

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

**DETERMINAÇÃO DE ÍNDICES QUANTITATIVOS DE
MATERIAL PARTICULADO INALÁVEL NOS
PERÍODOS SECO E ÚMIDO NA CIDADE DE CUIABÁ.**

ALEXANDRE LAZZAROTTO REBELATTO

Orientador: Prof. Dr. SÉRGIO ROBERTO DE PAULO

Cuiabá, MT, dezembro de 2005

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

**DETERMINAÇÃO DE ÍNDICES QUANTITATIVOS DE
MATERIAL PARTICULADO INALÁVEL NOS
PERÍODOS SECO E ÚMIDO NA CIDADE DE CUIABÁ.**

ALEXANDRE LAZZARATTO REBELATTO

Dissertação apresentada 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. SÉRIGIO ROBERTO DE PAULO

Cuiabá, MT, dezembro de 2005

DEDICATÓRIA

A Deus pela vida, a minha esposa Rita, a minha filha Mariana e ao meu filho Miguel pelo amor e compreensão, e aos meus pais João e Lilia e irmão Luciano e família, pelo amor, oportunidade e sacrifício.

AGRADECIMENTOS

- Ao Prof. Dr. Sérgio Roberto de Paulo, pela orientação e incentivo, apoio e grande amizade, fatores que contribuíram para a realização deste trabalho.
- Ao Prof. Dr. Paulo Artaxo e Alcides (USP) por ter cedido os dados de material particulado.
- A minha família (Esposa e Filhos) que nunca faltaram com o devido apoio para conclusão desta dissertação.
- Aos meus pais, pela oportunidade que me deram de até aqui poder chegar, bem como meu irmão e família.
- Aos amigos de turma, em especial ao Professor e amigo Ojeda.
- A todo do departamento do Mestrado em Física e Meio Ambiente da UFMT, em especial ao Prof. Dr. José de Souza Nogueira (Coordenador do Mestrado em Física e Meio Ambiente).
- Pela compreensão devida da direção (Ângela) e das coordenadoras (Cleide e Jurema) do Colégio Estadual Padre Ernesto Camilo Barreto e da direção (Ângela) e Coordenação (Roberto) do Instituto Cuiabano de Educação (ICE).
- A todos que de uma maneira direta ou indireta colaboraram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	iii
LISTA DE ABREVIATURAS	iv
LISTA DE SÍMBOLOS.....	vi
RESUMO	vii
ABSTRACT	ix
INTRODUÇÃO.....	1
1 - Problemática	2
2 - Justificativa	4
3 - Objetivo	6
CAPÍTULO I - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
1 - Atmosfera	8
1.1 - Composição química e estrutura da troposfera	9
1.2 - Forçantes Climáticas	11
1.3 - O Fogo	13
1.4 - Granulometria	16
2 - Padrões de qualidade do ar	17
3 - Aerossóis	21
3.1 - Compostos Orgânicos	31
4 - Ciclo Biogeoquímico	32
4.1 - Ciclo do Carbono	34
4.2 - Ciclo do Oxigênio	35
4.3 - Ciclo do Nitrogênio	35
4.4 - Ciclo do Enxofre	37
4.5 - Ciclo do Fósforo	38

4.6 - Ciclo da Água	39
CAPÍTULO II - MATERIAIS E MÉTODOS	42
1 - Cerrado	43
2 - Amostragem	46
2.1 - Descrição do Amostrador de Particulado	47
3 - Análise Instrumental	49
3.1 - Gravimetria	49
3.2 - INAA (Análise Instrumental por Ativação de Nêutrons)	50
CAPÍTULO III - RESULTADOS E DISCUSSÕES	51
1 - Série temporal (1992 - 1995)	53
2 - Séria Sazonal	60
2.1 - Período Seco	60
2.1.1 - Material Particulado Fino	60
2.1.2 - Material Particulado Grosso	62
2.1.3 - Índice de Diferença do Material Fino e Grosso no PSS	65
2.2 - Período Úmido	68
2.2.1 - Material Particulado Fino	68
2.2.2 - Material Particulado Grosso	69
2.2.3 - Índice de Diferença do Material Fino e Grosso no PSU	72
2.3 - Análise de Material Particulado Fino em Diferentes Períodos	75
2.4 - Análise de Material Particulado Grosso em Diferentes Períodos	76
2.5 - Diferença do Material Particulado no PSS para o PSU	77
CAPÍTULO IV – ANÁLISE DOS RESULTADOS	79
CAPÍTULO V - CONCLUSÃO	82
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Limite de altura de separação, temperatura e pressão das camadas atmosférica.
- Figura 2. Troposfera: Camada limite – próximo da Terra; Atmosfera Livre – acima da camada limite
- Figura 3. Fontes que alteram o balanço de energia da Terra (Gases e Aerossóis).
- Figura 4. Formas fisionômicas do Cerrado
- Figura 5. Ciclo de formação de material particulado na atmosfera e o diâmetro de equivalência do particulado inalável.
- Figura 6. Resultados das atividades humanas e processo de emissão natural os aerossóis lançados à baixa troposfera
- Figura 7. Representa o ciclo do carbono
- Figura 8. Representa o ciclo do nitrogênio.
- Figura 9. Representa o ciclo o enxofre.
- Figura 10. Representa o ciclo da água.
- Figura 11. Mapa do Brasil (Cerrado e Pantanal).
- Figura 12. Vegetação Original (Cerrado e Pantanal)
- Figura 13. Precipitação no Período Seco.
- Figura 14. Precipitação no Período Úmido.
- Figura 15. Relevo do Cerrado.
- Figura 16. Aparelho de coleta de Material Particulado atmosférico (*Inlet*).
- Figura 17. Série Temporal de Amostragem do Elemento Químico Sódio (Na).
- Figura 18. Série Temporal de Amostragem do Elemento Químico Fósforo (P).
- Figura 19. Série Temporal de Amostragem do Elemento Químico Enxofre (S).
- Figura 20. Série Temporal de Amostragem do Elemento Químico Cloro (Cl).

- Figura 21. Série Temporal de Amostragem do Elemento Químico Potássio (K).
- Figura 22. Série Temporal de Amostragem do Elemento Químico Cálcio (Ca).
- Figura 23. Série Temporal de Amostragem do Elemento Químico Magnésio (Mn).
- Figura 24. Série Temporal de Amostragem do Elemento Químico Ferro (Fe).
- Figura 25. Série Temporal de Amostragem do Elemento Químico Cobre (Cu).
- Figura 26. Série Temporal de Amostragem do Elemento Químico Zinco (Zn).
- Figura 27. Série Temporal de Amostragem do Elemento Químico Bromo (Br).
- Figura 28. Amostragem da Coleta de Material Particulado Fino no Período Seco
- Figura 29. Amostragem da Coleta de Material Particulado Grosso no Período Seco
- Figura 30. Comparação de Amostragem da Coleta de Material Particulado Fino e Grosso no Período Seco.
- Figura 31. Amostragem da Coleta de Material Particulado Fino no Período Úmido.
- Figura 32. Amostragem da Coleta de Material Particulado Grosso no Período Úmido.
- Figura 33. Comparação de Amostragem da Coleta de Material Particulado Fino e Grosso no Período Úmido
- Figura 34. Comparação de Amostragem da Coleta de Material Particulado Fino do Período Seco e Úmido
- Figura 35. Comparação de Amostragem da Coleta de Material Particulado Grosso do Período Seco e Úmido
- Figura 36. Comparação de Amostragem da Coleta de Material Inalável do Período Seco e Úmido.

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1. Principais substâncias liberadas pelo Fogo (estágio *flaming* e *smoldering*).
- Tabela 2. Indica o Fator de Combustão de acordo com o tipo do Cerrado.
- Tabela 3. Dados de padrão de qualidade do ar atmosférico Nacional (CETESB) e Agência de proteção Ambiental (EPA) para os principais poluentes urbanos. Onde as medidas de 24, 8 e 1 hora não pode exceder uma vez ao ano; MAA – Corresponde a Média Aritmética Anual.; MGA – Corresponde a Média Geométrica Anual.
- Tabela 4. Dados de padrão de qualidade do ar atmosférico Nacional (CETESB) e Agência de proteção Ambiental (EPA) para os principais poluentes urbanos. Onde as medidas de 24, 8 e 1 hora não pode exceder uma vez ao ano; MAA – Corresponde a Média Aritmética Anual; MGA – Corresponde a Média Geométrica Anual
- Tabela 5. Concentração elementar média obtida para particulado fino e grosso na campanha de amostragem realizada em Cuiabá no período sazonal seco em (a) 1993, (b) 1994 e (c) 1995.
- Tabela 6. Concentração média em porcentagem dos Elementos químicos e do Material Particulado em relação ao Material Inalável.
MI* e MP* - unidade $\mu\text{g}/\text{m}^3$; Os Elementos – ng/m^3 .
- Tabela 7 – Concentração elementar média obtida para particulado fino e grosso na campanha de amostragem realizada em Cuiabá no período sazonal úmido em (a) 1992/93, (b) 1993/94 e (c) 1994/95.

Tabela 8 – Concentração média em porcentagem dos Elementos químicos e do Material Particulado em relação ao Material Inalável.
MI* e MP* - unidade $\mu\text{g}/\text{m}^3$; Os Elementos – ng/m^3 .

LISTA DE ABREVIATURAS

PS: Período Seco.

PU: Período Úmido.

PSU: Período Sazonal Úmido.

PSS: Período Sazonal Seco.

AFG: Amostrador de Particulado Fino e Grosso.

INAA: Análise Instrumental por Ativação de Neutros.

MP: Material Particulado.

MPF: Material Particulado Fino.

MPG: Material Particulado Grosso.

FF: Fração Fina.

FG: Fração Grossa.

MI_(S): Material Inalável Seco.

MI_(U): Material Inalável Úmido.

NCN: Núcleos Condensadores de Nuvens.

COVs: Compostos Orgânicos Voláteis Solúveis em Água.

BC: Black Carbom.

PAHs: Hidrocarbonetos Poliaromáticos

NMCO: Compostos Orgânicos não Metânicos.

BVOC: Compostos Orgânicos Voláteis Biogênicos

BVOCs: Compostos Orgânicos Voláteis Biogênicos Solúveis.

CETESB: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental.

EPA: Agência de Proteção Ambiental

CONAMA: Conselho Nacional do Meio Ambiente.

PTS: Partículas Totais em Suspensão.

PI: Particulado Inalável.

COS: Sulfeto de Carbonil.

DMS: Sulfeto de Dimetila.

DMDS: Disulfeto de Dimetila.

MeSH: Metilmercaptam.

DEA: Diâmetro de Equivalência Aerodinâmica.

UV: Ultra Violeta.

INPE: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

MGA: Média Geométrica Anual.

MAA: Média Aritmética Anual.

LISTA DE SÍMBOLOS

°C: Graus Centígrados.

ha: Alqueire

h: Horas

Z: Número Atômico

Km: Quilômetro

%: Porcentagem.

µm: Micrômetro.

PM_{2,5}: Diâmetro de Corte da Fração Fina.

PM₁₀: Diâmetro de Corte Inalável.

D_{50%}: Diâmetro de Corte dos Aerossóis que Penetram além da Laringe.

D_(sup): Diâmetro de Corte dos Aerossóis em Suspensão na Atmosfera.

W/m²: Vatts por Metro Quadrado.

K: Kelvin

Kg/m²: Quilograma por metro quadrado.

µg/m³: Micrograma por Metro Cúbico

ηg/m³: Nanograma por Metro Cúbico

mm: Milímetros.

h/dia: Horas por dia.

RESUMO

REBELATTO, A. L. **Determinação de Índices Quantitativos de Material Particulado Inalável no Períodos Seco e Úmido na Cidade de Cuiabá.** Cuiabá, 2006. 95p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Física e Meio Ambiente da Universidade Federal de Mato Grosso.

A região da cidade de Cuiabá apresenta problemas de poluição no Período Seco (PS). A quantidade excessiva de material particulado (aerossóis) na atmosfera em centros urbanos é comprovadamente prejudicial à saúde humana. Com intenção de determinar índices de diferença de material particulado no período seco e úmido, uma campanha foi montada com três anos de amostragem com intervalo de troca de filtro entre 3 a 5 dias. O trabalho foi construído analisando dois períodos sazonais. O Período Sazonal Úmido (PSU) está compreendido entre os meses de Dezembro e Março dos anos 1992/93, 1993/94 e 1994/95, e Período Sazonal Seco (PSS) compreendido entre os meses de Junho a Setembro dos anos 1993, 1994 e 1995. A seleção de partículas de aerossóis acontece no Amostrador de Particulado Fino e Grosso (AFG), realizado pelo Inlet a 2,8 m de altura do solo. O Amostrador de Particulado Fino e Grosso é montado com filtros empilhados com diferentes diâmetros de equivalência, o filtro fino possui 0,4 μm e filtro grosso 8 μm . O filtro utilizado é de policarbonato da marca Nuclepore de 47 mm de diâmetro. A massa do material particulado coletado verificada foi uma balança analítica e a concentração elementar foi identificada pelo INAA (Análise Instrumental por Ativação de Neutros). O Período Úmido (PU) caracteriza-se pela baixa concentração de material particulado (MP), devido às condições meteorológicas favoráveis à dispersão. O material particulado grosso (MPG) é encontrado em maior concentração que o

material particulado fino (MPF), incluindo a concentração elementar, com exceção dos elementos químicos Enxofre e Bromo que são encontrados na fração fina. O maior e menor índice de diferença do material particulado fino e grosso encontrado é do Cálcio e Zinco. O Período Seco (PS) caracteriza-se por condições meteorológicas desfavorável à dispersão de aerossóis. O material particulado fino (MPF) é encontrado em maior concentração que material particulado grosso (MPG), Os elementos químicos Enxofre e Bromo possuem maior concentração na fração fina e o restante dois elementos químicos estudados são encontrados na fração grossa. O maior e menor índice de diferença do material particulado fino e grosso encontrado é do Cálcio e Bromo, respectivamente. A Fração Fina (FF) foi analisada comparando concentração elementar e material particulado fino do período sazonal seco e úmido. O maior e menor índice de diferença do material particulado fino Potássio e o Cloro, respectivamente. A fração grossa (FG) também foi analisada comparando as concentrações elementar e material particulado grosso do Período Úmido e Seco. O maior e menor índice de diferença do material particulado grosso nos períodos seco e úmido e o Fósforo e Potássio, respectivamente. O material inalável possui maior concentração no período sazonal seco, possuindo dias no período seco em que a concentração de material inalável aproxima do padrão máximo nacional. O processo de amostragem e analítico apresenta que é possível determinar índices de diferença intrasazonal (Fino-Grosso), intersazonal (Fino-Fino, Grosso-Grosso e $MI_{(S)}-MI_{(U)}$) na cidade de Cuiabá.

