UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA E MEIO AMBIENTE

CARACTERIZAÇÃO ELEMENTAR SAZONAL PM_{10} E A INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS EM CUIABÁ-MT

ANDRÉIA MARIA BARBOSA

Orientador: Prof. Dr. José de Souza Nogueira

Cuiabá-MT, março de 2007.

Livros Grátis

http://www.livrosgratis.com.br

Milhares de livros grátis para download.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA E MEIO AMBIENTE

CARACTERIZAÇÃO ELEMENTAR SAZONAL PM_{10} E A INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS EM CUIABÁ-MT

ANDRÉIA MARIA BARBOSA

Dissertação apresentado ao Programa de Pós-graduação em Física e Meio Ambiente da Universidade Federal de Mato Grosso, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Física e Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. José de Souza Nogueira

Cuiabá-MT, março de 2007.

À Deus o autor da vida, que me escolheu como filha muito amada. Se não fosse por Ele a história de minha vida não existiria.

AGRADECIMENTOS

- Ao Prof. Dr. José de Souza Nogueira pela orientação, amizade e oportunidades oferecidas;

- A todos os professores do Programa de Mestrado em Física e Meio Ambiente, pelos ensinamentos e estímulos constantes;

- Ao Instituto de Física da Universidade de São Paulo (IFUSP), em especial ao Dr. Paulo Artaxo, pelo apoio quanto aos dados de aerossóis;

- Ao INMET - Instituto Nacional de Meteorologia de Cuiabá pela disponibilização dos dados meteorológicos;

- A amiga Elisabeth Camargo Neis pela valiosa ajuda e incentivo à realização deste trabalho, que sempre me fizeram prosseguir;

- Ao CNPq pelo auxílio financeiro;

- A todos os colegas de curso pela convivência agradável, que tornou o curso mais prazeroso;

- Enfim, a todos que diretamente ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS i

LISTA DE TABELAS iii

RESUMO v

ABSTRACT vi

1 INTRODUÇÃO 7
1.1 OBJETIVO GERAL 8
1.1.2 Objetivos específicos 8

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 10
2.1 Aerossol atmosférico 10
2.2 Composição química das partículas atmosféricas 12
2.2.1 Partículas grossas (MPG) 14
2.2.2 Partículas finas (MPF) 14
2.3 Importância das partículas atmosféricas 15
2.3.1 Processo de formação das nuvens 16
2.3.2 Balanço energético 17
2.3.3 Efeitos adversos à saúde humana 19

3 MATERIAL E MÉTODO 24
3.1 ÁREA DE ESTUDO 24
3.2 METODOLOGIA DE AMOSTRAGEM 26
3.3 METODOLOGIA ANALÍTICA 29
3.3.1 Análise gravimétrica 29
3.3.2 Análise de refletância 30
3.3.3 Análise combinada de INAA e PIXE 30
3.3.3.1 Análise de Emissão de Raio –X Induzido por partículas (PIXE) 31
3.3.3.2 Análise Instrumental de Ativação do Nêutron - INAA 32
3.4 DADOS METEOROLÓGICOS 33
3.5 Fator de Enriquecimento 33
3.6 TRATAMENTO DOS DADOS 34
3.6.1 Análise de Componente Principal (ACP) 34
3.6.2 Análise de Correlação Canônica (ACC) 37
3.6.2.1 Variável canônica e correlação canônica 38
3.6.2.2 Interpretação da ACC 40
3.7 VALIDAÇÃO DOS DADOS 41

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES 43
4.1 Concentração das partículas de MPG e MPF 43

4.2 Concentração elementar do MPG e MPF 47
4.2.1 Concentração elementar do MPG e MPF – estação seca 47
4.2.2 Concentração elementar do MPG e MPF – estação úmida 51

4.2.3 Comparação entre as concentrações elementares das partículas das estações seca e úmida. 54
4.2.4 Fator de enriquecimento 58
4.3 Caracterização meteorológica 59
4.3.1 Caracterização da estação seca 59
4.3.2 Caracterização da estação úmida 61
4.4 ANÁLISES DE COMPONENTES PRINCIPAIS 64
4.4.1 Identificação de fontes de MPG na estação seca e úmida. 64
4.4.2 Identificação de fontes de MPF na estação seca e úmida 67
4.4.3 Identificação de regimes meteorológicos básicos para a estação seca e úmida 70
4.4.4 Correlação entre o MPG e MPF e os regimes meteorológicos básicos obtidos por ACP 73
4.5 ANÁLISE DE CORRELAÇÃO CANÔNICA (ACC) 74
4.5.1 ACC entre a concentração elementar do MPG e os dados meteorológicos - estações seca e úmida 75
4.5.2 ACC entre a concentração elementar do MPF e os dados meteorológicos - estações seca e úmida 77
4.5.3 ACC entre a massa do MPF e MPG e os dados meteorológicos - estação seca e úmida. 79

5 CONCLUSÃO 81

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 84

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama de distribuição de aerossóis atmosféricos apresentando as quatro modas: 1) partículas ultrafinas, 2) núcleos de transição (núcleos de Aitken), 3) moda acumulação e 4) aerossóis gerados mecanicamente..... 11

Figura 2 - Regiões de alcance das partículas em função do tamanho no sistema respiratório. 20

Figura 3 - Localização do município de Cuiabá na Depressão Cuiabana, com destaque para a área urbana..... 24

Figura 4 - Fluxograma da coleta de partículas usando o AFG..... 28

Figura 5 - Variação da concentração de material particulado inalável (PM_{10}), fino (MPF), grosso (MPG) de Cuiabá, no período da estação seca de 1992 a 1994..... 45

Figura 6 - Variação da concentração de material particulado inalável (PM10), fino (MPF), grosso (MPG) de Cuiabá, no período da estação úmida de 1992 a 1994..... 46

Figura 7 - Fração das concentrações elementares, com relação ao particulado grosso, obtido para o período seco de 1992 a 1994 em Cuiabá-MT. 48

Figura 8 - Fração das concentrações elementares, com relação ao particulado fino, obtido para o período seco de 1992 a 1994 em Cuiabá-MT. 50

Figura 9 - Razão da concentração elementar média do material particulado fino (MPF) e grosso (MPG) da estação seca de 1992 a 1994..... 50

Figura 10 - Fração das concentrações elementares, com relação ao particulado grosso, obtido para o período úmido de 1992 a 1994 em Cuiabá-MT..... 52

Figura 11 - Fração das concentrações elementares, com relação ao particulado fino, obtido para o período úmido de 1992 a 1994 em Cuiabá-MT. 54

Figura 12 - Razão da concentração elementar média do material particulado fino (MPF) e grosso (MPG) da estação úmida de 1992 a 1994. 54

Figura 13 - Concentrações elementares, com relação ao particulado grosso (MPG) de Cuiabá, obtidas nas estações seca e úmida na campanha de amostragem de 1992-1994..... 56

Figura 14 - Concentrações elementares, com relação ao particulado fino (MPF) de Cuiabá, obtidas nas estações seca e úmida na campanha de amostragem de 1992-1994..... 57

Figura 15 - Fator de enriquecimento para as concentrações elementares das partículas grossas do particulado amostrado durante a estação seca e úmida em Cuiabá-MT, no período de 1992 a 1993..... 58

Figura 16 - Fator de enriquecimento para as concentrações elementares das partículas finas do particulado amostrado durante a estação seca e úmida em Cuiabá-MT, no período de 1992 a 1993. 59

Figura 17 - Variações médias diárias na estação seca de (a) pressão atmosférica e temperatura do ar e (b) velocidade do vento e umidade relativa, (c) precipitação total diária, (d) Freqüência e velocidade média das direções dos ventos..... 61

Figura 18 - Variações médias diárias na estação úmida de (a) pressão atmosférica e temperatura do ar e (b) velocidade do vento e umidade relativa, (c) precipitação total diária, (d) freqüência e velocidade média das direções dos ventos. 63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Padrões de qualidade do ar (em µg m-3) estabelecidos pela United States Environmental Protection Agency (US-EPA) e pela Resolução CONAMA (Conselho Nacional do meio Ambiente) n. 003, de 28 de junho de 1990. 21

Tabela 2 - Representação utilizada para matriz dos factor loadings, comunalidade de cada variável e autovalores obtidos para cada fator na ACP. 36

Tabela 3 - Concentrações (µg m^{-3}) das partículas inaláveis (PM_{10}), partículas finas (MPF) e partículas grossas (MPG) obtidas na campanha de amostragem realizada em Cuiabá-MT no período de 1992 a 1994. 43

Tabela 4 - Concentrações elementares médias (em ng m^{-3}) obtidas para o material particulado grosso na campanha de amostragem realizada no período da estação seca em Cuiabá de 1992 a 1994. 47

Tabela 5 - Concentrações elementares médias (em ng m^{-3}) obtidas para o material particulado fino na campanha de amostragem realizada no período da estação seca em Cuiabá de 1992 a 1994. 48

Tabela 6 - Concentrações elementares médias (em ng m^{-3}) obtidas para o material particulado grosso na campanha de amostragem realizada no período da estação úmida em Cuiabá de 1992 a 1994. 51

Tabela 7 Concentrações elementares médias obtidas para o material particulado fino na campanha de amostragem realizada no período da estação úmida em Cuiabá de 1992 a 1994. 52

Tabela 8 - Matriz de “Fator Loadings” obtidas a partir da Análise de Componentes Principais da fração grossa do aerossol amostrado em Cuiabá-MT para os períodos da estação seca e úmida de 1992 a 1994 – Rotação VARIMAX. 65

Tabela 9 - Matriz de “Fator Loadings” obtidas a partir da Análise de Componentes Principais da fração fina do aerossol amostrado em Cuiabá-MT para os períodos da estação seca e úmida de 1992 a 1994 – Rotação VARIMAX 68

Tabela 10 - Matriz de “Fator Loadings” obtidas a partir da análise de componentes principais dos dados meteorológicos de Cuiabá-MT durante o período da estação seca (junho a outubro) de 1992 a 1994. Rotação VARIMAX. 71

Tabela 11 - Matriz de “Fator Loadings” obtidas a partir da análise de componentes principais dos dados meteorológicos de Cuiabá-MT durante o período da estação úmida (novembro a maio) de 1992 a 1994. Rotação VARIMAX. 72

Tabela 12 - Correlação entre as fontes de material particulado fino e grosso e os regimes meteorológicos 74

Tabela 13 - Correlações e pares canônicos entre as concentrações elementares do material particulado grosso e os dados meteorológicos, segundo as estações seca e úmida – Rotação VARIMAX. 75

Tabela 14 - Correlações e pares canônicas entre as concentrações elementares do material particulado fino e os dados meteorológicos, segundo as estações seca e úmida –Rotação VARIMAX. 78

Tabela 15 - Correlações e pares canônicos entre massa do MPF e MPG e os dados meteorológicos, segundo as estações seca e úmida – Rotação VARIMAX. 80

RESUMO

BARBOSA, A. M. **Caracterização Elementar Sazonal PM_{10} e a Influência das Condições Meteorológicas em Cuiabá-Mt**. Cuiabá-MT, 2007. 87 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Ciências Exatas e da Terra. Universidade Federal de Mato Grosso.

Amostragens de material particulado foram realizadas continuamente de julho 1992 a dezembro de 1994 em Cuiabá-MT para avaliar as variações sazonais e a influência das condições meteorológicas sobre as concentrações das partículas atmosféricas. O material particulado foi coletado usando Amostrador de Particulado Fino e Grosso (AFG) que contém filtros que separam o material particulado dentro de uma fração de tamanho grossa (2.5<da<10 μm) e outra fina (da<2.5 μm), com um tempo de coleta de 3 a 6 dias. Os filtros finos e grossos amostrados (282 no total) foram analisados para massa do material particulado, black carbon (BC) e para aproximadamente 47 elementos. As técnicas analíticas empregadas para essas análises em ordem foram: Gravimetria, Reflectância e a combinação de Análise Instrumental de Ativação de Nêutrons (INAA) e Análise de Emissão de Raio-X PIXE. Os testes estatísticos demonstraram que existem diferenças significativas nas concentrações das partículas entre as estações seca e úmida, evidenciando a influência das atividades antrópicas e das características climáticas na poluição atmosférica. Fontes de emissão das partículas grossas e finas e regimes meteorológicos básicos para ambas as estações foram obtidas através da Análise de Componentes principais. De uma forma geral, as fontes obtidas foram ressuspensão do solo, emissões biogênicas e poluição urbana. Todas as fontes apresentaram correlação com algum regime meteorológico básico, evidenciando a influência dos parâmetros meteorológicos sobre as fontes. A análise de correlação canônica entre as concentrações elementares e os dados meteorológicos mostrou que esses parâmetros na região não são os únicos fatores responsáveis pelas variações nas concentrações das partículas.

Palavra chave: PM_{10}, aerossol, fontes de aerossol, correlação canônica.

ABSTRACT

BARBOSA, A. M. **Seasonal elementary characterization of the atmospheric particulate matter of Cuiabá-MT and the influence of the meteorological conditions on the behavior of the concentrations.** Cuiabá-MT, 2007. 87 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Ciências Exatas e da Terra. Universidade Federal de Mato Grosso.

Sampling particulate matter were carried continuously from July 1992 until December 1995 at Cuiabá-MT to evaluate the seasonal variations and the influence of the meteorological conditions on the concentrations of atmospheric particles. Particulate matter was sampled using a stacked filter unit (SFU), which separates the aerosol into a coarse (2.5<da<10 μm) and a fine (da<2.5 μm) size fraction, and the collection time per sample was typically 3-6 days. The coarse and fine filters of all SFU samples (282 in total) were analyzed for the particulate mass, black carbon (BC) and up to 47 elements. The analytical techniques used for these analyses were: gravimetric, light reflectance and instrumental neutron activation analysis (INAA) and particle-induced X-ray emission (PIXE). The statistical tests demonstrated significant differences in the concentrations of particles between the season dry and wet, evidencing the influence of the antrópicas activities and the climatic characteristics in the atmospheric pollution. Sources of emission coarse and fine particles and basic meteorological regimes for both the stations were identify using principal component analysis. Of one it forms generality, the sources were biogenic emission, mineral dust, biomass burning and urban pollution. All the sources presented correlation with some basic meteorological regime, evidencing the influence of the meteorological parameters on the sources. The analysis of canonical correlation between the elementary concentrations and the meteorological data showed that these parameters in the region are not the only responsible factors for the variations in the concentrations of particles.

Keyword: PM10, aerosol, aerosol sources, canonical correlation

1 INTRODUÇÃO

A atmosfera é um sistema composto por gases e por partículas formadas por uma grande variedade de compostos orgânicos e inorgânicos. A composição química e física destas partículas é fortemente dependente das fontes, assim como dos processos meteorológicos que prevalecem durante seu tempo de vida.

Estudos realizados nos últimos anos demonstram um cenário muito mais complexo dentro das mudanças climáticas nos quais os aerossóis têm um impacto potencialmente importante. As partículas de aerossóis afetam diretamente o balanço de radiação global, através da absorção ou dispersão da radiação. Elas também afetam o balanço de radiação e o ciclo de água regional através da indução de mudanças nas propriedades microfísicas das nuvens.

Além disso, os aerossóis são responsáveis por efeitos adversos à saúde humana. Dependendo do tamanho, as partículas penetram no trato respiratório podendo as menores atingir os alvéolos pulmonares e, dependendo de sua estrutura, concentração e composição química, podem causar sérios danos à saúde, provocando doenças ou piorando o quadro daquelas já existentes.

Os principais mecanismos envolvidos na mudança do aumento de componentes químicos na atmosfera são as atividades antropogênicas como o desflorestamento para a prática agrícola (monocultura) e agropecuária (pastagens) e a urbanização (queima de combustível fóssil veicular e emissões industriais).

As práticas de queimadas constituem uma fonte potencial de partículas para a atmosfera. No período entre julho a outubro são registrados altos índices de queimadas na região do sul da Amazônia e no Brasil central. Mais de 10000 focos por dia chegam a ser registrados no país nesse período, sendo que as queimadas que ocorrem em Mato Grosso (superior a 2000 focos por km^2) estão associadas principalmente com a expansão agropecuária.

Emissões de queimadas têm causado concentrações de poluentes muitas vezes superiores às recomendações de padrões ambientais nacionais e estrangeiros. As queimadas provocam diminuição da visibilidade, empobrecimento do solo e alteram significativamente a química da atmosfera. O ciclo biogeoquímico de elementos traços em regiões tropicais pode também estar mudando devido a emissões de queima de biomassa. Nutrientes essenciais como P, S, N, K e outros podem ser exportados de fontes regionais. Emissões de metais pesados podem causar poluição local e regional na atmosfera e hidrosfera.

O município de Cuiabá possui características geográficas e climáticas que podem favorecer altas concentrações de material particulado, que são emitidos para a atmosfera durante as queimadas que ocorrem com freqüência na região. Altas taxas de hospitalização relacionadas a casos graves de asmas em crianças menores de 5 anos, associado ao período climático seco, foram observados por SALDANHA *et al*. (2005) no município. O estudo do material particulado (concentração e caracterização química elementar) com a inclusão de dados meteorológicos conduzirá a um melhor entendimento da dinâmica de poluentes na região. Além disso, fornecerá subsídios para futuros programas e projetos de controle, uma vez que a região é desfavorecida de um monitoramento consciente e regular da poluição atmosférica.

1.1 OBJETIVO GERAL

Analisar o particulado inalável nas duas frações, fina (MPF - partículas com da<2,5 μm) e grossa (MPG - partículas com 2,5<da<10 μm) da atmosfera de Cuiabá, entre 1992 a 1994, caracterizando a composição elementar que constitui esse material particulado do aerossol e identificar as fontes através da análise estatística multivariada com a inclusão de dados meteorológicos.

1.1.2 Objetivos específicos

- Caracterizar as frações finas (MPF) e grossas (MPG) do particulado inalável do aerossol;

- Verificar as variações sazonais nas concentrações elementares encontradas nas frações fina e grossa do material particulado;
- Determinar o Fator de Enriquecimento para os elementos detectados para ter uma indicação inicial sobre as emissões antropogênicas;

- Fazer uma análise descritiva das condições meteorológicas (temperatura, umidade, precipitação, velocidade e direção do vento) no período de amostragem de material particulado inalável;

- Identificar as principais fontes de emissões do particulado fino (MPF) e grosso (MPG) para ambas as estações seca e úmida, segundo critérios da estatística multivariada – Análise de Componente Principal (ACP),

- Identificar os regimes meteorológicos básicos para as estações seca e úmida segundo critérios da estatística multivariada – Análise de Componente Principal (ACP);

- Verificar o papel das influências dos regimes meteorológicos básicos sobre as fontes de emissão de particulado através da correlação;

- Verificar a correlação entre as variáveis químicas e meteorológicas através da técnica multivariada – Análise de Correlação Canônica.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Aerossol atmosférico

Aerossol é um sistema consistindo de partículas sólidas ou líquidas em suspensão no ar. O tamanho dessas partículas esta entre poucos nanômetros (nm) e frações de um milímetro (mm), abrangendo uma enorme faixa de cinco ordens de grandeza, (HORVATH, 2000). O limite inferior dessa faixa não é bem definido, pois não há meios que indiquem quando um agrupamento de moléculas torna-se uma partícula.

As partículas de aerossol são constituídas por uma mistura de partículas de origem primária (emissões direta da fonte) e secundária (transformação gás-partícula). As primeiras geralmente são provenientes de emissões gasosas terrestres, poeiras de meteoritos, emissões vulcânicas, poeiras transportada pelo vento e processos de combustão, enquanto as de origem secundária são formadas na atmosfera pelas reações entre gases e partículas dispersas no ar, (ALVES, 2005).

A variabilidade no tamanho das partículas atmosféricas depende principalmente das fontes geradoras e dos processos posteriores que, na atmosfera, alterem suas características físicas e químicas. O tamanho da partícula é estabelecido em função de seu diâmetro aerodinâmico, ou diâmetro equivalente (da)[1]. Um modelo clássico de distribuição por tamanho das partículas atmosférica é apresentado na Figura 1 (SEINFELD[2] *apud* MARIANI, 2001), que mostra uma distribuição trimodal, com indicação dos respectivos processos de formação, transformação e remoção da atmosfera.

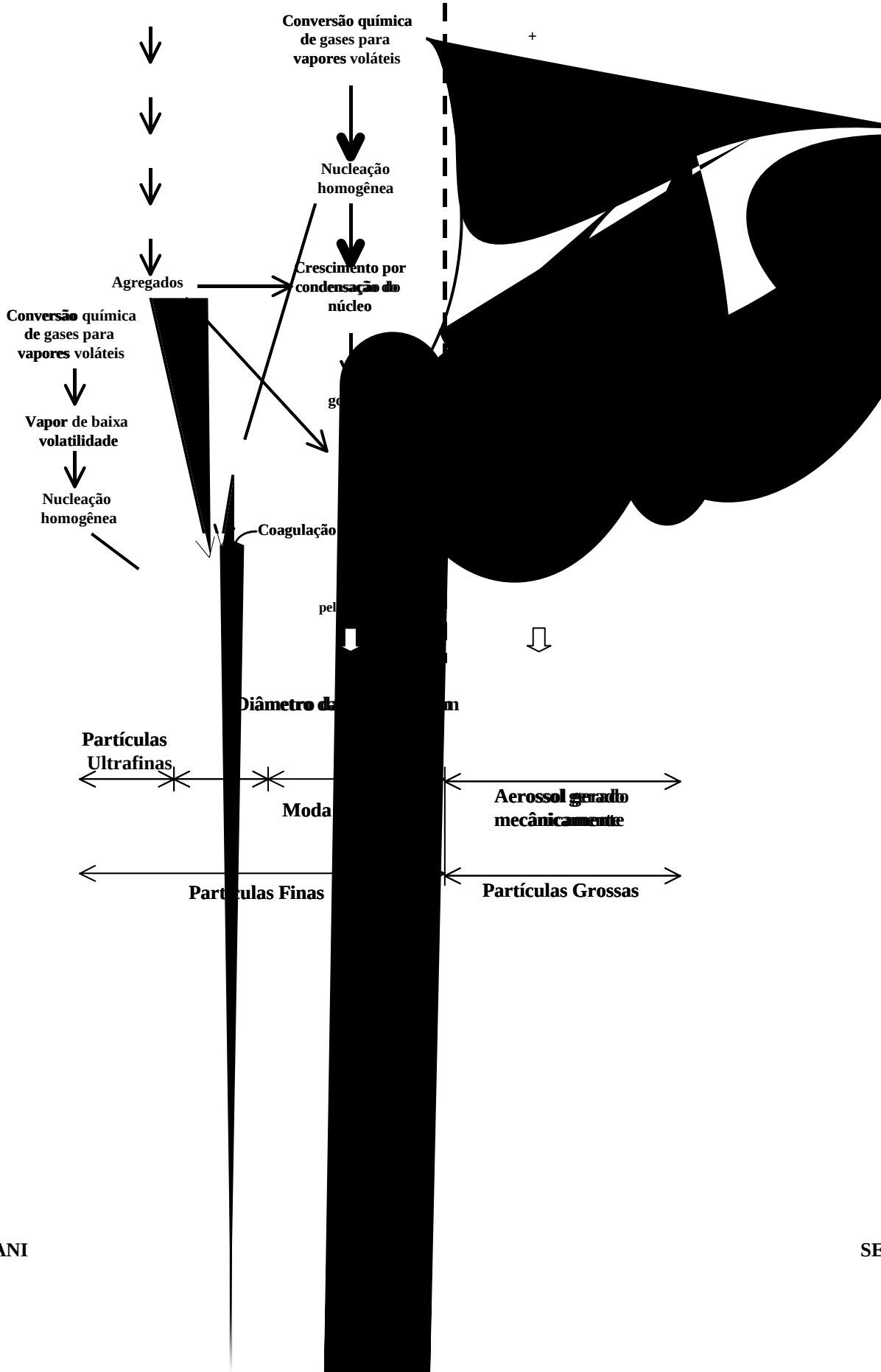
Na moda de nucleação (0,001- 0,1 μm), inclui os aerossóis que resultam da conversão gás-partícula, enquanto na moda de acumulação (0,1-1 μm) inclui as partículas que são formadas por coagulação e condensação heterogênea, sendo ambas removidas da atmosfera pela chuva. Já na moda sedimentação (aerossóis gerados

---

[1] O diâmetro aerodinâmico (da) é definido como o diâmetro de uma esfera hipotética de densidade igual a 1 g cm^{-3}, que possui a mesma velocidade de assentamento, em ar calmo, ao da partícula em questão, independentemente de seu tamanho, geometria e densidade real.

[2] SEINFELD, J. H. **Atmospheric chemistry and physics of air pollution.** New York. John Wiley and sons, 1986, 738 p.

mecanicamente) engloba as partículas produzidas por processos mecânicos, que por apresentarem diâmetros aerodinâmicos maiores, sedimentam rapidamente



Fonte: **apud MARIANI** **SE**

outra de partículas grossas (MPG), que compreende partículas com 2,5< da < 10 μm. A soma das duas frações é comumente denominada de material particulado inalável (PM_{10}). Isto é conveniente, pois as frações de tamanhos possuem diferentes propriedades físicas e químicas, diferentes processos de emissão e remoção da atmosfera, sendo esta forma de separação das partículas bastante empregada em estudos de qualidade do ar (FEEMA, 2004; CETESB, 1996) e mudanças climáticas (BRAGA *et al.*, 2005; MAENHAUT *et al.*, 2002; YAMASOE *et al.*, 2000)

O tempo de permanência dessas partículas na atmosfera depende basicamente de seu tamanho, portanto, quanto maior a partícula, menor é o seu tempo de residência na atmosfera. Deste modo, o tempo de permanência das partículas finas é da ordem de dias a semanas na atmosfera, podendo ser transportada a longas distâncias por correntes de ar favoráveis, interferindo na química e física da atmosfera não somente em escala local, mas também em escala regional e global.

