
Si	2.2	Pb	0.04		
Al	1.3	Sr	0.02		
K	0.44	Zn	0.02		
Cl	0.39	Zr	0.01		
Mg	0.31				
Mn	0.16				

19. 08 | 08 | 05 09 | 08 | 05
Data Entrada Data Saída

20. COMENTÁRIOS :

Análise Semi-Quantitativa – Método de Parâmetros Fundamentais – Ensaio direto não destrutivo (pastilha prensada).

Erro relativo em termos de coeficiente de variação percentual inferior a 10%

21. Dra Maria Ap. Pires - CRQ: 04108833
Centro de Química e Meio ambiente
Gerente


MSc. Vera Lúcia R. Salvador - CRQ: 04203181
Responsável pelo Laboratório



Avenida Lineu Prestes, 2242 - Cidade Universitária - CEP 05508-000
Fone: (011) 3816-9342 - Fax: (011) 3816-9325 - São Paulo - SP

FM-CQMA-0901-05 V1



11. Interessado : Dra. Ivone M. Sato 12. Registro Geral Nº : 8152/05
13. Amostra : FRX-16 14. Nº páginas : 05/21

Junho/2005

Relatório de Ensaio

15. Analista : MSc. Marcos Antonio Scapin
16. Técnica Analítica : Fluorescência de Raios-X (WDXRF)
17. Laboratório: Laboratório de Fluorescência de Raios-X

18. RESULTADOS :

Elem./Comp.	%	Elem./Comp.	%	Elem./Comp.	
Fe	47.4	Na	0.16		
O	30.8	P	0.09		
Si	12.1	S	0.06		
Al	3.9	Cl	0.03		
Ca	3.5	Sr	0.02		
K	1.2	Zr	0.01		
Mg	0.37	Zn	00.01		
Mn	0.20	Rb	0.006		
Ti	0.19				

19. 08/08/05 09/08/05
Data Entrada Data Saída

20. COMENTÁRIOS :

Análise Semi-Quantitativa – Método de Parâmetros Fundamentais – Ensaio direto não destrutivo (pastilha prensada).

Erro relativo em termos de coeficiente de variação percentual inferior a 10%

21. Dra Maria Ap. F. Pires - CRQ: 04108833
Centro de Química e Meio ambiente
Gerente

Vera Lúcia R. Salvador
MSc. Vera Lúcia R. Salvador - CRQ: 04203181
Responsável pelo Laboratório



11. Interessado : Dra. Ivone M. Sato 12. Registro Geral Nº : 8153/05
13. Amostra : FRX-17 14. Nº páginas : 06/21

Junho/2005

Relatório de Ensaio

15. Analista : MSc. Marcos Antonio Scapin
16. Técnica Analítica : Fluorescência de Raios-X (WDXRF)
17. Laboratório: Laboratório de Fluorescência de Raios-X

18. RESULTADOS :

Elem./Comp.	%	Elem./Comp.	%	Elem./Comp.	%
O	44.7	S	0.14	Cu	0.008
Si	18.4	Na	0.12		
Fe	12.9	Mn	0.10		
Ca	12.5	Sr	0.06		
Al	8.0	Cl	0.04		
K	1.8	Zn	0.02		
Mg	0.50	Zr	0.02		
Ti	0.46	Rb	0.01		
P	0.15	Ni	0.009		

19. 08|08|05 09|08|05
Data Entrada Data Saída

20. COMENTÁRIOS :

Análise Semi-Quantitativa – Método de Parâmetros Fundamentais – Ensaio direto não destrutivo (pastilha prensada).

Erro relativo em termos de coeficiente de variação percentual inferior a 10%

21. Dra Maria Ap. Pires - CRQ: 04108833
Centro de Química e Meio ambiente
Gerente

MSc. Vera Lúcia R. Salvador - CRQ: 04203181
Responsável pelo Laboratório



11. Interessado : Dra. Ivone M. Sato 12. Registro Geral Nº : 8154/05
13. Amostra : FRX-18 14. Nº páginas : 07/21

Junho/2005

Relatório de Ensaio

15. Analista : MSc. Marcos Antonio Scapin
16. Técnica Analítica : Fluorescência de Raios-X (WDXRF)
17. Laboratório: Laboratório de Fluorescência de Raios-X

18. RESULTADOS :

Elem./Comp.	%	Elem./Comp.	%	Elem./Comp.	%
O	52.4	Zn	0.18	Rb	0.01
Si	14.5	Na	0.11	Ni	0.008
Al	14.4	S	0.10	Cu	0.007
Fe	11.4	Mn	0.05	Nb	0.003
Ca	3.8	Zr	0.04		
K	1.6	Sr	0.03		
Ti	1.0	Cl	0.03		
Mg	0.39	Pb	0.03		
P	0.20	Cr	0.02		

19. 08|08|05 09|08|05
Data Entrada Data Saída

20. COMENTÁRIOS :

Análise Semi-Quantitativa – Método de Parâmetros Fundamentais – Ensaio direto não destrutivo (pastilha prensada).

Erro relativo em termos de coeficiente de variação percentual inferior a 10%

21. Dra Maria Ap. F. Pires - CRQ: 04108833
Centro de Química e Meio ambiente
Gerente

MSc. Vera Lúcia R. Salvador - CRQ: 04293181
Responsável pelo Laboratório



Avenida Lineu Prestes, 2242 - Cidade Universitária - CEP 05508-000
Fone: (011) 3816-9342 - Fax: (011) 3816-9325 - São Paulo - SP

FM-CQMA-0901-05 V1

11. Interessado : Dra. Ivone M. Sato 12. Registro Geral Nº : 8155/05
13. Amostra : FRX-19 14. Nº páginas : 08/21

Junho/2005

Relatório de Ensaio

15. Analista : MSc. Marcos Antonio Scapin
16. Técnica Analítica : Fluorescência de Raios-X (WDXRF)
17. Laboratório: Laboratório de Fluorescência de Raios-X

18. RESULTADOS :

Elem./Comp.	%	Elem./Comp.	%	Elem./Comp.	%
O	50.1	P	0.03	As	0.005
Si	20.4	Rb	0.02	Nb	0.003
Fe	15.7	S	0.02		
Al	9.3	Cr	0.02		
K	2.5	Mn	0.01		
Ti	0.76	Zn	0.01		
Mg	0.60	Ni	0.01		
Ca	0.43	Cu	0.007		
Zr	0.04	Sr	0.007		

19. 08 | 08 | 05 09 | 08 | 05
Data Entrada Data Saída

20. COMENTÁRIOS :

Análise Semi-Quantitativa – Método de Parâmetros Fundamentais – Ensaio direto não destrutivo (pastilha prensada).