Palavras-chave: Material particulado, poluição e sazonalidade

ABSTRACT

The region of the city of Cuiabá presents problems of pollution in the dry season (PS). The high amount of particulate material (aerosols) in the atmosphere in urban centers is comparable harmful to the health human being. With intention to determine index of difference of material particulate in the dry and humid period, a campaign of 3 (three) years of secular sampling with interval of exchange of filter of 3 was made the 5 days. The work was constructed analyzing two season period. Humid the Seasonal Period (PSU) is understood enters the months of December and March of years 1992/93, 1993/94 and 1994/95, and Period Seasonal Dry (PSD) understood enters the months of June the September of years 1993, 1994 and 1995. The aerosol particle election happens in the Fine and Coarse of the stacked filter unit (SFU), carried through the Inlet that is installed 2,8m above the ground. The stacked filter unit of Fine and Coarse are mounted with filters piled up with different diameters equivalence, 0,4 μ m the fine filter possess and 8 μ m coarse filter. The used filter is of polycarbonate of the Nuclepore mark of 47 mm of diameter. The mass of the particulate material collected verified was an analytical scale and the elementary concentration was identified by the INAA (Instrumental Analysis for Activation of Neutral). The Humid Period (PU) is characterized for low the concentration of particles material (MP), had to the meteorological conditions (winds and solar radiation) favorable to the dispersion. The thick coarse particles material (MPG) is found in bigger concentration that the fine particles material (MPF), including the elementary concentration with exception of the chemical elements Sulphur and Bromine that are found in the fine fraction. The greater and minor index of difference of found the fine and thick particulate material are of Calcium and Zinc, respectively. The Dry Period (PS) is characterized for meteorological conditions favorable to the

aerosol dispersion. The fine particulate material (MPF) is found in bigger concentration than coarse material particulate (MPG), the chemical elements Sulphur and Bromine possess greater concentration in the fine fraction and the remaining two studied chemical elements are found in the coarse fraction. The greater and minor index of difference of the fine and coarse particulate material are of Calcium and Bromine, respectively. The Fine Fraction (FF) was analyzed comparing elementary concentration and material particulate finish of the dry and humid period. The greater and minor index of difference of the particulate material fine Potassium is the Chlorine, respectively. The coarse fraction (FG) also was analyzed comparing the concentrations elementary and material coarse particulate of the Humid and Dry Period. The greater and minor index of difference of the coarse particulate material in the periods dry and humid is the Magnesium and Potassium, respectively. The materials possess greater concentration in the dry period, possessing days in the dry period where the concentration of inhaled material approaches to the national maximum standard. The analytical process of sampling and presents that it is possible to determine indices of intra-seasonal difference (Fine- Coarse), inter-seasonal (Fine-Fine, Coarse-Coarse and $MI_{(s)}-MI_{(u)}$) in the city of Cuiabá.

Keywords: particulate material, pollutions and seasonal

INTRODUÇÃO

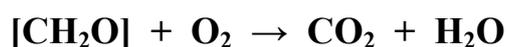
1. PROBLEMÁTICA

A atmosfera do planeta Terra é dividida em cinco camadas, onde a principal camada que fornece condições para a existência da vida é a troposfera. Nessa camada encontramos maior turbulência e concentração de moléculas e particulados, a composição gasosa da troposfera é 78% de nitrogênio, 21% de oxigênio e 1% de outros gases em menor concentração, porém de fundamental importância na manutenção das propriedades químicas da atmosfera.

O sol emite uma grande quantidade de radiação em direção ao planeta Terra e devido à atmosfera uma grande quantidade de energia não chega ao solo, sendo refletida diretamente para o espaço, outra parte chega ao solo e parte dessa energia é absorvida pelo solo e plantas e a outra parte é emitida para a atmosfera. Dessa energia lançada à atmosfera, uma fração é emitida para o espaço e a outra retorna para o aquecimento da troposfera, onde fornece condições adequadas para a existência da vida.

Com o advento de novas tecnologias, desde a revolução industrial até hoje, grande quantidade de gases e materiais particulados estão sendo lançados à atmosfera. Devido a esse comportamento o sensível equilíbrio da natureza pode ser quebrado. Esta situação acontece com o crescimento populacional desenfreado pela criação de novas áreas de agricultura e agropecuária, destruindo grande área de vegetação nativa alterando o balanço energético a nível global.

O Brasil localiza-se no hemisfério sul do planeta Terra, com sua grande extensão territorial existem várias zonas climáticas e diversos tipos de biomas. Esses biomas estão sendo destruídos pelo processo mais barato e simples que é a queimada. A combustão do material orgânico produz gás carbônico (CO₂) e água (H₂O),



Esse tipo de reação química acontece quando a quantidade de oxigênio é suficiente para oxidar toda matéria orgânica, porém, em condições naturais a quantidade de oxigênio não é suficiente para realizar a combustão completa e sim a combustão incompleta, que além de formar gás carbônico e água são formadas outras moléculas e

agregados de moléculas (aerossóis) que interfere no balanço energético e nas proporções de gases existentes (gases traços) na baixa troposfera, sendo assim uma problemática de escala local, regional e global, respectivamente.

Na região do Mato Grosso, onde os índices de focos de queimadas são os mais alarmantes a nível nacional na estação da seca, grande quantidade de aerossóis lançados na atmosfera altera a micrometeorologia absorvendo e refletindo a energia solar, agindo como dispersor de nuvens de chuva, através da grande quantidade de particulados a coalescência acontece sem que exista a formação de gotas de água suficientemente pesadas para ocorrer a precipitação, desta forma as nuvens são dispersas e arrastadas pelos ventos a longas distâncias, havendo danos no ciclo hidrológicos local e regional.

Os aerossóis são classificados em inorgânicos (traços elementares) e orgânicos (carbonáceos). O tempo de permanência depende do seu tamanho, onde a deposição dos aerossóis pode ser a seco, pelas precipitações ou pela alta umidade relativa da atmosfera. Neste trabalho iremos avaliar os aerossóis inorgânicos coletados por aparelho (*inlet*) localizado na pastagem a fim de localizar a fonte emissora dos particulados por meios estatísticos e assim informar a comunidade e ao meio científico da importância de controlar a quantidade de material particulado no ar, pois é na época de seca que existe maior índice de pessoas em hospitais com problemas respiratórios, além de contribuir para a compreensão da microclimatologia da região.

2. JUSTIFICATIVA

O ar atmosférico continental está sendo freqüentemente contaminado por poluentes antropogênicos principalmente nas áreas urbanas. A poluição atmosférica está associada a atividades tecnológicas que estão presentes ao longo da história do homem, desde quando o fogo foi dominado até as máquinas com funcionamento a base de combustível fóssil. O produto da combustão completa (quantidade de oxigênio ideal) libera CO_2 e H_2O . Como as reações em condições ambientes são incompletas (quantidade de oxigênio insuficiente), são lançadas à atmosfera, assim causando efeitos negativos sobre a saúde humana, vegetação, fauna e condições meteorológicas.

Na saúde humana o material particulado ($<10\mu\text{m}$ – Particulado inalável) causa a capacidade pulmonar, redução da resistência física, agravamentos de doenças crônicas e outras doenças que são intensificadas aumentando os gastos públicos com a área da saúde.

Os efeitos da poluição atmosférica sobre a vegetação incluem desde a necrose do tecido das plantas até a interrupção total do processo reprodutivo da planta. Os danos podem ocorrer de forma aguda ou crônica e são ocasionadas pela redução da penetração da luz, por consequência haverá redução da capacidade fotossintética gerada pela deposição de partículas nas folhas; mediante introdução de poluentes no solo e absorvidos pelas raízes das plantas; pela penetração dos poluentes nos estômatos (organela importante para a respiração e transpiração das plantas).

Quanto à vida animal, os efeitos dos poluentes atmosféricos aumentam a suscetibilidade a doenças, peste e outros riscos ambientais relacionados ao estresse, à diminuição das fontes de alimentos e à redução da capacidade de reprodução.

E por fim, a mudança meteorológica que pode alterar todos os efeitos acima citados, pois ventos, umidade relativa, temperatura e chuvas são parâmetros de estudo e acompanhado a muito tempo, pois pode prever informações essenciais à população.

Por todos esses efeitos, o material particulado (aerossóis) suspenso no ar proporciona o estudo nessa área que terá utilidade científica (interpretação dos dados amostrados) quanto popular (informar os resultados amostrados), dos riscos que a poluição atmosférica causa ou poderá causar ao ser humano e a todos que vivem na Terra.

3 - OBJETIVO

O objetivo geral deste trabalho é a determinação de índices que quantificam o material particulado inalável nos períodos seco e úmido.

Os índices são divididos em três:

- ◆ O primeiro índice representa a variabilidade do comportamento do material fino e grosso no período sazonal seco e úmido;
- ◆ O segundo índice representa o comportamento do material de mesmo diâmetro de equivalência de aerodinâmica em períodos sazonais diferentes;
- ◆ O terceiro índice é quantificar a relação do material inalável no período sazonal seco com o material inalável no período sazonal úmido,

A quantificação de material particulado na atmosfera são dados de fundamental importância pois serve de parâmetro para tomadas de decisões políticas ambientais e sociais para a cidade de Cuiabá.

CAPÍTULO I - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1 - ATMOSFERA

A atmosfera é a mistura de gases que envolvem o Planeta Terra devido ao campo gravitacional (atração dos corpos para o centro). De acordo com a temperatura, pressão e concentração de substâncias características, a atmosfera subdivide-se em cinco camadas principais, que são: Troposfera, Estratosfera, Mesosfera, Termosfera e Exosfera, de acordo com a Figura 1.

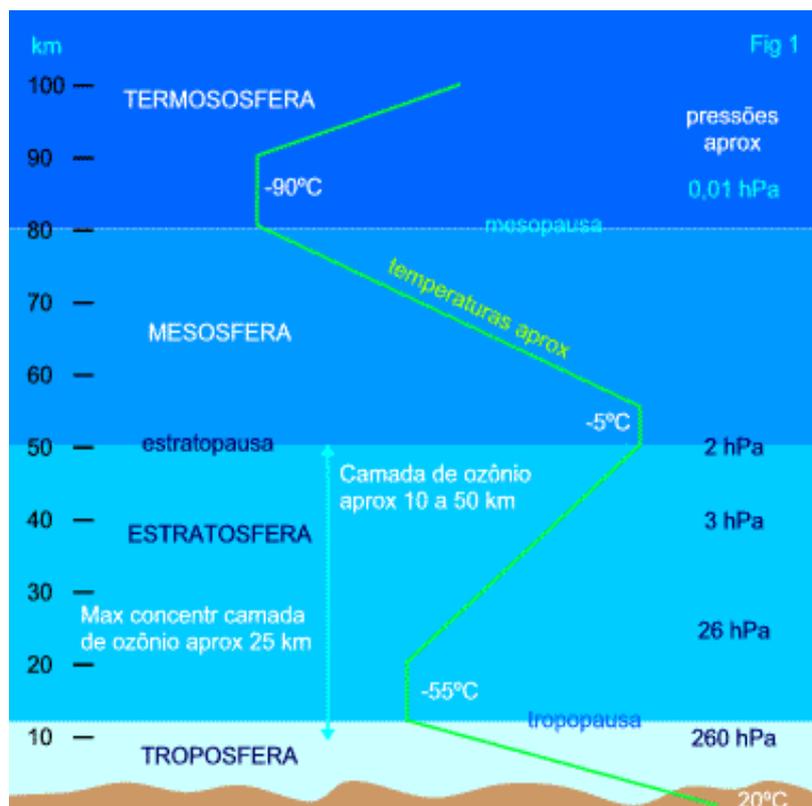


Figura-1. Limites de altura de separação das camadas da atmosfera, temperatura e pressão