HORVATH (2000) considera que, com um tempo em torno de 10 dias e velocidade média de vento de 3 ms^{-1}, partículas com diâmetro entre 0,05 e 2 μm podem ser transportadas a 2500 km de distância. ARTAXO e HANSSON (1995)

precipitados, e outros]; carbonáceos [carbono orgânico e carbono elementar[3]] e matérias biogênicas [pólen, fragmentos de vegetais e bactérias].

Segundo HARRISON (1993), os componentes solúveis representam aproximadamente 60 % da massa total das partículas atmosféricas e compreendem principalmente os íons Cl^-, NO_3^-, NO_2^-, SO_4^{2-}, Na^+, Ca^{2+}, K^+, Mg^{2+} e NH_4^+.

Os constituintes inorgânicos insolúveis em água compreendem principalmente os materiais provenientes dos solos, principalmente silicatos, que constituem os minerais primários (e.g., quartzo) e secundários (e.g., caulita).

O conteúdo de carbonáceos inclui carbono elementar (BC - black carbon) e carbono orgânico (OC), assim como uma pequena porcentagem (menos 5%) de carbono inorgânico principalmente presente como carbonato. BC é essencialmente um poluente primário emitido durante combustão incompleta de biomassa ou combustível fóssil. OC tem ambas as origens primária e secundária. O carbono orgânico primário é formado principalmente durante os processos de combustão como combustão de gasolina em área urbana ou biomassa. Também é diretamente emitido como esporo e pólen de plantas e matéria orgânica do solo. O carbono orgânico secundário pode originar de diferentes processos como conversão gás-partícula de compostos orgânicos voláteis (VOC), condensação e adsorção física e química. Nas atmosferas urbanas destacam os hidrocarbonetos alifáticos e aromáticos, ácidos n-alcanóicos e ácidos dicarboxílicos alifáticos (ALVES, 2005).

Partículas biogênicas primárias são constituídas de pólens, esporos, bactérias, algas, fungos, fragmentos de folhas, excrementos e fragmentos de insetos, geralmente apresentam da > 2 μm. Uma fração significante de partículas biogênicas em áreas florestadas, compreende de aerossóis secundários, formados pela conversão gás-partícula de orgânicos, nitrogênio e enxofre. Estas partículas são de tamanho sub-micron, (ARTAXO e HANSSON, 1995). Basicamente, são constituídas por material orgânico e elementos traços como Na, Mg, P, S, K, Zn e Rb. Outros elementos como N, Ca e Fe são também macronutrientes encontrados em plantas superiores, enquanto Mn, B, Cu, Mo, Cl, Co, Si, Se e Ni são micronutrientes; estes elementos estão frequentemente presente em baixas concentrações ou são

[3] Carbono elementar também é designado como negro de fumo que é a tradução para o português de black carbon. Neste trabalho será utilizada a terminologia inglesa, black carbon.

liberados em grandes quantidades por outras fontes e portanto não são geralmente usados como traçadores para aerossol biogênico (GUYON *et al*., 2004).

2.2.1 Partículas grossas (MPG)

As partículas grossas compreendem aquelas com diâmetro aerodinâmico entre 2,5 e 10 μm. Geralmente são constituídas por partículas primárias, formadas a partir de processos mecânicos, pela ação dos ventos sobre superfície marinha (borrifo marinho) e terrestre (poeira do solo e matéria de origem vegetal principalmente).

Em regiões costeiras, os íons Mg^{+2}, Na^{+} e Cl^{-} encontram-se principalmente associados ao material particulado grosso, evidenciando sua origem associada ao aerossol marinho. MARIANE (2001) observou em regiões metropolitanas do Rio de Janeiro, que aproximadamente 50 % da massa total dos íons presente no particulado grosso compreendem de Na^{+} e Cl^{-}. Embora o íon NO_3^{-} represente um pequena fração da massa do particulado, geralmente as maiores concentrações são encontradas na fração grossa, (GRAHAM *et al*., 2004, FALKIVICH *et al*., 2005; ROBERT S *et al*., 2002).

De acordo ARTAXO e HANSSON (1995) as partículas grossas de P, K, Cl e Sr geralmente são de origem natural, sendo emitida diretamente pelas plantas. EUCHALAR *et al*. (1998) observaram que K, Cl e Zn apresentam distribuição em ambos os modos fino e grosso, e a fração centrada em aproximadamente 7,5 μm esta associada a emissões biogênicas e/ou ressupensão do solo.

Elementos como Al, Si e Fe são abundantes nesta fração do aerossol e estão comumente associados à ressuspensão do solo, representando, tanto em áreas urbanas como florestas, mais de 50% da massa total, (CASTANHO, 1999; EUCHALAR *et al*. 1998).

2.2.2 Partículas finas (MPF)

A fração fina do aerossol contém partículas primárias geradas por processos de combustão por indústrias e veículos, além de partículas secundárias, provenientes da formação de partículas na atmosfera a partir de gases como, por exemplo, a formação de sulfatos a partir do SO_2. Geralmente essa fração compreende a maioria das emissões de aerossóis e corresponde às partículas de maior interesse para estudos

sobre mudanças climáticas e ciclos de nutrientes, devido ao seu longo tempo de residência atmosférica e propriedades ópticas, (YAMASOE *et al*. 2000).

Em partículas finas de cidades urbanas, SO_4^{-2} e NH_4^- são os íons predominantes, refletindo claramente as atividades antropogênicas (MARIANI, 2001). FALKIVICH *et al*., 2005 mostraram que a fração aniônica no particulado fino de Rondônia é abundante em sulfato (60%), nitrato (6%), ácidos dicarboxílicos C_3 para C_6 e oxalato (22,5%), enquanto a fração catiônica é dominada por amônia (>60%) e Potássio (>30%). Os íons K^+, Cl^- e SO_4^{-2} e black carbon foram as espécies dominantes nos aerossóis de emissões diretas de fogo nas vegetações da Bacia Amazônica (YAMASOE *et al*. 2000).

Partículas de black carbon, S, Zn , Sr, K, Cu, na moda fina dos aerossóis da Amazônia, frequentemente são provenientes de emissões de queimadas na estação seca (MAENHAUT *et al*., 2002; ARTAXO *et al*., 2000). Segundo FALKIVICH *et al*. (2005), quase todas as partículas de K no modo fino estão presentes na forma solúvel.

Os elementos típicos da crosta (Al, Si, Fe e outros) que estão associados a fonte de ressuspensão do solo representam de 20 a 30% da massa fina do particulado em centros urbanos (CASTANHO, 1999; ALBUQUERQUE e ANDRADE, 2006). Em regiões da Amazônia, onde existe uma forte influência sazonal, esta fonte é responsável por aproximadamente 14 a 20 % da massa na estação seca e 4 a 10% na estação úmida, (EUCHALAR *et al*., 1998; ARTAXO *et al*., 2000).

Segundo ROBERT *et al*. (2002), a composição média da massa do aerossol da Amazônia para a fração fina foi 15% NH_4HSO_4, 5% inorgânicos insolúveis (Al_2O_3, CaO, Fe_3O_4, K_2O, MgO, P_2O_5, SiO_2, TiO_2 e outros elementos com exceção do S) e os 80% é assumido ser material orgânico

2.3 Importância das partículas atmosféricas

As interações entre as partículas atmosféricas e o meio ambiente são complexas. Elas desempenham papel essencial no processo de formação de nuvens e no balanço energético do planeta, e podem causar efeitos adversos à saúde humana quando em altas concentrações.

2.3.1 Processo de formação das nuvens

As partículas de aerossóis são intimamente ligadas ao ciclo hidrológico porque elas constituem os núcleos de condensação de nuvens (NCN), que juntamente com o vapor de água constituem as gotículas de nuvens, (ROSENFELD, 2000).

Os NCN são partículas microscópicas de aerossol, em torno das quais o vapor d'água condensa. Uma vez a gota formada, ela começa a crescer através de uma série de mecanismos físicos. As correntes de ar ascendente dentro de uma nuvem se originam de ar aquecido pelo contato com o chão quente durante o dia. Essas correntes de ar sustentam as gotas de chuva dentro da nuvem enquanto as gotas são pequenas. Mas à medida que essas gotas crescem, torna-se mais difícil sustentá-las e eventualmente elas caem como chuva, (ARTAXO *et al*., 2005).

Se o ambiente é relativamente limpo, não poluído, há poucos NCN. Na disputa pelo vapor de água existente, se houver alguns NCN relativamente grandes ou solúveis em água, estes vão crescer rapidamente, colidir com os menores e cair como chuva. A nuvem não tem muito tempo para crescer chegando ao máximo a alturas de 4 ou 5 km. Caso a atmosfera esteja poluída, com um número muito grande de NCN, como na época de queimadas, a disputa pelo vapor de água disponível aumenta, as gotas crescem pouco e devagar enquanto a nuvem vai crescendo. Muitas vezes essas nuvens nem chegam a chover, as gotas evaporam e a água, junto com os aerossóis, não retorna ao chão, mas é levada pelos ventos a outros locais. Se a gota passar dos 6 ou 7 km de altura ela congela, pois o ar atinge temperaturas muito baixas. As pedrinhas de gelo crescem de forma bastante eficiente enquanto a nuvem cresce até 10 ou 15 km de altura, formando a chamada nuvem Cumulonimbus, (ARTAXO *et al*., 2005).

Tipicamente as nuvens rasas, em regiões limpas, são conhecidas como nuvens marítimas, enquanto que, as que contêm gelo, formadas em regiões poluídas, de nuvens continentais. Na Amazônia, temos chuvas provocadas pelos dois tipos de nuvens, as rasas e as profundas convivendo na época mais limpa do ano que é durante a estação chuvosa. Na época poluída pela fumaça das queimadas, no entanto, as chuvas de nuvens rasas desaparecem e apenas raras chuvas de nuvens profundas são observadas, com muitos relâmpagos e trovões (ANDREAE *et al*., 2004).

As nuvens profundas são carregadas pelos ventos mais fortes de altitude e viajam até centenas de quilômetros para longe de seu local de origem, exportando os NCN dentro das gotas. Esta supressão de precipitação pode ter impactos importantes no funcionamento do ecossistema Amazônico, (ROBERTS *et al*., 2002; ARTAXO *et al*., 2002; ROSENFELD, 2000).

Outro aspecto importante na estrutura de nuvens durante a estação seca, com forte impacto de queimadas, é a presença significativa de partículas que absorvem radiação, o "black carbon", que consiste em fuligem das queimadas. Gotículas de nuvens ricas em fuligem absorvem radiação muito eficientemente, evaporando-se antes de precipitarem, intensificando a supressão da precipitação. Com as altas concentrações de black carbon durante a estação seca (de 5 a 40 µg m^{-3}), este fenômeno é particularmente importante na Amazônia, comparada com outras regiões do globo, (ARTAXO *et al*., 2005).

2.3.2 Balanço energético

As partículas de aerossóis possuem papel definitivo no balanço radiativo da atmosfera. Todos os tipos de aerossol (sulfatos, orgânicos, poeira, aerossol marinho, fuligem e outros) interceptam a entrada dos raios solares, aumentando a reflexão da radiação solar para o espaço e reduzindo o fluxo de energia que chega à superfície da terra, produzindo assim um resfriamento. Aerossóis também absorvem radiação solar, e esta absorção dentro da atmosfera, junto com a reflexão da radiação para o espaço, levam para uma maior redução na radiação solar absorvida pela superfície da terra (forçante negativa) como um aquecimento no topo da atmosfera (forçante positiva). Os aerossóis carbonáceos (black carbon e orgânicos) são identificados como representando um maior papel nesta absorção, (ANDREAE *et al*., 2005; RAMANATHAN *et al.*, 2001).

As mudanças surgidas da dispersão e absorção da radiação pelas partículas na atmosfera são referidas como forçante radiativa direta. Segundo estimativas Global da forçante radiativa no topo da atmosfera devido a aerossóis antropogênicos, na região de comprimento de onda solar, varia de -0,5 a -2,5 Wm^{-2}, (RAMANATHAN *et al.*, 2001).

Segundo JACOBSON (2001), o aquecimento atmosférico devido aos aerossóis do tipo black carbon poderia balancear o efeito de resfriamento associado a outros constituintes do aerossol, e a forçante radiativa direta deste (aproximadamente +0,62 Wm^{-2}) pode exceder aquele associado ao CH_4. Desta forma, partículas de aerossol, produto de processos de combustão incompleta, estariam atrás somente do CO_2. ARTAXO *et al.* (2002) expõe que quando o AOD- profundidade óptica do aerossol [4] alcança valores entre 2,5 a 3, o déficit PAR (Photosynthetically active Radiation) pode alcançar -200 Wm^{-2}, tendo provavelmente significantes efeitos sobre o ecossistema da Amazônia.

Em adição a estes efeitos radiativos diretos, existem vários efeitos indiretos dos aerossóis mediados pelas nuvens, que todos resultam em resfriamento. Uma atmosfera carregada de aerossóis produz uma maior quantidade de gotas em uma dada nuvem, tornando-a mais reflectiva. O tamanho menor das gotas será menos favorável à produção de chuva, pois as gotas, quando muito pequenas, não tendem a se aglutinar para formar gotas maiores que caem como chuva, favorecendo a manutenção da nebulosidade e aumentando a capacidade da terra de refletir radiação solar de volta para o espaço, (ANDREAE *et al*., 2005; RAMANATHAN *et al.*, 2001).

Pesquisas realizadas em Alta Floresta-MT e em Ji-Paraná-RO, mostram que em média, de agosto a outubro (período de intensas queimadas e consequentemente altas concentrações de partículas de aerossóis na atmosfera), 20% da radiação solar é absorvida pelos aerossóis ou refletida e envidada de volta ao espaço. Em casos extremos, ocorrem picos em que a retenção ou reflexão dos raios de sol podem chegar a 50%. Mesmo a luz que consegue atravessar a espessa camada de fumaça chega à superfície em grande parte alterada: a quantidade de radiação direta cai frequentemente a um terço do normal e a de radiação difusa pode aumentar até sete vezes, (PIVETA, 2003).

As partículas de aerossóis presentes na atmosfera têm adquirido um papel de fundamental importância nas estimativas atuais das mudanças climáticas globais.

---

[4] AOD- Profundidade óptica do aerosol: é a integral vertical da concentração de aerossol pesado com a área efetiva do corte transversal das partículas interceptando (por dispersão ou/e absorção) a radiação solar em um comprimento de onda de interesse.O valor global e anual do AOD medido em 0,55 μm é aproximadamente 0,12 (±0,04) (RAMANATHAN *et al.*, 2001).

Especialmente com os resultados dos descobrimentos de programas de campo como Tropospheric Aerosol Radiative Forcing Observational Experiment (RUSSEL *et al.*, 1999), Smoke, Clouds, and Radiation-Brazil Experiment (RISSLER *et al*, 2006) e o Indian Ocean Experiment, INDOEX (SATHEESH & RAMANATHAN, 2000; RAMANATHAN *et al.*, 2001). Não por terem tido seus efeitos climáticos quantificados com confiança, mas, ao contrário, pelos fortes indícios de que as lacunas ainda existentes no conhecimento desses efeitos sejam uma das principais fontes das altas incertezas das projeções climáticas que prevêem o aquecimento da terra nas próximas décadas.

2.3.3 Efeitos adversos à saúde humana

Estudos epidemiológicos apresentam o aumento da morbidade e mortalidade da população associados com concentrações mínimas de material particulado atmosférico, causando principalmente agravos em idosos e crianças, (ARBEX *et al*., 2005; DUCHIADE, 1992).

No sistema respiratório, a trajetória da partícula inalada é função do tamanho, forma, densidade, higroscopia e carga elétrica da mesma. A Figura 02 mostra a relação entre o tamanho da partícula e profundidade de penetração no sistema respiratório. Partículas maiores que 10 μm são efetivamente filtradas pelo nariz e pela nasofaringe, onde essas grandes partículas ficam depositadas e podem ser vistas em expectorações e/ou saliva. Partículas menores que 10 μm de diâmetro (material particulado inalável - PM_{10}) ficam retidas nas vias aéreas superiores e podem ser depositadas na árvore traqueobrônquica, agravando problemas como a asma em pessoas com deficiência respiratória. Por outro lado, as partículas menores que 2,5 μm de diâmetro (material particulado fino - $PM_{2,5}$) depositam-se nos brônquios terminais e nos alvéolos agravando problemas respiratórios e podendo causar mortes prematuras, (CASTRO et al., 2003).

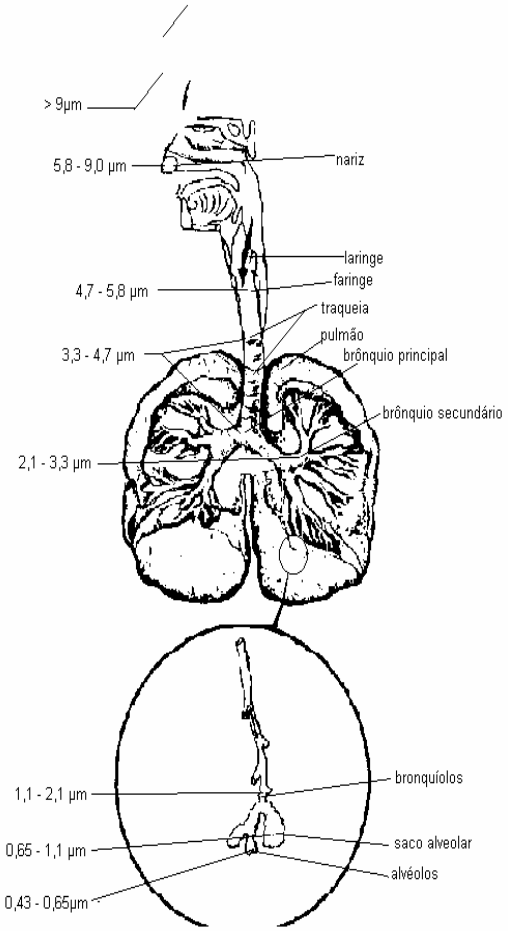


Figura 2 - Regiões de alcance das partículas em função do tamanho no sistema respiratório.

Fonte: HINDS[5]*apud* MARIANI, 2001.

Com base nos efeitos adversos causados à saúde humana a Organização Mundial de Saúde (World Health Organization), estabelece os padrões de qualidade para concentrações de partículas atmosféricas finas (da < 2,5 µm) e grossas (2,5 < da < 10 µm).

A Resolução CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) n° 003 de 28 de junho de 1990 estabelece padrões de qualidade do ar para sete poluentes atmosféricos, dentre eles as partículas totais em suspensão e partículas inaláveis. Os valores dos padrões de qualidade do ar para esses poluentes são idênticos aos estabelecidos pela EPA - Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos

[5] HINDS, W. C. **Aerosol technology. Properties, behavior and measurements of airborne particles**. California. Ed. John Wiley &Sons. 1982.

(Tabela 01). Entretanto, até a presente data, o CONAMA não tem estabelecido padrões de qualidade do ar para partículas inferiores a 2,5 µm. Os padrões de PM_{10} e $PM_{2,5}$ estabelecidos, em 1998, pelo Governo Federal dos Estados Unidos - National Ambient Air Quality Standards (NAAQS) estão disponíveis no site da EPA (EPA Office of Air Quality Planning and Standards, www.epa.gov/airs/criteria.html).

Tabela 1 - Padrões de qualidade do ar (em µg m-3) estabelecidos pela United States Environmental Protection Agency (US-EPA) e pela Resolução CONAMA (Conselho Nacional do meio Ambiente) n. 003, de 28 de junho de 1990.

	US-EPA	CONAMA
Partículas Inaláveis		
PM10 (2,5 < da < 10 µm) (Padrão Primário e Secundário)		
Média aritmética anual	50	50
Média de 24 horas*	150	150
PM2,5 (da < 2,5 µm)		
Média aritmética anual	15	-
Média de 24 horas*	65	-

Padrão Primário - concentração de poluente que, ultrapassada, poderá afetar a saúde da população.
Padrão Secundário - concentração de poluente abaixo da qual se prevê mínimo efeito adverso sobre o bem-estar da população, assim como o mínimo dano à fauna, a flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral.
* Este valor não deve ser excedido mais de uma vez por ano

2.4 INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS SOBRE O MATERIAL PARTICULADO ATMOSFÉRICO

A concentração do material particulado em uma determinada região está intimamente ligada com as condições meteorológicas observadas nessa área. Variáveis meteorológicas como ventos, chuvas e instabilidade do ar atuam de forma efetiva na qualidade do ar, determinando uma maior ou menor diluição das partículas, mesmo sendo mantidas as emissões.

Em estudos relacionados a programas de monitoramento da qualidade do ar, desenvolvidos pela CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do estado de São Paulo, são abordados parâmetros meteorológicos como dispersão, sistemas frontais, índices pluviométricos, inversões térmicas, calmaria, umidade relativa do ar e velocidade dos ventos, (CETESB, 2004).

A direção e velocidade dos ventos, por exemplo, propiciam o transporte e a dispersão dos poluentes atmosféricos, identificam sua trajetória e alcances possíveis. O vento tem um efeito diluidor sobre as concentrações de poluentes, proporcional a

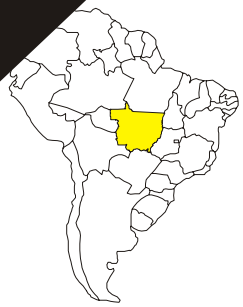
sua velocidade horizontal. Assim como a velocidade dos ventos aumenta, o volume de ar em movimento lançado por uma fonte em um dado período de tempo também aumenta. Se a taxa de emissão é relativamente constante, ao dobrar-se a velocidade dos ventos diminuir-se-á pela metade a concentração do material particulado, pois a taxa de concentração é inversamente proporcional à velocidade dos ventos. Em situações de calmaria (velocidade do vento na superfície $< 0,5\ ms^{-1}$), ocorre a estagnação do ar, proporcionando um aumento nas concentrações de material particulado (FEEMA, 2004).

Os movimentos verticais de massas de ar dependem do perfil vertical da temperatura, isto é, da variação da temperatura com a altitude. O grau de estabilidade atmosférica é que determina a capacidade das partículas presentes no ar expandirem-se verticalmente. A estabilidade é determinada pela velocidade do vento e pelo gradiente térmico na vertical. Ausência de radiação solar, ausência de nuvens e ventos leves caracterizam uma atmosfera estável. Céu nublado e ventos fortes caracterizam a condição neutra da atmosfera. As condições para a ocorrência de instabilidade atmosférica são as altas radiações solar e os ventos de baixa velocidade. Quanto mais estável a atmosfera, menor será a diluição e o transporte do material particulado, contribuindo assim para a poluição do ar, (HUSSEIN *et al*., 2006; CETESB, 2004.)

A relevância da temperatura do ar para a avaliação da qualidade do ar pode ser relacionada com o balanço das trocas energéticas entre a superfície e a atmosfera, assim como os resultados da advecção (transporte horizontal) de ar frio ou quente impostos por circulações atmosféricas de escala micro, meso ou sinótica. Também deve ser ressaltado que, geralmente, altas temperaturas são associadas a movimentos verticais (convecção) o que favorece o arraste dos poluentes para os mais altos níveis da atmosfera, enquanto menores temperaturas permitem a manutenção dos poluentes mais próximos à superfície, (CETESB, 2004).

A precipitação é outro fator que atua com muita eficiência na remoção das partículas presentes na atmosfera, em maior ou menor grau, dependendo da sua intensidade. A ocorrência de precipitação pluviométrica, além de ser um indicador de que a atmosfera está instável, promove a remoção dos mesmos, pois uma parcela

significativa desses poluentes é incorporada à água da chuva. Além disso, o solo úmido evita que haja ressuspensão das partículas para a atmosfera.



rios Cuiabá e Manso seu limite se encontra nas encostas do relevo escarpado do Planalto dos Guimarães. A topografia da depressão cuiabana é de um modo geral, rampeada com inclinação de norte para sul. A altimetria da área está em torno de 200 metros no limite sul e atinge até 452 metros no alto vale dos rios Cuiabá e Manso. O município de Cuiabá, dentro da depressão cuiabana, tem altitude média de 250 metros e nas suas partes norte e leste atinge 450 metros.

As rochas que compõem a área, em sua maior parte pertencem ao domínio do Grupo Cuiabá, constituído por uma seqüência de rochas metamórficas de baixo grau, representados par uma seqüência de filitos, metarenitos e metacórseos, com xistosidade bem desenvolvida, intensamente dobrado e fraturados durante diversos ciclos tectônicos, de idade pré-cambiana, (BARROS et al., 1982).

O município é cercado por três grandes ecossistemas: a amazônia, o cerrado e o pantanal. A vegetação predominante é o cerrado, com fisionomia bastante variada, constituindo-se de árvores relativamente baixas (até 10 metros de altura), presença de árvores e arbustos com troncos e galhos retorcidos, com cascas grossas, espalhadas descontinuamente entre gramíneas. A mata ciliar aparece próximo aos córregos, (FAPEMAT, 2005).