Erro relativo em termos de coeficiente de variação percentual inferior a 10%

21. Dra. Maria Ap. F. Pires - CRQ: 04108833
Centro de Química e Meio ambiente
Gerente

MSc. Vera Lúcia R. Salvador - CRQ: 042034
Responsável pelo Laboratório



Avenida Lineu Prestes, 2242 - Cidade Universitária - CEP 05508-000
Fone: (011) 3816-9342 - Fax: (011) 3816-9325 - São Paulo - SP

FM-CQMA-0901-C



11. Interessado : Dra. Ivone M. Sato 12. Registro Geral Nº : 8156/05
13. Amostra : FRX-20 14. Nº páginas : 09/21

Junho/2005

Relatório de Ensaio

15. Analista : MSc. Marcos Antonio Scapin
16. Técnica Analítica : Fluorescência de Raios-X (WDXRF)
17. Laboratório: Laboratório de Fluorescência de Raios-X

18. RESULTADOS :

Elem./Comp.	%	Elem./Comp.	%	Elem./Comp.	%
O	51.3	P	0.06	Y	0.01
Si	22.0	S	0.04	Sr	0.01
Al	13.9	Zn	0.04	Ni	0.01
Fe	7.5	Mn	0.04	Ga	0.004
K	3.0	Zr	0.02		
Ti	0.69	Rb	0.02		
Ca	0.60	Cr	0.02		
Mg	0.55	Cl	0.02		
Na	0.12	Pb	0.02		

19. 08 | 08 | 05 09 | 08 | 05
Data Entrada Data Saída

20. COMENTÁRIOS :

Análise Semi-Quantitativa – Método de Parâmetros Fundamentais – Ensaio direto não destrutivo (pastilha prensada).

Erro relativo em termos de coeficiente de variação percentual inferior a 10%

21. Dra Maria Ap. Pires - CRQ: 04108833
Centro de Química e Meio ambiente
Gerente

MSc. Vera Lúcia R. Salvador - CRQ: 04203181
Responsável pelo Laboratório



Avenida Lineu Prestes, 2242 - Cidade Universitária - CEP 05508-000
Fone: (011) 3816-9342 - Fax: (011) 3816-9325 - São Paulo - SP



11. Interessado : Dra. Ivone M. Sato 12. Registro Geral Nº : 8157/05
13. Amostra : FRX-21 14. Nº páginas : 10/21

Junho/2005

Relatório de Ensaio

15. Analista : MSc. Marcos Antonio Scapin
16. Técnica Analítica : Fluorescência de Raios-X (WDXRF)
17. Laboratório: Laboratório de Fluorescência de Raios-X

18. RESULTADOS :

Elem./Comp.	%	Elem./Comp.	%	Elem./Comp.	%
Fe	76.5	Mn	0.51	Zr	0.02
Si	5.5	Mg	0.46		
Ca	4.7	Ti	0.24		
Zn	3.0	P	0.18		
Al	2.9	Cl	0.15		
S	2.6	Sr	0.05		
Pb	1.4	Rb	0.04 (0.01)		
K	0.95	Cr	0.03		
Na	0.71	Ni	0.02		


19. 08 | 08 | 05 09 | 08 | 05
Data Entrada Data Saída

20. COMENTÁRIOS :

Análise Semi-Quantitativa – Método de Parâmetros Fundamentais – Ensaio direto não destrutivo (pastilha prensada).

Erro relativo em termos de coeficiente de variação percentual inferior a 10%

21. Dra Maria Ap.  Pires - CRQ: 04108833
Centro de Química e Meio ambiente
Gerente


MSc. Vera Lúcia R. Salvador - CRQ: 04203181
Responsável pelo Laboratório





11. Interessado : Dra. Ivone M. Sato 12. Registro Geral N° : 8158/05
13. Amostra : FRX-22 14. N° páginas : 11/21

Junho/2005

Relatório de Ensaio

15. Analista : MSc. Marcos Antonio Scapin
16. Técnica Analítica : Fluorescência de Raios-X (WDXRF)
17. Laboratório: Laboratório de Fluorescência de Raios-X

18. RESULTADOS :

Elem./Comp.	%	Elem./Comp.	%	Elem./Comp.	
Ca	69.2	Sr	0.75		
K	14.4	Ti	0.15		
Mn	4.1	S	0.13		
Mg	3.7	Rb	0.09		
P	2.2	Cl	0.07		
Fe	2.0	Cu	0.05		
Si	1.1	Ni	0.02		
Na	1.1				
Al	0.85				

19. 08 | 08 | 05 09 | 08 | 05
Data Entrada Data Saída

20. COMENTÁRIOS :

Análise Semi-Quantitativa – Método de Parâmetros Fundamentais – Ensaio direto não destrutivo (pastilha prensada).

Erro relativo em termos de coeficiente de variação percentual inferior a 10%

21. Dra Maria Ap. F.  Pires - CRQ: 04108833
Centro de Química e Meio ambiente
Gerente


MSc. Vera Lúcia R. Salvador - CRQ: 04203181
Responsável pelo Laboratório



Avenida Lineu Prestes, 2242 - Cidade Universitária - CEP 05508-000
Fone: (011) 3816-9342 - Fax: (011) 3816-9325 - São Paulo - SP

11. Interessado : Dra. Ivone M. Sato 12. Registro Geral Nº : 8159/05
13. Amostra : FRX-23 14. Nº páginas : 12/21

Junho/2005

Relatório de Ensaio

15. Analista : MSc. Marcos Antonio Scapin
16. Técnica Analítica : Fluorescência de Raios-X (WDXRF)
17. Laboratório: Laboratório de Fluorescência de Raios-X

18. RESULTADOS :

Elem./Comp.	%	Elem./Comp.	%	Elem./Comp.	%
O	49.2	Na	0.10	Rb	0.02
Si	18.2	S	0.08	Zn	0.02
Al	12.7	Sr	0.07	Y	0.01
Fe	10.6	Mn	0.07	Ni	0.01
Ca	4.6	V	0.04	Cu	0.01
K	2.4	Cr	0.04		
Ti	0.94	Zr	0.03		
Mg	0.64	Pb	0.03		
P	0.27	Cl	0.02		

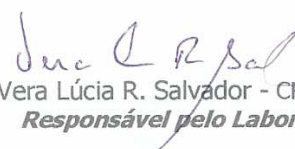
19. 08 | 08 | 05 09 | 08 | 05
Data Entrada Data Saída

20. COMENTÁRIOS :

Análise Semi-Quantitativa – Método de Parâmetros Fundamentais – Ensaio direto não destrutivo (pastilha prensada).