As camadas atmosféricas serão brevemente comentadas neste capítulo. O alvo da discussão neste trabalho é a Troposfera, camada que ocorre a maioria das interações físicas e químicas atmosférica e da interação biosfera-atmosfera. A troposfera é a camada mais próxima da superfície da Terra. Ela se estende desde o solo à altura média de 10 Km, tendo variação de altura de acordo com a latitude, ou seja, menor altura nos pólos e maior altura nos trópicos. Na troposfera a temperatura diminui em média 6,5°C a cada 1 Km de altura. Devido ao intenso movimento de energia térmica e das significativas diferenças de temperatura, a troposfera é a camada mais instável da atmosfera. É nessa camada que ocorrem as condições meteorológicas, fenômeno

importante para a dispersão de material particulado tanto biogênico quanto pirogênico. A estratosfera é a segunda camada atmosférica. Encontra-se acima da troposfera sendo separada pela tropopausa, sua extensão é de 12 a 50 quilômetros. Devido ao movimento do planeta seu maior limite tende a ser próximo ao equador e diminuindo próximo aos pólos (HELENE M. H. M., et al., 2001)). A estratosfera define a camada em que a temperatura aumenta com altura crescente. No alto da estratosfera o ar pode alcançar temperaturas perto de 0°C, esta ascensão na temperatura é causada pela absorção da radiação ultravioleta (UV) do sol através das moléculas ozônio. Tal perfil de temperatura e radiação cria condições atmosféricas muito estáveis pela falta de turbulência do ar, fenômeno que é intenso na troposfera. Conseqüentemente, a estratosfera está quase completamente livre das nuvens ou de outros fatores climáticos, fornecendo vantagens para vôo de longa-distância. A estratosfera é separada da mesosfera pela estratopausa. A mesosfera (literalmente esfera média) é a terceira camada a mais elevada em nossa atmosfera, se estendendo de 50 a 80 quilômetros acima da superfície da Terra, é separada da estratosfera pela estratopausa e da termosfera pela mesopausa. A temperatura na mesosfera diminui com altura, aproximadamente a -100°C até o limite superior. A mesosfera é a mais fria das camadas atmosféricas. É frio o bastante para congelar o vapor de água em nuvens de gelo, sendo visíveis quando o sol possui ângulo de 4 a 16 graus abaixo do horizonte. A mesosfera é também a camada em que os muitos dos meteoros se queimam ao adentrar a atmosfera da terra. Da terra são vistos como estrelas cadentes. A termosfera é a camada atmosférica mais afastada do planeta Terra com distância inicial do solo de aproximadamente 80Km de altura em direção ao espaço, sendo dividida em duas partes. A ionosfera camada inferior da termosfera que inicia a 80Km com o término aproximado em 550Km de altitude e a exosfera ou termosfera superior localizada acima do limite superior da ionosfera, que se funde com o espaço. A região que divide a termosfera em ionosfera e exosfera é chamada de termopausa. No interior da termosfera a temperatura facilmente alcança 1000°C devido à extrema quantidade de radiação solar com sensação térmica de frio (BRANCO S. M. & MURGEL E., 2000).

1.1 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA E ESTRUTURA DA TROPOSFÉRA

A troposfera é a região da atmosfera que ocorre a maior concentração dos processos físicos químicos que regulam o clima do planeta, estendendo-se do solo até o

início da estratosfera 10 a 15Km de altura, dependendo da latitude e da estação do ano (OMETTO J. C. 1981) . A troposfera pode ser dividida em duas partes: Camada Limite (camada de mistura e camada de inversão) e Atmosfera livre, que através de movimentos verticais e convectivos ocorrem interações das camadas (Figura 2).

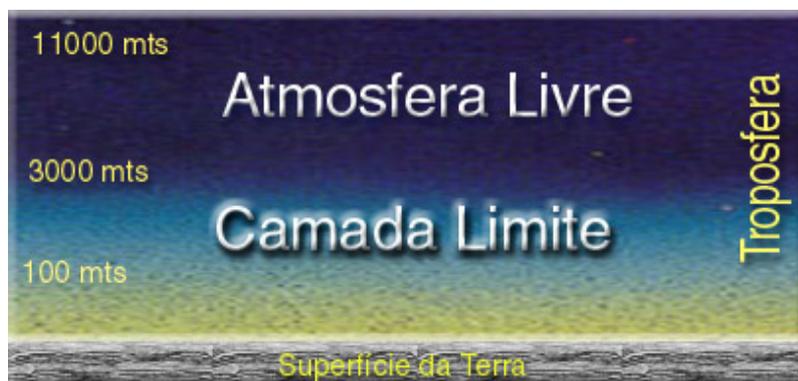


Figura 2. Troposfera: Camada Limite – próxima da Terra; Atmosfera Livre – acima da camada limite

A composição química gasosa da troposfera é relativamente homogênea, sendo composta basicamente de: Nitrogênio (N_2 -78%), Oxigênio (O_2 -21%), Argônio (Ar-0,9%) e gases traços (CO_2 , CH_4 , CO , NO_x , O_3), hidrocarbonetos e outros componentes. A concentração de vapor de água varia com a altitude e a temperatura.

O vapor de água contribui significativamente para o aquecimento global e possui um papel importante no ciclo dos macros-nutrientes (N, Ca e Fe) e micros-nutrientes (Mn, B, Cu, Mo, Co, Si, Cl, Se e Ni) das plantas através do ciclo hidrológico. O vapor de água é um meio reacional importante dos processos químicos atmosféricos, já que a água é fonte de radicais Óxidos de Hidrogênio (HO_x). O radical hidroxila ($HO\cdot$) na fase gasosa é capaz de oxidar Hidrocarbonetos (HC) e Monóxido de Carbono (CO), quando solúvel em água promove a oxidação de compostos orgânicos à formaldeído [$CH_2(OH)_2$] e formato ($HCOO\cdot$), reciclando (HO_2) $_{(aq)}$ e O_2 . Gás ozônio (O_3) e Peróxido de hidrogênio (H_2O_2) tanto na fase gasosa quanto aquosa (catalisado pela oxidação de metais, exemplo: Fe^{2+}/Fe^{3+}) na presença de luz solar são reagentes para obtenção direta do radical hidroxila (JACOB D. J.,1989; JACOB D. J., 1999). As substâncias submicrométrica possuem eficiência no espalhamento da radiação na faixa do UV e do visível, desta forma afeta a produção do radical Hidroxila ($HO\cdot$) que é a principal entidade química para reações fotoquímica (ARTAXO P. et,al, 2002). Cristais de gelo

em nuvens altas proporcionam condições superficiais para ocorrer processos químicos heterogêneos que são impossíveis de acontecer na fase gasosa.

Um dos mecanismos envolvidos na mudança do aumento de componentes químicos da atmosfera são as atividades antropogênicas como o desflorestamento para a prática agrícola (monocultura), agropecuária (pastagens), urbanização (queima de combustível fóssil veicular). Para o manejo de transformação para o uso da terra, a prática mais barata é a queima de biomassa nativa que pode ser responsável pela mudança do albedo local. Os aerossóis são de especial interesse no estudo climático pois pode atuar diretamente e indiretamente. Os efeitos diretos ocorrem pela ausência de nuvens (1) retorno da luz solar para o espaço aumentando albedo, conseqüentemente o esfriamento da Terra; (2) Absorção da luz solar, tendo como efeitos principais a redução dos movimentos convectivos, índices pluviométricos, evaporação dos oceanos e a velocidade dos ventos durante as chuvas, sendo o principal causador deste fenômeno o black carbon devido suas propriedades específicas de superfície, tendo um importante papel como uma das forçantes climáticas. Tanto no espalhamento (lançando a radiação solar de volta para o espaço) e absorção da radiação solar quanto núcleos condensadores de nuvens (NCN), afetam o balanço energético, com alteração destes fenômenos é potencialmente ocasional a mudança climática (LIU, C e SMITH, M. H., 1995) em escala regional e contribuindo para escala global, podendo chegar a níveis irreversíveis para o Planeta Terra.

1.2 - Forçantes Climáticas

Forçante Climática é o conjunto de mecanismo que altera o equilíbrio energético global. A classificação das forçantes climáticas é de ordem natural e antropogênica. As forçantes naturais tais como: erupção vulcânica, queima espontânea de biomassa e flutuações do brilho solar influenciam em curtas escalas temporais. Porém as forçantes climáticas antropogênicas como dióxido de carbono, metano, clorofluorcarbonetos, óxido nitroso, ozônio, black carbon, aerossóis, mudança no uso da terra, já ultrapassaram em quantidade as forçantes naturais lançadas à atmosfera, intensificando o efeito estufa em escala global (Figura 3). Esse aumentando acontece desde a II Guerra Mundial.

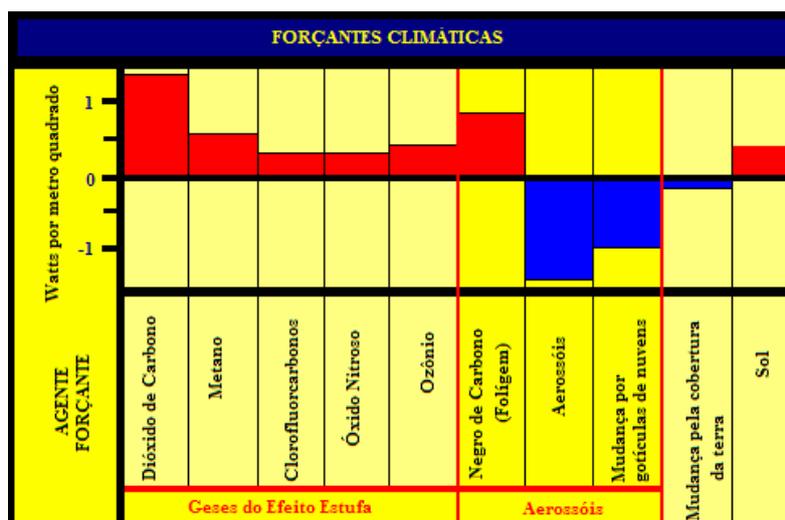


Figura 3. Fontes que alteram o balanço de energia da Terra (Gases e Aerossóis).

O mais importante gás do efeito estufa é o dióxido de carbono (CO_2) que, na maior parte, é produzido pelo homem principalmente da queima de combustível fóssil (petróleo, carvão mineral e gás) nos centros urbanos e queima de biomassa (florestas e cerrado e outros) nas áreas rurais, mas o somatório de outras forçantes (CH_4 , ClFCs, N_2O e O_3) equivalem são comparáveis. O black carbon produzido exclusivamente da combustão incompleta de combustível fóssil, biocombustível e queima de biomassa possuindo uma característica de absorver as radiações solares, sendo assim é uma forçante que intensifica o efeito estufa. Todos os compostos que possuem a tendência de intensificar o aquecimento global (efeito estufa) são chamados de forçantes climáticas positivas.

Os aerossóis, em específico o material particulado fino (MPF), são muito refletivos, causando também, efeitos climáticos indiretos ao alterarem a estrutura e propriedade das nuvens, tornado-a mais brilhante e de mais longa duração, com isso a quantidade de radiação solar que atinge o solo é diminuída, provocando o resfriamento do solo. Uma outra forçante provocada pelo homem é a troca de floresta pelas plantações (pastagem ou agricultura). Todos os compostos que possuem a tendência inversa à intensificação do aquecimento global (efeito estufa) são chamados de forçantes climáticas negativas (HANSEN J. 2004)

O Balanço Energético da Terra estará em equilíbrio quando o calor que é emitido do planeta se iguala à energia que chega do sol, portanto, atualmente o balanço energético não está em equilíbrio, na década de 80 houve um acréscimo de $+0,5\text{W/m}^2$ havendo um declínio na década de 90 para $+0,3\text{W/m}^2$, esse fato se deve à diminuição da emissão de clorofluorcarbonetos (CFCs) para atmosfera. Os aerossóis produzidos pelo homem têm aumentado a reflexão da luz solar da Terra sendo um contra ponto no aquecimento global (KOÇAK M. et al, 2004; HANSEN J. 2004).

Um modo de definir o panorama é examinar as atuais tendências dos agentes das forçantes climáticas, indagando por que estão se alterando e minimizar essas ações com fontes alternativas de energia.

1.3 - FOGO

O conjunto de queimadas e desflorestamentos são grandes problemas ambientais nacional, com conseqüências futuras no orçamento energético a nível regional e global. A queimada (combustão) de biomassa é iniciada de forma natural e por iniciativa humana. A forma natural pode ocorrer por fatores climáticos, pelo grande tempo sem precipitação associado a uma faísca de relâmpago fornecendo assim a energia de ativação (ignição) para o fogo se espalhar; e a forma antropogênica é usar o fogo para fins econômicos – converter cerrado e floresta em áreas de pastagem e monocultura agricultura, pois no Mato-Grosso integra a Floresta Amazônica, Floresta de Transição, Pantanal e Cerrado, tendo grandes potenciais de crescimento econômico. A queimada é usada como ferramenta de controle as pragas e inibir o crescimento de plantas invasoras de pastagem (LEAL A.M.C. 2003).

O desflorestamento é um outro fator agravante, pois o processo deixa clareiras onde há maior incidência da luz solar deixando a vegetação suscetível ao início (ignição) de uma queimada. A transformação de florestas e cerrado em pastagem provoca um desequilíbrio no comprimento de ondas de emissão do material aumentando o albedo da superfície do planeta.

Grandes alterações nos fatores climáticos criam perturbações no sistema sócio/econômico e na saúde da população regional. A queima de biomassa produz principalmente água (H₂O) e gás carbônico (CO₂), de acordo com a seguinte reação química:



onde [CH₂O]_n é material combustível (biomassa). Além dessas substâncias são também formadas substâncias em menor concentração como o NO_x, CO, CH₄, Compostos Orgânicos não Voláteis (CONM), Compostos Orgânicos Voláteis (COV), particulados sólidos (aerossóis) e outras substâncias como subproduto da combustão incompleta, que será estudado particularmente mais à frente.