O clima é do tipo Aw de Köppen, ou seja, tropical semi-úmido De modo geral, esse tipo de clima caracteriza-se por apresentar um período climático considerado como seco (quando a massa de ar tropical continental fica estacionada na região), com altas temperaturas (chegando a mais de 40°C) e baixa umidade relativa do ar na maioria dos dias (abaixo de 30%). Às vezes, nesse período, acontecem alguns dias de inversão térmica, com a temperatura atingindo cerca de 10 a 15°C. Aliadas a essas características climáticas desse período encontram-se as queimadas nas matas, nos cerrados e do lixo doméstico, que lançam grande quantidade de material particulado no ar. O período climático considerado como chuvoso (quando a massa de ar equatorial continental predomina em todo o Estado), que vai de novembro a abril, é caracterizado por intensas chuvas e maior umidade relativa do ar, com temperatura média anual em torno de 28ºC, (MAITELLE, 1994).

A partir da década de 1970, as áreas de cerrado do estado de Mato Grosso, até então consideradas impróprias para a agricultura passam a se transformar em grandes áreas produtoras de grãos (soja e milho, principalmente). O acelerado

processo de ocupação dessa área vem se realizando as custas de grandes desmatamentos, abrindo espaço para a agricultura, a pecuária e o processo de urbanização. Assim, as transformações na paisagem vão além da perda da biodiversidade, gerando possíveis alterações climáticas, derivadas das alterações antrópicas na busca de recursos naturais.

3.2 METODOLOGIA DE AMOSTRAGEM

Para este estudo foram utilizados os dados de amostragem da estação de Cuiabá, analisados pelo Grupo de Estudos de Poluição do Ar (GEPA) do Instituto de Física da Universidade de São Paulo (IFUSP). As amostras de material particulado foram coletadas durante o período de julho de 1992 a dezembro de 1994, na sede do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais INPE de Cuiabá – MT (16° S e 56°W).

O material particulado atmosférico foi coletado pelo Amostrador de Particulado Fino e Grosso (AFG) que separa as partículas em duas frações de tamanhos. Uma fração grossa (MPG) definida por partículas com diâmetros entre 10 e 2,5µm. Outra fração fina (MPF) definida por partículas com diâmetros menores que 2,5µm. O sistema de amostragem utilizado é mostrado na Figura 04.

O AFG é feito de material plástico que apóia os filtros em dois estágios. Ele é instalado dentro de um *inlet*, colocado a uma altura de 2,8 m do solo. Os filtros utilizados são de policarbonatos, com 47mm de diâmetro e poros com diâmetros de 8µm e 0,4µm referentes aos filtros para partículas grossas e finas respectivamente. Uma caixa para proteção contra chuva e uma rede de nylon na entrada do *inlet* são empregados, para previnir a entrada de insetos.

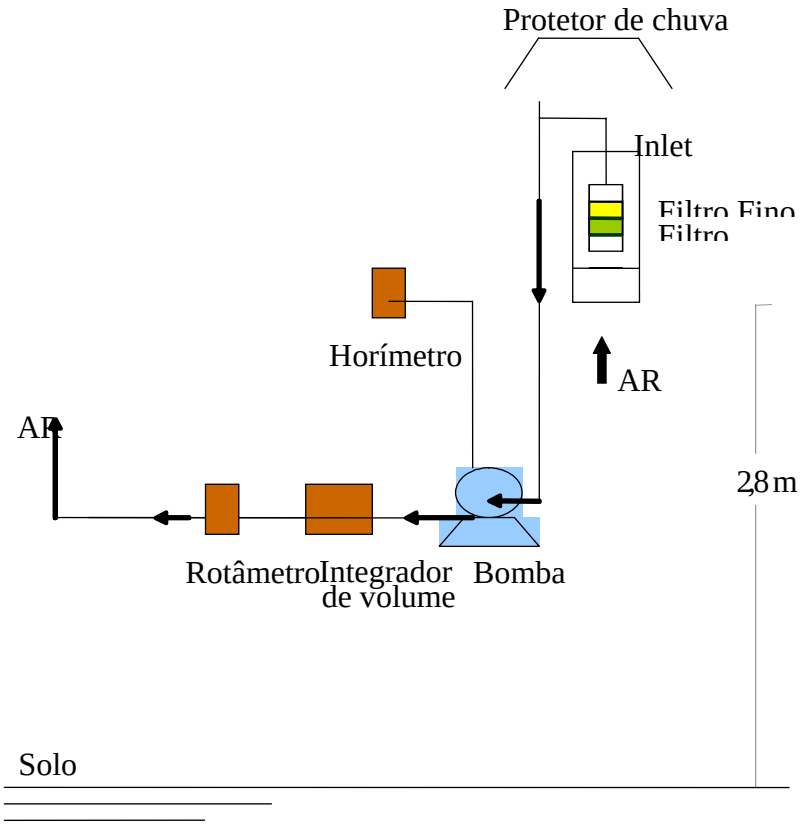

Protetor de chuva
Inlet
Filtro Fino
Filtro
Horímetro
AR
AR
2,8 m
Rotâmetro
Integrador de volume
Bomba
Solo

Figura 4 - Fluxograma da coleta de partículas usando o AFG.

Fonte: FAPEMAT, 2005.

O AFG é conectado por tubulação de PVC a uma bomba de vácuo. A bomba succiona o ar atmosférico com um fluxo inicial de 16 $Lmin^{-1}$. A tubulação passa por um medidor de fluxo que fornece a medida do fluxo em tempo real e volume total de ar amostrado. O equipamento foi anteriormente calibrado com um padrão e os volumes amostrados corrigidos. O circuito elétrico possui um horímetro que fornece o tempo de amostragem, integrando em horas. A eficiência do amostrador na seleção dos diâmetros de corte descritos em cada estágio é de 50% (Castanho, 1999; Echalar *et al*.,1998).

Um total de 141 amostras de particulado foi coletado no período de 1992-1994, sendo 76 na estação seca (junho-outubro) e 65 na estação úmida (novembro-maio), com um tempo de coleta por amostra de aproximadamente de 3 a 6 dias.

Este tipo de amostragem permite determinar algumas propriedades importantes do particulado inalável. A partir da análise gravimétrica pode-se

determinar a concentração do particulado nas frações finas e grossas. Por análise de refletância pode-se obter a concentração de black carbon existente nas frações amostradas. Através da análise de PIXE e INAA sobre os filtros é possível obter a concentração elementar das partículas em cada uma das frações do material particulado.

3.3 METODOLOGIA ANALÍTICA

As análises químicas foram realizadas em parte no Laboratório de Análise de Materiais por Feixe Iônico (LAMFI) do Instituto de Física da Universidade de São Paulo (USP), e em parte na Universidade de Gent-Institute for Nuclear Sciences, Bélgica.

Uma descrição sucinta das técnicas e utilização dos métodos empregados para análise do material particulado atmosférico é apresentada a seguir.

3.3.1 Análise gravimétrica

A partir da análise gravimétrica determina-se a massa do material particulado coletado nos filtros do AFG. O princípio desta técnica é bastante simples: a massa do filtro é medida antes e após a amostragem. A diferença entre as medidas é devida ao material depositado. Conhecendo-se a massa e sabendo–se o volume de ar amostrado registrado no totalizador, pode-se determinar a concentração do particulado ($\mu g\ m^{-3}$) coletado nas frações fina e grossa correspondentes a cada filtro.

A massa do filtro é obtida em uma balança microanalítica eletrônica de precisão nominal 1µg da marca Mettler. Antes e após cada pesagem as películas de policarbonato ficam expostas a fontes radioativas de ^{210}Po durante 24 horas para neutralizar as cargas elétricas presentes em sua superfície que podem alterar os resultados da pesagem. Em uma segunda etapa os filtros são montados nos suportes do AFG e embalados em papel alumínio para serem levados ao local de coleta.

Os filtros levados ao local de coleta são amostrados, embalados e enviados novamente ao laboratório. Da mesma forma que antes, sofrem uma climatização de 24 horas, são expostos às fontes radioativas, e a massa final é medida. A diferença entre as medidas antes e depois da amostragem fornece a massa de material particulado depositada. Do resultado é ainda subtraída a massa adquirida nos filtros brancos. Os filtros brancos são filtros que sofrem o mesmo processo que os

anteriores só que não são amostrados, sendo utilizados apenas como controle. Isto é feito para se eliminar qualquer ganho de massa devido à absorção de água ou contaminação no transporte e manuseio dos filtros.

3.3.2 Análise de refletância

A análise de refletância é utilizada para determinar o black carbon presente nos filtros fino e grosso do AFG, (Castanho,1999; Echalar *et al*.,1998).

A técnica de medida de black carbon por refletância utiliza a propriedade de esse possuir alta seção de choque de absorção de luz na região do visível. Para isto é utilizado um refletômetro, Smoke Stain Refletometer, Diffusion System, modelo M43D. O filtro é apoiado em um suporte e iluminado por uma lâmpada de tungstênio. A luz refletida é então detectada por um foto sensor. Quanto menor a intensidade da luz refletida, maior é a quantidade de black carbon presente na amostra, pois este estaria absorvendo uma parcela maior da luz incidente. A curva de calibração da luz refletida pela quantidade de black carbon foi obtida empiricamente (LOUREIRO[6] *et al*. *apud* CASTANHO, 1999) e é dada pela Equação 3.3.2, que indica como a partir da refletância medida pode-se determinar a massa de black carbon presente na amostra.

$$BC\ \frac{\mu g}{m^3} = (30{,}90 \pm 0{,}15) - (15{,}454 \pm 0{,}007) \times \log(R) \times \frac{A}{V} \qquad \textbf{(3.3.2)}$$

R: refletância [%]

A: área do filtro [14,4 cm^2]

V: volume de ar amostrado [m^3]

3.3.3 Análise combinada de INAA e PIXE

As amostras coletadas pelo amostrador de particulado fino e grosso (AFG) foram analisadas pela combinação de duas técnicas analíticas multielementares: análise instrumental de ativação do Nêutron (INAA-Instrumental Nêutron Activation Analysis) e emissão de raio-X induzido por partículas (PIXE- Particle-Induced X-ray emission).

---

[6] LOUREIRO, A.L.; RIBEIRO, A. C.; ARTAXO, P.; YAMASOE, M. A. Calibration of refletometer system to measure black carbon and field intercomparation in the Amazon Basin. **5th Inernational Conference on Carbonaceous Particles in the Atmosphere**. Berkley, California, USA.1994.

A combinação de INAA e PIXE é considerada vantajosa em estudos de aerossol por estender o número de elementos importantes medidos e para avaliar e checar a exatidão nos procedimentos analíticos.

O limite de detecção e precisão de INAA e PIXE para os elementos comuns depende da técnica, elemento e composição da amostra. O dado final para cada elemento em cada amostra é obtido pelo cálculo da média entre resultado das duas técnicas ou pela seleção dos valores de uma das técnicas. Os elementos K, Mn, Fe são usualmente medidos em aerossóis com similar sensibilidade em ambas as técnicas e, portanto, a média entre a concentração do dado em cada técnica pode ser usada como o resultado final. INAA é geralmente mais sensível e confiável do que PIXE para NA, Al, Cl, V, Ga, As, Se e Br, portanto, os dados de INAA são preferidos. PIXE usualmente apresenta melhores precisões para Mg, Ca, Ti, Cr, Ni, Cu, Zn e Sr , portanto, os resultados de PIXE normalmente são conservado nos dados finais. Maiores detalhes sobre os procedimentos adotados para a aplicação da combinação dessas técnicas, ver SALMA *et al*., (1997), MAENHAUT *et al*., (2002), CASTANHO (1999).

3.3.3.1 Análise de Emissão de Raio –X Induzido por partículas (PIXE)

O PIXE (Particle Induxed X Ray Emission) é um método analítico baseado na espectroscopia de raio-X. Um feixe de íons (geralmente prótons ou partículas alfa), com alguns MeV de energia, incide em uma amostra, excita elétrons de camadas internas dos átomos. Quando estes retornam às camadas originais emitem os raios-X, cujas energias são características de cada átomo, representadas pelas linhas de transição K e L.

As emissões de raios-X são medidas por um detector de Si(Li) e armazenadas em um analisador multicanal. Com base nos espectros de raios-X pode-se identificar e quantificar a concentração dos elementos químicos presentes na amostra. O método é capaz de identificar e quantificar elementos de número atômico maiores que 10, devido a absorção de raio-X de energias mais baixas na janela do detector, com limite de detecção da ordem de 10^{14} átomos cm^{-2}.

3.3.3.2 Análise Instrumental de Ativação do Nêutron - INAA

INAA (Instrumental Neutron Activation Analysis) é uma técnica analítica altamente sensível utilizada na determinação qualitativa e quantitativa de elementos em uma amostra com número atômico maior que 10 (Z>10). A análise instrumental de ativação do nêutron (INAA) consiste em colocar a amostra em um saco de polietileno e depositá-la em um recipiente, também de polietileno, para irradiação. O recipiente é irradiado, e os elementos contidos em cada amostra são submetidos à captação do nêutron tendo como resultado a formação de nuclídeos radioativos do produto. A energia da radiação emitida do núcleo do produto durante o decaimento radioativo indica de qual elemento o nuclídeo do produto foi formado e a quantidade de energia da radiação é diretamente proporcional à quantidade desse elemento. O comprimento da irradiação e da subseqüente contagem do raio gama depende da meia vida do isótopo de interesse. As amostras são irradiadas e contadas por um tempo curto, segundos ou minutos, para ativar os elementos para os quais os produtos da captação do nêutron são relativamente de vida curta (e.g., F, Na, Mg, Cl, K, Ca, Ti, V, Mn, Cu, Br, I). Similarmente, as amostras são irradiadas e contadas por horas, após um tempo de decaimento suficiente para permitir o decaimento dos componentes de vida curta da amostra, e determinar os elementos para os quais os produtos da captação do nêutron são de vida longa (e.g., Sc, Cr, Fe, Co, Zn, As, Se, Rb, Sr, Mo, Ag, Cd, Sn, Sb, Cs, Ba, La, Ce, Sm, Eu, Tb, Hf, Ta, Au, Hg, Th, U).

O INAA não requer a dissolução da amostra e não depende mais das propriedades nucleares do que das atômicas do elemento de interesse, de modo que todas as fontes da incerteza ou da tendência em INAA sejam independentes daquelas associadas com a maioria das técnicas de análise química. Como quase todos os elementos contidos na amostra irão produzir produtos radioativos, o INAA pode ser usado para dar muita informação sobre uma quantidade relativamente pequena de amostra. Outras vantagens são atribuídas na aplicação da análise INAA, tais como: sensibilidade na determinação de alta precisão nas concentrações dos elementos, freqüentemente em ppm ou ppb; os erros de medidas menores que 3 a 5% são padrões; a potencialidade multielementar sobre 30 elementos pode ser determinada simultaneamente sem separação química; a manipulação limitada reduz a contaminação da amostra e acelera o processo analítico; a composição química e

estrutura de cristal não afetam as análises elementares e facilitam nas identificações de possíveis isótopos.

3.4 DADOS METEOROLÓGICOS

Os dados de pressão atmosférica, temperatura do ar, umidade relativa, precipitação, velocidade e direção do vento foram obtidos na estação convencional INMET-Instituto Nacional de Meteorologia de Cuiabá, sob n° 83361, e coordenadas 15°33'S e 56°07'W. Os valores dessas variáveis são referentes às médias diárias, exceto precipitação, onde são considerados os totais diários de precipitação.

Num primeiro momento, os dados médios diários foram utilizados para avaliar o comportamento e as alterações das variáveis no período em estudo. Em seguida, para avaliar a correlação entre as variáveis meteorológicas e o material particulado atmosférico foram calculadas as médias referentes aos dias de amostragem para cada variável. Como uma amostra de material particulado corresponde a aproximadamente 3 a 6 dias de coleta, foi determinado para cada variável à média referente ao tempo de amostragem.

3.5 Fator de Enriquecimento

Para ter uma indicação inicial sobre a extensão da contribuição de emissões antropogências para os níveis elementares atmosféricos, o fator de enriquecimento (EF) foi calculado para cada elemento detectado, usando Ti como elemento de referência, e a composição média da crosta definida por MASON e MOORE, 1982. O EF é determinado pela equação:

$$EF = \frac{[X]_{am} / [Ti]_{am}}{[X]_{ref} / [Ti]_{ref}} \qquad \textbf{(3.5.1)}$$

O $[X]_{am}$ é a concentração do elemento que se pretende determinar e $[Ti]_{am}$ é a concentração de Ti no particulado. O $[X]_{ref}$ e $[Ti]_{ref}$ são as concentrações médias dos elementos X e Ti da crosta terreste.

Elementos com EF entre 1 e 10 têm um forte indicativo de fonte natural, emitida do solo. Elementos com alto fator de enriquecimento usualmente têm um forte indicativo de origem antropogênica, (SALMA e MAENHAUT, 2006; MARCAZZAN *et al*., 2001; SILVA FILHO *et al*., 1998).

3.6 TRATAMENTO DOS DADOS

Os resultados serão sintetizados através de Estatística Descritiva, utilizando valores médios, desvios padrões e valores máximos e mínimos. A Análise Estatística Multivariada, será utilizada na interpretação dos resultados devido ao grande número de casos e variáveis estudadas. Nesta seção são apresentados os fundamentos teóricos da Análise de Componente Principal (ACP) e Análise de Correlação Canônica (ACC). Ambas as técnicas têm sido amplamente utilizadas em estudos de poluição atmosférica. A primeira, na identificação de fontes emissoras (THURSTON e SPENGLER, 1985; YAMASOE *et al*., 2000; ARTAXO e HANSSON, 1995; ECHALAR *et al*., 1998), a segunda para avaliar a relação entre a poluição e as condições meteorológicas (BRAGA *et al*., 2005; STATHEROPOULOS *et al*., 1998).

As análises estatísticas de ACP foram realizadas empregando o programa estatístico SPSS 10.0 e a ACC com o programa estatístico SISTAT 11.0.

3.6.1 Análise de Componente Principal (ACP)

A análise de componentes principais (ACP) é uma técnica de estatística multivariada que tem por objetivo reduzir a dimensão dos dados originais permitindo a fácil visualização das informações mais importantes em um número menor de fatores, ou componentes principais (CPs). Seja uma base de dados constituída pela concentração elementar de (p) elementos, chamadas as variáveis, por (n) amostras. O modelo ACP reduz a base de dados de (p) variáveis para um número menor (k) de componentes principais que contenha o máximo possível de informações contidas na base original, obtendo-se, portanto, uma matriz reduzida (n x k), mais fácil de ser interpretada.

Matriz de dados inicial (X)

	Variável 1	Variável 2	...	Variável p
Amostra 1	x_{11}	x_{12}	...	x_{1p}
Amostra 2	x_{21}	x_{22}	...	x_{2p}
...	...	...	...	...
Amostra n	x_{n1}	x_{n2}	...	x_{np}

(n amostras x p variáveis)

Matriz dos Factor Scores (F)

	CP1	CP2	...	CPk
Amostra 1	f_{11}	f_{12}	...	f_{1k}
Amostra 2	f_{21}	f_{22}	...	f_{2k}
...	...	...	...	...
Amostra n	f_{n1}	f_{n2}	...	f_{nk}

(n amostras x k componentes principais)

Os componentes principais são as novas variáveis que foram construídas a partir da correlação entre as variáveis originais. Cada componente principal agrupa,

portanto, variáveis que possuam maior correlação. As variáveis que possuem a mesma variabilidade no tempo indica fisicamente que elas são oriundas de uma mesma fonte, processo de formação ou transporte.

Antes de se iniciar qualquer tipo de análise multivariada, é necessária a realização de uma manipulação matemática prévia do conjunto de dados para adequação, ou às vezes até mesmo remoção de possíveis fontes de variação. Há várias maneiras de se realizar este preprocessamento, os mais comuns são centrar os dados na média, escalamento pela variância e o autoescalamento. O autoescalamento aplica ambas as técnicas descritas anteriormente de uma só vez, de modo que a transformação realizada sobre o conjunto original dos dados permite que cada variável apresente média zero e variância igual a um. Desta forma será dada a mesma importância para todas as variáveis, independente da sua dimensão (equação 3.6.1).

$$Z_{ij} = \frac{X_{ij} - \overline{X_j}}{\sigma_j} \qquad \textbf{(3.6.1)}$$

Z_{ij} = valor autoescalado da variável *j* para a amostra *i*;
X_{ij} = valor da amostra *i* e variável *j*;
$\overline{X_j}$ = média dos valores das amostras na coluna *j*;
σ_j = desvio padrão dos valores da variável *j*.

Matematicamente, ACP assume que cada variável é composta pela soma da contribuição de cada componente básico j de variação.

Após a normalização, tem-se a matriz dos dados normalizados, conforme a equação 3.6.2:

$$Z_{ij} = \sum_{k=1}^{p} W_{ik} P_{kj} \quad \text{e em forma matricial resulta em} \quad Z = WP \qquad \textbf{(3.6.2)}$$

Z é a matriz dos dados normalizados (os Z-scores); P é a matriz das novas variáveis normalizadas ou os componentes scores; W é a matriz dos componentes loadings após a normalização. Corresponde ao peso das antigas variáveis (as concentrações medidas e normalizadas) nas novas variáveis, ou seja, nos componentes principais, (THURSTON E SPENGLER, 1985; MARIANI, 2001).

A resolução da matriz de dados no produto de duas matrizes de cofatores é

feita através da diagonalização da matriz de correlação, uma vez que o objetivo é a obtenção de novas variáveis ortogonais. Da diagonalização da matriz de correlação, temos os autovalores λj [matriz diagonal é a matriz onde todos os componentes são nulos exceto os da diagonal principal (λ)] e os autovetores correspondentes. Cada autovalor representa a variância dos componentes principais.

Inicialmente, o número de componentes principais obtidos é igual ao número de variáveis iniciais (p). Esta é uma solução exata onde é explicada 100% da variabilidade original dos dados. Seguindo o objetivo original, o próximo passo é truncar o novo espaço dos componentes em uma dimensão (k: k<p) e que explique o máximo possível da variância dos dados. De uma forma geral os últimos autovalores são suficientemente pequenos para não representarem uma direção de variabilidade significativa, podendo ser desprezados, obtendo-se uma base de dados reduzida. O critério utilizado para a opção do número de fatores retidos, foi o de rejeitar os componentes com autovalores abaixo de um.

Para maximizar a variância explicada pelos componentes retidos e facilitar sua interpretação é usual submetê-las a uma rotação ortogonal, que preserva a independência dos componentes retidos. O critério adotado foi o de rotação VARIMAX, bastante utilizado com bons resultados na área de química atmosférica, (YAMASOE *et al*., 2000; ARTAXO e HANSSON, 1995; ECHALAR *et al*., 1998).

A matriz dos autovetores rotacionada (factor loadings) é apresentada como mostrado no exemplo da Tabela 02.

Tabela 2 - Representação utilizada para matriz dos factor loadings, comunalidade de cada variável e autovalores obtidos para cada fator na ACP.

Matriz Factor Loadings					
	CP_1	CP_2	...	CP_k	comunalidade
Variável 1	l_{11}	l_{12}	...	l_{1k}	h1
Variável 2	l_{21}	l_{22}	...	l_{2k}	h2
...	...	...	...	...	...
Variável p	l_{p1}	l_{p2}	...	l_{pk}	hp
Autovalor	λ_1	λ_2		λ_k	
Variância (%)	λ_1/p	λ_2/p		λ_k/p	Variância total (%)

Para cada componente principal (CP_k) retido são apresentados os loadings (l_{pk}) correspondentes a cada variável (p). O loading explica a importância de cada variável no CP e seu valor varia de -1 a +1. Quanto mais próximo de um, maior a associação da variável com o componente principal.

Os valores da comunalidade correspondem à porcentagem explicada da variabilidade da correspondente variável. Esse valor é importante para se controlar a validade da ACP. Comunalidade muito baixa para determinada variável significa que o modelo não explica satisfatoriamente esta variável, devendo ser reavaliado ou incluído mais um componente.

Os autovalores obtidos para cada componente estão representados na parte inferior da tabela 02. Foi feito o cálculo percentual de cada um em relação ao número total de variáveis que dá uma idéia da fração que cada componente explica da variabilidade da base de dados. A soma é o quanto o modelo explica da variabilidade da base de dados com os componentes principais retidos.

A matriz original de concentração (Z) pode ser estimada a partir do produto da matriz dos factor scores (P) pela matriz dos factores loadings (W), obtidas pela ACP. Quanto melhor o modelo, mais próximo se chega da matriz de concentração original, equação 3.6.2.

Nesse trabalho, ACP é aplicada separadamente para os dados da composição elementar das partículas fina e grossa da estação seca e úmida. Em seguida, ACP é aplicada para os dados meteorológicos referentes ao período de amostragem. Os componentes resultante das primeiras ACPs são interpretados como fontes de emissões de partículas finas e grossas que afetam a concentração do material particulado, enquanto a última ACP produz componentes interpretados como regimes meteorológicos básicos que afetam a área em estudo.

Um dos objetivos deste trabalho é investigar o respectivo papel das influências meteorológicas sobre as fontes de emissão. Para alcançar isso, as fontes e os componentes meteorológicos são testados por correlação uma com a outra em ordem para permitir uma avaliação do papel de cada componente meteorológica sobre a variabilidade das fontes de emissão, (THURSTON e SPENGLER, 1985).