Erro relativo em termos de coeficiente de variação percentual inferior a 10%

21. Dra Maria Ap. F. Pires - CRQ: 04108833
Centro de Química e Meio ambiente
Gerente


MSc. Vera Lúcia R. Salvador - CRQ: 042031
Responsável pelo Laboratório



Avenida Lineu Prestes, 2242 - Cidade Universitária - CEP 05508-000
Fone: (011) 3816-9342 - Fax: (011) 3816-9325 - São Paulo - SP

FM-CQMA-0901-01

11. Interessado : Dra. Ivone M. Sato 12. Registro Geral Nº : 8160/05
13. Amostra : FRX-24 14. Nº páginas : 13/21

Junho/2005

Relatório de Ensaio

15. Analista : MSc. Marcos Antonio Scapin
16. Técnica Analítica : Fluorescência de Raios-X (WDXRF)
17. Laboratório: Laboratório de Fluorescência de Raios-X

18. RESULTADOS :

Elem./Comp.	%	Elem./Comp.	%	Elem./Comp.	%
Ca	45.9	Mn	0.20		
O	38.3	Ti	0.19		
Si	7.4	P	0.09		
Al	2.4	Na	0.08		
Fe	1.8	Cl	0.02		
S	1.5	Zn	0.01		
Mg	1.1	Y	0.004		
K	0.76				
Sr	0.26				

19. 08/08/05 09/08/05
Data Entrada Data Saída

20. COMENTÁRIOS :

Análise Semi-Quantitativa – Método de Parâmetros Fundamentais – Ensaio direto não destrutivo (pastilha prensada).

Erro relativo em termos de coeficiente de variação percentual inferior a 10%

21. Dra Maria Ap. Pires - CRQ: 04108833
Centro de Química e Meio ambiente
Gerente

MSc. Vera Lúcia R. Salvador - CRQ: 04203181
Responsável pelo Laboratório



Avenida Lineu Prestes, 2242 - Cidade Universitária - CEP 05508-000
Fone: (011) 3816-9342 - Fax: (011) 3816-9325 - São Paulo - SP

11. Interessado : Dra. Ivone M. Sato 12. Registro Geral Nº : 8161/05
13. Amostra : FRX-25 14. Nº páginas : 14/21

Junho/2005

Relatório de Ensaio

15. Analista : MSc. Marcos Antonio Scapin
16. Técnica Analítica : Fluorescência de Raios-X (WDXRF)
17. Laboratório: Laboratório de Fluorescência de Raios-X

18. RESULTADOS :

Elem./Comp.	%	Elem./Comp.	Elem./Comp.
Ca	97.5		
Sr	0.77		
Si	0.69		
Fe	0.38		
Al	0.26		
P	0.14		
S	0.10		
K	0.09		
Mn	0.03		

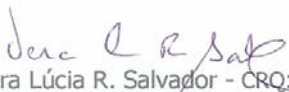
19. 08/08/05 09/08/05
Data Entrada Data Saída

20. COMENTÁRIOS :

Análise Semi-Quantitativa – Método de Parâmetros Fundamentais – Ensaio direto não destrutivo (pastilha prensada).

Erro relativo em termos de coeficiente de variação percentual inferior a 10%

21. Dra Maria Ap. F. Pires - CRQ: 04108833
Centro de Química e Meio ambiente
Gerente


MSc. Vera Lúcia R. Salvador - CRQ: 04203181
Responsável pelo Laboratório



Avenida Lineu Prestes, 2242 - Cidade Universitária - CEP 05508-000
Fone: (011) 3816-9342 - Fax: (011) 3816-9325 - São Paulo - SP

11. Interessado : Dra. Ivone M. Sato 12. Registro Geral N° : 8162/05
13. Amostra : FRX-26 14. N° páginas : 15/21

Junho/2005

Relatório de Ensaio

15. Analista : MSc. Marcos Antonio Scapin
16. Técnica Analítica : Fluorescência de Raios-X (WDXRF)
17. Laboratório: Laboratório de Fluorescência de Raios-X

18. RESULTADOS :

Elem./Comp.	%	Elem./Comp.	%	Elem./Comp.	%
O	53.6	Zr	0.02		
Si	34.5	Rb	0.01		
K	5.2	P	0.01		
Al	4.7	Sr	0.01		
Na	0.74	Ni	0.007		
Ca	0.59				
Fe	0.41				
Ti	0.15				
Mg	0.07				

19. 08/08/05 09/08/05
Data Entrada Data Saída

20. COMENTÁRIOS :

Análise Semi-Quantitativa – Método de Parâmetros Fundamentais – Ensaio direto não destrutivo (pastilha prensada).

Erro relativo em termos de coeficiente de variação percentual inferior a 10%

21. Dra Maria Ap. F. Zires - CRQ: 04108833
Centro de Química e Meio ambiente
Gerente

MSc. Vera Lúcia R. Salvador - CRQ: 04203181
Responsável pelo Laboratório



Avenida Lineu Prestes, 2242 - Cidade Universitária - CEP 05508-000
Fone: (011) 3816-9342 - Fax: (011) 3816-9325 - São Paulo - SP

11. Interessado : Dra. Ivone M. Sato 12. Registro Geral Nº : 8163/05
13. Amostra : FRX-27 14. Nº páginas : 16/21

Junho/2005

Relatório de Ensaio

15. Analista : MSc. Marcos Antonio Scapin
16. Técnica Analítica : Fluorescência de Raios-X (WDXRF)
17. Laboratório: Laboratório de Fluorescência de Raios-X

18. RESULTADOS :

Elem./Comp.	%	Elem./Comp.	%	Elem./Comp.	
O	49.1	S	0.12		
Ca	48.3	Mn	0.02		
Si	0.83				
Mg	0.47				
Al	0.37				
Sr	0.25				
Fe	0.22 (0,25)				
K	0.15				
P	0.13				

19. 08|08|05 09|08|0
Data Entrada Data Saída

20. COMENTÁRIOS :

Análise Semi-Quantitativa – Método de Parâmetros Fundamentais – Ensaio direto não destrutivo (pastilha prensada).

Erro relativo em termos de coeficiente de variação percentual inferior a 10%

21. Dra Maria Ap. F. Pires - CRQ: 04108833
Centro de Química e Meio ambiente
Gerente

MSc. Vera Lúcia R. Salvador - CRQ: 04203
Responsável pelo Laboratório



Avenida Lineu Prestes, 2242 - Cidade Universitária - CEP 05508-000
Fone: (011) 3816-9342 - Fax: (011) 3816-9325 - São Paulo - SP

11. Interessado : Dra. Ivone M. Sato 12. Registro Geral Nº : 8164/05
13. Amostra : FRX-28 14. Nº páginas : 17/21

Junho/2005

Relatório de Ensaio

15. Analista : MSc. Marcos Antonio Scapin
16. Técnica Analítica : Fluorescência de Raios-X (WDXRF)
17. Laboratório: Laboratório de Fluorescência de Raios-X

18. RESULTADOS :

Elem./Comp.	%	Elem./Comp.	%	Elem./Comp.	%
O	46.5	P	0.05		
Ca	42.3	Sr	0.05		
Si	4.4	Mn	0.03		
Al	2.2	Zr	0.01		
Mg	1.8	S	0.008		
Fe	1.4	Rb	0.006		
K	1.0				
Ti	0.16				
Na	0.11				


19. 08|08|05 09|08|05
Data Entrada Data Saída

20. COMENTÁRIOS :

Análise Semi-Quantitativa – Método de Parâmetros Fundamentais – Ensaio direto não destrutivo (pastilha prensada).