A queimada é classificada em cinco estágios: “**Ignição**” – energia de ativação para iniciar a queimada, que depende de fatores ambientais como a umidade relativa, temperatura e vento; “**flaming**” - é o processo pirolítico envolvendo processos químicos de quebra de matéria orgânica de grande peso molecular em moléculas de baixo peso molecular e por fim os compostos gasosos com grande liberação de energia. A temperatura pode chegar à 1800K, nessa fase da queimada os principais produtos são os: CO₂ (dióxido de carbono), H₂O (água) e o CO (monóxido de carbono); “**smoldering**” - é a fase da queima onde as condições necessárias para manutenção do processo *flaming* são diminuídas, a temperatura é abaixo de 1000K, existe nessa fase a redução da emissão de dióxido de carbono (CO₂), para o aumento da emissão do monóxido de carbono (CO), de partículas inorgânicas e acrescidas de partículas orgânicas. É a fase que mais emite partículas sólidas para a atmosfera; “**extinção**” é obtida por fator físico como a falta de biomassa e por fator ambiental através de correntes convectivas frias havendo a diminuição da quantidade de gás oxigênio para a continuação da queimada (FREITAS 1999).

A fase do fogo que lança maior variedade de substâncias à atmosfera é fase *smoldering*, enquanto a fase *flaming* libera maior quantidade de substâncias para atmosfera

Fase	Ambas
<i>flaming</i>	as
	fases
CO ₂	
NO;	
N ₂ O;	
N ₂	C ₂ H ₂ ;
SO ₂	NCCN
Black	
Carb	
on	

Tabela 1. Principais substâncias liberadas pelo Fogo (estágio flaming e smoldering)

A evolução da queimada e a emissão de gases dependem de alguns fatores como (1) a água distribuída na biomassa, onde determina a quantidade de CO e CO₂ lançado para a atmosfera, pois a energia de transformação de estado de agregação da água líquida para vapor é extraída do calor liberado da chama. Outros fatores importantes são: (2) geometria da biomassa (densidade, área superficial espessura); (3) composição química (substâncias voláteis inflamáveis); (4) direção dos ventos e (5) topografia do local. O clima local tem grande importância na determinação de biomassa da região disponível para queimada. A determinação das condições necessárias para a ocorrência do fogo e seu comportamento depende do estágio da queimada, na combustão *flaming* a oxigenação do material é alta liberando maior concentração de CO₂ para a atmosfera até a combustão *smoldering* onde a concentração de CO₂ diminui e aumenta a concentração de CO lançado para atmosfera pela falta de oxigenação no local da queima.

Segundo FREITAS (1999) quatro formas fisionômicas do Cerrado, tais como Campo Limpo, Campo Sujo, Campo do Cerrado e Cerrado s.s. (Figura 4), sofreram procedimento de queima de biomassa no Cerrado.

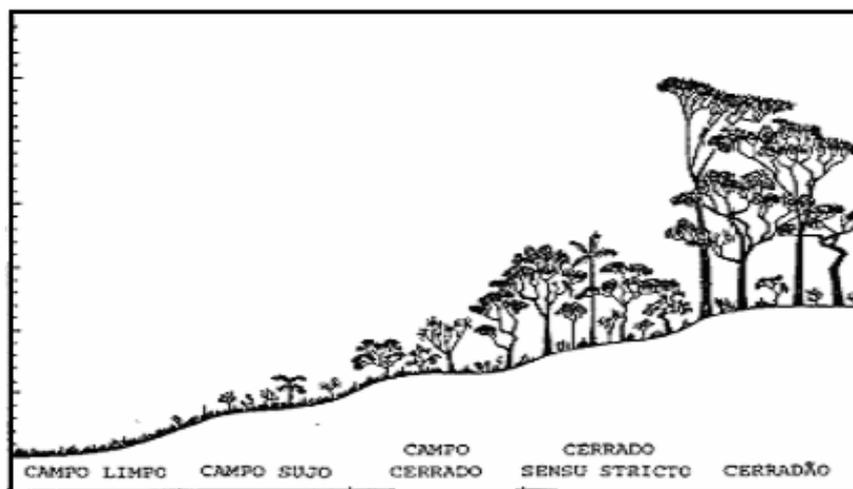


Figura 4. Formas fisionômicas do Cerrado

A evolução da experiência deduz e apresenta (Tabela 2) dados obtidos por Ward et al. (1992), para a estimativa de biomassa acima do solo (Kg/m^2) e o fator de combustão (fração da biomassa efetivamente queimada) do Cerrado

Tipo de Cerrado	Biomassa acima do solo (kg/m^2)	Fator de combustão (%)
Campo Limpo	0,71	100
Campo Sujo	0,73	97
Campo Serrado	0,86	72
Cerrado Sensu Stricto	1,00	84

Tabela 2. Indica o Fator de Combustão de acordo com o tipo de Cerrado.

1.4 - GRANULOMETRIA

Os estudos sobre o tamanho das partículas (Figura 6) são de grande interesse para os efeitos causados à saúde dos seres vivos, as propriedades ópticas da atmosfera (espalhamento e absorção) e com orçamento de energia (balanço energético) da Terra.

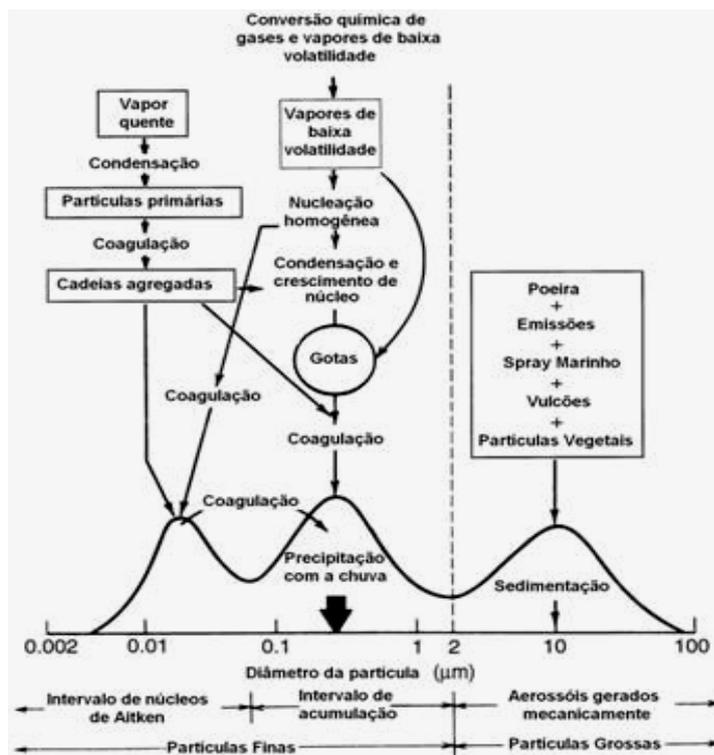


Figura 5. Ciclo de formação de material particulado na atmosfera e o diâmetro de equivalência do particulado inalável.

O material particulado (aerossol) é dividido em duas principais modas. A fração fina com diâmetro equivalente a $2,5\mu\text{m}$ é subdividido em (1) Faixa de nucleação – partículas menores de $0,2\mu\text{m}$, fase onde encontramos o processo de transformação de gás em partícula; (2) Faixa de acumulação – partículas entre $0,2 - 2,5\mu\text{m}$, faixa de baixa condensação e coagulação da faixa de nucleação. As partículas grossas com diâmetro equivalente maior que $2,0\mu\text{m}$ até centenas de micrômetro, resultante dos mecanismos gerado pela superfície da Terra. (SEINFELD J. H. & PANDISS. N., 1998). O principal componente da moda fina (acumulação) são sulfatos, nitrato, amônio, compostos orgânicos e black carbon e os principais componentes da moda grossa são poeira do solo (Óxidos de Metais), sal dos oceanos (JACOB D., 1999) e nas floresta compostos orgânicos biogênicos (ARTAXO P. & HANSSON H. C., 1994)

2 - PADRÃO DE QUALIDADE DO AR

Assim como os poluentes atmosféricos não possuem fronteiras territoriais entre países, os efeitos da poluição na atmosfera provocados por esses poluentes abrangem

uma escala global. Como exemplo da atividade desses poluentes na atmosfera é a destruição da camada de ozônio estratosférico e intensificação do efeito estufa entre outros fenômenos troposféricos. Para que não haja danos irreversíveis futuros, é de consenso internacional a obrigação de limitar as emissões e o monitoramento de determinados gases poluentes (Forçantes Climáticas) lançados para atmosfera.

Os Principais objetivos do monitoramento da qualidade do ar são:

- ◆ Fornecer dados para ativar ações de emergência durante períodos de estagnação atmosférica quando os níveis de poluentes possam representar riscos à saúde pública;
- ◆ Avaliar a qualidade do ar com a finalidade de estabelecer limites para proteger a saúde e o bem estar das pessoas;
- ◆ Acompanhar as tendências e mudanças na qualidade do ar devido às alterações nas emissões de poluentes.

(CETESB, 1998).

Para atingir esses objetivos, torna-se necessária fixação de padrão para monitoramento da qualidade do ar.

CETESB (1998) define legalmente um limite máximo para concentração de componentes atmosférico que garanta a proteção da saúde e o bem estar das pessoas. Os padrões de qualidade do ar são baseados em estudos científicos dos efeitos produzidos por poluentes específicos e são fixados em níveis que possam proporcionar uma margem de segurança adequada.

A Agência de Proteção Ambiental – EPA fundada em 1967 (Estados Unidos da América) cria, em 1999, um padrão de qualidade de ar específico para o material particulado fino, devido às evidências de fatos danosos ao bem estar dos seus cidadãos, bem como a atmosfera. A EPA define padrões de qualidade do ar ambiente (atmosfera) para seis poluentes, como: Monóxido de carbono, Dióxido de Nitrogênio, Ozônio, Dióxido de Enxofre, Chumbo, PM₁₀ e PM_{2,5}.

No Brasil, o monitoramento da poluição atmosférica e o controle da qualidade do ar são previstos por legislação, a qual prevê o estabelecimento de padrões nacionais

de qualidade do ar. A abrangências desses padrões estão voltadas para os principais poluentes atmosféricos, adotados mundialmente como indicadores da qualidade do ar (Dióxido de Enxofre, Particulados em suspensão, Monóxido de Carbono e Oxidantes fotoquímicos – Ozônio, Hidrocarbonetos e Dióxido de Nitrogênio). Lei federal, pela Resolução CONAMA nº 03/90, estabelece dois tipos de padrões de qualidade do ar, sendo esses os primários e secundários. O padrão primário de qualidade do ar é medido quando ultrapassa as concentrações de poluentes, podendo afetar a saúde da população, são níveis máximos de concentrações de poluentes atmosféricos (medidas tomadas a curto e médio prazo). O Padrão Secundário da qualidade do ar medido abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem estar da população, à fauna e também a flora. Podem ser considerados como níveis toleráveis de concentração de poluentes (medidas tomadas em longo prazo).

O objetivo de estabelecer os padrões secundários é criar uma base para uma política de prevenção da degradação da qualidade do ar. Devem ser aplicados à área de preservação ambiental, não se aplicam as áreas de desenvolvimento, onde devem ser aplicados padrões primários. Como prevê a Resolução CONAMA nº 03/90 a aplicação diferenciada de padrões primárias e secundárias requer que o território nacional seja dividido em classes conforme o uso pretendido, como ainda não existe o estabelecimento das classificações das áreas os padrões aplicados são os primários.

Os parâmetros dos padrões estabelecidos de qualidade do ar que foram regulamentados são: partículas totais em suspensão, fumaça, partícula inaláveis, dióxido de enxofre, monóxido de carbono, ozônio e dióxido de nitrogênio. Esses padrões estão apresentados na Tabela 3, segundo a Resolução CONAMA nº03/90 e EPA.

--	--	--	--	--	--

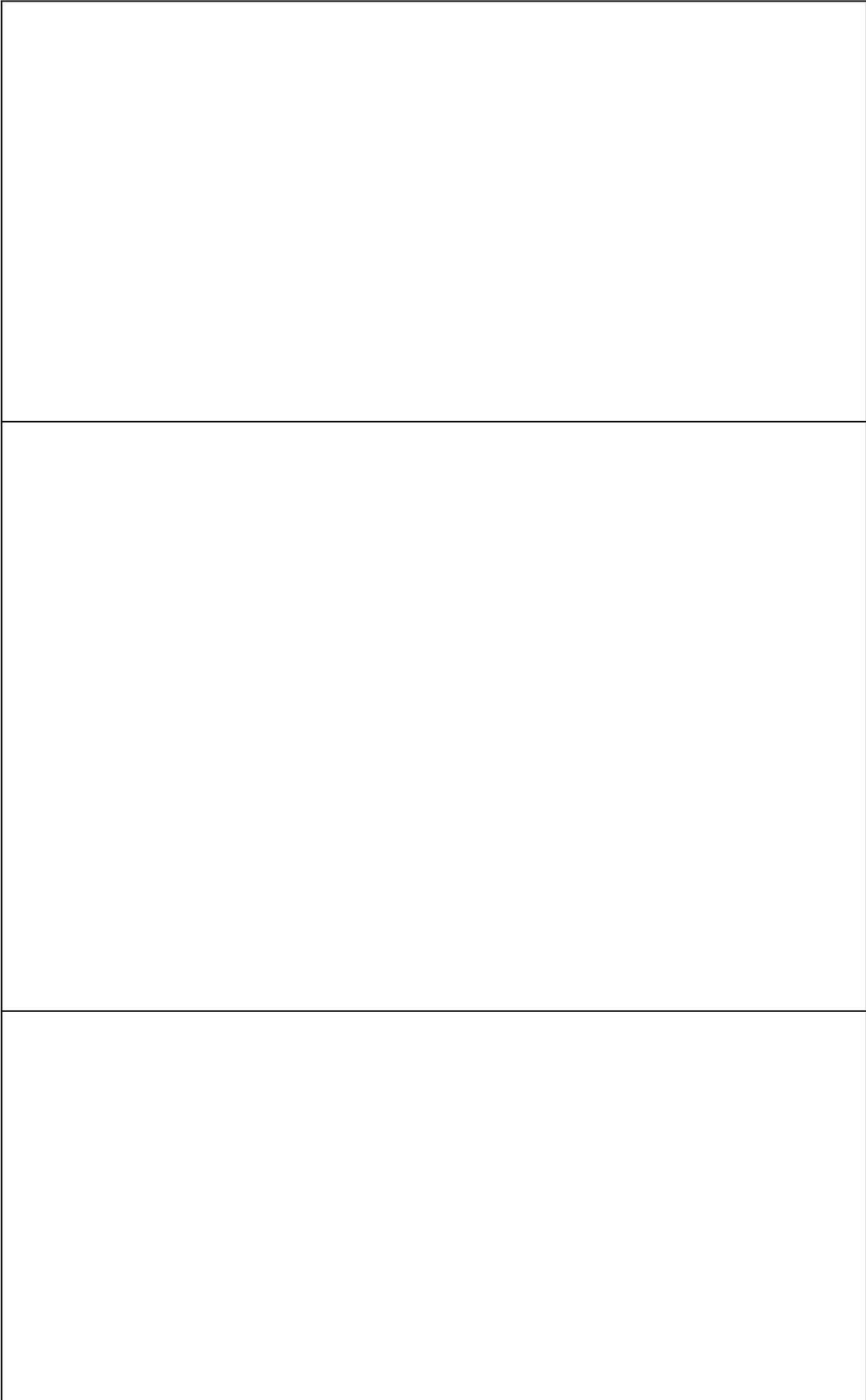




Tabela 3. *Dados de padrão de qualidade do ar atmosférico Nacional (CETESB) e Agência de proteção Ambiental (EPA) para os principais poluentes urbanos.* Onde as medidas de 24, 8 e 1 hora não pode exceder uma vez ao ano.