3.6.2 Análise de Correlação Canônica (ACC)

Análise de Correlação Canônica é um procedimento estatístico multivariado que permite o exame da estrutura de relações existente entre dois grupos ou conjuntos de variáveis X e Y. As correlações canônicas referem-se às correlações entre pares canônicos, ou seja, entre combinações lineares de variáveis, de tal modo

que a correlação entre essas combinações seja máxima. Assim, não existirá nenhuma outra combinação linear entre variáveis, cuja correlação seja maior que essa, (TRUGILHO *et al*., 2003). O aspecto de maximização da técnica representa uma tentativa de concentrar uma relação de alta dimensão entre os dois grupos de variáveis em poucos pares de variáveis canônicas, (HAIR *et al*., 1998; ANDERSON, 1984).

A análise caracteriza-se por avaliar relações entre dois grupos influenciados, no mínimo, por dois caracteres. De maneira genérica, considera-se que o primeiro grupo é estabelecido por p caracteres e o segundo por q. O número de correlações canônicas é igual ao menor número de caracteres que constitui um dos grupos (p ou q) e sua magnitude sempre decresce com a ordem em que são estimadas. Entretanto, o primeiro coeficiente é sempre maior ou igual, em valor absoluto, a qualquer coeficiente de correlação simples ou múltipla, entre os caracteres do primeiro e do segundo grupo.

A ACC é baseada na determinação de variáveis canônicas ortogonais, por isso as variáveis em cada grupo devem ser linearmente independentes. Se esta condição não for satisfeita de início, será necessário descartar as variáveis que são combinações lineares das demais (variáveis redundantes).

3.6.2.1 Variável canônica e correlação canônica

Sejam dois grupos de variáveis X^1 e X^2, definidos como sendo: $X^1 = [x_1 x_2 ... x_p]$ o vetor de medidas de p características que constituem o grupo I, e $X^2 = [x_1 x_2 .. x_q]$ o vetor das medidas de q características que constituem o grupo II. Considerando X^1 e X^2 juntamente, temos o vetor $X_{((p+q)x1)}$ e a matriz de covariância $\sum$ conforme apresentados na equação 3.6.3:

$$X_{((p+q)x1)} = \begin{matrix} X^1 \\ X^2 \end{matrix} = \begin{matrix} X^1_1 \\ X^1_p \\ X^2_1 \\ X^2_q \end{matrix} \qquad \sum = \begin{matrix} \sum 11_{(pxp)} & \sum 12_{(pxq)} \\ \sum 21_{(qxp)} & \sum 22_{(qxq)} \end{matrix} \qquad \textbf{(3.6.3)}$$

Assim, os pq elementos de $\sum_{12}$ medem a associação entre os dois grupos. O objetivo é concentrar a atenção em algumas poucas combinações lineares de variáveis pertencentes a X^1 e X^2, ao invés de se trabalhar com todas as covariâncias

contidas em $\sum_{12}$. Adotando-se a notação utilizada por ANDERSON (1984), sejam U e V, combinações lineares das variáveis X^1 e X^2, respectivamente definidas pela equação 3.6.4 e 3.6.5:

$$U = a'X^1 \qquad (\ U = a_1x_1^1 + a_2x_2^1 + ... + a_px_p^1\ ) \qquad \textbf{(3.6.4)}$$

$$V = b'X^2 \qquad (\ V = b_1x_1^2 + b_2x_2^2 + ... + b_qx_q^2\ ) \qquad \textbf{(3.6.5)}$$

em que: $a' = \lfloor a_1a_2...a_p \rfloor$ é o vetor 1 x p de pesos das características do grupo I; e $b' = \lfloor b_1b_2...b_q \rfloor$ é o vetor 1 x q de pesos das características do grupo II.

$$Var(U) = a'.Côv(X^1).a = a'.\sum_{11}.a$$

$$Var(V) = b'.Côv(X^2).b = b'.\sum_{22}.b$$

$$Cov(U,V) = a'Cov(X^1, X^2)b = a'\sum_{12}b$$

Define-se como a primeira correlação canônica (r_1) aquela que maximiza a relação entre U_1 e V_1. As funções U_1 e V_1 constituem o primeiro par canônico associado àquela correlação canônica que é expressa pela equação 3.6.6:

$$r_1 = Corr(U_k, V_k) = \frac{a'\sum_{12}b}{\left(\sqrt{a'\sum_{11}a}\right)\left(\sqrt{b'\sum_{22}b}\right)} = \sqrt{\lambda_k} \qquad \textbf{(3.6.6)}$$

O primeiro par de variáveis canônicas é o par de combinações linear U_1,V_1 tendo variância igual a 1, que maximiza a correlação. O k par de variáveis canônicas é o par de combinações linear U^k,V^k tendo variância igual a 1, que maximiza a correlação entre todas escolhas que não são correlacionadas com os pares de variáveis canônicas anteriores (k-l). Aqui, λ_k são os autovalores. Para os casos em que se utilizam variáveis padronizadas, têm-se $\sum_{11} = R_{11}$, $\sum_{22} = R_{22}$ e $\sum_{12} = R_{12}$, em que R representa uma matriz de correlações $R = \begin{matrix} R_{11} & R_{12} \\ R_{21} & R_{22} \end{matrix}$.

O primeiro passo é a determinação dos autovalores que podem ser obtidos pela equação $\left| R_{11}^{-1}R_{12}R_{22}^{-1}R_{21} - \lambda.I \right| = 0$. Na seqüência calculam-se os autovetores (a e b) que seguem diretamente da equação do autovalor $R_{11}^{-1}R_{12}R_{22}^{-1}R_{21}.a = \lambda.a$ e $R_{22}^{-1}R_{21}R_{11}^{-1}R_{12}.b = \lambda.b$. A primeira correlação canônica entre a combinação linear das características dos grupos I e II é dada por $r_1 = \sqrt{\lambda_1}$, em que λ_1 é o maior autovalor

da matriz $R_{11}^{-1}R_{12}R_{22}^{-1}R_{21}$, que é quadrada e não simétrica. As demais correlações e fatores canônicos são estimados utilizando-se os autovalores e os autovetores das expressões descritas, de ordem correspondente a p ou q-ésima correlação estimada. O critério adotado para verificar a significância da hipótese de que todas as possíveis correlações canônicas são nulas (H_0: $r_1=r_2... r_s=0$), com s = menor (p ou q) e n= número de observações, pode ser avaliado pelo teste aproximado de χ^2 (TRUGILHO, *et al*., 2003), dado pela equação 3.6.7:

$$\chi^2 = -[n - 0{,}5(p+q+3)]\log_e \prod_{i=1}^{s}\left(1 - r_i^2\right) \qquad \textbf{(3.6.7)}$$

A estatística está associada a pq graus de liberdade. Se a hipótese é rejeitada, testa-se a hipótese H_0: $r_1 \neq 0$, $r_2 \neq 0$... $r_k \neq 0$ e $r_{k+1}= r_{k+2}=... r_s=0$, por meio da equação 3.6.8:

$$\chi^2 = -[n - 0{,}5(p+q+3)]\log_e \prod_{i=k+1}^{s}\left(1 - r_i^2\right) \qquad \textbf{(3.6.8)}$$

que esta associado a χ^2 com (p-k)(p-k) graus de liberdade. Somente as raízes estatisticamente significativas devem ser usadas para subseqüentes estudos sobre pares canônicos.

3.6.2.2 Interpretação da ACC

Os coeficientes de correlação canônica (r) são as raízes quadrada dos autovalores $\left(r_k = \sqrt{\lambda_k}\right)$ e podem ser interpretados como coeficientes de correlação. Sendo as correlações associadas as variáveis canônicas, estas são chamadas de correlações canônicas. Como índice para controle do grau de correlação canônica entre os dois grupos de variáveis, é usual adotar o maior coeficiente de correlação. Entretanto, as outras variáveis canônicas também podem ser significativas e fornecer interpretações.

Os autovalores (λ) podem ser interpretados como a parcela de variância compartilhada entre as respectivas variáveis canônicas.

Aos coeficientes de cada função canônica denominam-se coeficientes canônicos (ou canonical loading) mede a correlação linear simples entre uma

variável original observada no grupo I ou II e o par canônico. Esse coeficiente reflete a variância que a variável observada compartilha com o par ou variável canônica. Quanto maior o coeficiente canônico, maior é a importância da variável no grupo.

O quadrado do coeficiente de correlação canônica pode ser usado para estimar a parcela de variância compartilhada pelas variáveis canônicas em cada grupo. Se o grupo I tem p variáveis e o grupo II q variáveis, r^2 é a correlação canônica ao quadrado; multiplicando esse valor pela parcela da variância extraída (equação 3.6.9 e 3.6.10), obtem-se a estimativa chamada "redundância", ou seja, quão superpostas são as variáveis dos grupos.

Redundância $_{\text{grupo I}} = \left[\sum \left(coeficientes^2_{grupoI}\right) / p\right] * r^2$ **(3.6.9)**

Redundância $_{\text{grupo II}} = \left[\sum \left(coeficientes^2_{grupoII}\right) / q\right] * r^2$ **(3.6.10)**

A redundância pode ser útil para avaliar a significância pratica das raízes canônicas. Com amostras grandes, correlações canônicas próximas de r = 0,30 podem ser estatisticamente significativas. O quadrado deste coeficiente (r^2 = 0,09) usado na expressão de redundância indicaria que as raízes canônicas são responsáveis somente por um pouco de variabilidade nas variáveis. A avaliação da significância é subjetiva por natureza. Mas, para avaliar a participação de uma raiz canônica na variância (ou, nas variáveis), é importante a medida de redundância, ou seja, quanto de variabilidade em um grupo é explicado pelo outro.

3.7 VALIDAÇÃO DOS DADOS

Antes de analisar os resultados realizou-se um pré-tratamento dos dados de forma a garantir a qualidade das informações obtidas. Esta validação dos dados permite eliminar valores errôneos devido a não real variabilidade das propriedades medidas, o que levaria as más interpretações.

Quando identificado um outlier, este foi checado e eliminado caso verificado comprometimento dos dados. Os outlier representam valores esporádicos que não representam à base de dados como um todo, mas sim um evento que pode ter sido realmente medido, porém único, ou uma contaminação na medida. Amostras que apresentaram outlier para vários elementos foram eliminadas do banco de dados. Após a identificação dos outlier, realizou-se a análise descritiva dos dados.

Para que a análise de componentes principais (ACP) e análise de correlação canônica (ACC) sejam bem sucedidas, é necessário que se tenha o maior número de variáveis completas possíveis. Os valores faltantes (missing) no banco de dados podem ser estimados. Segundo CASTANHO (1999) pode-se estimar até no máximo 25% de valores faltantes de uma variável, sem correr o risco de alterações significativas na tendência média dos dados.

Os valores faltantes foram estimados por regressão linear (múltipla ou simples) entre a variável estudada contra as variáveis que estejam completas. Todas as variáveis com valores estimados apresentaram um modelo estatístico adequado, ou seja, correlação significativa com as variáveis de referência e distribuição normal e constante dos resíduos. As variáveis que possuíam até 10 % dos valores faltantes foram estimadas. Variáveis que apresentaram concentrações menores que 1,0 ng m^{-3} e valores faltantes não foram incluídas nas análises de ACP e ACC.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Concentração das partículas de MPG e MPF

A Tabela 03 mostra os valores das médias, desvios padrões, mínimos e máximos das partículas inaláveis (PM_{10}), finas (MPF) e grossas (MPG). As concentrações das partículas PM_{10} correspondem a soma das partículas finas e grossas. A diferença em concentração de partículas atmosféricas em função da sazonalidade pode ser notada. Testes de comparação entre os valores obtidos em ambas as estações foram realizados através da ANOVA, cujos cálculos encontram-se disponíveis no Apêndice A. Os testes mostram que existem diferenças estatisticamente significativas (α=0,05) nas concentrações das partículas PM_{10}, MPF e MPG entre as estações.

Tabela 3 - Concentrações ($\mu g\ m^{-3}$) das partículas inaláveis (PM_{10}), partículas finas (MPF) e partículas grossas (MPG) obtidas na campanha de amostragem realizada em Cuiabá-MT no período de 1992 a 1994.

	Média	DP	Mín.	Máx.	n
Estação Seca	(de Junho a Outubro)				
PM_{10}	39,06	20,16	7,57	96,75	76
MPF	14,10	9,78	2,23	48,78	76
MPG	24,95	13,69	2,37	62,97	76
Estação Úmida	(de Novembro a Maio)				
PM_{10}	14,90	6,83	5,45	33,94	65
MPF	3,63	2,06	0,89	10,03	65
MPG	11,26	5,61	4,09	26,24	65
Total					
PM_{10}	27,93	19,59	5,45	96,75	141
MPF	9,28	8,98	0,89	48,78	141
MPG	18,64	12,72	2,37	62,97	141

DP = Desvio Padrão; n = Número de amostras.
PM_{10} = Soma MPF e MPG

As concentrações médias das partículas finas e grossas na estação seca foram respectivamente, 4 e 2,2 vezes maiores do que na estação úmida. Essa diferença, possivelmente esta relacionada às condições meteorológicas, devido o padrão de precipitação e a intensificação das atividades de desflorestamento, principalmente através do fogo, que representa uma importante fonte de partículas para atmosfera.

Com base nas médias aritméticas totais, os resultados indicam que cerca de 33% da massa do MP_{10} em Cuiabá é constituída de partículas finas e o restante (66%) de partículas grossas. Isto indica que a fração grossa do particulado em Cuiabá representa uma parcela significativa do particulado inalável durante as duas estações do ano. Diferente de centros urbanos e regiões com intensas práticas de queima de biomassa, que em algumas estações a fração fina é predominante no particulado inalável (MAENHAUT *et al*., 2002; ARTAXO *et al*., 2002, ARTAXO *et al*., 2005; CASTANHO, 1999).

A concentração média total de 27,93 μg m^{-3} para o $PM_{10,}$ referente a toda campanha de amostragem, esta próxima aos valores de background - entre 10 a 20 μg m^{-3} - que foram observados em amostras não impactadas diretamente pela queima de biomassa em regiões da Bacia Amazônica, (ARTAXO *et a*l., 2000). Mesmo assim, picos com níveis relativamente altos (70-100 μg m^{-3}) foram encontrados especificamente na estação seca.

É possível observar na Figura 05 a variabilidade nas concentrações do particulado na estação seca, com máximas registradas entre os meses de agosto e setembro. Concentrações bem superiores a essas, de aproximadamente 400- 600 μg m^{-3}, foram obtidas durante a estação seca em Alta Floresta - norte do estado de Mato Grosso, e em Rondônia por ARTAXO *et al*. (2002). Partículas de aerossóis emitidas pelas queimadas, com um tempo de residência na atmosfera da ordem de uma semana, durante a estação seca, compõem uma espessa camada de fumaça sobre as regiões Norte e Centro Oeste do Brasil e podem ser transportadas para regiões distantes das fontes emissoras, (FREITAS *et al*., 2005). Altas concentrações de partículas atmosféricas durante a estação seca resultantes de queimadas não ocorrem somente em Alta Floresta ou Rondônia, mas a fumaça estende sobre uma grande área, acima de 5-8 milhões km^2 (ARTAXO *et al*., 2002). Os efeitos destas emissões excedem, portanto, a escala local e afetam regiões distantes das fontes em escalas regionais e globais.

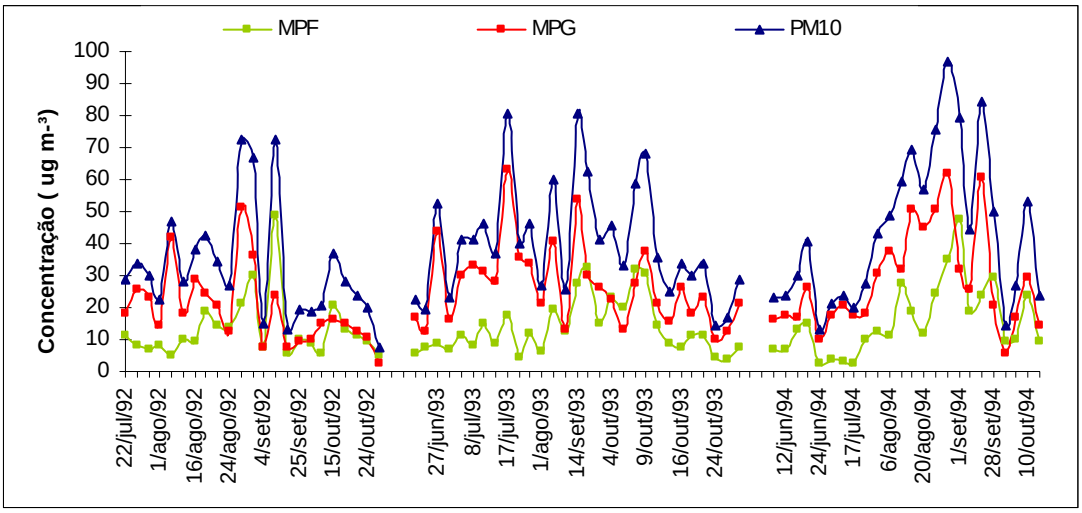


Figura 5 - Variação da concentração de material particulado inalável (PM_{10}), fino (MPF), grosso (MPG) de Cuiabá, no período da estação seca de 1992 a 1994.

As concentrações típicas (ou backgroud) para o MPF e MPG na estação seca estão na faixa de 7-10 e 15-20 µg m^{-3} respectivamente, porém os picos chegam a valores próximos 50 µg m^{-3} para as partículas finas e 65 µg m^{-3} para as grossas.

Geralmente em regiões intensamente impactadas por atividade antropogênicas, a maior fração da massa do particulado atmosférico compreende de partículas finas. Apesar das partículas grossa dominarem a massa do particulado de Cuiabá, é possível observar na Figura 5 algumas ocorrências onde a massa do MPF foi superior ou igual a massa do MPG. As partículas finas são reconhecidas como as mais efetivas sobre os impactos ambientais e sobre a saúde humana, (MORISHITA *et al*., 2006).

A Figura 6 apresenta a variabilidade nas concentrações do particulado na estação úmida. Os maiores valores foram obtidos entre os meses de abril e maio, que são os meses que representam o final da estação e apresentam como característica a redução da precipitação com relação aos meses anteriores.

temperatura do ar, que são importantes parâmetros que afetam a eficiência do fogo, principal fonte de aerossóis na região, (ECHALAR *et al*., 1998).

4.2 Concentração elementar do MPG e MPF

4.2.1 Concentração elementar do MPG e MPF – estação seca

A Tabela 04 mostra as concentrações médias, desvios padrões, mínimos e máximos para 47 elementos detectados por PIXE/INAA e black carbon medidos nas frações grossas dos particulados amostrados na estação seca.

Nesta fração, três elementos (Al, Si e Fe) apresentaram concentrações médias na faixa de 1000 ng m^{-3} com máximas alcançando 4000 ng m^{-3}. K e Ca também mostraram concentrações superiores a 1000 ng m^{-3}, porém as médias permaneceram entre 443 e 363 μg m^{-3} respectivamente. Concentrações de Na, Mg, S, Ti apresentaram na faixa de centenas de ng m^{-3}. Os metais que são frequentemente incluídos em programas de monitoramento ambiental (Mn, Cu, Zn, Pb, Cd, Ni e Co) oscilaram entre 0,02 a 18,59 ng m^{-3}.

Os elementos medidos constituem 31% da massa do MPG. Na Figura 07 é possível observar os elementos mais representativos na massa do particulado grosso. Si, Al e Fe - elementos típicos da crosta - dominam a fração grossa do particulado na estação seca representando 22% da massa. Em menores proporções aparem os elementos BC, K, e Ca que representam 6,6% da massa. Os demais elementos listados contribuem com uma parcela muito pequena (<0,01%) da massa MPG.

Tabela 4 - Concentrações elementares médias (em ng m^{-3}) obtidas para o material particulado grosso na campanha de amostragem realizada no período da estação seca em Cuiabá de 1992 a 1994.

	Média	Dp	Mín.	Máx.	n		Média	Dp	Mín.	Máx.	n
MPG[a]	24,95	13,69	2,37	62,97	76	**Br**	2,45	1,65	0,74	6,90	30
BC[a]	0,82	0,43	0,18	1,98	41	**Rb**	2,88	1,54	0,74	6,72	67
Na	72,70	38,18	12,02	204,10	74	**Sr**	2,17	1,14	0,59	5,17	48
Mg	131,95	78,36	34,59	401,40	68	**Y**	0,35		0,35	0,35	1
Al	1698,24	946,35	67,70	4054,00	76	**Zr**	3,74	2,07	0,73	9,85	71
Si	2309,98	1206,64	129,20	5458,00	76	**Nb**	1,14	0,27	0,95	1,33	2
P	25,19	9,76	7,38	47,72	74	**Mo**	0,16	0,07	0,05	0,29	26
S	135,93	95,44	27,84	430,50	75	**Ag**	0,54	0,40	0,15	0,94	3
Cl	34,27	18,82	3,70	98,95	76	**Cd**	0,26	0,12	0,10	0,52	11
K	443,57	263,50	33,42	1122,00	76	**In**	0,003	0,002	0,001	0,007	36
Ca	363,31	235,98	23,75	1203,00	75	**Sn**	24,72	32,66	5,39	73,42	4
Sc	0,26	0,15	0,01	0,68	76	**Sb**	0,09	0,07	0,01	0,32	75

Ti	85,12	51,24	3,84	272,50	76	**I**	0,49	0,45	0,07	1,72	70
V	3,24	1,97	0,16	10,93	76	**Cs**	0,10	0,06	0,02	0,26	72
Cr	2,68	1,43	0,46	6,09	37	**Ba**	14,62	8,14	3,43	47,98	73
Mn	12,96	8,40	0,53	46,90	76	**La**	0,73	0,41	0,03	2,02	76
Fe	1538,32	821,02	113,40	4393,00	76	**Ce**	1,91	1,00	0,48	4,97	56
Co	0,18	0,10	0,02	0,50	74	**Sm**	0,12	0,07	0,00	0,32	76
Ni	0,87	0,42	0,30	2,18	33	**Eu**	0,03	0,02	0,01	0,09	61
Cu	1,95	1,25	0,24	6,37	76	**Lu**	0,014	0,007	0,002	0,030	69
Zn	6,08	3,70	0,77	18,59	76	**W**	0,06	0,03	0,01	0,17	73
Ga	0,39	0,22	0,02	1,02	75	**Au**	0,001	0,000	0,000	0,002	38
Ge	0,45	0,16	0,32	0,67	4	**Pb**	3,78	2,04	0,70	9,35	71
As	0,39	0,26	0,04	1,16	70	**Th**	0,35	0,20	0,02	0,97	76
Se	0,24	0,13	0,07	0,59	28						

([a]) Valores em µg m^{-3}; DP = Desvio padrão ; n = Número de amostras.

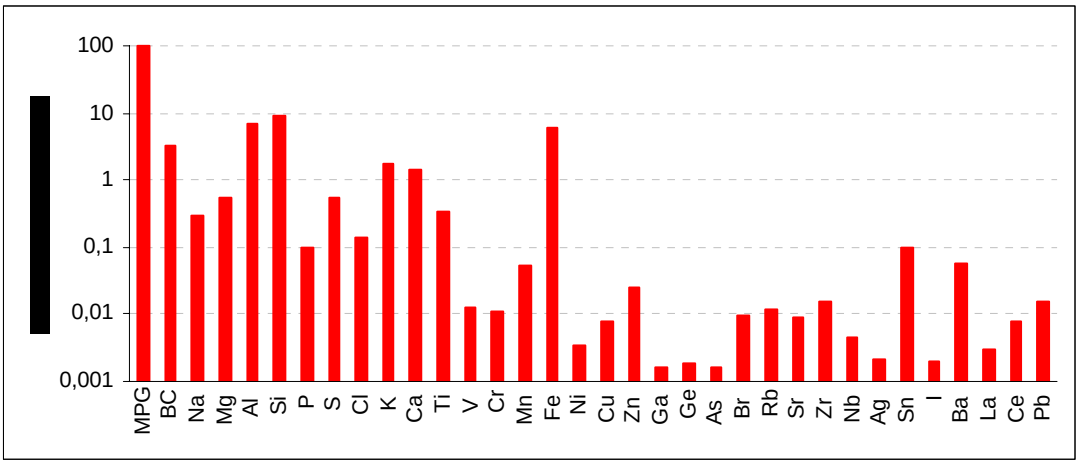


Figura 7 - Fração das concentrações elementares, com relação ao particulado grosso, obtido para o período seco de 1992 a 1994 em Cuiabá-MT.

A Tabela 05 mostra as concentrações médias, desvios padrões, mínimos e máximos para 45 elementos e black carbon medidos nas frações finas dos particulados amostrados na estação seca.

Tabela 5 - Concentrações elementares médias (em ng m^{-3}) obtidas para o material particulado fino na campanha de amostragem realizada no período da estação seca em Cuiabá de 1992 a 1994.