Erro relativo em termos de coeficiente de variação percentual inferior a 10%

21. Dra Maria Ap.  Pires - CRQ: 04108833
Centro de Química e Meio ambiente
Gerente


MSc. Vera Lúcia R. Salvador - CRQ: 04203181
Responsável pelo Laboratório



Avenida Lineu Prestes, 2242 - Cidade Universitária - CEP 05508-000
Fone: (011) 3816-9342 - Fax: (011) 3816-9325 - São Paulo - SP



11. Interessado : Dra. Ivone M. Sato 12. Registro Geral N° : 8165/05
13. Amostra : FRX-29 14. N° páginas : 18/21

Junho/2005

Relatório de Ensaio

15. Analista : MSc. Marcos Antonio Scapin
16. Técnica Analítica : Fluorescência de Raios-X (WDXRF)
17. Laboratório: Laboratório de Fluorescência de Raios-X

18. RESULTADOS :

Elem./Comp.	%	Elem./Comp.	%	Elem./Comp.	
O	51.9	P	0.07		
Ca	34.4	Sr	0.04		
Si	5.5	Mn	0.03		
Al	2.9	Zr	0.01		
Mg	2.1	S	0.008		
Fe	1.6	Rb	0.006		
K	1.2	Ni	0.006		
Ti	0.16	Zn	0.005		
Na	0.11				

19. 08/08/05 09/08/05
Data Entrada Data Saída

20. COMENTÁRIOS :

Análise Semi-Quantitativa – Método de Parâmetros Fundamentais – Ensaio direto não destrutivo (pastilha prensada).

Erro relativo em termos de coeficiente de variação percentual inferior a 10%

21. Dra Maria Ap. F. Pires - CRQ: 04108833
Centro de Química e Meio ambiente
Gerente

MSc. Vera Lúcia R. Salvador - CRQ: 04203181
Responsável pelo Laboratório



Avenida Lineu Prestes, 2242 - Cidade Universitária - CEP 05508-000
Fone: (011) 3816-9342 - Fax: (011) 3816-9325 - São Paulo - SP



11. Interessado : Dra. Ivone M. Sato 12. Registro Geral Nº : 8166/05
13. Amostra : FRX-30 14. Nº páginas : 19/21

Junho/2005

Relatório de Ensaio

15. Analista : MSc. Marcos Antonio Scapin
16. Técnica Analítica : Fluorescência de Raios-X (WDXRF)
17. Laboratório: Laboratório de Fluorescência de Raios-X

18. RESULTADOS :

Elem./Comp.	%	Elem./Comp.	%	Elem./Comp.	%
O	52.0	Zr	0.08	Zn	0.01
Al	18.4	S	0.06	Cu	0.01
Si	14.2	Rb	0.05	Ga	0.007
Fe	12.4	Mn	0.04	Nb	0.006
Ti	1.6	Sr	0.03	Br	0.004
K	0.60	Cr	0.03		
Mg	0.18	Ni	0.02		
P	0.16	Cl	0.02		
Ca	0.12	As	0.02		

19. 08|05|05 09|08|05
Data Entrada Data Saída

20. COMENTÁRIOS :

Análise Semi-Quantitativa – Método de Parâmetros Fundamentais – Ensaio direto não destrutivo (pastilha prensada).

Erro relativo em termos de coeficiente de variação percentual inferior a 10%

21. Dra Maria Ap. E. Pires - CRQ: 04108833
Centro de Química e Meio ambiente
Gerente

MSc. Vera Lúcia R. Salvador - CRQ: 04203181
Responsável pelo Laboratório



Avenida Lineu Prestes, 2242 - Cidade Universitária - CEP 05508-000
Fone: (011) 3816-9342 - Fax: (011) 3816-9325 - São Paulo - SP

FM-CQMA-0901-05 V1

11. Interessado : Dra. Ivone M. Sato 12. Registro Geral N° : 8167/05
13. Amostra : FRX-31 14. N° páginas : 20/21

Junho/2005

Relatório de Ensaio

15. Analista : MSc. Marcos Antonio Scapin
16. Técnica Analítica : Fluorescência de Raios-X (WDXRF)
17. Laboratório: Laboratório de Fluorescência de Raios-X

18. RESULTADOS :

Elem./Comp.	%	Elem./Comp.	%	Elem./Comp.	%
O	50.2	Ca	0.05	Y	0.008
Al	19.0	S	0.05	Ga	0.008
Si	14.7	Mn	0.04	Nb	0.007
Fe	13.1	Cr	0.03	Rb	0.007
Ti	1.7	Sr	0.03	Br	0.006
K	0.62	Ni	0.02		
Mg	0.17	Zn	0.01		
P	0.15	Pb	0.01		
Zr	0.09	Cu	0.009		

19. 08 | 08 | 05 09 | 05 | 05
Data Entrada Data Saída

20. COMENTÁRIOS :

Análise Semi-Quantitativa – Método de Parâmetros Fundamentais – Ensaio direto não destrutivo (pastilha prensada).

Erro relativo em termos de coeficiente de variação percentual inferior a 10%

21. Dra Maria Ap. F. Pires - CRQ: 04108833
Centro de Química e Meio ambiente
Gerente

MSc. Vera Lúcia R. Salvador - CRQ: 04203181
Responsável pelo Laboratório



Avenida Lineu Prestes, 2242 - Cidade Universitária - CEP 05508-000
Fone: (011) 3816-9342 - Fax: (011) 3816-9325 - São Paulo - SP



11. Interessado : Dra. Ivone M. Sato 12. Registro Geral Nº : 8168/05
13. Amostra : FRX-32 14. Nº páginas : 21/21

Junho/2005

Relatório de Ensaio

15. Analista : MSc. Marcos Antonio Scapin
16. Técnica Analítica : Fluorescência de Raios-X (WDXRF)
17. Laboratório: Laboratório de Fluorescência de Raios-X

18. RESULTADOS :

Elem./Comp.	%	Elem./Comp.	%	Elem./Comp.	%
O	49.7	S	0.05	Cu	0.02
Al	19.3	Rb	0.05	Zn	0.01
Si	14.7	Mn	0.04	Ga	0.006
Fe	13.2	Ca	0.03	Nb	0.005
Ti	1.7	Sr	0.03	Br	0.005
K	0.60	Cl	0.03		
Mg	0.17	Cr	0.02		
P	0.15	As	0.02		
Zr	0.06	Ni	0.02		

19. 08 | 08 | 05 09 | 08 | 05
Data Entrada Data Saída

20. COMENTÁRIOS :

Análise Semi-Quantitativa – Método de Parâmetros Fundamentais – Ensaio direto não destrutivo (pastilha prensada).