MAA – Corresponde a Média Aritmética Anual.; MGA – Corresponde a Média Geométrica Anual

CETESB (1998), entre outros, propõe uma subdivisão do material particulado considerando duas classes de partículas: as partículas totais em suspensão (PTS) – diâmetro de equivalência menor que 50 μm ; e os particulados inaláveis (PI) - diâmetro de equivalência menor que 10 μm . É estabelecido, também, padrões de qualidade do ar atmosférico específico para material particulado em suspensão (Tabela 4), tanto para curtos período de exposição (24h) como para longos período (médias anuais).

--	--	--	--	--

Tabela 4. Padrões de qualidade do ar para material particulado (CETESB). Onde as medidas que não pose exceder uma vez ao ano; MAA – Corresponde a Média Aritmética Anual; MGA – Corresponde a Média Geométrica Anual

Estudos sobre caracterização de poluentes atmosféricos em centros urbanos e seus efeitos na saúde da população, fauna e flora, mostra de forma cada vez mais acentuada quais são suas causas e efeitos dos aerossóis, portanto estudos a respeito dos aerossóis são constantemente efetuados em todo mundo a fim de entender melhor quais são seus efeitos, principalmente, sobre a saúde humana.

3 - Aerossóis

Por resultado (Figura 6) das atividades humanas e por processo de emissão natural, os aerossóis lançados à baixa troposfera (camada limite) são classificados em aerossóis inorgânicos e orgânicos. O aerossol inorgânico possui característica hidrofílica, formando solução iônica através da separação dos íons preexistentes (Dissociação). Os aerossóis orgânicos possuem características hidrofóbicas (Insolúveis

em água) e hidrofílicas, formando soluções moleculares (Dissolução); e iônica através de reações químicas de oxidação (Ionização) (SEINFELD J. H., 2000).

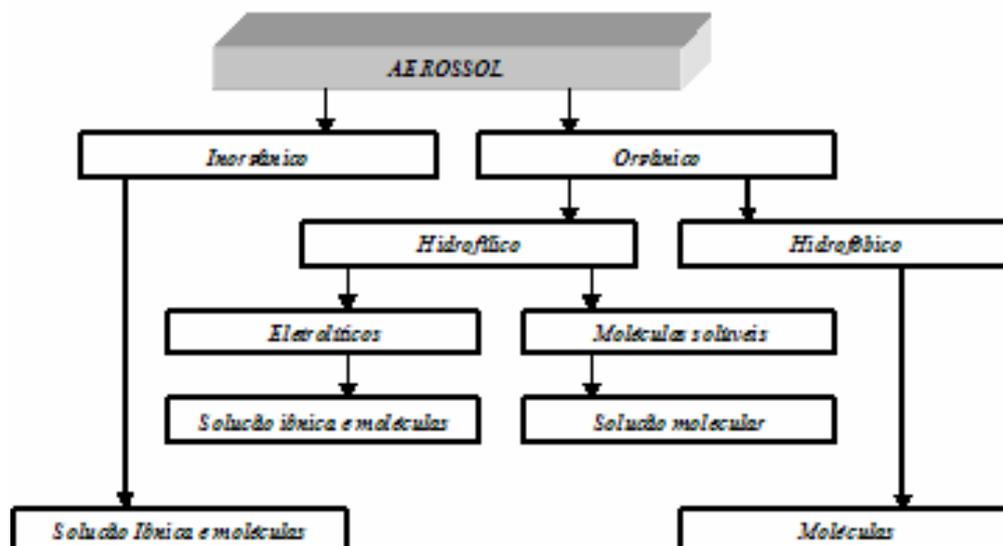


Figura 6. Resultados das atividades humanas e processo de emissão natural os aerossóis lançados à baixa troposfera.

Os aerossóis são constituídos por uma mistura de partículas de origem primária sendo, principalmente, a combustão incompleta de combustíveis fósseis de automóveis, processos industriais, ressuspensão de poeira local, emissões orgânicas e outras com possibilidade de origem externa, tais como sal do oceano e erupções vulcânicas (MIRANDA J.,1996), já as partículas de origem secundária são produzidos durante a reação de foto-oxidação dos compostos biogênicos naturais com isopreno, monoterpenos e outros gases com enxofre e nitrogênio e outros compostos (ARTAXO P. e HANSSON H. C.,1994).

As partículas de aerossóis possuem tamanho que variam de nanômetro (nm) a dezenas de micrômetros de diâmetro. O particulado é dividido em duas modalidades definidas por intervalo de tamanho onde é concentrado o maior número de particulado: a moda fina que possuem, no máximo 2,5 μm de diâmetro aerodinâmica e a moda grossa que possuem particulados compreendido entre 2,5 e 10 μm , essa separação de tamanho de particulados é necessário pois existem comportamento e propriedades químicas e físicas diferentes nos processos atmosféricos de remoção e emissão. A moda fina (ou fração $\text{PM}_{2,5}$) são geradas por processos da queima de combustível fóssil, por indústrias,

veículos bem como metais traços de origem da transpiração e gutação dos vegetais e também proveniente de reação fotoquímica seguida pela conversão de gás em partículas na atmosfera. A moda grossa é geralmente constituída a partir de processos mecânicos como ressuspensão de poeira do solo por ventos e aerossóis biogênicos primários lançados pela própria natureza.

O particulado inalável definido como a fração em massa das partículas totais em suspensão que são inaladas através da boca e narina, dependendo da velocidade e direção do movimento do ar próximo da altura da cabeça, pode ser classificada em fração torácica – partículas que penetram além da laringe ($D_{50\%}$ igual a $11,64 \mu\text{m}$ e $D_{(\text{sup})}$ igual a $30 \mu\text{m}$) e fração respirável – particulado que atinge os alvéolos pulmonares ($D_{50\%}$ igual a $4 \mu\text{m}$ e $D_{(\text{sup})}$ igual a $12 \mu\text{m}$) (ALMEIDA I. T., 1999) essas substâncias são basicamente constituídas de sulfatos $[(\text{SO}_4)^{2-}]$, nitratos $[(\text{NO}_3)^{1-}]$, amônia (NH_3), metano (CH_4), aerossóis carbonáceos, sais marinhos, elementos do solo (Al, Si, Ti, Ca, Fe), metais pesados (Pb, Zn, V, Cu, Ni, Cd, Cr e outros) e água.

O aerossol carbonáceo é hoje reconhecido como o componente mais abundante em massa de carbono lançada à atmosfera. Os carbonáceos são formados e constituídos de compostos orgânicos primários e secundários. As fontes de carbonáceos orgânicos primários são de origem, principalmente, a combustão incompleta e evaporação de combustível fóssil, processos de industrialização e emissão biogênica. As fontes secundárias são formadas a partir das reações químicas heterogêneas dos COVs com gases traços para formação de substâncias que possuem diâmetro equivalente igual ou superior aos dos aerossóis. O black carbon (BC) é um particulado exclusivamente primário produto da combustão incompleta.

Os aerossóis influenciam de forma direta e indireta na alteração temporária do clima nas regiões urbanas e nas regiões rurais, com tudo, o aerossol possui papel definitivo no balanço radiativo da atmosfera. Dependendo do tamanho e composição química os particulados possuem propriedades ópticas diferentes:

(1) absorção, aumentando a temperatura do planeta. A principal espécie do fenômeno é o *Black Carbon* (forçante positiva). Segundo estudos realizados, o *Black Carbon* possui uma boa absorção num comprimento de onda da radiação solar que

favorece a formação de compostos orgânicos semivoláteis como hidrocarbonetos poliaromáticos (PAHs).

(2) espalhamento, diminuindo a temperatura do planeta (forçante negativa), espalhando a radiação solar de volta para o espaço. Segundo SEINFELD e PANDIS (1998) os particulados com efeito de espalhamento da radiação solar está compensando a atividade de aquecimento dos gases estufas. Indiretamente, influenciam na condensação de nuvens onde atuam como núcleos condensadores de nuvens alterando ciclo hidrológico e biogeoquímico regional.

A emissão da queima de biomassa representa uma importante fonte global de particulado e gases para a atmosfera. Estes compostos na atmosfera podem alterar suas propriedades, pois o particulado pode absorver e refletir radiação solar (ARTAXO P. & HANSSON H.C. 1994) e alguns gases emitidos tais como CO₂ e CH₄ podem contribuir para ao efeito estufa da Terra. A queima de biomassa pode ser responsável por mais de 45% da emissão global de black carbon com grande eficiência de absorção da radiação solar, outras substâncias na queima de biomassa são lançadas atuando como núcleos condensadores de nuvens (NCN). Estas propriedades podem ser um caminho indireto para mudança no orçamento de radiação da Terra, alterando também o ciclo hidrológico na região tropical, na qual pode haver possível alteração no albedo na região tropical durante a queima de biomassa (YAMASOE et al, 1998).

Aerossóis são de interesse climático pois atuam no orçamento de radiação solar da Terra, a composição e a fonte dos particulados são estudadas tanto no período sazonal úmido quanto seco, isso pela variação de fatores meteorológicos bem estabelecidos. Aerossóis pirogênicos lançados à atmosfera pela queima da biomassa pelas atividades antropogênicas são fortemente carregados na estação seca. Aerossóis biogênicos naturais emitidos pelas áreas verdes constituem-se de partículas primárias (bactérias fungos e outras) e partículas secundárias (conversão de gás em partículas) emitidas pelas plantas e microorganismos (ARTAXO P. & HANSSON H.C. 1994). Partículas biogênicas são caracteristicamente compostas por material orgânico e elementos traços, tais como Na, Mg, P, S, K, Zn e Rb (ARTAXO P. et al, 1994). Outros elementos são encontrados, tais como os macronutrientes (N, Ca e Fe) e micronutrientes

(Mn, B, Cu, Mo, Cl, Co, Si, Se e Ni) que são encontrados freqüentemente em baixa concentração na natureza ou liberados em grande quantidade por outras fontes.

Os estudos da emissão pirogênicas crescem quando inicialmente é sugerido que poluentes atmosféricos como os queimas de biomassa podem ser comparados ao uso do combustível fóssil como fonte poluidora da atmosfera, é quando ficam evidentes que estas emissões podem afetar grandes áreas do mundo com conseqüências de transporte a longas distâncias. Avaliar o impacto da queima de biomassa é especialmente representado quantitativamente em modelos de transporte e química da atmosfera, dados exatos sobre emissão de gases traços e aerossóis do fogo da queima de biomassa são necessários. Muitas emissões são coletadas e representada de forma temporal e espacial. Biomassa das plantas consiste em celulose e hemicelulose (tipicamente com 50-70% de matéria seca), lignina (15-30%), proteína, aminoácidos e outras substâncias do metabolismo, que incluem substâncias voláteis (álcool, aldeídos, terpenos e outros), além de conter mineral (10%) e água (60%). A degradação termal segue com a secagem e destilação na qual água e compostos voláteis são lançados para atmosfera seguida de pirólise, na qual as moléculas de combustível são quebradas pela alta temperatura (ANDREA M. O. & MERLET P., 2001).

Partículas de aerossóis pirogênicos, que são caracterizados primariamente por partículas da fração sub-micrométricas, possuem uma assinatura muito similar às partículas biogênicas, exceto pela formação do material black carbon e pelo enriquecimento de elementos, tais como K, S, Zn e halogênios (GUYON P. et al, 2003).