	Média	Dp	Mín.	Máx.	n		Média	Dp	Mín.	Máx.	n
MPF[a]	14,10	9,78	2,23	48,78	76	**Se**	0,20	0,10	0,04	0,33	10
BC[a]	2,36	1,43	0,42	7,46	76	**Br**	3,99	2,52	0,56	13,76	69
Na	25,35	15,00	6,17	80,89	72	**Rb**	1,69	1,20	0,43	5,97	47
Mg	31,41	14,41	5,90	70,79	24	**Sr**	0,52		0,52	0,52	1
Al	113,37	63,39	9,70	285,40	76	**Zr**	0,59	0,23	0,35	1,05	10
Si	150,48	84,23	20,10	366,60	76	**Nb**	1,01		1,01	1,01	1
P	6,89	3,52	2,31	15,55	46	**Mo**	0,18		0,18	0,18	1
S	373,91	223,34	58,75	1012,00	76	**Ag**	0,05		0,05	0,05	1
Cl	13,06	8,37	2,61	36,78	65	**Cd**	0,33	0,18	0,07	0,71	15
K	330,39	211,24	49,72	946,00	76	**In**	0,001	0,001	0,000	0,003	13

Ca	20,37	10,79	3,92	60,48	75	**Sn**	5,72	2,99	1,96	10,39	8
Sc	0,02	0,01	0,00	0,05	75	**Sb**	0,27	0,18	0,04	1,05	76
Ti	6,90	3,89	0,55	18,03	76	**I**	1,34	0,80	0,15	3,55	75
V	0,64	0,45	0,09	1,95	74	**Cs**	0,03	0,01	0,01	0,06	34
Cr	2,93	1,73	0,89	7,00	12	**Ba**	1,52	0,63	0,40	3,06	32
Mn	1,23	0,66	0,12	2,92	76	**La**	0,06	0,03	0,02	0,13	74
Fe	152,45	91,11	15,10	430,50	76	**Ce**	0,89		0,89	0,89	1
Co	0,03	0,01	0,01	0,06	34	**Sm**	0,01	0,005	0,00	0,02	76
Ni	0,23	0,14	0,08	0,56	20	**W**	0,02	0,01	0,01	0,06	19
Cu	0,70	0,39	0,11	1,91	71	**Au**	0,001	0,000	0,000	0,001	48
Zn	4,11	2,17	0,86	8,83	76	**Pb**	2,12	1,26	0,37	6,02	72
Ga	0,05	0,02	0,01	0,11	40	**Th**	0,04	0,02	0,01	0,09	54
As	0,08	0,05	0,01	0,29	72						

([a]) Valores em $\mu g\ m^{-3}$; DP = Desvio Padrão ; n = Número de amostras.

BC foi a espécie que apresentou as maiores concentrações, variando entre 0,42 a 7,46 $\mu g\ m^{-3}$. Black carbon na fração fina do particulado é um bom traçador para emissões de queima de biomassa. Altos níveis de BC (acima de 7,0 $\mu g\ m^{-3}$) foram observados em regiões onde ocorrem intensas queimas de biomassa durante a estação seca (ARTAXO *et al*, 2000; MAENHAUT *et al*, 2002).

As concentrações médias dos elementos K e S encontram-se na faixa dos 300 ng m^{-3}, mas picos próximos a 1000 ng m^{-3} foram registrados. Concentrações de Al, Si, S, K, Fe encontram na faixa de varias centenas ng m^{-3}, enquanto as dos demais elementos oscilam entre 0,01 a 10 ng m^{-3}.

Os elementos listados na Tabela 05 contam em média com 26% da massa do MPF. Na Figura 08 é possível observar a representação desses elementos na massa do particulado fino da estação seca. O BC, elemento dominante na fração, representou 16,8% da massa do MPF. Este valor é bastante coerente com os obtidos em grandes centros urbanos como São Paulo, 22-28% (CASTANHO, 1999) e em centros urbanos de outros países como Itália, 15% (MADHAVI LATHA e BADARINATH, 2005).

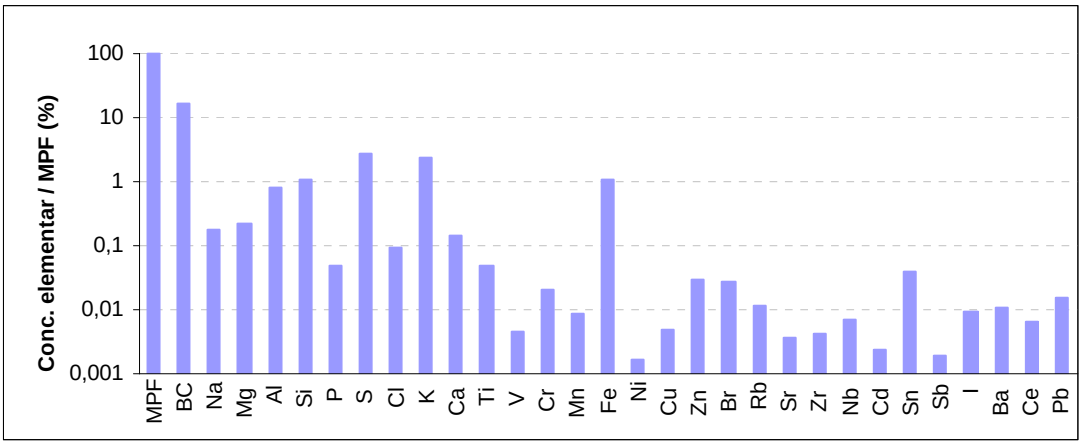


Figura 8 - Fração das concentrações elementares, com relação ao particulado fino, obtido para o período seco de 1992 a 1994 em Cuiabá-MT.

De um modo geral, as concentrações elementares médias obtidas neste estudo para as partículas grossas e finas no período seco 1992 a 1994 são comparáveis àquelas obtidas por EUCHALAR et al., (1998), que realizaram seus estudos sobre amostras coletadas em Cuiabá num período contínuo de 1990 a 1995.

A Figura 09 mostra a razão média entre MPF e MPG no período da seca. BC, S, Br, Sb e I foram os elementos mais representativos na fração fina do particulado. O black carbon possui maior concentração de massa no intervalo da fração fina, devido ao fato deste composto ser produto de combustão onde são formadas partículas finas, (CASTANHO, 1999). Os outros elementos geralmente estão associados ao BC, sugerindo que as emissões provêm de uma mesma fonte.

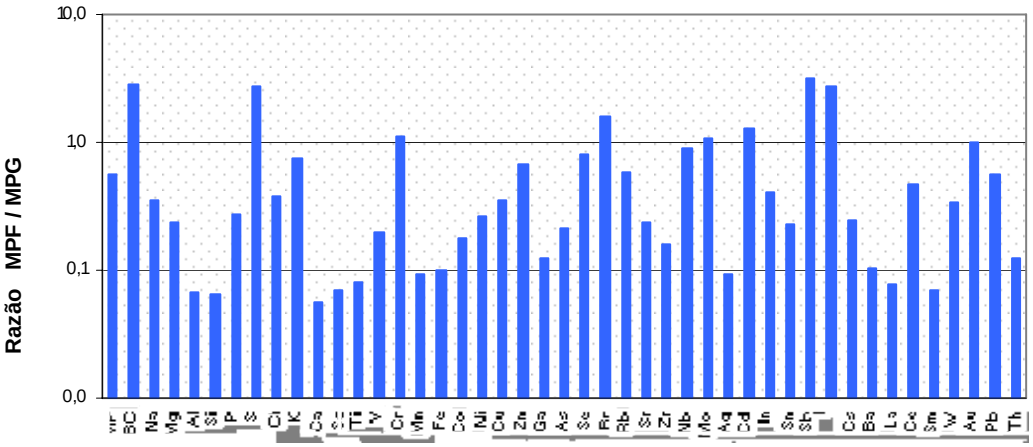


Figura 9 - Razão da concentração elementar média do material particulado fino (MPF) e grosso (MPG) da estação seca de 1992 a 1994.

Os elementos Al, Si, Ca, Sc, Ti, V, Mn, Fe, La, Sm e P têm razões inferiores a 0,1 demonstrando uma relação mais efetiva com fração grossa do material particulado. Geralmente as partículas presente nesta fração são geradas mecanicamente dos solos pela ação dos ventos.

4.2.2 Concentração elementar do MPG e MPF – estação úmida

Na Tabela 06 encontram-se as concentrações médias, desvios padrões, mínimos e máximos para 47 elementos e black carbon medidos nas frações grossas dos particulados amostrados na estação úmida.

Os elementos Al, Si e Fe apresentaram as maiores concentrações médias entre 600 a 800 ng m^{-3}, com máximas próximas a 2000 ng m^{-3}. As concentrações de K , Ca foram medidas na faixa de centenas de ng m^{-3}, com máximas atingindo valores próximas a 500 ng m^{-3}. Os valores médios para os demais elementos foram inferiores a 100 ng m^{-3}.

Tabela 6 - Concentrações elementares médias (em ng m^{-3}) obtidas para o material particulado grosso na campanha de amostragem realizada no período da estação úmida em Cuiabá de 1992 a 1994.

	Média	Dp	Mín.	Máx.	n		Média	Dp	Mín.	Máx.	n
MPG[a]	11,26	5,61	4,09	26,24	65	**Se**	0,08	0,04	0,04	0,21	20
BC[a]	0,27	0,14	0,09	0,65	54	**Br**	0,41	0,25	0,14	1,05	21
Na	41,20	32,26	5,47	138,90	65	**Rb**	0,98	0,57	0,24	2,55	60
Mg	46,26	25,59	9,41	127,20	58	**Sr**	0,57	0,26	0,14	1,28	29
Al	628,89	421,43	59,70	1883,00	64	**Zr**	1,45	0,88	0,20	4,30	60
Si	768,07	421,67	94,90	1924,00	60	**Nb**	0,45				1
P	20,40	6,67	6,25	46,80	65	**Mo**	0,07	0,04	0,02	0,22	29
S	68,03	40,77	17,59	174,40	65	**Ag**	0,07	0,03	0,05	0,09	2
Cl	19,15	12,94	4,85	57,86	64	**Cd**	0,13	0,09	0,05	0,35	14
K	159,84	71,11	58,64	353,50	60	**In**	0,00	0,00	0,00	0,00	41
Ca	146,79	88,49	15,32	450,40	62	**Sn**	5,10				1
Sc	0,08	0,05	0,01	0,21	62	**Sb**	0,04	0,03	0,01	0,12	63
Ti	30,24	22,83	2,82	104,50	65	**I**	0,09	0,04	0,02	0,22	54
V	1,28	0,80	0,18	3,70	60	**Cs**	0,04	0,03	0,00	0,11	62
Cr	0,94	0,47	0,34	2,00	39	**Ba**	5,87	3,59	1,33	17,14	64
Mn	4,04	2,69	0,57	11,97	65	**La**	0,26	0,17	0,02	0,76	64
Fe	777,81	485,79	70,40	2042,00	65	**Ce**	0,61	0,40	0,10	1,71	56
Co	0,07	0,04	0,01	0,17	63	**Sm**	0,042	0,026	0,004	0,121	63
Ni	0,55	0,37	0,11	1,51	19	**Eu**	0,011	0,006	0,003	0,031	54
Cu	0,91	0,55	0,18	2,60	65	**Lu**	0,005	0,003	0,001	0,013	63
Zn	2,95	1,68	0,77	7,77	65	**W**	0,025	0,016	0,007	0,082	62
Ga	0,16	0,10	0,03	0,48	63	**Au**	0,0002	0,0002	0,0000	0,0008	48
Ge	0,29	0,17	0,08	0,72	13	**Pb**	1,87	1,25	0,33	5,27	61
As	0,13	0,11	0,02	0,51	61	**Th**	0,13	0,08	0,02	0,33	61

([a])Valores em µg m^{-3}; DP = Desvio Padrão ; n = Número de amostras.

Os elementos medidos nesta estação constituem 26% da massa do MPG. Desse valor, aproximadamente 19% corresponde a massa elementar de Fe, Al e Si, 2,4% de BC, 2,8% de K e Ca, enquanto os demais elementos contribuem com valores inferiores a 0,01%. A representação desses elementos na massa do particulado grosso é mostrada na Figura 10.

BC e 44 elementos foram detectados na fração fina do material particulado na estação úmida. A Tabela 07 apresenta as concentrações médias, desvios padrões, mínimos e máximos dos elementos medidos no MPF desta estação.

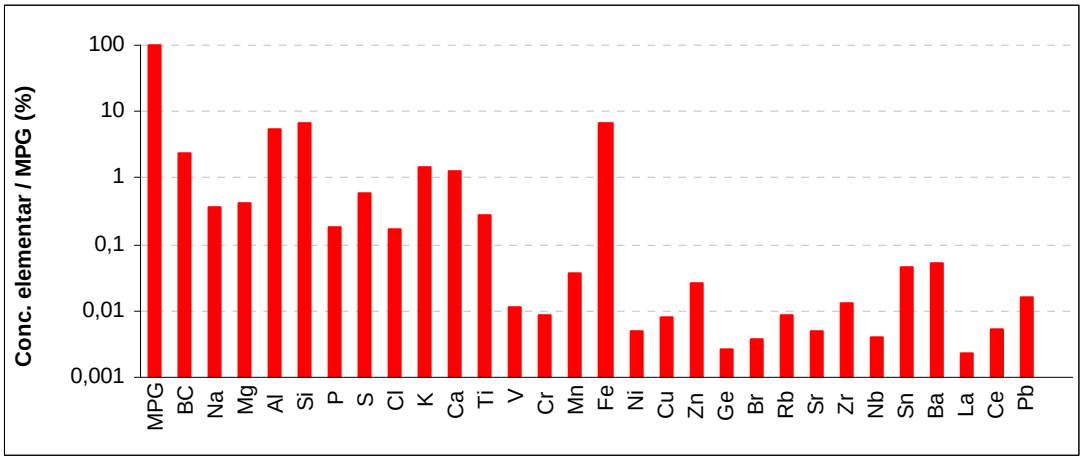


Figura 10 - Fração das concentrações elementares, com relação ao particulado grosso, obtido para o período úmido de 1992 a 1994 em Cuiabá-MT.

Tabela 7 Concentrações elementares médias obtidas para o material particulado fino na campanha de amostragem realizada no período da estação úmida em Cuiabá de 1992 a 1994.

	Média	DP	Mín.	Máx.	n		Média	DP	Mín.	Máx.	n
MPF[a]	3,64	2,07	0,89	10,03	65	**Se**	0,07	0,04	0,02	0,18	16
BC[a]	0,74	0,34	0,24	1,67	65	**Br**	0,81	0,43	0,23	2,39	50
Na	12,34	10,75	1,06	44,79	62	**Rb**	0,36	0,25	0,08	1,06	29
Mg	10,08	4,58	3,23	20,89	24	**Sr**	0,11	0,03	0,09	0,14	2
Al	46,38	27,31	9,30	119,30	63	**Zr**	0,37	0,27	0,09	0,90	7
Si	71,88	44,07	15,10	224,20	65	**Nb**	0,33		0,33	0,33	1
P	2,02	1,10	0,68	6,23	31	**Ag**	0,05	0,03	0,02	0,07	2
S	150,96	93,08	30,83	479,20	65	**Cd**	0,11	0,06	0,03	0,24	22
Cl	5,87	5,62	0,51	21,67	48	**In**	0,0006	0,0002	0,0001	0,0010	12
K	64,79	38,54	13,70	196,80	64	**Sn**	1,42	0,57	0,34	1,88	7
Ca	10,10	5,92	1,92	28,70	61	**Sb**	0,13	0,08	0,03	0,41	61
Sc	0,007	0,004	0,001	0,017	61	**I**	0,17	0,10	0,03	0,57	62
Ti	2,79	1,71	0,58	8,25	63	**Cs**	0,008	0,004	0,003	0,018	10
V	0,35	0,26	0,03	1,29	64	**Ba**	0,72	0,38	0,19	1,64	38
Cr	0,86	0,20	0,71	1,13	4	**La**	0,02	0,01	0,01	0,07	64
Mn	0,49	0,27	0,11	1,55	65	**Ce**	0,17		0,17	0,17	1
Fe	78,06	52,20	6,40	274,50	65	**Sm**	0,003	0,002	0,001	0,011	65

Co	0,014	0,007	0,004	0,031	35	**Eu**	0,004	0,000	0,003	0,004	2
Ni	0,11	0,06	0,02	0,30	21	**Lu**	0,002	0,001	0,001	0,003	3
Cu	0,39	0,20	0,09	1,00	62	**W**	0,006	0,003	0,002	0,015	20
Zn	1,62	0,93	0,35	5,00	65	**Au**	0,000	0,000	0,000	0,001	45
Ga	0,02	0,01	0,00	0,05	40	**Pb**	0,96	0,47	0,26	2,34	61
As	0,06	0,05	0,01	0,17	64	**Th**	0,01	0,01	0,00	0,04	54

([a])Valores em μg m^{-3}; DP = Desvio Padrão ; n = Número de amostras.

Novamente o BC medido na fração fina do particulado foi a espécie que apresentou as maiores concentrações, variando entre 0,24 a 1,67 μg m^{-3} e média de 0,74. Na estação úmida, o valor médio obtido para o BC por MAENHAUT *et al.* (2002) em Alta Floresta foi de 1,55 μg m^{-3}, o dobro do apresentado neste estudo. A segunda maior concentração elementar média foi do K de 150,96 ng m^{-3}. Os valores médios dos demais elementos foram inferiores a 100 μg m^{-3}.

Os elementos medidos correspondem em média com aproximadamente 33% da massa do MPF da estação úmida. A Figura 11 mostra a contribuição de cada elemento na massa do particulado fino. Somente o BC representa 20% dessa fração, enquanto o S, Al, Si, Fe e K representam 11%. Os demais elementos representam menos que 0,01 da massa do MPF.

Da mesma forma que a estação anterior, as concentrações elementares médias das partículas grossas e finas obtidas na estação úmida são comparáveis as obtidas por EUCHALAR et al., (1998).

A Figura 12 mostra a razão média entre MPF e MPG no período da estação úmida. BC, S, Br, Sb e I apresentaram razões superiores a 1,0 demonstrando uma maior relação com a fração fina do particulado. Por outro lado, os elementos Al, Si, Ca, Sc, Ti, V, Mn, Fe, La, Sm e P tiveram razões inferiores a 0,1 demonstrando uma associação mais efetiva com fração grossa do material particulado. A associação destes elementos com as frações fina e grossa são semelhantes em ambas as estações.

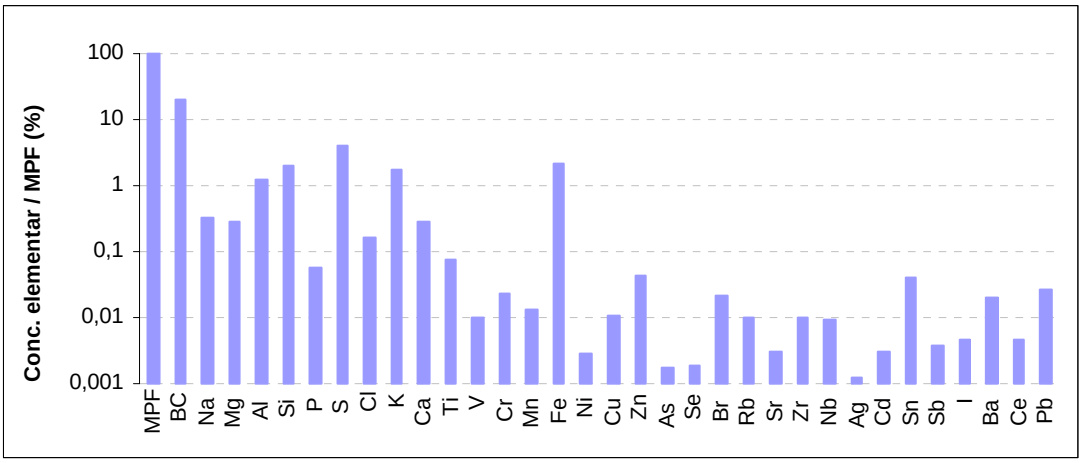


Figura 11 - Fração das concentrações elementares, com relação ao particulado fino, obtido para o período úmido de 1992 a 1994 em Cuiabá-MT.

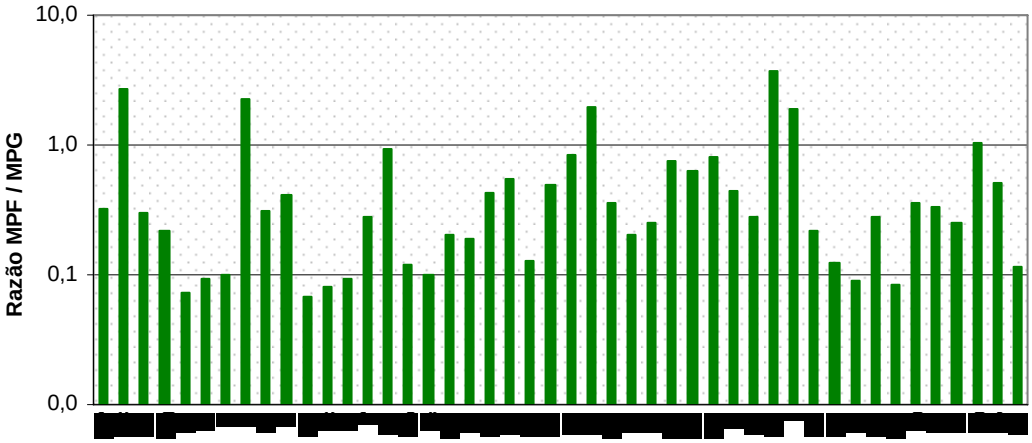


Figura 12 - Razão da concentração elementar média do material particulado fino (MPF) e grosso (MPG) da estação úmida de 1992 a 1994.

4.2.3 Comparação entre as concentrações elementares das partículas das estações seca e úmida.

As concentrações elementares foram maiores na estação seca que na estação úmida para ambas as frações do particulado (Figura 13 e 14). Baixas taxas de precipitação, que reduzem a deposição úmida e favorecem a ressuspensão da poeira do solo, juntamente com as intensas práticas de queimadas e desflorestamento, são importantes fatores favoráveis as maiores concentrações de partículas na estação seca.

Os elementos que caracterizaram o particulado grosso na estação seca foram praticamente os mesmos na estação úmida. As diferenças sazonais entre as

concentrações elementares na fração grossa foram mais pronunciadas para os elementos Br, I, Sr, Sn e Ag (razões estação seca/úmida maiores que 4).

Através dos valores médios sazonais de P podemos considerar que a variação deste elemento é praticamente constante na fração grossa. O P é um nutriente essencial ao ciclo biogeoquímico. Segundo ARTAXO *et al*. (2005), existem evidencias de que a produtividade primaria de florestas tropicais pode estar sendo limitada pela quantidade de fósforo, sendo possível que florestas tropicais não cresçam proporcionalmente ao aumento de dióxido de carbono atmosférico devido a forte limitação da quantidade de fósforo disponível. A natureza da mineralização de fósforo em solos é um fator que controla a sua disponibilidade ao ecossistema. A entrada atmosférica deste elemento em regiões tropicais pode ser uma fonte importante em regiões de solos de fertilidade pobre.

BC, K, Br, Rb, Sr, Sn, I e Ce foram os elementos que apresentaram expressivas diferenças sazonais na fração fina do particulado (razões estação seca/úmida de 4-8). Com exceção do Ce, os demais elementos estão associados a queima de biomassa que é intensa na estação seca. Ce é de especial interesse em recentes investigações de aerossol urbano por causa das possíveis emissões de conversores de automóveis, (SALMA e MAENHAUT, 2006).

Na fração fina do particulado os elementos Eu e Lu foram identificados somente na estação úmida, enquanto Mo e In somente na seca. Estes elementos são encontrados naturalmente na crosta terrestre, contudo, fontes artificiais de Mo e In podem ser devido ao uso destes metais em ligas metálicas, assim como catalisador na indústria petroquímica.