Erro relativo em termos de coeficiente de variação percentual inferior a 10%

21. Dra Maria Ap. F. Pres - CRQ: 04108833
Centro de Química e Meio ambiente
Gerente

MSc. Vera Lúcia R. Salvador - CRQ: 04203181
Responsável pelo Laboratório



Avenida Lineu Prestes, 2242 - Cidade Universitária - CEP 05508-000
Fone: (011) 3816-9342 - Fax: (011) 3816-9325 - São Paulo - SP

CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear
CDTN - Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear

CERTIFICADO DE ANÁLISE		NÚMERO: EC4I00/2006	PÁGINA: 1/16
CLIENTE / SOLICITANTE: Paula Guimarães Moura Queiroz (TR1 – CDTN / CNEN) E-mail: moura_queiroz@yahoo.com.br		REFERÊNCIA / PROCEDÊNCIA: Aerossol Atmosférico / Sete Lagoas – M.G.	
MATERIAL RECEBIDO: 128 amostras ambientais		SERVIÇO SOLICITADO: Identificação das fases cristalinas / constituintes minerais.	
MÉTODO ANALÍTICO: Difratometria de raios-X			

APENDICE C - Resultados obtidos por DRX

Amostra	Fase Cristalina / Mineral Identificado			
	Predominante (>30%)	Maior (<30%)	Menor (<10%)	Minoritário (<3%)
P - 13 (Fino do minério)	Hematita	-	Calcita Gibbsita Goethita Quartzo	Caolinita Magnetita
P - 14 (Finos de escória)	Amorfa	Quartzo	Rutilo	Anatásio Calcita Ferro Hematita Magnetita Siderita Wustita
P - 15 (Pó de balão)	Hematita	-	Calcita Quartzo	Caolinita Gibbsita Goethita Magnetita Moscovita

EC4 – SERVIÇO DE TECNOLOGIA MINERAL – CDTN / CNEN

Rua Prof. Mário Werneck, s/nº
 Cidade Universitária – Pampulha – C.Postal: 941
 30123-970 Belo Horizonte – MG – Brasil

Telefone: (31) 3499-3274
 Facsimile: (31) 3499-3399
 CGC.: 00.402.552/0012-89 - Insc.Est.: Isento

e-mail: britow@cdtn.br
 kazuo@cdtn.br
 http://intranet.cdtm/

CERTIFICADO DE ANÁLISE	NÚMERO: EC4I00/2006	PÁGINA: 2/16
-------------------------------	-------------------------------	-----------------

P - 16 (Pó do pátio entre os altos fornos)	Quartzo	Hematita	Calcita	Albita Caolinita Goethita Gibbsita Magnetita Microclina Moscovita Portlandita
P - 17 (Poeira sobre o asfalto nas proximidades da Estação)	Quartzo	Calcita	Goethita Hematita Microclina	Albita Magnetita Moscovita
P - 18 (Poeira sobre o solo - Estação de Monitoramento)	Quartzo	Calcita Microclina	Caolinita Gibbsita Goethita	Dolomita Hematita Magnetita Moscovita
Filtro de celulose (branco - 01)	-	-	-	-
Filtro de celulose (branco - 02)	-	-	-	-
Filtro de microsílica (branco - 01)	-	-	-	-
Filtro de microsílica (branco - 02)	-	-	-	-

EC4 – SERVIÇO DE TECNOLOGIA MINERAL – CDTN / CNEN

CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear

CDTN - Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear

CERTIFICADO DE ANÁLISE

NÚMERO:

EC4I00/2006

PÁGINA:

3/16

PM - 07	Calcita	-	Quartzo Siderita	-
PM - 10	Calcita	Quartzo	Hematita	Caolinita
PM - 18	Calcita	Quartzo	-	Hematita Moscovita Siderita
PM - 22	Calcita	Quartzo	-	Microclina
PM - 26	Calcita	Quartzo	Hematita	Microclina
PM - 30	Microclina Quartzo		Gibbsita	Anidrita Calcita Hematita Moscovita
PM - 38	Calcita	-	Quartzo	Hematita Portlandita Rutilo
PM - 43	Calcita	Quartzo	Hematita	Moscovita
PM - 47	Calcita	Quartzo	-	Caolinita Gipso Microclina Moscovita
PM - 51	Calcita	Quartzo	-	Dolomita Hematita Microclina
PM - 55	Calcita	-	Quartzo	Hematita
PM - 59	Calcita	-	Quartzo	Dolomita Hematita Quartzo

EC4 – SERVIÇO DE TECNOLOGIA MINERAL – CDTN / CNEN

Rua Prof. Mário Werneck, s/nº
Cidade Universitária – Pampulha – C.Postal: 941
30123-970 Belo Horizonte – MG – Brasil

Telefone: (31) 3499-3274
Facsimile: (31) 3499-3399
CGC.: 00.402.552/0012-89 - Insc.Est.: Isento

e-mail: britow@cdtn.br
kazuo@cdtn.br
http://intranet.cdtcn/

CERTIFICADO DE ANÁLISE	NÚMERO:	PÁGINA:
	EC4I00/2006	4/16

PM - 63	Calcita	-	Moscovita Quartzo	Caolinita Hematita
PM - 67	Calcita	-	Quartzo	Dolomita Hematita Microclina Moscovita
PM - 71	Calcita	Quartzo	-	Hematita Microclina
PM - 75	Calcita	Quartzo	-	Hematita
PM - 79	Calcita	Quartzo	Hematita Microclina	Moscovita
PM - 83	Calcita	Quartzo	Hematita	Caolinita Magnetita Microclina
PM - 87	Calcita	Quartzo	Hematita	Caolinita Dolomita Moscovita
PM - 91	Calcita	Quartzo	-	Caolinita Hematita Magnetita Microclina
PM - 95	Calcita	Quartzo	-	Hematita Microclina Moscovita
PM - 99	Calcita	Quartzo	-	Hematita Moscovita
PM - 103	Calcita	-	-	Goethita Quartzo

EC4 – SERVIÇO DE TECNOLOGIA MINERAL – CDTN / CNEN

CERTIFICADO DE ANÁLISE	NÚMERO: EC4I00/2006	PÁGINA: 5/16
-------------------------------	-------------------------------	-----------------