O ciclo biogeoquímico dos elementos traços na região tropical pode ser alterado devido à emissão da queima de biomassa. Nutrientes essenciais tais como P, S, N e K são exportados da fonte regional (ECHALAR et al.,1998; YAMASOE M.A. et al., 1999). Emissões de metal pesado podem causar poluição local ou regional na atmosfera e hidrosfera. Nevoas sobre a região equatorial devido à emissão de queima de biomassa foram encontrados grandes quantidades de partículas de aerossóis, O₃, CO e outros elementos traços (YAMASOE M.A. et al., 1999; ARTAXO P. et al.,2002; ROBERTS G.C. et al., 2002)

Concentração de poluentes derivados dos íons sulfato $[(\text{SO}_4)^{-2}]$ e nitrato $[(\text{NO}_3)^{-1}]$ possuem variações diárias. Durante o período sazonal seco estes íons exibem baixa concentração comparado com aqueles que foram detectados durante o período sazonal úmido. Esta diferença pode ser atribuída ao acúmulo de material particulado na atmosfera no período seco assumindo uma razão de remoção via precipitação. Formações fotoquímicas, característica atividade do período úmido, pelo fato de ter alta radiação solar e temperatura, também crescem a concentração de sulfato e nitrato (KOÇAK M. et al, 2004). Acidificações de ecossistemas nas regiões equatoriais são observadas pela queima de biomassa devido a significativas emissões de ácido nítrico (HNO_3) e sulfúrico (H_2SO_4) também sendo causada pela formação de ácido acético (CH_3COOH) e fórmico (HCOOH) (JACOB D.J., 1999; ARTAXO P. et al., 2002;).

Os aerossóis biogênicos primários consistem em muitos diferentes tipos de partículas, tais como polens, esporos, bactérias, algas, protozoários, fungos, fragmentos e pedaços de insetos, significativas frações de particulados na área florestada compreendem também partículas de aerossóis orgânicos secundários formadas pela conversão de gás em partícula, sendo essas partículas de tamanho sub-micrométrico. Aerossóis são também formados durante a foto-oxidação de hidrocarbonetos biogênicos naturais como isopreno, monoterpenos e outros gases. Esses componentes da moda fina também afetam o balanço radiativo na região tropical (ARTAXO P. & HANSSON H.C. 1994). Atividades biológicas dos microorganismos sobre a superfície das folhas e em pequenas florestas resultam em partículas no ar, carregando grãos de cereais que contribuem para partículas de frações grossas em áreas florestadas. Material particulado contendo Zn, Pb e Cu foram observados ao serem produzidos por plantas de grande porte (BEAUFORD D. et al., 1977). A transpiração das plantas pode levar a migração de Ca^{2+} , $(\text{SO}_4)^{2-}$, Cl^{-} , K^{1+} , Mg^{2+} e Na^{1+} para atmosfera. Elementos biogênicos (K, P, S, Zn, Rb) lançados são essenciais em plantas superiores e estão presentes no fluido que circula nas plantas que são lançados para atmosfera durante a transpiração e gutação (YAMASOE M.A. et al., 1999; ARTAXO P. et al., 2002).

As emissões de gases de enxofre das plantas terrestres são bem conhecidas. A vegetação é caracterizada por emitir um grande número de gases contendo enxofre, tais como sulfeto de carbonil (COS), sulfeto de dimetila (DMS), disulfeto de dimetila (DMDS), dióxido de enxofre (SO_2), sulfeto de hidrogeno (H_2S), disulfeto de carbono

(CS₂), metilmercaptam (MeSH) e outros. Muitos destes compostos de enxofre são rapidamente oxidados para sulfato em ambientes de alta umidade relativa e temperatura atmosférica. O enxofre está também presente no fluido dos vegetais sempre acompanhados de P, K, Ca e outros elementos biogênicos, eles também são emitidos diretamente durante os processos naturais de transpiração e gutação. Aerossóis biogênicos atuam como núcleo condensador de nuvens na região devido à queima da biomassa (ARTAXO P. & HANSSON H.C. 1994; ANDREAE & PAUL J. CRUTZEN, 1997; MAENHAUT W 1999).

Segundo PAKKANAN, T. A. (1995) há três grupos de frações elementares:

(1) elementos com grande concentração em massa de partículas finas (< 2,5µm de Diâmetro de Equivalência Aerodinâmica – DEA): S, V, As, Br, Sb, I, Pb;

(2) Elementos com concentrações iguais tanto na fração fina quanto na grossa: K, Mn, Cu, (Mo, Cs, W);

(3) elementos com grande concentração de massa de partículas grossas (> 2,5µm de Diâmetro de Equivalência Aerodinâmica – DEA): Na, Al, Si, Ca, Sc, Ti, Fe, La, Sm).

Os elementos do grupo 1 são emitidos em grandes quantidades por fontes antropogênicas, porém S, Br e I são também lançados por fontes naturais. Os elementos do grupo 2 como Cu, K e Mn têm a fonte antropogênica das partículas finas e dispersas na poeira mineral sendo uma fonte natural das partículas grossas para estes elementos. No grupo 2 há também Mo, Cs e W que estão nos parênteses pois as concentrações destes elementos estão perto ou abaixo dos limites de detecção, e conseqüentemente a incerteza em suas distribuições em quantidade é grande. Os elementos do grupo 3 são principalmente partículas grossas de origem cristal e/ou marinha. Espécies comuns relatadas pela queima de biomassa e de origem biogênicas (BC, K, P, S, Zn, (SO₄)⁻² e (NH₄)⁺) são particularmente encontrada na fração fina, sendo que o excesso de K e BC demonstram ser dois indicadores de queima de biomassa (ANDEAE M. O. et al, 1983; ROBERTS G. et al, 1998).

Os componentes biogênicos é a mais importante fonte de variabilidade de dados para fração de tamanho $0,25\mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2,5}$). Os componentes biogênicos são caracterizados por grandes quantidades de P, S, K, Ca, Zn e Sr. O componente do pó de terra é caracterizado por Al, Si, Ti, Fe, com ocasional presença de K, Sc, Ca, Mn e Sr (MAENHAUT W. et al, 2002). Potássio é partícula de aerossol que está presente tanto na fração mineral quanto biogênica dependendo do tamanho da partícula. Para partículas de potássio (K) localizado na fração de nucleação ($0,25\mu\text{m}$) é quase totalmente associado a elementos biogênicos; para $1,0\mu\text{m}$ é principalmente associado a elementos minerais, para tamanho de $2,0\mu\text{m}$ é encontrado igualmente distribuído nos fatores; já o elemento potássio com diâmetro equivalente de $4,0\mu\text{m}$ é exclusivamente associado a elementos biogênicos. Zinco é sempre associado com materiais biogênicos, observados nos estudos de aerossóis na Floresta Amazônica (ARTAXO P., & HANSSON H.C. 1994). O mecanismo ou a razão para o lançamento de zinco pela vegetação ainda não é bem esclarecido. Muito pouco se sabe as fontes de Fósforo (P) no ar atmosférico. Este especialmente é um caso de aerossol biogênico continental não podendo ser transportado a longa distância pelos trópicos, pois é uma substância pouco solúvel em água. Sua concentração sobre os oceanos é extremamente baixa.

Propriedades atmosféricas são importantes no nível dos processos dos ecossistemas e na regulação dos sistemas climáticos. Os aerossóis são participantes essenciais na ciclagem de nutrientes e biogeoquímicos dos ecossistemas bem como no mecanismo de formação de nuvens. Gases traços emitidos pela vegetação são importantes na regulação da força oxidativa da atmosfera tropical e global. Os componentes de aerossóis orgânicos e inorgânicos são muito ativos na interação heterogênea com os componentes de gases e em alguns processos de nuvens. Os aerossóis afetam o clima indiretamente resultando no aumento na concentração de núcleos condensadores de nuvens (NCN), principalmente pela emissão da queima de biomassa. Em vista da alta concentração de NCN naturais encontrados na região Amazônica (ROBERTS G. C. et al, 2001). A grande quantidade de partículas de aerossóis causam um significativo aumento da quantidade de gotas, havendo conseqüentemente, uma diminuição do tamanho das gotas (ROSENFELD D., 1999; ARTAXO P., 2002). A química dos aerossóis também são importantes para a fase gasosa, pois ele altera a visibilidade, o fluxo radiação UV e o espectro da radiação afetando diretamente a fotoquímica (SAHAI Y et al., 2000; YAMASOE et al, 1998).

Brasil tem tanto uma extensiva floresta tropical (região noroeste) quanto uma grande área de cerrado (região central). Em Cuiabá (16°S, 56°W), Brasil, na região do cerrado, um espectrofotômetro Brewer monitora o ozônio total e radiação UV-B e um monitor de ozônio Dasibi para medir ozônio superficial, são operacionalizados numa rotina básica desde 1987. São longas séries de observação contínua de parâmetros na região do cerrado brasileiro, na qual é alvo de queimada de biomassa em grande escala medidos anos após anos.

O ozônio troposférico é um importante constituinte da camada limite, pois é um grande agente oxidante primário, e absorve a radiação infravermelha contribuindo para o efeito estufa. Seu aumento próximo na superfície da Terra é prejudicial à saúde humana, animal e vegetal. Concentração de ozônio troposférico é acentuada devido ao processo fotoquímico. A queima de biomassa no cerrado de Cuiabá, Brasil, reporta um excesso de ozônio e uma grande quantidade de aerossóis lançados à atmosfera pela fumaça e fuligem (SAHAI Y. et al, 2000).

Partículas inorgânicas da fumaça são estudadas em locais de queima da biomassa das Florestas Africana e Amazônica, e também na Savana (Cerrado) brasileira. Resultados de partículas coletadas do fogo no cerrado mostram-se enriquecidos de K, P, Cl, Zn e Br, enquanto o fogo das florestas é enriquecido com Si e Ca. É sugerido que o potássio pode, portanto, estar em maior concentração na fase *flaming* do que na fase *smoldering* do fogo.(WHO, 1998). Estudos também indicam que a fase *smoldering* contribui mais que fase *flaming* na quantidade de material particulados lançados para a atmosfera (YAMASOE M. A.; 1998, WHO, 1998). As partículas da queima de biomassa são dominadas pela presença de black carbon, carbono orgânico, K e Cl juntamente com S, Ca, Mn e Zn, sendo todas essas partículas inaláveis (< PM₁₀).

Muito dos constituintes presentes na fumaça da mata queimada, do produto da queima incompleta dos combustíveis fósseis tem sido estudado devido a sua capacidade de irritar as mucosas nasais agravando as doenças do sistema respiratório. O estudo do material particulado na atmosfera serve como indicador da aceitabilidade para observar e associar as doenças epidemiológicas que ajuda a entender o mecanismo pelo qual a

espessura da fumaça da queima pode conduzir a resultados desfavoráveis a saúde dos seres vivos na Terra (WHO, 1998).

Partículas finas (ou fração $PM_{2,5}$) contém tipicamente fuligem, ácidos condensados, sulfatos e nitratos, bem como uma grande fração de metais traços e outras toxinas presentes no ar (WEI et al., 1999). Partículas são geradas principalmente por processos de combustão e fotoquímicos seguidos pela conversão de gás em partículas. Partículas grossas são emitidas por processos mecânicos incluindo moagem, quebra e uso de materiais cristalinos incluindo a ressuspensão de poeira do solo. Emissões gasosas de combustão incluem gases inorgânicos e orgânicos. Os principais gases envolvidos pela emissão incluem o monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2), óxidos de nitrogênio (NO_x), dióxido de enxofre (SO_2), hidrocarbonetos (HC) e vapor d'água. Elevados níveis de partículas poluidoras no ar atmosférico têm sido associados com a diminuição das funções pulmonares aumento dos sintomas respiratórios, tais como: tosse, diminuição e dificuldade de respiração e ataque de asma, bem como doenças crônicas pulmonares, doenças cardiovasculares e até câncer de pulmão (WHO, 1999; MORAWSKA L. & ZHAG J. J., 2001). Não somente o número de partículas e tamanho do material particulado, mas também a composição do material particulado. A composição pode determinar em qual caminho reage no sistema respiratório com a resposta do corpo. Algumas partículas podem responder como transportadoras de substâncias químicas ou gases na qual pode atuar como causadores de várias enfermidades à saúde (MORAWSKA L. & ZHAG J. J., 2001).

Na atmosfera as deposições dos particulados são tradicionalmente divididas em deposição seca e úmida. A deposição seca ocorre, na maioria das vezes com material particulado grosso, pois sua massa é influenciada pela força da gravidade, diferentemente do material particulado fino. A deposição úmida ocorre pela dissolução do material particulado nas gotas das nuvens, tendo grande significância como papel de núcleos condensadores de nuvens acarretando em precipitação (CASTANHO A. D. A., 1999, PLESSOW K, 2000).

Na coleta de dados em Cuiabá de 1992 até 1995, MAENHAUT W. (1999) sugere que o material particulado fino é classificado em poeira do solo (Al, Si, Se, Ti, Fe, La, Sm e Th), componentes da queima de biomassa (pirogênicos) (PM, BC, S, Cl,

K, Zn, Br, Rb, e I), dois componentes da poluição urbana (um são: V, Cu, As, e Sb o outro é alto carregamento de Pb) e o quase puro Na. Os componentes pirogênicos, provavelmente, contém alguma contribuição dos aerossóis biogênicos (emitidos pelas plantas). Durante a estação úmida, a fração de aerossóis biogênicos natural muito provavelmente finda com uma quantia substancialmente maior que a fração dos aerossóis pirogênicos (ECHALAR et al., 1998; MAENHAUT W. et al, 1999).

Este trabalho visa quantificar o material particulado fino e grosso as concentrações elementares visando identificar qual elemento químico está em maior concentração das frações e, também, e qual período sazonal possui maior concentração e com informações adquiridas informar onde estão encontrados os elementos. Os elementos pirogênicos e elementos de ressuspensão do solo possuem maior concentração no período sazonal seco e o material particulado biogênico no período sazonal úmido nas duas frações de diâmetro de equivalência dos filtros no Amostrador de Partícula Fina e Grossa (PM_{2,5} e PM₁₀) instalado em um inlet.