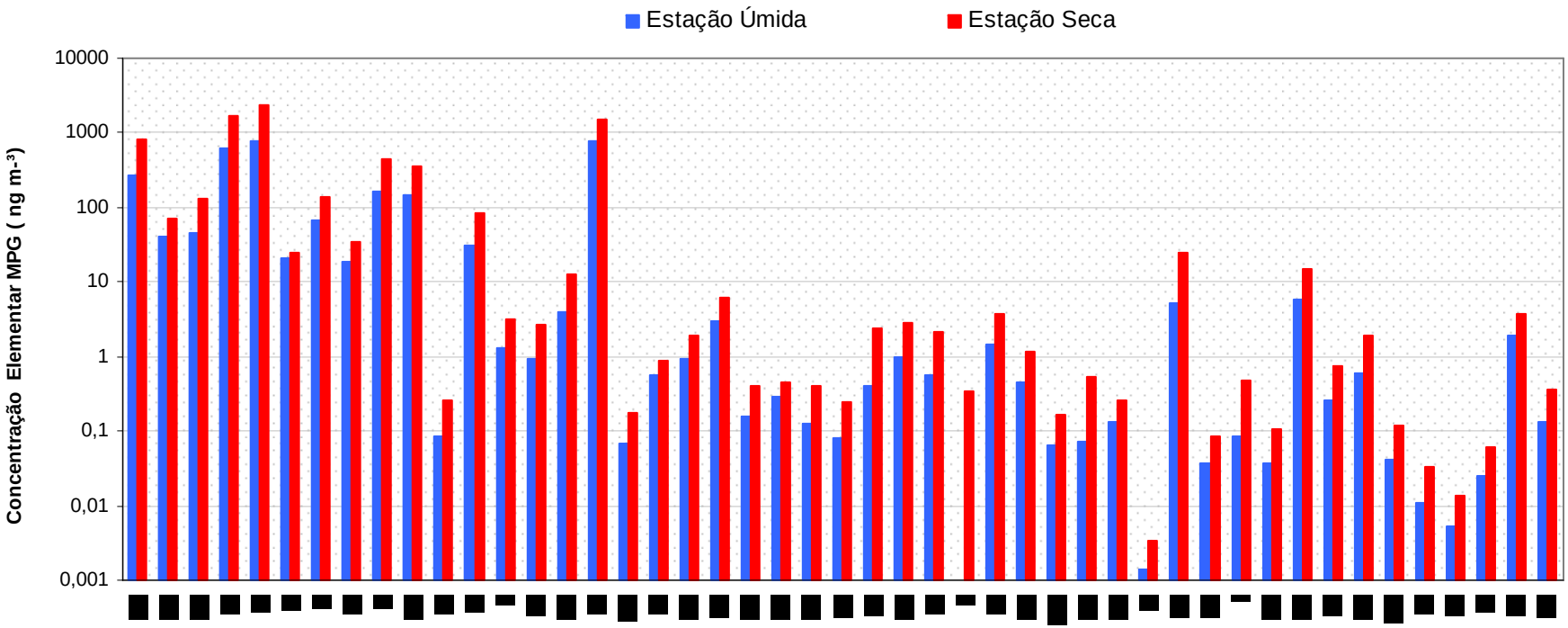
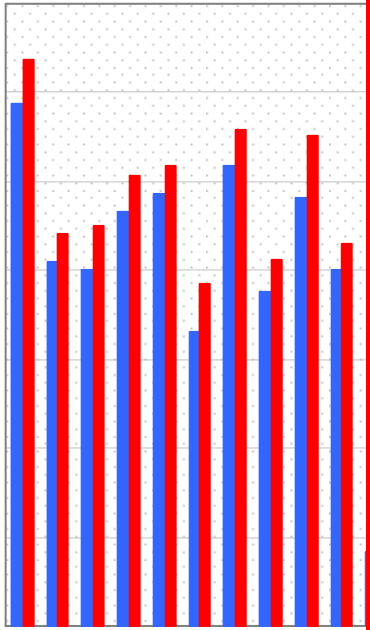


Figura 13 - Concentrações elementares, com relação ao particulado grosso (MPG) de Cuiabá, obtidas nas estações seca e úmida na campanha de amostragem de 1992-1994.



4.2.4 Fator de enriquecimento

Os fatores de enriquecimento médio calculado para os elementos medidos nas partículas finas e grossas da estação seca e úmida estão apresentados nas Figuras 15 e 16. Os valores estão na faixa de 1 a 100 para MPG e de 1 a 1000 para MPF.

Na fração grossa, os fatores de enriquecimento dos elementos S, As, Se, Ag, Cd, Sb, Ba e Pb foram superiores a 10 para as duas estações, sugerindo a contribuição de fontes de origem antropogênicas. As emissões antrópicas de S e Se podem estar relacionados com a queima de carvão nas regiões circunvizinhas ou até mesmo com a queima de biomassa, porém concentrações de Se em amostras de fumaça emitida diretamente da queima de vegetação do cerrado são baixas, ao nível de 0,003 ng m^{-3} (YAMASOE *et al.*, 2000). As é bastante utilizado em agroquímicos (herbicidas e desfolhantes). Sb, Ba, Cd e Pb podem estar relacionados com emissões veiculares e industriais.

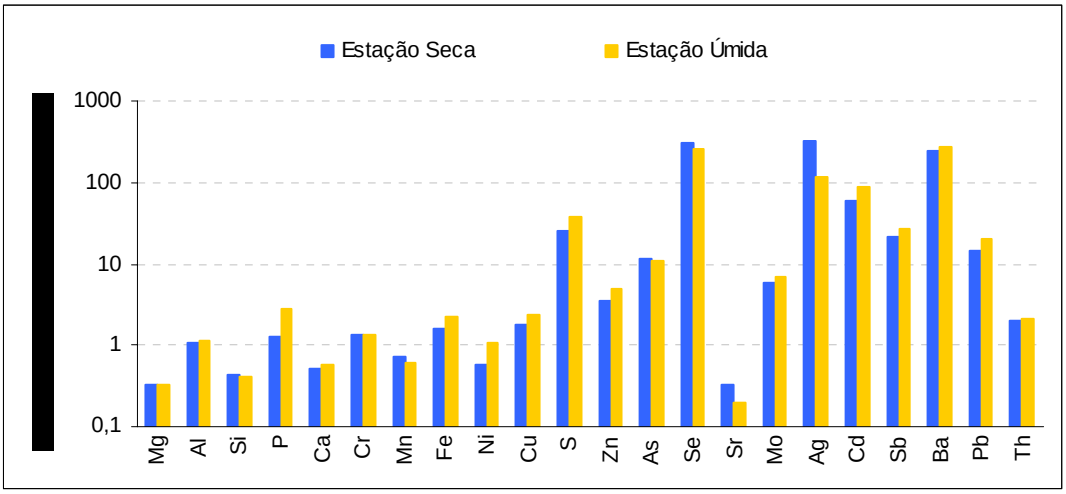


Figura 15 - Fator de enriquecimento para as concentrações elementares das partículas grossas do particulado amostrado durante a estação seca e úmida em Cuiabá-MT, no período de 1992 a 1993.

Na fração fina, fatores de enriquecimento maior que 10 foram obtidos para os elementos Cr, S, Se, Mo, Ag, Cd, Sb, Ba e Pb para ambas as estações seca e úmida. O elemento Cu apresentou um enriquecimento somente na estação úmida

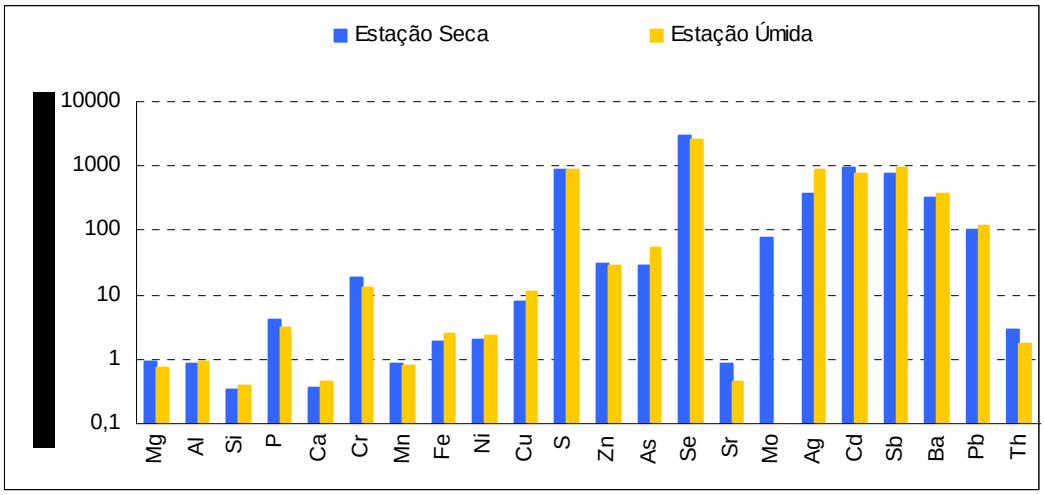


Figura 16 - Fator de enriquecimento para as concentrações elementares das partículas finas do particulado amostrado durante a estação seca e úmida em Cuiabá-MT, no período de 1992 a 1993.

4.3 Caracterização meteorológica

4.3.1 Caracterização da estação seca

Climatologicamente a estação seca do Brasil central é dominada por área de alta pressão com pouca precipitação, ventos calmos na baixa troposfera e com a convecção na bacia Amazônica deslocada para parte noroeste da América do Sul. Estas condições são associadas com o deslocamento para noroeste da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), com o movimento para norte da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), (FREITAS et al., 2005; DUBREUIL e MAITELLI, 2005). A Figura 17 apresenta as variações nas médias diárias da temperatura do ar e pressão atmosférica; umidade relativa e velocidade do vento; precipitação total; a freqüência e a velocidade média das direções dos ventos durante a estação seca.

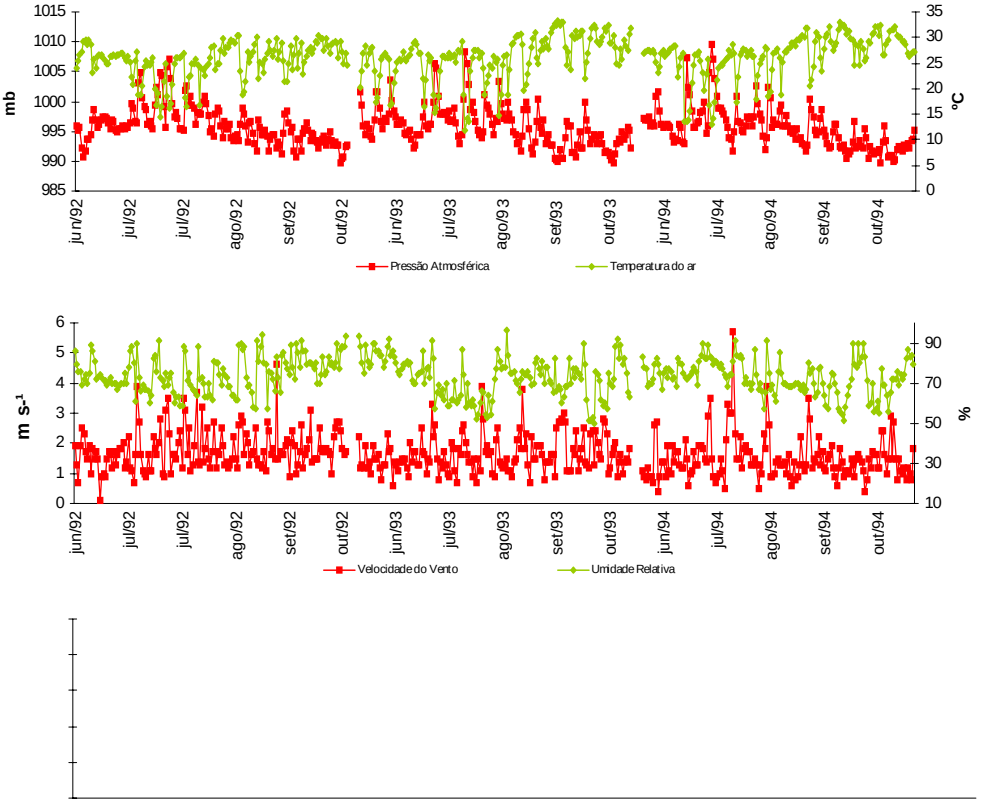
Temperaturas mais amenas abaixo de 15ºC, devido ao efeito da continentalidade e da influência das massas frias de origem polar, comum nos meses de junho e julho podem ser observadas na Figura 17. Nos meses de setembro e outubro, predominaram temperaturas superiores a 30ºC ocasionadas pela forte radiação solar uma vez que o sol no seu ca

A pressão atmosférica apresentou picos nos meses de julho seguidos de queda nos valores de temperatura, indicando provável entrada de frentes frias. Os valores oscilaram entre 989 a 1010 mb, com uma média de 996 mb.

A umidade relativa do ar é um parâmetro meteorológico que evidencia o tipo de massa de ar que está atuando sobre a região. A média foi de 74% e a variação durante todo o período seco amostrado foi de 50 a 96% sem grandes diferenças mensais.

A direção e a velocidade dos ventos propiciam o transporte e a dispersão dos poluentes atmosféricos, além de identificar sua trajetória e alcances possíveis. Os ventos na região são fracos, com velocidades médias diárias oscilando entre 0,1 a 5,7 m s^{-1}. Os ventos nas direções NE e SW foram os que apresentaram as maiores velocidades médias, porém os ventos dominantes foram na direção S com aproximadamente 30% de freqüência e N com 20%.

Esta estação é caracterizada pelos baixos índices pluviométricos que pode ser confirmado através da Figura 17. Segundo DUBREUIL e MAITELLI (2005), o mês de setembro é considerado como aquele que encerra a estação seca, com as chegada das primeiras chuvas iniciando no mês de outubro. Porém, no ano de 1992 e 1993 este padrão mostrou-se diferenciado, com chuvas iniciando em agosto. A repercussão do fenômeno El Ninõ Oscilação Sul (ENSO), com base nos dados das séries pluviométricas referentes ao período de 1983 a 1994 no Mato Grosso, demonstrou que em anos de El Niño muito forte, como os de 1990 a 1994, os extremos norte e noroeste sofreram diminuição da pluviosidade; enquanto no extremo sul as chuvas acompanham o padrão normal ou sofrem desvios positivos (TARIFA, 1998).


mb
1015
1010
1005
1000
995
990
985
°C
35
30
25
20
15
10
5
0
jun/92
jul/92
jul/92
ago/92
set/92
out/92
jun/93
jul/93
ago/93
set/93
out/93
jun/94
jul/94
ago/94
set/94
out/94
Pressão Atmosférica
Temperatura do ar
m s-1
6
5
4
3
2
1
0
%
90
70
50
30
10
Velocidade do Vento
Umidade Relativa

A temperatura do ar variou de 17–34 °C, com média próxima a 28° C. A pressão atmosférica mostrou um intervalo de variação inferior ao da estação seca (988-1001 mb). A umidade relativa do ar apresentou uma média de 81%, com os valores variando entre 60 e 97%. A precipitação pluviométrica total durante todo o período estudado foi 2956 mm, sendo que 86% desse valor encontra-se distribuído entre os meses de novembro e março.

As velocidades médias dos ventos nesta estação oscilaram entre 0,1 a 5,7 m s^{-1}. Os ventos nas direções NE e SW foram os que apresentaram as maiores velocidades médias, porém os ventos dominantes foram na direção N (32%) e S(16%).

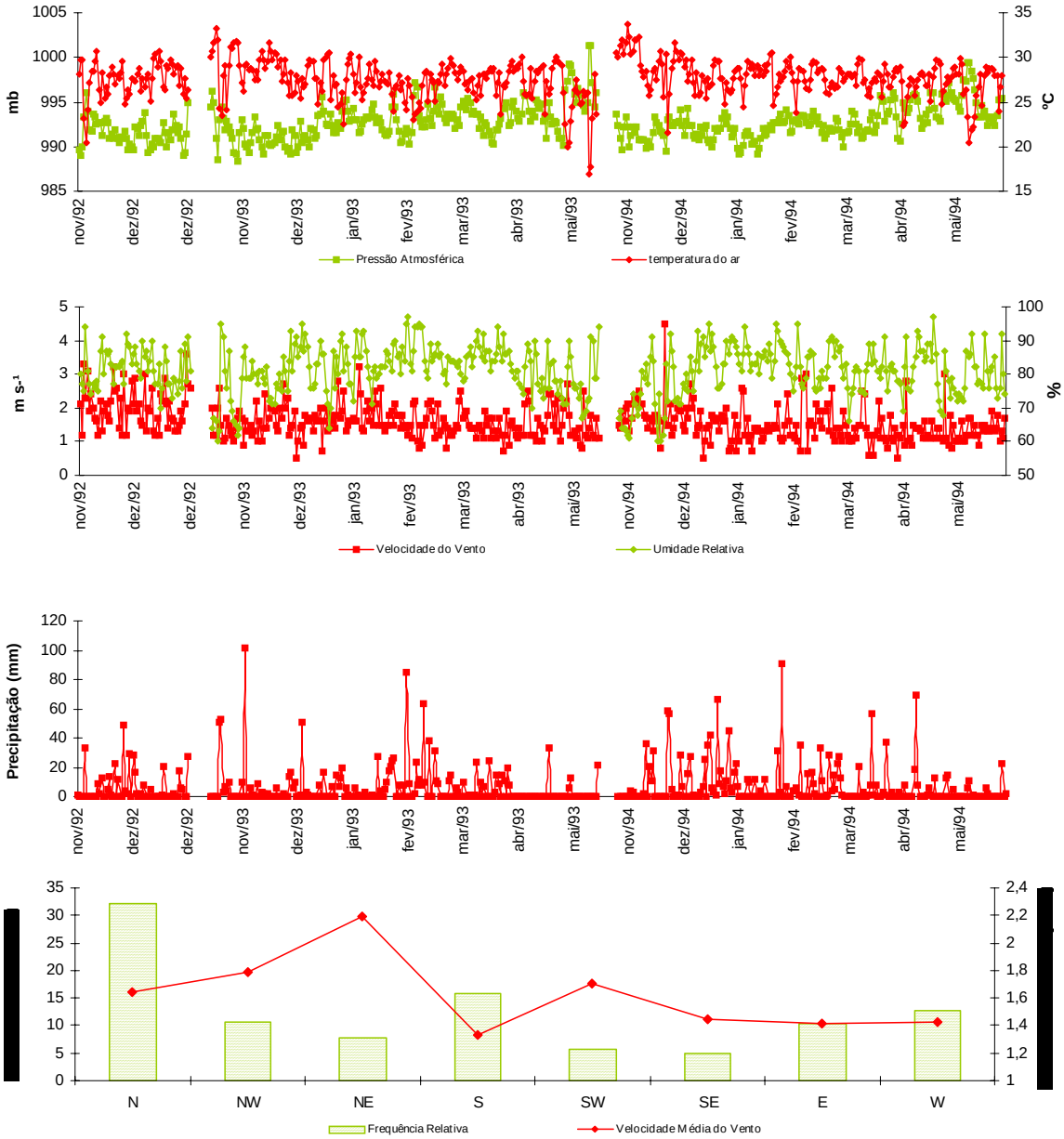


Figura 18 - Variações médias diárias na estação úmida de (a) pressão atmosférica e temperatura do ar e (b) velocidade do vento e umidade relativa, (c) precipitação total diária, (d) freqüência e velocidade média das direções dos ventos.

4.4 ANÁLISES DE COMPONENTES PRINCIPAIS

Neste capítulo são apresentados os resultados e discussões das análises de componentes principais. Primeiramente são apresentados os resultados das fontes de emissão obtidas para as partículas grossas na estação seca e úmida e as fontes de emissão das partículas finas, também separadamente para as duas estações. Em seguida são apresentados os resultados das análises de componentes principais na identificação dos regimes meteorológicos básicos da região, considerando as estações separadamente. Para finalizar, apresentamos os resultados das análises de correlação entre os "factor scores" dos componentes retidos da fração grossa e fina e os "factor scores" dos componentes meteorológicos.

4.4.1 Identificação de fontes de MPG na estação seca e úmida.

Os cálculos da análise de componente principal das partículas grossas foram realizados separadamente para estação seca e úmida. A base de dados para estação seca foi de 21 variáveis e 73 amostras e para estação úmida 26 e 56 respectivamente. Os resultados das análises são expressos em termos de matriz de peso (ou factor loading) que representa a relação entre cada variável original e o componente retido. Os componentes retidos representam uma fonte ou processo de formação, pelas variáveis com altos pesos. A Tabela 08 apresenta a matriz de "factor loading" para os dois componentes retidos na estação seca e os três componentes retidos na estação úmida após rotação VARIMAX. Os valores em negrito representam os factor loadings mais significativos.

As comunalidades listadas na Tabela 08 indicam a fração da variância que é explicada por cada variável. As variáveis apresentaram comunalidades maiores que 0,60 o que indica que os componentes obtidos explicam grande parte da variabilidade de cada variável.

Os dois componentes retidos na estação seca para as partículas grossas explicam 85,5 % da variância dos dados. O primeiro pode ser identificado como fonte de ressuspensão do solo, pois apresenta associação com Al, Si, Sc, Ti, Mn, Zr, La, Sm, Th, que são elementos característicos da composição do solo. Também os elementos K, V, Ba, Pb e massa de MPG estão correlacionados com este componente. A presença de Ba, V e Pb sugerem que poluição da área urbana de

Cuiabá pode também estar presente neste componente, principalmente devido ao enriquecimento do Ba e do Pb apresentado na Figura 15.

Tabela 8 - Matriz de "Fator Loadings" obtidas a partir da Análise de Componentes Principais da fração grossa do aerossol amostrado em Cuiabá-MT para os períodos da estação seca e úmida de 1992 a 1994 – Rotação VARIMAX.

	Estação Seca			Estação Úmida			
	Res. do solo	**Em. Biogênicas**	Com.	**Res. do solo**	**Poluição Urbana**	**Em. Biogênica**	Com.
Al	**0,93**	0,33	0,97	**0,94**	0,27	-0,10	0,97
Si	**0,89**	0,40	0,95	**0,94**	0,28	-0,03	0,96
P	0,09	**0,87**	0,76	-0,21	0,09	**0,85**	0,77
S	0,47	**0,65**	0,64	**0,69**	0,23	0,55	0,83
Cl	0,51	**0,67**	0,70	0,08	**0,80**	0,13	0,66
K	**0,87**	0,43	0,93	**0,94**	0,26	0,14	0,98
Ca	0,40	**0,75**	0,73	0,39	**0,68**	0,13	0,63
Sc	**0,92**	0,37	0,99	**0,94**	0,31	-0,08	0,99
Ti	**0,85**	0,44	0,92	**0,90**	0,37	-0,07	0,95
V	**0,77**	0,53	0,88	**0,91**	0,28	0,11	0,93
Mn	**0,66**	**0,63**	0,84	**0,91**	0,36	0,07	0,96
Fe	**0,88**	0,40	0,94	**0,97**	0,14	-0,06	0,97
Co				**0,92**	0,32	0,06	0,95
Cu	0,53	**0,64**	0,69	**0,81**	0,35	0,35	0,89
Zn	0,41	**0,78**	0,78	**0,73**	0,41	0,44	0,89
Ga				**0,93**	0,23	-0,05	0,91
As				0,33	**0,78**	-0,27	0,79
Rb				**0,90**	0,19	-0,08	0,86
Sb				0,29	**0,72**	0,31	0,7
Zr	**0,82**	0,33	0,77				
Ba	**0,81**	0,49	0,89	**0,92**	0,15	0,22	0,91
La	**0,93**	0,33	0,98	**0,95**	0,28	-0,03	0,98
Sm	**0,92**	0,37	0,98	**0,95**	0,27	-0,02	0,99
Lu				**0,95**	0,23	-0,08	0,96
Pb	**0,70**	0,44	0,69	**0,86**	0,22	0,25	0,84
Th	**0,94**	0,31	0,98	**0,97**	0,18	-0,07	0,98
MPG	**0,80**	0,55	0,94	**0,92**	0,35	0,14	0,98
Autovalor	16,5	1,4		19,84	2,04	1,33	
Variância (%)	56,8	28,7		67,65	14,86	6,75	
Var. Acum	56,8	85,5		67,5	82,4	89,3	

com=comunalidades

O segundo componente pode ser rapidamente identificado como fonte de emissões biogênicas, devido o alto peso (0,84) do P associado com os elementos S, Cl, Ca, Mn, Cu e Zn. Os elementos P, S, Zn e K são essenciais em plantas superiores, estando presentes nos fluidos circulantes na planta e liberados das folhas para atmosfera durante a gutação e transpiração (ARTAXO e HANSSON, 1995). Os elementos Cl, Cu e Mn são micronutrientes encontrados em plantas e geralmente

estão presentes em baixas concentrações. GUYON *et al* (2004) encontraram dois prováveis componentes de origem biogênica correlacionado com a fração grossa, estando o primeiro associado com os elementos P, S, K, Cu e Zn e o segundo com Cl, K e Ca.

Os três componentes retidos na estação úmida, explicam 89,3 % da variância dos dados. O primeiro componente apresentou altos pesos variando de 0,73 a 0,97 para 20 variáveis (Al, Si, K, Ti, V, Mn, Fe, Co, Cu, Zn, Ga, Rb, Ba, La, Sm, Lu, Pb, Th e massa MPG). A alta associação destas variáveis com o componente sugere que elas procedem de uma mesma fonte. Como grande parte das variáveis representa os elementos típicos da crosta, o primeiro componente pode ser atribuído a fonte de ressuspensão do solo. Porém, não se descarta a possibilidade de outras fontes estarem dentro desse componente, uma vez que o enriquecimento dos elementos como Ba e Pb sugerem a possível influência de fontes antropogênicas. Portanto, da mesma forma que na estação seca, a poluição urbana pode estar incluída neste componente. CASTANHO (1999) também identificou um componente de ressuspensão do solo com a presença de elementos contaminantes como Cu, Zn, Pb, V, Ni, Mn e S na fração grossa do aerossol amostrado na área urbana de São Paulo.

Cl, Ca, As e Sb são as variáveis que estão altamente associadas com o segundo componente da estação úmida. Uma fonte de emissão clara para este componente não foi encontrada. Entretanto, para o aerossol de Cuiabá, uma distribuição das fontes já foi realizada por EUCHALAR *et al.* (1998), durante o período de 1992 a 1995. Com uma rede de dados compreendendo menos elementos que este trabalho, eles obtiveram para a fração grossa na estação úmida um componente associado com Cl e Ca que identificaram como fonte de poluição urbana. Esta fonte foi responsável por aproximadamente um quarto da massa das partículas grossas. Como o As e o Sb apresentaram um enriquecimento na fração grossa (Figura 15), este componente pode ser representado como fonte de poluição urbana.