PM - 107	Calcita	Quartzo	-	Caolinita Hematita Moscovita
PM - 111	Calcita	-	Quartzo	Caolinita Hematita
PM - 115	Calcita	-	Quartzo	Dolomita Hematita Microclina Moscovita
PM - 119	Calcita	Quartzo		Dolomita Hematita Microclina Moscovita
PM - 123	Calcita	Quartzo	-	Caolinita Gibbsita Hematita Magnetita Moscovita
PTS - 03	Calcita	Quartzo	Hematita Microclina Moscovita	Albita Caolinita Dolomita Magnetita
PTS - 07	Calcita	Quartzo	Hematita	Caolinita Gibbsita Magnetita Moscovita
PTS - 11	Calcita	Quartzo	Hematita Magnetita	Albita Dolomita Goethita Microclina Moscovita Siderita

EC4 – SERVIÇO DE TECNOLOGIA MINERAL – CDTN / CNEN

CERTIFICADO DE ANÁLISE	NÚMERO: EC4I00/2006	PÁGINA: 6/16
-------------------------------	-------------------------------	-----------------

PTS - 15	Calcita	Quartzo	Hematita Magnetita	Caolinita Dolomita Siderita
PTS - 19	Calcita	Quartzo	Hematita	Caolinita Ilmenita Magnetita Microclina Moscovita
PTS - 23	Calcita	Quartzo	Hematita	Gibbsita Magnetita Microclina Moscovita
PTS - 27	Calcita	Quartzo	Hematita	Magnetita Microclina Moscovita
PTS - 31	Calcita	Quartzo	-	Albita Caolinita Dolomita Hematita Magnetita Microclina Moscovita
PTS - 35	Calcita	Quartzo	-	Dolomita Hematita Magnetita Microclina Moscovita Portlandita Siderita

EC4 – SERVIÇO DE TECNOLOGIA MINERAL – CDTN / CNEN

CERTIFICADO DE ANÁLISE	NÚMERO: EC4I00/2006	PÁGINA: 7/16
-------------------------------	-------------------------------	-----------------

PTS - 39	Calcita	Quartzo	Hematita	Gibbsita Magnetita Moscovita
PTS - 43	Calcita	-	Quartzo	Hematita Magnetita Moscovita
PTS - 47	Calcita	Quartzo	-	Dolomita Hematita Microclina Moscovita
PTS - 51	Calcita	-	Hematita Quartzo	Magnetita Microclina
PTS - 55	Calcita	Quartzo	Hematita	Magnetita Microclina Moscovita
PTS - 59	Calcita	Quartzo	Hematita	Caolinita Magnetita Microclina Moscovita
PTS - 67	Calcita	Quartzo	-	Hematita Microclina Moscovita Portlandita
PTS - 71	Calcita	Quartzo	Hematita	Moscovita
PTS - 75	Calcita	Quartzo	Hematita	Dolomita Magnetita Moscovita Portlandita
PTS - 79	Calcita	-	Hematita Quartzo	Microclina

EC4 – SERVIÇO DE TECNOLOGIA MINERAL – CDTN / CNEN

CERTIFICADO DE ANÁLISE	NÚMERO: EC4I00/2006	PÁGINA: 8/16
-------------------------------	-------------------------------	-----------------

PTS - 83	Calcita	Quartzo	-	Hematita Magnetita Moscovita
PTS - 87	Calcita	-	Quartzo	Gibbsita Hematita
PTS - 91	Calcita	Quartzo	Hematita	Magnetita Microclina Moscovita
PTS - 95	Calcita	-	Quartzo	Gibbsita Gipso Hematita Microclina
PTS - 99	Calcita	Quartzo	Hematita	Dolomita Microclina Moscovita
PTS - 103	Calcita	Quartzo	Hematita	Magnetita Microclina Moscovita
PTS - 107	Calcita	-	Hematita Quartzo	Microclina Moscovita
PTS - 111	Calcita	-	Quartzo	Dolomita Hematita Moscovita
PTS - 115	Calcita	-	Hematita Quartzo	Bassanita Caolinita Ilmenita Magnetita Microclina Moscovita

EC4 – SERVIÇO DE TECNOLOGIA MINERAL – CDTN / CNEN

CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear

CDTN - Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear

CERTIFICADO DE ANÁLISE

NÚMERO:

EC4I00/2006

PÁGINA:

9/16

PTS - 119	Calcita	-	Hematita Quartzo	Bassanita Magnetita Microclina Moscovita
PTS - 123	Calcita	Quartzo	-	Gibbsita Hematita Magnetita Moscovita
PTS - 127	Calcita	Quartzo	Hematita Talco	Dolomita Magnetita Microclina Moscovita
PTS - 131	Calcita	-	Quartzo	Gipso Hematita Magnetita Microclina Moscovita
PTS - 135	Calcita	-	Quartzo	Hematita Magnetita Microclina Moscovita
PTS - 139	Calcita	Quartzo	Hematita	Caolinita Magnetita Microclina Moscovita
PTS - 143	Calcita	Hematita	Quartzo	Magnetita Microclina
PTS - 147	Calcita	-	Hematita Quartzo	Microclina Moscovita
PTS - 151	Calcita	-	Hematita Quartzo	Caolinita Moscovita

EC4 – SERVIÇO DE TECNOLOGIA MINERAL – CDTN / CNEN

Rua Prof. Mário Werneck, s/nº
Cidade Universitária – Pampulha – C.Postal: 941
30123-970 Belo Horizonte – MG – Brasil

Telefone: (31) 3499-3274
Facsimile: (31) 3499-3399
CGC.: 00.402.552/0012-89 - Insc.Est.: Isento

e-mail: britow@cdtn.br
kazuo@cdtn.br
http://intranet.cdtn/

CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear

CDTN - Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear

CERTIFICADO DE ANÁLISE

NÚMERO:

EC4I00/2006

PÁGINA:

10/16

PTS - 155	Calcita	Quartzo	Hematita	Magnetita Microclina Moscovita
PTS - 159	Calcita	-	Quartzo	Caolinita Dolomita Gibbsita Gipso Hematita Microclina Moscovita
PTS - 163	Calcita	-	Hematita Quartzo	Anidrita Bassanita Gipso Microclina Quartzo Quartzo Moscovita
PTS - 167	Calcita	-	Quartzo	Caolinita Dolomita
PTS - 171	Calcita	Quartzo	-	Caolinita Dolomita Goethita Hematita Magnetita Microclina Moscovita
PTS - 175	Calcita	-	Hematita Quartzo	Gibbsita Magnetita Microclina Moscovita
PTS - 179	Calcita	Quartzo	-	Dolomita Hematita Ilmenita Magnetita Moscovita

EC4 – SERVIÇO DE TECNOLOGIA MINERAL – CDTN / CNEN

Rua Prof. Mário Werneck, s/nº
Cidade Universitária – Pampulha – C.Postal: 941
30123-970 Belo Horizonte – MG – Brasil