3.1 - COMPOSTOS ORGÂNICOS

Uma grande quantidade de compostos orgânicos não metânicos (NMCO) e compostos orgânicos voláteis biogênicos (BVOC) são emitidos diretamente para a atmosfera por fontes biogênicas. As fontes biogênicas, a vegetação, lançam à atmosfera inúmeras substâncias entre elas o isopreno (C₅H₁₀), monoterpenos (C₁₀H₁₆), sesquiterpenos (C₁₅H₂₄) e os compostos orgânicos oxigenados. Os Compostos Orgânicos não Metânicos (CONM) podem ser emitidos à atmosfera por processos antropogênicos como a queima de biomassa do Cerrado ou Florestas para transformar em área de pastagem ou monocultura, emissão de gases pelo funcionamento dos veículos a base da queima de combustível fóssil, armazenamento e transporte de combustível, uso de solventes pelas indústrias (grandes centros) e outros processos emissores. Estima-se que a emissão global anual de CONM por fontes humanas é de 60-

140 milhões de toneladas de carbono, com fontes vegetais da ordem de 1150 milhões de toneladas de carbono, mostrando a importância da vegetação nos processos químicos da baixa troposfera. (ATKINSON R., 1998)

Os BVOCs são sintetizados nos tecidos das plantas tendo uma variabilidade de processos metabólicos primários e secundários, em geral, associados ao ácido mevalônico. Estima-se que os processos de emissão de BVOCs pelos vegetais estão relacionados a processos variados tais como, atividade do cloroplasto, mecanismo de defesa, atividade de crescimento, períodos sazonais, entre outros mecanismos usados pelos vegetais ainda pouco estudados.

O isopreno emitido pelos vegetais, dentre todos os BVOCs, é o mais importante a nível global. Sua emissão está regulada majoritariamente pela temperatura e radiação, isso explica sua variabilidade tanto diária quanto sazonal, porém não são bem conhecidos os processos de emissão (ATKINSON R. & AREY J., 2003). Recentes estudos sobre a emissão de isopreno da vegetação das baixas latitudes podem responder de forma diferente à luz (GREENBERG ET AL 2003). A emissão de isopreno pela vegetação varia muito dependendo da estação do ano e do local de estudo.

Na troposfera os BVOCs são removidos por processos físicos: deposição úmida e seca, ou química: pela fotólise ou por reação com radical hidroxila (HO^\bullet), óxidos de nitrogênio (NO_x) e com a molécula de ozônio (O_3). As deposições seca e úmida são processos importantes na regulação de VOC influenciando na cadeia de reações químicas com radicais na presença de radiação, havendo a reação de transformação de NO em NO_2 e como produto a formação de O_3 . Devido à variedade de BVOCs, grandes incertezas existem, tendo a necessidade de maiores investigações dos compostos emitidos e dos processos responsáveis pela dinâmica da química atmosférica.

Os compostos orgânicos (CO) presentes na atmosfera estão em equilíbrio entre a fase gasosa e dos aerossóis, nesta fase os CO influenciam significativamente seu processo de residência. Devido ao seu tamanho aerodinâmico são capazes de formar partículas de aerossóis por várias reações da oxidação, e seus produtos se acumulam até alcançar a concentração crítica transformando-se em aerossóis.

4 - Ciclos Biogeoquímicos

O ciclo biogeoquímico é a movimentação contínua dos compostos químicos em nosso planeta, onde se destacam neste trabalho o acréscimo dos elementos traços pirogênicos por atividades humanas com predominância no período sazonal seca e os elementos traços biogênicos naturais produzidos com predominância no período sazonal úmida (MAENHAUT W. et al, 1999) tomando como padrão referencial seis elementos químicos: Na, P, S, K, Ca e Zn (ARTAXO et. al, 1994, 1999; GUYON et. al, 2003) para estudos sazonais úmidos e secos. A pesquisa produzida em grande escala possui a intenção de compreender o tempo de residência e as emissões dos aerossóis, tendo capacidade de alterar a composição química e as propriedades físicas da atmosfera, assim a região sofre com os efeitos atmosféricos diretos e indiretos.

O fluxo de energia através da biosfera segue um sentido único. A energia do sol é interceptada pela biosfera, depois de passar através das transformações químicas que mantém os organismos vivos, retorna ao ambiente externo na forma de calor, desta maneira existe um ciclo de energia. A interação e utilização da energia pelos organismos vivos dependem do armazenamento da energia na forma de ligações químicas e aproveitamento da energia quando as ligações se rompem. A matéria viva está constituída de um número pequeno de átomos diferentes Alguns destes átomos são abundantes e outros são muito escassos na Terra. Conseqüentemente, em um ou outro caso a vida é persistida a um longo de um período de mais 3000 milhões de anos, pois existe mecanismo que permite utilizar estes átomos mais de uma vez. Portanto, os átomos da vida na realidade formam um ciclo. A natureza de alguns destes ciclos é objeto de estudos.

Qualquer elemento que um organismo necessita para viver, crescer, e reproduzir se chama nutriente. Os organismos vivos necessitam de 30 a 40 elementos químicos, em que o número e tipos destes elementos podem variar a cada organismos. Em geral, tais compostos (nutrientes) se encontram em diversos compostos.

Os elementos necessários pelos organismos se denominam macronutrientes, tais como carbono, oxigênio, hidrogênio, nitrogênio, fósforo, enxofre, cálcio, magnésio e

potássio (95% dos constituintes dos organismos vivos) e aqueles que estão em menor concentração ou concentração traço que são chamados de micronutrientes, tais como Fe, Cu, Zn, Cl e I. A Maior parte das substâncias químicas da Terra não ocorre na forma útil para os organismos que vivem no planeta. Em grande quantidade, os elementos e seus compostos são necessários como nutrientes para a vida sobre a terra são ciclados continuamente em vias complexas através das partes vivas e não vivas da exosfera e convertidas em formas úteis por uma combinação de processos biológicos, geológicos e químicos. Este ciclo de nutrientes desde os ambientes não vivos (depósito na atmosfera e a hidrosfera) até os seres vivos e o regresso aos não vivos possui um nome especial de Ciclo Biogeoquímico (*bio* – da vida, *geo* – da terra e *químico*) – por ativações energéticas diretas e indiretas dos átomos ou moléculas. Deste modo, uma substância química pode ser parte de um organismo em um momento e parte do ambiente do organismo em outro momento, algumas destas substâncias se destaca o Carbono (C), Nitrogênio (N), Oxigênio (O), Enxofre (S), Fósforo (P), Potássio (K) e outros. Estes elementos circulam através do ar, solo, água e seres vivos.

É pelo ciclo biogeoquímico que é possível que os elementos se encontrem disponível para ser usado varias vezes por vários organismos muitas vezes, caso contrário a vida se extinguiria. Existem três ciclos biogeoquímico. O ciclo gasoso: os nutrientes circulam principalmente na atmosfera (água) e nos organismos vivos, na maioria destes ciclos os elementos são reciclados rapidamente (horas ou dias). Os principais ciclos gasosos estão incluídos os elementos carbono, oxigênio e nitrogênio. Os ciclos sedimentares: os nutrientes circulam principalmente na crosta terrestre (solo, rocha e sedimentos). Os elementos deste ciclo geralmente são reciclados muito mais lentamente que os ciclos da atmosfera, pois os elementos são retidos nas rochas durante muito tempo. O Fósforo (P) e o Enxofre (S) são alguns dos exemplos de elementos que possuem o ciclo desta forma. No ciclo hidrológico, a água circula entre os oceanos, o ar, a terra e os organismos vivos, este ciclo também distribui o calor solar na superfície das plantas.

4.1 – Ciclo do Carbono

O elemento químico carbono é abundante no planeta terra, estimá-se que 18% do carbono orgânico esteja distribuído na matéria viva. A capacidade dos átomos de carbono de montar cadeias, proporciona a formação de diversas moléculas com tamanhos e pesos diferentes, devido a essas propriedades torna possível a vida como nós conhecemos. Fora da matéria orgânica o carbono se encontra na forma de gás carbônico (CO_2) na atmosfera e carbonato $[(\text{CO}_3)^{2-}]$ nas rochas. Os organismos autótrofos, especialmente as plantas, absorvem o dióxido de carbono e os transformam em compostos orgânicos complexos como carboidrato, proteínas, lipídios e outros. As plantas terrestres retiram o dióxido de carbono da atmosfera, contudo as plantas aquáticas utilizam a forma de bicarbonato, $[(\text{HCO}_3)^{1-}]$, dissolvido em água. A rede alimentar depende do carbono, não somente a que se refere a estrutura mas também a sua energia. Em cada nível de uma rede alimentar o carbono regressa à atmosfera como resultado da respiração. As bactérias e fungos desempenham um papel vital de liberar o carbono dos cadáveres ou os fragmentos que podem vir a ser alimentos para outro nível de rede alimentar. Mediante o metabolismo dos animais e vegetais são liberados o dióxido de carbono e o ciclo do carbono pode ser intimamente ligado (Figura 7).

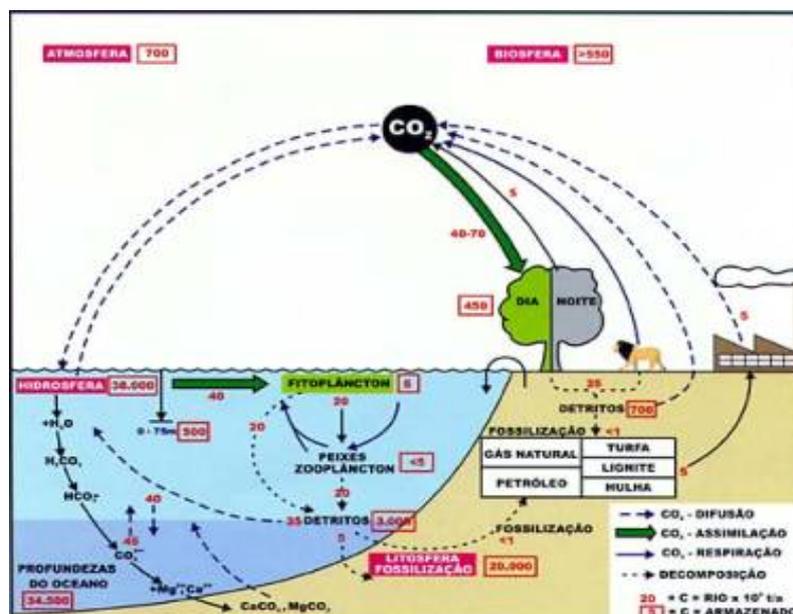


Figura 7. Representa o ciclo do carbono

4.2 - Ciclo do Oxigênio

O oxigênio molecular (O_2) representa, aproximadamente, 20% da atmosfera terrestre. Este estoque abastece as necessidades de todos os organismos terrestres na

atmosfera e quando dissolvida na água suprem as necessidades dos organismos aquáticos. No processo de respiração o oxigênio atua como receptor final de elétrons dos átomos de carbono. O ciclo se completa na fotossíntese quando se captura a energia da luz para separar os elétrons de oxigênio da molécula de água reduzindo os átomos de carbono (CO_2) a carboidratos e como subproduto da reação química é produzido o oxigênio molecular lançado a atmosfera.

Para cada oxigênio utilizado para respiração celular, é liberada uma molécula de dióxido de carbono, portanto, para cada molécula de dióxido de carbono absorvida na fotossíntese é liberado uma molécula de oxigênio.

4.3 - Ciclo do Nitrogênio

Todos os seres vivos necessitam do átomo de nitrogênio para a síntese de proteínas e outras moléculas orgânicas essenciais. O ar contém 79% de nitrogênio contudo a maioria dos organismos não pode utilizar o nitrogênio na forma elementar, N_2 . Para os vegetais sintetizarem as proteínas o nitrogênio tem que estar ligado (incorporado) a outros compostos. A forma mais comumente utilizada é a forma iônica de nitrato, $(\text{NO}_3)^-$, e molecular como a amônia, NH_3 , uréia, $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$.

A fixação do nitrogênio, apesar de ser uma molécula bastante inerte, necessita de uma grande quantidade de energia para romper a ligação e se ligar a outros átomos. Três processos desempenham um papel importante na fixação do nitrogênio na biosfera. Um destes é o relâmpago. A enorme energia de um relâmpago rompe as moléculas de nitrogênio permitindo que se combinem com o oxigênio do ar. Os óxidos de nitrogênio formados se dissolvem em água formando nitratos, nitritos levando a formação de ácido nítrico e nitroso.

Apesar das grandes investigações feitas, ainda não é claro de que maneira a fixação de nitrogênio é capaz de vencer a barreira da alta energia inerente do processo, sendo necessário uma enzima chamada nitrogenase e um alto consumo de ATP. O primeiro produto é estabelecido pela formação da amônia e este é absorvido rapidamente na formação de proteínas e outros compostos orgânicos nitrogenados.

Podemos decidir, então, que a fixação do nitrogênio acontece através de microorganismos (decompositores), já as plantas carentes dessa associação sintetizam suas próprias proteínas extraídas do nitrogênio do solo, geralmente na forma de nitrato.

A proteína sintetizada pelas plantas atravessa a rede alimentar. Em cada nível trófico existe produção de diferentes desprendimentos do nitrogênio e a principal forma é a excreção ao ambiente. Os beneficiários terminais dos compostos são os microorganismos, sua atividade leva a formação da amônia.