O último componente da estação úmida, tem somente o elemento P com alto peso (0,85), contudo um baixo, mas significativo peso para S (0,55) e Zn (0,44) é observado, permitindo a identificação deste componente como fonte de emissão biogênica. A componente de partículas biogênicas na fração grossa do material

particulado tem origem natural, são emitidas diretamente pelas plantas e estas partículas são excelentes núcleos de condensação de nuvens pelo seu tamanho da ordem de 10 a 20 μm, (ARTAXO *et al*., 2005).

4.4.2 Identificação de fontes de MPF na estação seca e úmida

Da mesma forma, os cálculos da análise de componente principal das partículas finas foram realizados separadamente para estação seca e úmida. A base de dados para estação seca foi de 18 variáveis e 70 amostras e para estação úmida 19 e 61 respectivamente. Os resultados das análises são expressos em termos de matriz de pesos (ou factor loading). Os componentes retidos representam uma fonte ou processo de formação, pelas variáveis com altos pesos. A Tabela 09 apresenta a matriz de "factor loading" para os três componentes retidos na estação seca e os quatro componentes retidos na estação úmida após rotação VARIMAX. Os valores em negrito representam os componentes loadings mais significativos.

As variáveis apresentaram comunalidades entre 0,60 - 0,96 para estação seca e 0,73 – 0,98 para estação úmida o que significa que os modelos são adequados a todas as variáveis.

Os três componentes obtidos na estação seca para as partículas finas explicam 78,8 % da variância dos dados. BC, S, K, Zn, Br, I e massa de MPF foram as variáveis associados com primeiro componente que pode ser classificado como fonte de queima de biomassa, uma vez que a presença de BC, K e S na fração fina do aerossol durante a estação seca, são indicadores característicos de emissões de queimadas (GUYON *et al*., 2004; MAENHAUT *et al*., 2002; YAMASOE *et al*., 2000).

O segundo componente da estação seca pode ser identificado como fonte de ressuspensão do solo devido as altas correlações com os elementos Al, Si, Ti, Fe e Sm que são típicos da crosta.

Tabela 9 - Matriz de "Fator Loadings" obtidas a partir da Análise de Componentes Principais da fração fina do aerossol amostrado em Cuiabá-MT para os períodos da estação seca e úmida de 1992 a 1994 – Rotação VARIMAX

	Estação Seca				Estação Úmida				
	Queima de Biomassa	**Res. do solo**	**Poluição Urbana**	**Com.**	**Res. do solo**	**Em. Biog. e Pirog**	**Poluição urbana 1**	**Poluição urbana 2**	**Com.**
BC	**0,86**	0,33	0,28	0,93	0,47	0,57	0,58	0,11	0,89
Na					0,21	**0,88**	0,05	0,06	0,84
Al	0,25	**0,93**	0,21	0,96	**0,94**	0,28	0,09	0,15	0,98
Si	0,31	**0,88**	0,30	0,96	**0,84**	0,41	0,20	0,18	0,95
S	**0,92**	0,00	0,18	0,88	0,05	**0,81**	0,19	0,23	0,75
K	**0,89**	0,28	0,27	0,93	0,34	**0,84**	0,12	0,09	0,84
Ca	0,55	0,44	0,36	0,62					
Sc					**0,94**	0,24	0,11	0,18	0,98
Ti	0,34	**0,89**	0,24	0,96	**0,88**	0,34	0,2	0,23	0,98
V	0,08	0,41	**0,70**	0,66	0,24	0,05	**0,89**	0,11	0,87
Mn	0,59	0,58	0,47	0,90	0,66	0,39	0,39	0,20	0,78
Fe	0,15	**0,93**	0,23	0,95	**0,96**	0,05	0,14	0,10	0,94
Cu	0,36	0,05	**0,77**	0,72	0,25	0,05	0,16	**0,81**	0,75
Zn	**0,71**	0,40	0,52	0,93	0,28	0,33	**0,77**	0,24	0,84
Br	**0,82**	0,22	0,04	0,73					
Sb	0,10	0,39	**0,67**	0,61					
As					0,28	0,39	-0,04	**0,71**	0,73
I	**0,83**	0,31	0,19	0,82	0,25	**0,82**	0,13	0,08	0,75
La					**0,90**	0,27	0,26	0,18	0,97
Sm	0,30	**0,87**	0,33	0,96	**0,92**	0,20	0,25	0,16	0,97
Pb	0,22	0,25	**0,72**	0,63	0,11	0,16	0,49	**0,71**	0,79
MPF	**0,93**	0,25	0,12	0,94	0,37	**0,85**	0,17	0,22	0,93
Autovalor	11,26	2,55	1,27		11,4	2,4	1,7	1,1	
Variância (%)	35,2	30,5	18,1		37,4	25,4	13,1	11,1	
Var. Acum.	35,2	60,7	78,8		37,4	62,8	75,9	87,0	

Com= comunalidades

V, Cu, Sb e Pb foram os elementos associados ao último componente da estação seca. Esses elementos foram identificados em centros urbanos como produto de emissões de motores a óleo combustível e ressuspensão da poeira das ruas pavimentadas (SALMA e MAENHAUT, 2006; CASTANHO, 1999). Este componente pode ser identificado como poluição urbana, principalmente porque Sb e Pb foram elementos que apresentaram enriquecimento na fração fina (Figura 16).

O primeiro componente da estação úmida foi identificado como fonte de resuspensão do solo por estar associado com os elementos típicos da crosta (Al, Si, Sc, Ti, Fe, La e Sm).

O segundo componente da estação úmida apresentou altos pesos (0,81 - 0,88) para Na, S, K, I e massa de MPF. A discriminação entre emissões pirogênicas e biogênicas não é fácil, especialmente na estação úmida. Partículas de aerossóis pirogênicas têm uma assinatura similar às partículas biogênicas (K, S, Zn halogênios), exceto que elas são enriquecidas em matéria absorvedora de processo de combustão (tipicamente black carbon). Apesar do peso de 0,57 para o BC não ser alto como os demais elementos, ele é significativo, relacionando este componente com emissões pirogênicas. Contudo, a fonte pirogênica é certamente menos intensa na estação úmida que durante a estação seca. EUCHALAR *et al* (1998) identificaram um componente de queima de biomassa e outro de aerossol biogênico para fração fina do particulado de Cuiabá na estação úmida, e atribuíram 11 % do MPF para queima de bioamassa. É provável que a contribuição de ambas as fontes estejam associadas a este componente, devido a utilização local de madeira como combustível, queima de lixo urbano e até mesmo emissões veiculares.

Os dois últimos componentes na estação úmida possivelmente representam poluição urbana. O componente identificado como poluição urbana 1 esta associado com os elementos V e Zn. O outro componente, poluição urbana 2, apresenta alta correlação com os elementos Cu, As e Pb. V é um traçador de queima de óleo combustível. O Cu, Zn e Pb apresentam enriquecimento na fração fina da estação úmida (Figura 16) e as fontes de origem antrópica geralmente estão relacionados a emissões veiculares, incineradores e indústrias de fundição de materiais ferrosos. Zn também tem sido usado como elemento traçador para emissões de pneus de borracha, (CASTANHO,1999; MORISHITA *et al*. 2006;).

Componentes de poluição urbana na fração fina do aerossol de Cuiabá também foram identificadas por EUCHALAR *et al* (1998). Na estação seca eles obtiveram dois componentes, um associado com Pb e Zn e outro com Cu, contribuindo com 5 % da massa MPF, enquanto que na estação úmida um componente associado a Ca e Pb e o outro a Cu contribuindo com 10% da massa MPF.

4.4.3 Identificação de regimes meteorológicos básicos para a estação seca e úmida

A análise de componente principal também foi aplicada aos dados meteorológicos para identificar regimes meteorológicos básicos que afetam a região em estudo. Os cálculos da análise de componentes principais, da mesma forma que as partículas, foram realizados separadamente para estação seca e úmida. A base de dados foi composta de 13 variáveis (pressão atmosférica, temperatura do ar, umidade relativa, precipitação, velocidade do vento e freqüência de ocorrência dos ventos N, NW, NE, S, SW, SE, E e W) e 75 amostras para estação seca e 62 amostras para estação úmida. As Tabelas 10 e 11 apresentam a matriz de "factor loading" para os quatro componentes retidos na estação seca e úmida respectivamente. Os valores em negrito representam os componentes loadings mais significativos e são os mais importantes na identificação do regime meteorológico.

As comunalidades variam de 0,31 – 0,83 na estação seca e 0,25 – 0,84 na estação úmida. Estes baixos valores indicam que os componentes retidos não explicam grande parte da variabilidade das variáveis, sendo necessário adicionar mais componentes. Contudo, ao adicionarmos mais componentes torna-se difícil a interpretação dos regimes meteorológicos porque surgem componentes com somente uma variável associada. Além disso, a alteração na porcentagem de variância explicada não é significativa. Por isso, optou-se por extrair somente quatro componentes.

Os quatro componentes obtidos pela análise dos dados meteorológicos explicam 59,9 % e 58,4 % da variabilidade dos dados para as estações seca e úmida respectivamente. Estes resultados são comparáveis ao obtidos por SÁNCHEZ-CCOYLLO *et al*. (2002) e TURSTON e SPENGLER (1985).

O primeiro componente (MET 1S) na estação seca correlaciona alta pressão atmosférica e alta freqüência dos ventos SW com baixa temperatura do ar. Além disso, mostra uma leve, mas significativa correlação com alta freqüência dos ventos S e alta velocidade do vento. Este componente, responsável por 20,5 % da variabilidade dos dados, provavelmente representa à atuação de entradas de frentes frias vindo do sudoeste e sul do continente. Durante a aproximação de uma frente fria, ocorre sensível redução da pressão atmosférica e elevação da temperatura do ar.

O segundo componente (MET 2S) representa um regime com alta freqüência de ventos N e NW e baixas freqüências de ventos S.

Tabela 10 - Matriz de "Fator Loadings" obtidas a partir da análise de componentes principais dos dados meteorológicos de Cuiabá-MT durante o período da estação seca (junho a outubro) de 1992 a 1994. Rotação VARIMAX.

	Estação Seca				
	MET 1S	**MET 2S**	**MET 3S**	**MET 4S**	Comun.
Pressão Atmosférica (mb)	**0,86**	-0,26	0,02	-0,16	0,83
Temperatura do ar (°C)	**-0,84**	0,30	-0,02	-0,17	0,82
Umidade Relativa (%)	0,27	0,17	-0,03	**0,77**	0,70
Velocidade do Vento (m/s)	0,34	-0,01	**-0,73**	0,04	0,65
Precipitação (mm)	-0,20	-0,06	0,10	**0,87**	0,80
Freq. Vento-N	-0,21	**0,68**	0,01	0,21	0,56
Freq. Vento-NW	-0,19	**0,73**	-0,10	-0,04	0,57
Freq. Vento-NE	-0,17	0,21	**-0,53**	-0,05	0,36
Freq. Vento-S	0,34	**-0,59**	-0,24	0,17	0,55
Freq. Vento-SW	**0,83**	0,03	0,11	0,03	0,70
Freq. Vento-SE	0,26	0,45	0,19	0,10	0,31
Freq. Vento-E	0,11	0,25	**0,63**	-0,08	0,48
Freq. Vento-W	0,08	0,11	**0,65**	0,12	0,45
Autovalor	3,12	1,93	1,52	1,21	
Variância (%)	20,5	14,3	13,5	11,6	
Variância Acum. (%)	20,5	34,8	48,3	59,9	

Comum=comunalidades

O terceiro componente (MET 3S) representa um regime com baixa velocidade dos ventos e baixa freqüência de ventos NE com alta freqüência de ventos E e W. Como pode ser visto na Figura 18, os ventos na direção E e W apresentaram as menores velocidades médias na estação seca, enquanto os ventos de NE apresentaram a maior velocidade média.

O último componente da estação seca (MET 4S) associa alta umidade com alta precipitação. Este regime não é característico da estação seca, porém na Figura 18 é possível observar a ocorrência de precipitação em alguns dias dos meses de agosto, setembro e outubro que provavelmente representa a variação desse componente.

Tabela 11 - Matriz de "Fator Loadings" obtidas a partir da análise de componentes principais dos dados meteorológicos de Cuiabá-MT durante o período da estação úmida (novembro a maio) de 1992 a 1994. Rotação VARIMAX.

	Estação Úmida				
	MET 1U	**MET 2U**	**MET 3U**	**MET 4U**	Comum.
Pressão Atmosférica (mb)	0,11	-0,33	0,30	**0,63**	0,60
Temperatura do ar (°C)	**-0,87**	0,08	0,10	-0,26	0,84
Umidade Relativa (%)	**0,79**	0,26	-0,05	-0,26	0,76
Velocidade do Vento (m/s)	-0,10	0,07	**-0,67**	-0,09	0,47
Precipitação (mm)	0,35	**0,80**	0,07	0,12	0,78
Freq. Vento-N	0,10	**0,55**	-0,21	-0,10	0,37
Freq. Vento-NW	-0,15	**0,73**	-0,04	0,10	0,56
Freq. Vento-NE	0,31	0,15	**-0,63**	0,13	0,53
Freq. Vento-S	**0,58**	-0,07	0,38	0,13	0,50
Freq. Vento-SW	0,08	-0,08	0,39	**0,55**	0,47
Freq. Vento-SE	-0,01	0,23	-0,28	**0,80**	0,77
Freq. Vento-E	-0,05	0,43	0,17	-0,19	0,25
Freq. Vento-W	0,12	0,26	0,77	0,10	0,69
Autovalor	2,37	2,27	1,61	1,34	
Variância (%)	15,49	15,34	15,31	12,24	
Variância Acum. (%)	15,49	30,83	46,14	58,39	

O primeiro componente (MET 1U) da estação úmida correlaciona alta umidade relativa e alta freqüência de ventos S com baixa temperatura do ar.

O segundo componente (MET 2U), associa alta precipitação e alta freqüência de ventos N e NW. Este regime pode estar relacionado com a atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul. As ZCAS se formam, sobretudo, durante a primavera e o verão no hemisfério Sul com orientação NW-SE e tratam-se de zonas de convergência de massas de ar úmida e instável, (DUBREUIL e MAITELLI, 2005).

O terceiro componente (MET 3U) correlaciona baixas velocidades dos ventos e baixas freqüências de ventos NE. Os ventos NE foram os que apresentaram maior velocidade durante a estação úmida (Figuras 19). Embora não apresentem alta correlação, os ventos S e SW representam certa importância dentro deste componente.

O último componente (MET 4U) correlaciona alta pressão atmosférica com alta freqüência dos ventos SW e SE.

4.4.4 Correlação entre o MPG e MPF e os regimes meteorológicos básicos obtidos por ACP

Os resultados das análises de correlação entre os “factor scores” das fontes de emissões de particulado (fino e grosso) e os “factor scores” dos regimes meteorológicos da estação seca e úmida estão apresentados na Tabela 12.

O regime MET 1S mostrou uma correlação inversa com a fonte queima de biomassa e uma correlação positiva com a fonte poluição urbana, ambas as fontes de partículas finas. Isto indica que as entradas de frentes frias vindo do sudoeste e sul do continente reduzem a atuação das fontes de queima de biomassa e concomitantemente, trazem poluição das regiões industrializadas.

O MET 2S exibiu uma correlação inversa com a fonte poluição urbana das partículas finas. A predominância dos ventos na direção N e NW que caracterizam este regime representam ventos de direções opostas às regiões altamente urbanizadas, e de certa forma, atuam reduzindo o efeito desta fonte.

O MET 3S, regime com alta freqüência de ventos E e W e baixas velocidades, mostrou correlação positiva com a fonte de emissões biogênicas da fração grossa. Ventos de baixa velocidade geralmente não atuam eficientemente na dispersão das partículas.

O MET 4S, apresentou uma correlação inversa com as fontes de ressuspensão do solo de ambas as frações fina e grossa da estação seca, indicando que as características de alta umidade e alta precipitação deste regime reduzem a ressuspensão de poeira do solo.

O regime MET 1U apresentou correlação inversa com a fonte ressuspensão do solo das frações fina e grossa. Além disso, mostrou correlação direta com emissões biogênicas da fração grossa e correlação inversa com a mesma fonte da fração fina. As características desse regime são baixa temperatura, alta umidade e alta freqüência de ventos na direção sul que na estação úmida mostrou uma baixa velocidade média (Figura 19).

Tabela 12 - Correlação entre as fontes de material particulado fino e grosso e os regimes meteorológicos

	Estação Seca			
	MET 1S	MET 2S	MET 3S	MET 4S
MPG				
Ressuspensão do solo	-0,07	-0,03	-0,08	**-0,52***
Emissões biogênicas	0,01	-0,18	**0,38***	-0,20
MPF				
Queima de biomassa	**-0,35***	-0,05	-0,12	-0,11
Ressuspensão do solo	-0,15	-0,02	0,07	**-0,46***
Poluição urbana	**0,31***	**-0,39***	0,11	-0,15
	Estação Úmida			
	MET 1U	MET 2U	MET 3U	MET 4U
MPG				
Ressuspensão do solo	**-0,44***	**-0,33***	0,18	0,18
Poluição urbana	-0,01	-0,03	**0,39***	**0,45***
Emissões biogênicas	**0,34***	-0,11	0,06	0,14
MPF				
Ressuspensão do solo	**-0,42***	**-0,33***	0,12	0,11
Emissões Biogênicas	**-0,27***	0,06	0,01	-0,11
Poluição urbana 1	-0,07	**-0,42***	0,15	0,10
Poluição urbana 2	-0,12	0,12	0,23	-0,04

(*) correlação significativa ao nível de 0,05

O MET 2U mostrou correlação inversa com fonte de ressuspensão do solo de ambas as frações e com poluição urbana 1 da fração fina. Como já exposto anteriormente, esse regime e caracterizado por alta umidade e instabilidade que é um parâmetro eficiente na dispersão dos poluentes.

O MET 3U e MET 4U apresentaram correlação positiva com a fonte de poluição urbana da fração grossa, que novamente mostra a contribuição dos ventos S, SW e SE com esta fonte. Como as partículas grossas possuem um tempo de permanência na atmosfera bem menor que as partículas finas, estas partículas possivelmente estão relacionadas com emissões locais das direções sul e leste de Cuiabá que são as áreas mais povoadas.

4.5 ANÁLISE DE CORRELAÇÃO CANÔNICA (ACC)

A análise de correlação canônica foi aplicada entre as variáveis químicas e meteorológicas para investigar possíveis relações entre estes dois grupos. Somente os elementos que representaram a maior fração da massa do particulado (Al, Si, P,

Cl, Ti, Fe, S, K, Ca para fração grossa e Al, Si, S, K, Ca, Fe, Na e BC para fração fina) foram aplicados nesta análise. Este procedimento foi necessário devido à quantidade de amostras que não era suficiente para incluir todas as variáveis químicas. A seguir são apresentados os resultados da análise de correlação canônica entre as concentrações elementares das partículas finas e grossas com os dados meteorológicos da estação seca e úmida.

4.5.1 ACC entre a concentração elementar do MPG e os dados meteorológicos - estações seca e úmida

Os resultados das análises de correlação canônica entre as concentrações elementares da fração grossa do particulado e os dados meteorológicos da estação seca e úmida estão apresentados na Tabela 13. As correlações ou cargas canônicas (canonical loadings) referem-se às correlações entre as variáveis e o par canônico em questão. Quanto mais alta a carga canônica, maior a importância da variável no grupo. Os valores em negrito na Tabela 13 representam as variáveis de maior importância no par canônico.

Tabela 13 - Correlações e pares canônicos entre as concentrações elementares do material particulado grosso e os dados meteorológicos, segundo as estações seca e úmida – Rotação VARIMAX.

Variáveis	**Pares Canônicos**				
	Estação seca		**Estação Úmida**		
	1º	**2º**	**1º**	**2º**	**3º**
Químicas	(n=73)		(n=56)		
Al	**0,64**	**0,35**	-0,25	0,18	**0,87**
Si	**0,68**	**0,38**	-0,20	0,28	**0,84**
P	0,14	0,06	-	-	-
Cl	**0,57**	0,13	**-0,69**	0,02	0,15
Ti	**0,63**	**0,36**	**-0,32**	0,27	**0,83**
Fe	**0,70**	**0,32**	-0,07	0,29	**0,74**
S	**0,36**	**0,72**	-0,03	**0,82**	**0,32**
K	**0,81**	**0,37**	-0,06	0,28	**0,85**
Ca	**0,56**	**0,46**	-0,14	0,16	**0,77**
Meteorológica					
Pressão Atmosférica	0,21	**-0,43**	**-0,36**	-0,06	-0,09
Temperatura	0,06	0,28	**-0,37**	0,13	**-0,58**
Umidade Relativa	**-0,74**	0,12	**0,64**	**-0,34**	0,15
Precipitação	**-0,51**	0,27	0,04	**-0,37**	**0,36**
Velocidade do vento	-0,01	0,18	0,15	0,16	**0,43**
Dir. N	**-0,49**	-0,16	0,06	**-0,33**	0,12
Dir. NW	-0,22	**-0,41**	-0,06	**-0,30**	-0,07
Dir. NE	-0,16	-0,06	**0,34**	-0,05	**0,33**

Dir. S	-0,09	-0,02	0,12	**0,50**	0,06
Dir. SW	-0,02	-0,27	-0,04	0,07	**-0,54**
Dir. SE	**-0,43**	-0,13	-0,26	0,25	**0,31**
Dir. E	-0,07	**0,37**	**-0,50**	**-0,30**	0,08
Dir. W	-0,12	**-0,30**	**-0,45**	-0,09	-0,14
r	0,84	0,77	0,87	0,83	0,74
λ	0,71	0,59	0,76	0,69	0,55
χ^2	222,86	149,75	210,60	148,96	98,54
gl	117	96	104	84	66
α	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Índice de redundância[a] (%)	35,2	2,3	29,9	13,6	7,6

r = coeficiente de correlação canônico; λ = autovalor; gl = graus de liberdade;

χ^2 = Qui-quadrado calculado; α (%) = nível de significância;

([a]) Índice de redundância para variáveis químicas.

Na estação seca, dois pares canônicos foram obtidos com correlação canônica (r) de 0,84 e 0,77 com nível de significância de 0,05. Os autos valores (λ) mostrados na tabela podem ser interpretados como a porcentagem de variância compartilhada entre os dois grupos dentro do par canônico. Sendo assim, a variância compartilhada entre os grupos no primeiro e segundo par canônico foi de 71% e 59% respectivamente. O índice de redundância que representa quanto da variância das variáveis química é explicada pelas variáveis meteorológicas foi de 35,2% para o primeiro par e 2,3 % para o segundo. Apesar de estatisticamente significativo, o segundo par canônico não possui uma significância prática porque explica pouco da variância das variáveis químicas, podendo desconsiderar um interpretação. No primeiro par canônico, as variáveis químicas com exceção do P, estão inversamente correlacionadas com umidade, precipitação e ventos de direção N e SE, indicando que a ocorrência destas condições meteorológicas tem efeito redutor na concentração dos elementos apresentados.

Na estação úmida, foram obtidos três pares canônicos para fração grossa com coeficiente de correlação (r) significativo de 0,87, 0,83 e 0,74, apresentando respectivamente 76%, 69% e 55% da variância compartilhada (λ) entre os grupos. O índice de redundância mostra que 29,9 %, 13,6 % e 7,6 % da variância das variáveis químicas foram explicadas pelas variáveis meteorológicas em ordem dos componentes retidos. No primeiro par canônico, os elementos Cl e Ti estão diretamente correlacionados com pressão atmosférica, temperatura do ar, ventos E e W, e inversamente correlacionados com umidade relativa e ventos NE. O segundo par canônico mostra correlação direta do elemento S com ventos na direção S e

inversa com umidade, precipitação, ventos N, NW e E. O ultimo par canônico, as variáveis químicas, com exceção do Cl, apresentam correlação direta com precipitação, velocidade do vento, ventos NE e SE, e correlação inversa com temperatura e ventos SW. Durante e após a ocorrência de precipitação, pode-se esperar menores concentrações de partículas em suspensão na atmosfera devido ao efeito de carreamento (washout), diferente das condições apresentadas no terceiro par canônico. MARIANI (2001) observou condições de altas concentrações de partículas finas e grossas após ocorrência de chuvas, assim como baixas concentrações em ocasiões em que não houve chuvas e concluiu que a chuva não é o único fator responsável pela queda da concentração de partículas da atmosfera.

As variâncias dos dados químicos explicadas pelas variáveis meteorológicas, 1º par canônico da estação seca (35,2%) e os três pares canônicos da estação seca (51%), demonstram que as características meteorológicas da estação úmida atuam mais eficientemente na poluição do ar por partículas grossas.

4.5.2 ACC entre a concentração elementar do MPF e os dados meteorológicos - estações seca e úmida

A Tabela 14 mostra as correlações e os pares canônicos obtidos entre as concentrações elementares das partículas finas do particulado e os dados meteorológicos da estação seca e úmida. Os valores em negrito na tabela representam as variáveis de maior importância no par canônico.

Na estação seca foram obtidos três pares canônicos com coeficientes de correlação de correlação (r) de 0,88, 0,79 e 0,70% apresentando respectivamente 77%, 62% e 49% da variância compartilhada (λ) entre os grupos. O índice de redundância demonstra que 18 %, 26,9 % e 4,2 % da variância das variáveis químicas foram explicadas pelas variáveis meteorológicas pelo 1°, 2° e 3° par canônico respectivamente. Embora o 3° par canônico seja estatisticamente significativo, o baixo índice de redundância não possui uma significância prática porque explica pouco da variância das variáveis químicas, podendo desconsiderar um interpretação.