Telefone: (31) 3499-3274
Facsimile: (31) 3499-3399
CGC.: 00.402.552/0012-89 - Insc.Est.: Isento

e-mail: britow@cdtn.br
kazuo@cdtn.br
http://intranet.cdtm/

CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear

CDTN - Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear

CERTIFICADO DE ANÁLISE	NÚMERO:	PÁGINA:
	EC4I00/2006	11/16

PTS - 183	Calcita	Quartzo	-	Dolomita Gibbsita Goethita Hematita Moscovita Siderita
PTS - 187	Calcita	Quartzo	Hematita	Dolomita Ilmenita Magnetita Moscovita
PTS - 191	Calcita	Quartzo	Hematita	Dolomita Goethita Ilmenita Moscovita
PTS - 195	Calcita	Quartzo	Hematita	Dolomita Ilmenita Magnetita Microclina Moscovita
PTS - 199	Calcita	Quartzo	Hematita	Albita Caolinita Magnetita Microclina Moscovita
PTS - 203	Calcita	Quartzo	Hematita	Dolomita Microclina Moscovita
PTS - 207	Calcita	Quartzo	Hematita	Caolinita Dolomita Moscovita

EC4 – SERVIÇO DE TECNOLOGIA MINERAL – CDTN / CNEN

Rua Prof. Mário Werneck, s/nº
Cidade Universitária – Pampulha – C.Postal: 941
30123-970 Belo Horizonte – MG – Brasil

Telefone: (31) 3499-3274
Facsimile: (31) 3499-3399
CGC.: 00.402.552/0012-89 - Insc.Est.: Isento

e-mail: britow@cdtn.br
kazuo@cdtn.br
http://intranet.cdtm/

CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear

CDTN - Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear

CERTIFICADO DE ANÁLISE	NÚMERO:	PÁGINA:
	EC4I00/2006	12/16

PTS - 211	Calcita Quartzo	-	-	Caolinita Dolomita Hematita Magnetita Microclina Moscovita
PTS - 215	Calcita	Quartzo	-	Caolinita Hematita Magnetita Moscovita
PTS - 219	Calcita	Quartzo	Hematita	Gipso Microclina Moscovita
PTS - 223	Calcita	Quartzo	Hematita	Caolinita Magnetita Microclina Moscovita
DRX - 19 (Argila)	Quartzo	Caolinita Goethita	Microclina	Albita Gibbsita Hematita Magnetita Moscovita
DRX - 20 (Mistura para cozimento)	Quartzo	Caolinita	Goethita Microclina Moscovita	Albita Hematita Magnetita
DRX - 21 (Resíduo de coque)	Hematita	Magnetita	Amorfa Quartzo	Anidrita Calcita Gipso
DRX - 22 (Resíduo de queima)	Calcita	Periclásio	Lime Larnita Portlandita	Anatásio Magnetita

EC4 – SERVIÇO DE TECNOLOGIA MINERAL – CDTN / CNEN

Rua Prof. Mário Werneck, s/nº
Cidade Universitária – Pampulha – C.Postal: 941
30123-970 Belo Horizonte – MG – Brasil

Telefone: (31) 3499-3274
Facsimile: (31) 3499-3399
CGC.: 00.402.552/0012-89 - Insc.Est.: Isento

e-mail: britow@cdtn.br
kazuo@cdtn.br
http://intranet.cdtm/

CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear

CDTN - Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear

CERTIFICADO DE ANÁLISE	NÚMERO:	PÁGINA:
	EC4I00/2006	13/16

DRX - 23 (Solo residual)	Quartzo	Caolinita	Calcita Gibbsita Goethita Microclina	Albita Dolomita Hematita Magnetita
DRX - 24 (Cimento)	Alita		Merwinita	Gipso Lime Magnetita Periclásio
DRX - 25 (Pó de pedra)	Calcita	-	-	Hematita Magnetita Quartzo
DRX - 26 (Areia)	Microclina Quartzo	-	Albita	Caolinita Moscovita
DRX - 27 (Finos do calcário)	Calcita	-	-	Quartzo
DRX - 28 (Calcário triturado)	Calcita	Quartzo	Caolinita Dolomita Moscovita	Hematita Magnetita
DRX - 28 (Bica corrida – Solo fino residual)	Calcita	Quartzo	Caolinita Dolomita Moscovita	Magnetita
DRX - 30 Latossolo (15cm)	Caolinita	Gibbsita Quartzo	Goethita	Hematita Magnetita Rutilo
DRX - 31 Latossolo (30cm)	Caolinita	Gibbsita Quartzo	Goethita	Hematita Ilmenita Magnetita Rutilo

EC4 – SERVIÇO DE TECNOLOGIA MINERAL – CDTN / CNEN

Rua Prof. Mário Werneck, s/nº
Cidade Universitária – Pampulha – C.Postal: 941
30123-970 Belo Horizonte – MG – Brasil

Telefone: (31) 3499-3274
Facsimile: (31) 3499-3399
CGC.: 00.402.552/0012-89 - Insc.Est.: Isento

e-mail: britow@cdtn.br
kazuo@cdtn.br
http://intranet.cdtm/

CERTIFICADO DE ANÁLISE	NÚMERO:	PÁGINA:
	EC4I00/2006	14/16

DRX - 32 Latossolo (45cm)	Caolinita	Gibbsita Quartzo	Goethita	Magnetita Rutilo
DRX - 33 Pó do pátio (Concremix)	Calcita	Quartzo	Albita Microclina	-

DRX - 30, DRX - 31 e DRX - 32: latossolo vermelho escuro, padrão nacional – Embrapa – Sete Lagoas – MG.

1.1. Fórmula química das fases cristalinas / dos minerais determinados:

Albita: $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$	Larnita: $\text{Ca}_2(\text{SiO}_4)$
Alita: Ca_3SiO_5	Lime: CaO
Anidrita: CaSO_4	Magnetita: Fe_3O_4
Calcita: CaCO_3	Manganita: $\gamma\text{-MnOH}$
Caolinita: $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	Microclina: KAlSi_3O_8
Ferro: Fe (elementar)	Moscovita: $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$
Gibbsita: $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	Periclásio: MgO
Gipso: $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Portlandita: $\text{Ca}(\text{OH})_{22}$
Goethita: $\text{FeO} \cdot \text{OH}$	Quartzo: SiO_2
Hematita: Fe_2O_3	Siderita: FeCO_3
Ilmenita: FeTiO_3	Talco: $\text{Mg}_3\text{Si}_3\text{O}_4(\text{OH})_2$

1.2. Difractogramas de raios-X das amostras analisadas: anexados ao certificado de análise devidamente interpretados. Os difractogramas de raios-X digitalizados foram encaminhados ao solicitante por meios eletrônicos.