No primeiro par canônico da estação seca, as variáveis químicas com exceção do S, mostram correlação direta com precipitação e correlação inversa com

ventos NE. No segundo par canônico, os elementos S, K, Ca e BC mostram correlação positiva e a umidade, velocidade do vento e direções N, NE e SE.

Na estação úmida, dois pares canônicos significativos foram obtidos para a fração fina, com coeficiente de correlação (r) de 0,84 e 0,69 apresentando respectivamente 70 % e 48 % da variância compartilhada (λ) entre os grupos. O índice de redundância demonstra que 41,9 % da variância das variáveis químicas são explicadas pelas variáveis meteorológicas no primeiro par canônico e 3,5 % no segundo. Da mesma forma que os pares canônicos anteriores que apresentar baixo índice de redundância a interpretação do 2º par pode ser desconsiderada. No 1° par canônico os elementos Al, S, Fe e BC mostram correlação direta com a temperatura do ar e inversa com umidade relativa, precipitação e ventos de direção S.

Tabela 14 - Correlações e pares canônicas entre as concentrações elementares do material particulado fino e os dados meteorológicos, segundo as estações seca e úmida –Rotação VARIMAX.

Variáveis	**Pares Canônicos**				
	Estação Seca			**Estação Úmida**	
	1º	**2º**	**3°**	**1º**	**2º**
Químicas		(n=70)		(n=60)	
Al	**0,67**	-0,16	-0,10	**-0,65**	**0,69**
Si	**0,70**	-0,22	**-0,33**		
S	0,07	**-0,96**	0,02	**-0,65**	**0,71**
K	**0,32**	**-0,84**	-0,19	-0,27	**0,50**
Ca	**0,59**	**-0,44**	**-0,37**		

α	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01
Índice de redundância[a] (%)	18,1	26,9	4,2	41,9	3,5

r = coeficiente de correlação canônico; λ = autovalor; gl = graus de liberdade;

χ^2 = Qui-quadrado calculado; α (%) = nível de significância;

([a]) Índice de redundância para variáveis químicas.

As variâncias dos dados químicos explicadas pelas variáveis meteorológicas no 1º e 2º par canônico somam aproximadamente 45 % para as duas estações. Este baixo valor demonstra que as condições meteorológicas na região não são os únicos fatores que influenciam na poluição do ar por partículas finas. Nos estudos mostrados por BRAGA *et al*. (2005), obtidos por amostras coletadas na Bacia Hidrográfica da Guaíba, Rio Grande do Sul, 60,3% da variância das variáveis químicas das partículas finas foram explicada pelas variáveis meteorológicas em um único par canônico. Esse estudo demonstra que as características meteorológicas da região sul são fatores mais atuantes na poluição do ar do que na região centro-oeste.

4.5.3 ACC entre a massa do MPF e MPG e os dados meteorológicos - estação seca e úmida.

Como grande parte da massa do material particulado é composta de material orgânico, realizou-se uma análise de correlação canônica entre as massas da fração fina e grossa do particulado com as variáveis meteorológicas. Os resultados estão apresentados na Tabela 15.

Na estação seca foram obtidos dois pares canônicos com coeficiente de correlação (r) de 0,80 e 0,71. O índice de redundância mostra que 34,8 % e 22,9 % da variância nas massas de particulado fino e grosso são explicadas pelas variáveis meteorológicas pelo 1° e 2° par respectivamente. No primeiro par canônico, o MPG apresentou correlação inversa com a umidade relativa, precipitação e ventos N e S. Como observado em outros estudos, alta umidade e a precipitação geralmente produzem um efeito de redução na concentração dos aerossóis, (SÁNCHEZ-CCOYLLO e ANDRADE, 2002). O segundo par canônico apresentou correlação direto do MPF com temperatura e precipitação e uma correlação inversa com pressão atmosférica, ventos SW e W.

Para a estação úmida foi obtido um único par canônico com coeficiente de correlação (r) de 0,75. O índice de redundância mostra que 40,8 % da variância nas

massas de particulado fino e grosso são explicadas pelas variáveis meteorológicas pelo 1° e 2° par respectivamente. Nesse par canônico o MPG apresentou correlação direta com pressão atmosférica e temperatura do ar e inversa com umidade relativa, precipitação e ventos de direção N, NW e NE.

Tabela 15 - Correlações e pares canônicos entre massa do MPF e MPG e os dados meteorológicos, segundo as estações seca e úmida – Rotação VARIMAX.

Variáveis	**Pares Canônicos**		
	Estação Seca		**Estação Úmida**
	1º	**2º**	**1º**
Meterial Particulado	(n=76)		(n=65)
Fino (MPF)	0,25	**0,97**	0,24
Grosso (MPG)	**0,97**	0,25	**0,97**
Meteorológica			
Pressão Atmosférica	0,19	**-0,55**	**0,34**
Temperatura	0,14	**0,54**	**0,56**
Umidade Relativa	**-0,70**	-0,06	**-0,76**
Precipitação	**-0,62**	**0,38**	**-0,44**
Velocidade do vento	-0,24	0,21	-0,15
Dir. N	**-0,38**	-0,18	**-0,51**
Dir. NW	-0,02	0,12	**-0,37**
Dir. NE	-0,11	-0,17	**-0,48**
Dir. S	**-0,31**	-0,03	-0,23
Dir. SW	-0,04	**-0,45**	0,00
Dir. SE	-0,27	-0,10	0,08
Dir. E	-0,09	-0,31	0,07
Dir. W	-0,08	**-0,45**	0,20
r	0,80	0,71	0,75
λ	0,64	0,50	0,56
χ^2	114,66	47,61	61,97
gl	26	12	26
α	0,00	0,00	0,00
Índice de redundância[a] (%)	34,8	22,9	40,8

r = coeficiente de correlação canônico; λ = autovalor; gl = graus de liberdade;

χ^2 = Qui-quadrado calculado; α (%) = nível de significância;

([a]) Índice de redundância para variáveis químicas.

5 CONCLUSÃO

O material particulado inalável da atmosfera de Cuiabá é constituído em grande parte por partículas grossas, aproximadamente 66% da massa. Durante a estação seca, a concentração das partículas grossas (da entre 2,5 e 10 μm) apresentou um valor médio de 24,95 (±14) μm m^{-3} e as partículas finas (da<2,5 μm) de 14,10 (±10). Na estação úmida, período de maior índice pluviométrico, os valores médios apresentaram-se menores: 11,26 (±6) para MPG e 3,63 (±2) para MPF. Os testes estatísticos demonstraram que existem diferenças significativas nas concentrações das partículas entre as estações, evidenciando a influência das atividades antrópicas (queimadas, desmatamentos) e das características climáticas na poluição atmosférica.

A composição elementar das partículas grossas representou 31% da massa na estação seca e 26% na estação úmida, sendo que uma significativa parte dessas frações 22% e 19% respectivamente, são constituídas por elementos típicos da crosta (Al, Si e Fe). Para as partículas finas, a composição elementar representou 26% e 33% da massa na estação seca e úmida respectivamente, sendo que parte dessas frações 17% e 20% são constituídas por black carbon.

As concentrações elementares médias foram maiores na estação seca. As diferenças sazonais entre as concentrações elementares no MPG foram mais pronunciadas para os elementos Br, I, Sr, Sn e Ag, enquanto para o MPF as maiores diferenças foram para BC, K, Br, Rb, Sr, Sn, I e Ce. Como BC, K, Br, I, Rb e Sr são elementos traçadores de queima de biomassa, as maiores concentrações desses elementos na estação seca demonstra a influência direta dessa atividade na atmosfera de Cuiabá.

O enriquecimento do material particulado observado nas duas estaçoes, sugerem que existem outras fontes além do solo emitindo partículas para a atmosfera. O MPG apresentou enriquecimento com S, As, Se, Ag, Cd, Sb, Ba e Pb, e o MPF apresentou enriquecimento com Cr, S, Se, Mo, Ag, Cd, Sb, Ba e Pb.

Para a fração grossa, duas fontes foram identificadas pela análise de componentes principais na estação seca e três na estação úmida. No período seco as fontes foram: ressupensão do solo (Al, Si, K, Sc, Ti, V, Mn, Fe, Zr, Ba, La, Sm Pb, Th e massa MPG) e emissões biogênicas (P, S, Cl, Ca, Mn, Cu e Zn). No período

úmido as fontes foram: ressupensão do solo (Al, Si, S, K, Sc, Ti, V, Mn, Fe, Co, Cu, Zn, Ga, Ba, La, Sm, Lu, Pb, Th e massa MPG), emissões biogênicas (somente com P) e poluição urbana (Cl, Ca, As e Sb).

Para a fração fina, foram identificadas três fontes na estação seca e quatro fontes na estação úmida. No período seco as fontes foram: queima de biomassa (BC, S, K, Zn, Br, I e massa MPF), ressupensão do solo (Al, Si, Ti, Fe, Sm) e poluição urbana (V, Cu, Sb e Pb). No período úmido as fontes foram: ressupensão do solo (Al, Si, Sc, Ti, Fe, La e Sm), emissões biogênicas e pirogênicas (Na, S, K, I e massa MPF), poluição urbana 1 (V e Zn) e poluição urbana 2 (Cu, As e Pb).

A influência das condições meteorológicas foi verificada através da correlação entre regimes meteorológicos básicos e as fontes de emissões. Os regimes meteorológicos básicos foram obtidos através da análise de componentes principais, sendo extraídos quatro regimes para cada estação.

Todas as fontes de emissão das partículas grossas e finas mostraram correlação com algum regime meteorológico, com uma única exceção da fonte de poluição 2 da fração fina. De um modo geral, as frentes frias que alcançam a região no período seco, atuam reduzindo a emissão de queimadas e aumentando as emissões de poluição urbana 1 das partículas finas. Os ventos de direção N e NW também reduzem a atuação da fonte de poluição urbana. Ventos E e W de baixa velocidade atuam aumentando as emissões biogênicas da fração grossa. No período úmido, regime com alta umidade, baixa temperatura e ventos na direção S atuam reduzindo as fontes de ressuspensão do solo e as emissões biogênicas da fração fina. Regime com alta precipitação e ventos N e NW também atuam eficientemente diminuindo a ressuspensão do solo. Ventos S, SW e Se aumentam fontes de poluição urbana da fração grossa.

A análise de correlação canônica entre as concentrações elementares do material particulado e os dados meteorológicos mostra que as condições meteorológicas na região não são os únicos fatores responsáveis pelas variações nas concentrações das partículas e a sua influência é bem menor se comparada com a região sul do Brasil. As variações nas concentrações elementares do MPG que são explicadas pelos dados meteorológicos de 35,2% e 51% para as estações seca e

úmida respectivamente, demonstram que as características meteorológicas do período úmido atuam mais eficientemente nas concentrações das partículas grossas. As variâncias nas concentrações elementares do MPF explicada pelos dados meteorológicos (45%) para ambas as estações não demonstram diferenças sazonais para estas partículas.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, T. T. A.; ANDRADE, M. F. Source apportionment of the atmospheric aerosol in the metropolitan area of São Paulo: A case of study for winter of 2003. Proceedings of 8 ICSHMO, Foz do Iguaçu, Brazil. **INPE**, p.81-88, 2006.

ALVES, C. Aerossóis atmosféricos: Perspectiva histórica, fontes, processos químicos de formação e composição orgânica. **Química Nova**, vol. 28, n. 5, p. 859-870, 2005.

ANDERSON, T. W**. An Introduction to Multivariate Statistical Analysis**. 2 th edition. John Wiley. New York. 1984. p. 439-449.

ANDREAE, M. O.; JONES, C. D.; COX, P. M. Strong present-day aerosol cooling implies a hot future. **Nature**, vol. 435, p. 1187-1190, jun., 2005.

ANDREAE, M. O.; ROSENFELD, D.; ARTAXO, P.; COSTA, A. A.; FRANK, G. P.; LONGO, K. M.; SILVA DIAS, M. A. F. Smoking rain clouds over the Amazon. **Science**, vol. 303, p. 1342-1345, 2004.

ARBEX, M. A.; CANÇADO, J. E. D.; PEREIRA, L. A. A.; BRAGA, A. L. F.; SALDIVA, P. H. N. Queima de biomassa e efeitos sobre a saúde. Jornal Bras. de Pneumologia, vol. 30 (2), 2004.

ARTAXO, P.; GATTI, L. V.; LEAL, A. M. C.; LONGO, K. M.; FREITAS, S. R.; LARA, L. L.; PAULIQUEVIS, T. M.; PROCÓPIO, A. S.; RIZZO, L.V. Química atmosférica na Amazônia: a floresta e as emissões de queimadas controlando a composição da atmosfera amazônica. **Acta Amazônica**, vol. 35 (2), p. 185-196, 2005.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Operação Inverno 2003**. Diretoria e Engenharia, Tecnologia e Qualidade Ambiental. Departamento de Tecnologia do ar. Divisão de Tecnologia de avaliação da Qualidade do Ar. Relatório. Estado de São Paulo. CETESB, 2004.

DUCHIADE, M. P. Poluição do ar e doenças respiratórias: uma revisão. **Caderno de Saúde Pública**, vol. 8 (3), p. 311-330, 1992.

DUBREUIL, V.; MAITELLI, G. T. Estimativa das chuvas mensais e anuais a partir de imagens GÓES em Mato Grosso. **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia, Brasil, INPE, p. 489-496, 2005.

ECHALAR, F.; ARTAXO, P.; MARTINS, J. V.; YAMASOE, M.; GERAB, F. MAENHAUT, W.; HOLBEN, B. Long-term monitoring of atmospheric aerosols in the Amazon Basin: Source identification and apportionment. Journal of Geophysical Research, vol. 103, n. D24, p. 31.849-31.864, 1998.

FAPEMAT. FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE MATO GROSSO. Variabilidade climática e alterações das deposições atmosféricas decorrentes de ações antrópicas na região norte mato-grossense. Relatório Técnico Cientifico, 2005.

FALKOVICH, A. H.; GRABER, E. R.; SCHKOLNIK, G.; RUDICH, Y.; MAENHAUT, W.; ARTAXO, P. Low molecular weight organic acids in aerosol particles from Rondônia, Brazil, during the biomass-burning, transition and wet periods. **Atmospheric Chemistry and Physics**. Vol. 5, p. 781–797, 2005.

FEEMA. FUNDAÇÃO ESTADUAL DE ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE. **Relatório Anual da Qualidade do Ar - 2003**. Rio de Janeiro. 2004.

FREITAS, S. R.; LONGO, K. M.; SILVA DIAS M. A. F.; SILVA DIAS P. L. Emissões de queimadas em ecossistemas da América do Sul. **Estudos Avançadosl Pollution**, vol. 19 (53), p. 167-185, 2005.

GRAHAM, B.; FALKOVICHB, A. H.; RUDICHB, Y.; MAENHAUT, W.; GUYON, P.; ANDREAE, M.O. Local and regional contributions to the atmospheric aerosol over Tel Aviv, Israel: a case study using elemental, ionic and organic tracers. **Atmospheric Environment**, vol. 38, 11, p. 1593-1604, 2004.

GUYON, P. GRAHAM, B.; ROBERTS, G. C.; BRACERO, O. L. M.; MAENHAUT, W.; ARTAXO, P.; ANDREAE, M. O. Sources of optically aerosol particles over the Amazon forest. **Atmospheric Environment**, vol. 38, p. 1039-1051, 2004.

HAIR, J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. **Multivariate data analysis**, 5th ed., Prentice Hall. 1998.

HARRISON, R. M. **Pollution. Causes, Effects & Control**. Cambridge. The Royal Society of Chemistry. 389p. Cap - Chemistry of the troposphere p.157-176, 1993.

HOVARTH, H. Aerosols – an introduction. **Journal of Environmemtal Radioactivity** v.51 p. 5-25, 2000.

HUSSEIN, T.; KARPPINEN, A.; KUKKONEN, J.; HARKONEN, J.; AALTO, P. P.; HAMERI, K.; KERMINEN V. M.; KULMALA, M. Meteorological dependence of size-fractionated number concentrations of urban aerosol particles. **Environmental Pollution**, vol. 40, p. 1427-1440, 2006.

MADHAVI LATHA, K.; BADARINATH, F. V. S. Seasonal variations of black carbon aerosols and total aerosol mass concentrations over urban environment in Índia. **Atmospheric Environment**, vol. 39, p. 4129-4141, 2005.

MAENHAUT, W.; JIMÉNEZ, M. T. F.; RAJTA, I.; ARTAXO, P. Two-year study of atmospheric aerosols in Alta Floresta, Brazil: Multielemental composition and souce apportionment. **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B**. Vol. 189, p. 243-248, 2002.

MAITELLI, G. T., 1994. **Uma Abordagem Tridimensional de Clima Urbano em Área Tropical Continental. O Exemplo de Cuiabá – MT**. Tese de Doutorado, São Paulo: Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas/Universidade de São Paulo.

MARCAZZAN, G. M.; VACCARO, S.; VALLI, G.; VECCHI, R. Characterisation of PM10 and PM2.5 particulate matter in the ambient air of Milan (Italy). **Atmospheric Environment**, vol. 35, p. 4639-4650, 2001.

MARIANI, R. L. N C. **Distribuição e fontes dos constituintes inorgânicos solúveis associados às partículas inaláveis grossas e finas na região metropolitana do Rio de Janeiro.** 2001. 147f. Tese (Doutorado em Geoquímica Ambiental) Universidade Federal Fluminense, Niterói.

MASON, B.; MOORE, C. B. 1982. **Principles of Geochemistry**, fourth ed. Wiley, New York.

MORISHITA, M.; KEELER, G. J.; WAGNER, J. G.; HARKEMA, J. R. Source identification of ambient $PM_{2,5}$ during summer inhalation exposure studies in Detroit, MI. **Atmospheric Environment**, vol. 40, p. 3823-3834, 2006.

PIVETTA, M. Sombras sobre a floresta.Pesquisa Fapesp, vol. 86, p. 31-35, 2003.

RISSEL, J.; VESTIN, A.; SWIETLICKI, E.; FISCH, G.; ZHOU, J.; ARTAXO, P. ANDREAE, M. O. Size distribution and hygroscopic properties of aerosol particles from dry-season biomass burning in Amazonia. Atmospheric Chemistry and Physics, vol. 6. p. 471-491, 2006.

RAMANATHAN, V.; CRUTZEN, P. J.; KIEHL, J. T.; ROSENFELD, D. Aerosols, climate, and the hydrological cycle. **Science**, vol 294 (7), p. 2119-2124, 2001.

ROBERTS, G. C.; ARTAXO, P.; ZHOU, J.; SWIETLICKI, E; ANDREAE, M. Sensitivity of CCN spectra on chemical and physical properties of aerosol: a case study from the Amazon Basin. **Journal of Geophysical Research**, vol. 107 (D20), p.8070, 2002.

ROSENFELD, D. Suppression of rain and snow by urban and industrial air pollution. **Science**, vol. 287, p. 1793-1796, mar., 2000.

ROSS, J. L. S. & SANTOS, L. M., 1982. Geomorfologia. In: Projeto RADAMBRASIL, Folha Cuiabá CD 21. vol. 26, (Ministério das Minas e Energia, org.). pp. 222, Brasília: Ministério das Minas e Energia.

RUSSEL, P. B.;HOBBS, P. V.; STOWE, L. L. Aerosol properties and radiative effects in the United States East Coast haze plume: An overview of the tropospheric aerosol radiaive forcing observational experiment (TARFOX). **Journal of Geophysical Research**, vol. 104, p.2213-2222, 1999.

SALDANHA, C. T.; SILVA, A. M. C.; BOTELHO, C. Variações climáticas e uso de serviços de saúde em crianças asmáticas menores de cinco anos de idade: um estudo ecológico. **J. Bras. Pneumol**., vol. 31(6), p. 492-498, 2005.

SALMA, I.; MAENHAUT, W.; ANNEGARN, H. J.; ANDREAE, M. O.; MEIXNER, F. X.; GARSTANG, M. Combined application of INAA and PIXE for studying the regional aerosol composition in Southern Africa. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chimistry**, vol. 216, n. 1, p. 143-148, 1997.

SALMA, I.; MAENHAUT, W. Changes in elemental composition and mass of atmospheric aerosol pollution entre 1996 e 2002 in a Central European city. **Environmental Pollution**, vol. 143, p. 479-488, 2006.

SÁNCHEZ-CCOYLLO, O. R.; ANDRADE, M. F. The influence of meteorological conditions on the behavior of pollutants concentrations in São Paulo, Brazil. **Environmental Pollution**, vol. 116, p. 257-263, 2002.

SATHEESH, S. K. e RAMANATHAN, V. Large differences in tropical aerosol forcing at the top of the atmosphere and Earth's surface. **Nature**, vol. 405 (4), p. 60-63, 2000.

SILVA FILHO, E. V.; PAIVA, R. P.; WASSERMAN, J. C.; LACERDA, L. D. Geochemical characterization of rain water particulado material on a coastal sub-tropical regions in SE – Brazil. **J. Bras. Chem. Soc**., vol. 9 (5), p. 482-486, 1998.

STATHEROPOULOS, M.; VASSILIADIS, N.; PAPPA, A. Principal component and canonical correlation analysis for examining air pollution and meteorological data. **Atmospheric Environment**, vol. 32, n. 6, p. 1087-1095, 1998.

TARIFA, J.R. Cadernos de Climatologia. In: Diagnóstico sócio-econômico-ecológico do Estado de Mato Grosso. Secretaria de Planejamento do Estado de Mato Grosso - SEPLAN .Cuiabá, MT, 1998.

THURSTON, G. D.; SPENGLER, J. D. A multivariate assessmentof meteorological influences on inhalable particle source impacts. J. of Climate and Applied Meteorology, v. 24, p 1245-1256, 1985.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MORI, F. A. Correlação canônica das características químicas e físicas da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*.**CERNE**, v. 9, n. 1, p. 81-91, 2003.

YAMASOE, M. A.; ARTAXO, P.; MIGUEL, A. H.; ALLEN, A. G. Chemical composition of aerosol particles from direct emissions of vegetation fires in the Amazon Basis: water-soluble species and trace elements. **Atmospheric Environment**, vol. 34, p. 1641-1653, 2000.

APÊNDICE A

Análise de variância (ANOVA)

A análise de variância foi realizada para determinar se existe diferença entre as concentrações das partículas da estação seca e úmida. A hipótese nula adotada é de que a diferença entre as concentrações seja zero. A hipótese alternativa H_1 adotada é de que existe diferença entre as concentrações das partículas das duas estações. Assim para um nível de significância α=0,05 a tabela F com (2-1)= 1 gl e (141-2)=139, temos F_{tab}= 3,93. Caso o valor calculado de F_{cal} seja igual ou maior que o tabelado rejeita-se a hipótese de nulidade (Ho).

	Fonte de variação	SQ	gl	QM	Fcal	p
	Entre tratamentos	3837,10	1	3837,10	71,56	0,00
MPF	Dentro de tratamento	7453,29	139	53,62		
	Total	11290,38	140			

	Fonte de variação	SQ	gl	QM	Fcal	p
	Entre tratamentos	6567,49	1	6567,49	56,774	0,00
MPG	Dentro de tratamento	16079,13	139	115,68		
	Total	22646,62	140			

	Fonte de variação	SQ	gl	QM	Fcal	p
	Entre tratamentos	20456,78	1	20456,78	84,921	0,00
MP_{10}	Dentro de tratamento	33483,97	139	240,89		
	Total	53940,75	140			

Conclusão: De acordo com os dados a um nível de significância α=0,05, existe evidência estatística de que as concentrações das partículas MPF, MPG e MP_{10} na estação seca diferem das concentrações da estação úmida.

Livros Grátis

(http://www.livrosgratis.com.br)

Milhares de Livros para Download:

Baixar livros de Administração
Baixar livros de Agronomia
Baixar livros de Arquitetura
Baixar livros de Artes
Baixar livros de Astronomia
Baixar livros de Biologia Geral
Baixar livros de Ciência da Computação
Baixar livros de Ciência da Informação
Baixar livros de Ciência Política
Baixar livros de Ciências da Saúde
Baixar livros de Comunicação
Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE
Baixar livros de Defesa civil
Baixar livros de Direito
Baixar livros de Direitos humanos
Baixar livros de Economia
Baixar livros de Economia Doméstica
Baixar livros de Educação
Baixar livros de Educação - Trânsito
Baixar livros de Educação Física
Baixar livros de Engenharia Aeroespacial
Baixar livros de Farmácia
Baixar livros de Filosofia
Baixar livros de Física
Baixar livros de Geociências
Baixar livros de Geografia
Baixar livros de História
Baixar livros de Línguas

Baixar livros de Literatura
Baixar livros de Literatura de Cordel
Baixar livros de Literatura Infantil
Baixar livros de Matemática
Baixar livros de Medicina
Baixar livros de Medicina Veterinária
Baixar livros de Meio Ambiente
Baixar livros de Meteorologia
Baixar Monografias e TCC
Baixar livros Multidisciplinar
Baixar livros de Música
Baixar livros de Psicologia
Baixar livros de Química
Baixar livros de Saúde Coletiva
Baixar livros de Serviço Social
Baixar livros de Sociologia
Baixar livros de Teologia
Baixar livros de Trabalho
Baixar livros de Turismo