EC4 – SERVIÇO DE TECNOLOGIA MINERAL – CDTN / CNEN

CERTIFICADO DE ANÁLISE	NÚMERO: EC4I00/2006	PÁGINA: 15/16
-------------------------------	-------------------------------	------------------

2. OBSERVAÇÕES

- 2.1. Projeto de pesquisa:** estas análises fazem parte do projeto de dissertação de mestrado sobre o tema Estudos de Caracterização do Aerossol Atmosférico da Região Metropolitana do Município de Sete Lagoas - Minas Gerais – Paula Guimarães Moura Queiroz (TR1 – CDTN / CNEN). Orientadora: Vanusa Maria Feliciano Jacomino (TR1 – CDTN / CNEN) e co-orientadora: Maria Ângela de Barros Menezes (TR2 – CDTN / CNEN).
- 2.2. Especificação das amostras:** amostras selecionadas pelo cliente e enviadas para análise na condição tal qual amostrada, recebendo no laboratório a preparação final. As procedências das amostras denominadas de DRX e P estão expressas na tabela de resultados das análises. As amostras filtro de celulose (branco) e filtro de microsilica (branco) são os coletores, respectivamente, das amostras PGT (filtro de celulose), PM (filtro de microsilica) e PTS (filtro de celulose). As amostras PM são os particulados em suspensão finos (<10µm); as PGT e PTS são particulados totais em suspensão (>10µm).
- 2.3. Especificação da técnica e condições de análise:**
- 2.3.1. Técnica de análise utilizada:** difratometria de raios-X pelo método do pó, empregando-se um difratômetro de raios-X de fabricação Rigaku, modelo Geigerflex, semi-automático e tubo de raios-X de cobre; análise efetuada em amostra total.
- 2.3.2. Condições de operação do difratômetro de raios-X:** fator de escala (8×10^3), constante de tempo (0,5s), velocidade do registrador (40mm/mim), velocidade do goniômetro ($8^\circ 2\theta/\text{min}$), intensidade de corrente (30mA) e tensão (40KV).
- 2.3.3. Preparação das amostras:**
- 2.3.3.1. Amostras DRX e P:** preparação feita em amostra tal qual.
- 2.3.3.2. Amostras do branco dos filtros de celulose e microsilica:** foram feitas recortando-se os mesmos nas dimensões de 3x3cm e colando-se a seguir no porta-amostra, procedendo assim a obtenção do difratograma de raios-X.
- 2.3.3.3. Amostras PGT e PTS:** foram feitas em filtro de celulose (partículas totais em suspensão - >10µm) recortando-se o mesmo nas dimensões de 10x10cm (uma porção suficiente do filtro para produzir uma amostra analítica) e calcinando-se a 500°C / 1h; a cinza obtida foi pulverizada em gral de ágata e preparando-se daí a amostra analítica. As amostras PGT são as amostras testes.
- 2.3.3.4. Amostras PM:** foram feitas em filtro de microsilica (partículas em suspensão - <10µm) recortando-se o mesmo nas dimensões de 3x3cm, colando-se a seguir no porta-amostra e procedendo assim a obtenção do difratograma de raios-X.

EC4 – SERVIÇO DE TECNOLOGIA MINERAL – CDTN / CNEN

CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear
CDTN - Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear

CERTIFICADO DE ANÁLISE	NÚMERO: EC4I00/2006	PÁGINA: 16/16
-------------------------------	-------------------------------	------------------

2.3.4. Identificação de fases cristalinas: foi obtida por comparação do difratograma de raios-X das amostras com o banco de dados da ICDD – International Center for Diffraction Data / Joint Committee on Powder Diffraction Standards – JCPDS (Sets 01 – 50; 2000).

2.3.5. Análises das fases cristalinas: levaram em consideração as intensidades das principais reflexões e as comparações entre as mesmas, avaliando-se assim as quantidades relativas de seus teores.

2.4. Cláusulas de responsabilidade:

2.4.1. Os resultados obtidos se referem somente às amostras submetidas à análise.

2.4.2. Não se admite qualquer responsabilidade referente à exatidão da amostragem, a menos que esta tenha sido efetuada mediante nossa própria supervisão. Salvo menção expressa, as amostras foram livremente selecionadas pelo solicitante.

2.4.3. A reprodução deste certificado está autorizada em sua forma integral. A reprodução parcial só é permitida com autorização expressa do responsável técnico.

2.4.4. As amostras deverão ser retiradas após 15 dias da data de emissão do certificado de análise. Após 30 dias da emissão do mesmo, o laboratório descartará as amostras não retiradas pelo cliente.

2.4.5. No caso de publicações científicas, favor incluir o nome do executor e responsável técnico pelos serviços.

Belo Horizonte, 12 de fevereiro de 2006.

Geólogo Walter de Brito
CREA 12585/78
Executor e Responsável Técnico

EC4 – SERVIÇO DE TECNOLOGIA MINERAL – CDTN / CNEN

Rua Prof. Mário Werneck, s/nº
Cidade Universitária – Pampulha – C.Postal: 941
30123-970 Belo Horizonte – MG – Brasil

Telefone: (31) 3499-3274
Facsimile: (31) 3499-3399
CGC.: 00.402.552/0012-89 - Insc.Est.: Isento

e-mail: britow@cdtn.br
kazuo@cdtn.br
<http://intranet.cdtm/>

Elemento Químico	Limites de Detecção médios ($\mu\text{g.g}^{-1}$)		
	Matriz Celulose	Matriz Microssilica	Solo / Sedimento
Ag	1	1	2
Al	2	14	5
As	0,1	2	2
Au	0,002	0,03	0,01
Ba	43	331	150
Br	0,1	2	2
Ca	7513	50390	10000
Cd	2	29	100
Ce	3	6	4
Cl	13	154	10
Co	0,1	0,3	0,3
Cr	5	14	2
Cs	0,2	0,2	0,4
Cu	1	53	10
Dy	0,1	2	2
Eu	0,04	0,03	340
Fe	282	259	50
Ga	0,5	25	20
Hf	0,3	1	0,5
Hg	1	2	2
I	1	8	5731
K	44	3320	1500
La	0,1	1	0,4
Mg	69	672	10
Mn	0,1	0	10
Mo	2	13	4
Na	1	17	45
Nd	7	69	20
Rb	8	19	20
Sb	0,1	0,3	0,3
Sc	0,02	0,01	0,2
Se	2	1	10
Sm	1	0,1	0,1
Sr	70	201	100
Ta	0,2	0,1	0,1
Tb	0,1	0,1	0,1
Th	0,3	1	1
Ti	18	243	800
U	0,4	3	1
V	0,1	1	10
W	0,2	4	3
Yb	0,2	1	0,5
Zn	4	4	10
Zr	100	120	350