A amônia pode ser absorvida diretamente pelas plantas através das raízes e por algumas espécies pelas folhas, porém a maior parte da amônia produzida é transformada em nitrato, esta transformação é chamada de Nitrificação. Este processo ocorre em duas etapas. A bactéria (gênero nitrosomonas) oxida o NH_3 convertendo em $(\text{NO}_2)^-$. Mediante outra bactéria (gênero nitrobacter) o nitrito é rapidamente oxidado para $(\text{NO}_3)^-$. Essas bactérias são denominadas nitrificantes. Através desta atividade o nitrogênio é disponível às raízes das plantas.

O processo de desnitrificação reduz o nitrato a nitrogênio gasoso incorporando novamente a atmosfera, processo concluído por bactérias. Estes microorganismos vivem no solo e em sedimentos aquáticos onde existe falta de oxigênio. As bactérias usam o nitrato para substituir o oxigênio como receptor final dos elétrons que são desprendidos durante a respiração. Sendo assim as bactérias encerram o ciclo do nitrogênio (Figura 8).

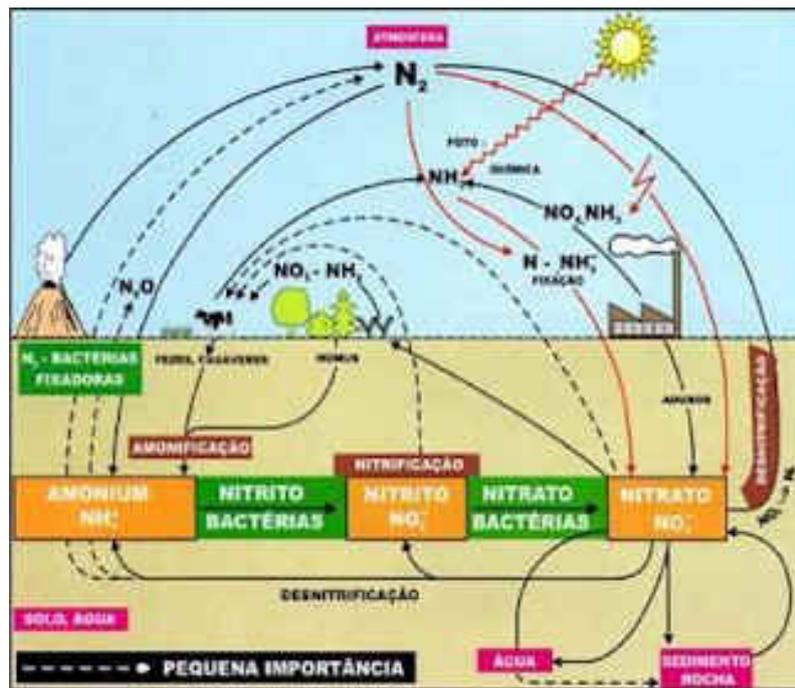


Figura 8. Representa o ciclo do nitrogênio.

4.4 – Ciclo do Enxofre

O enxofre está incorporado praticamente em todas as proteínas e desta forma é um elemento absolutamente essencial para todos os seres vivos (Figura 9). Ocorrem em dois tipos de ciclo: um interior e outro exterior. O ciclo interno, apesar de ser incompleto, compreende os passos do elemento químico desde o solo (ou água) às plantas e aos animais e regressando novamente ao solo ou a água. Alguns compostos sulfúricos presentes no solo são levados ao mar pelos rios, este enxofre se perderia e escaparia do ciclo terrestre se não fosse um mecanismo que devolvesse à terra. Tal mecanismo consiste em converter em compostos gasosos tais como o Sulfeto de Hidrogênio (H_2S) e o Dióxido de Enxofre (SO_2). Estes entram na atmosfera que são depositados no solo por precipitação, sendo parte absorvida pelas plantas.

As bactérias desempenham um papel fundamental na ciclagem do enxofre. A decomposição dos compostos de enxofre (Incluindo a decomposição das proteínas) produz, compostos principalmente como o sulfato, $(SO_4)^{2-}$, em baixas condições anaeróbicas é produzido o sulfeto de hidrogênio, H_2S , e tiosulfeto de dimetila,

(CH_3SCH_3). Quando estes compostos alcançam a atmosfera são oxidados e convertidos a dióxido de enxofre, SO_2 , SO_3 e outros compostos que, dissolvidos nas gotas de água das nuvens, produzem ácido sulfídrico, H_2S , e sulfatos, $(\text{SO}_4)^{2-}$, havendo a precipitação e o retorno do enxofre para o ecossistema terrestre (solo). O petróleo é fonte de Enxofre que é lançado para atmosfera quando usado como combustível fóssil.

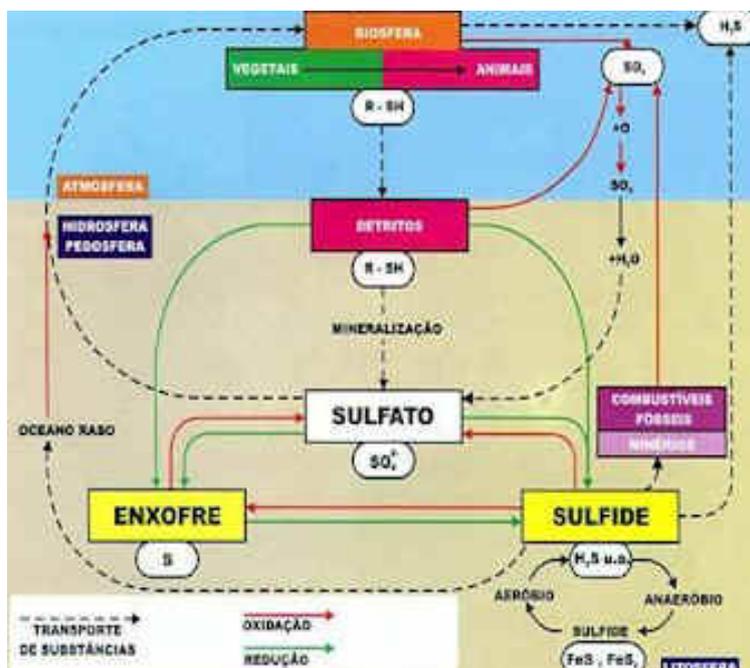


Figura 9. Representa o ciclo o enxofre

4.5 – Ciclo do Fósforo

A proporção de fósforo na matéria viva é relativamente pequena porém o papel que desempenha é absolutamente indispensável. Os ácidos nucleicos, substância do código genético, são ricos em fósforo. Muitas substâncias intermediárias da fotossíntese e da respiração celular estão combinadas com o fósforo proporcionando a base de para formação das ligações que possuem alto conteúdo energético da ATP que desempenha um papel de troca de energia, tanto na fotossíntese quanto na respiração celular.

O Fósforo é o elemento químico mais escasso entre os seres vivos. A produtividade dos ecossistemas terrestres pode aumentar caso a disponibilidade de fósforo no solo fosse aumentada. Como os rendimentos agrícolas estão também limitados pela disponibilidade de nitrogênio e potássio, os programas de fertilização

incluem estes nutrientes. Para melhor efeito, a maioria dos fertilizantes usa três símbolos. A primeira expressa a porcentagem de nitrogênio, a segunda, o conteúdo de fósforo (P_2O_5) e a terceira, contendo potássio (K_2O).

O fósforo, igual ao nitrogênio e enxofre, participa de um ciclo interno como também um ciclo global biogeoquímico. Em um ciclo menor, a matéria orgânica que contém fósforo (restos de vegetais e animais) é decomposta e o fósforo é disponibilizado para ser absorvido pelas raízes das plantas, onde se unirá a compostos orgânicos. Depois atravessa toda a cadeia alimentar, sendo lançado novamente aos decompositores, na qual encerra o ciclo. Existe algum vazão a respeito dos ciclos internos e externos. A água lava o fósforo tanto das rochas quanto do solo, então a parte deste fósforo é interceptado pelos organismos aquáticos.

A ciclagem global do fósforo se difere dos ciclos do carbono, do nitrogênio e do enxofre em um aspecto principal. O fósforo não forma compostos voláteis que permitem passar do meio aquático para atmosfera. Uma vez aquático, só existem dois caminhos para a reciclagem de fósforo para ecossistema terrestre. O primeiro caminho passa pela cadeia alimentar das aves marinhas que devolvem o fósforo à terra firme através de seus excrementos e a segunda é através de atividade geológica que levam milhares de anos.

4.6.- Ciclo da Água (Ciclo Hidrológico)

O ciclo da água, coleta, purifica e distribui a água nos continentes. O ciclo da água está entrelaçado com outros ciclos biogeoquímicos, pois a água é um meio importante de para movimentar os átomos (nutrientes) para dentro e fora dos ecossistemas.

A energia solar e a gravidade convertem continuamente a água de um estado físico para outro. e são encontrados nos oceanos, no ar, na terra e nos seres vivos. Os principais processos. Os principais processos da reciclagem e ciclo purificador da água é a evaporação (Conversão de água em vapor), condensação (conversão de vapor de água em gotículas de água líquida), transpiração (liberação de água absorvida pelas

raízes das plantas através dos estômatos e hidatódio), precipitação (chuvas, granizos, neves) e por fim o escoamento da água para o mar.

A energia solar incidente evapora a água dos mares e oceanos, rios, lagos, solo e vegetação até a atmosfera. Os ventos e massa de transportam esses vapores sobre várias partes da superfície da terra. A diminuição da temperatura em partes da atmosfera faz com que o vapor d'água se condensa formando gotículas de água que se aglomeram na forma de nuvem. Eventualmente tais gotículas se combinam, por ponte de hidrogênio, e chegam a ficar suficientemente pesada para cair na terra na forma de precipitação.

Parte da água que retorna a superfície da terra como precipitação atmosférica forma os períodos sazonais. Grande parte da água é coletada nos aguapés e nos córregos, e é desaguado nos lagos e nos rios, que fazem trilha de retorno aos mares, terminando o ciclo. Esta água superficial que drena das correntes e dos lagos do continente causa também a erosão da terra que impede diversas substâncias químicas cumprirem integralmente outros ciclos biogeoquímicos.

Uma parte grande da água que retorna à terra penetra ou dela infiltra nas camadas superficiais da terra sendo armazenada a respeito da água freática ou subterrânea nos poros e nas rachaduras das rochas. Esta água, como superficial, flui costa a baixo e lançado nas correntes dos rios e lagos, ou aflora em mananciais. Possivelmente, esta água, como a água das superfícies, evapora ou chega no mar para iniciar outra vez o ciclo. A intensidade média da circulação da água subterrânea no ciclo do hidrológico é lenta (centenas dos anos), comparado com essa da superfície (10 a 120 dias) e essa da atmosfera (10 a 12 dias).

Em alguns casos, os nutrientes são transportados quando se dissolvem na água da chuva, em outros casos, os nutrientes ligeiramente solúveis ou insolúveis são compostos da terra ou do fundo do mar, são deslocados de um lugar a um outro pelo Ciclo da água (Figura 10).



Figura 10. Representa o ciclo da água.

CAPÍTULO II - MATERIAIS E MÉTODOS

1 – CERRADO

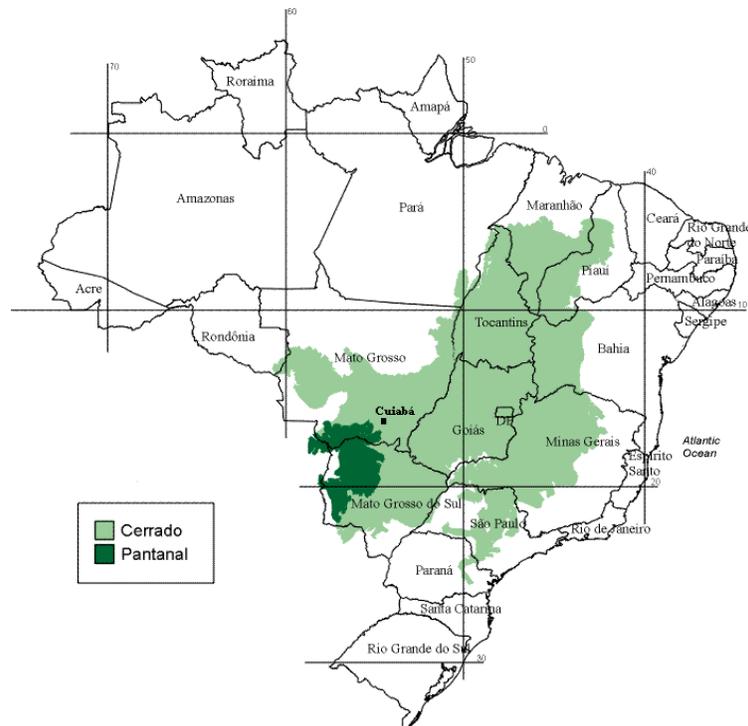


Figura 11. Mapa do Brasil (Cerrado e Pantanal).

O cerrado (Figura 11) localiza-se nas áreas de planalto central, predominando no Mato Grosso e Goiás e Tocantins, ocorrendo também na Bahia, em Minas Gerais e São Paulo. Ocupando cerca de 20% do território nacional é o segundo maior bioma do Brasil ocupando mais de 200.000.000ha.

De acordo com o espaçamento entre as árvores e o seu porte, as vegetações do cerrado são caracterizadas basicamente em cinco diferentes categorias COUTINHO, 1978; YAMASOE, M.A. *et al.*, (1999): (1) Campo Limpo; (2) Campo Sujo – (tropical glasslands); (3) Campo Cerrado ou Cerrado Aberto; (4) Cerrado Strictu Sensu (s.s.) ou Cerrado Denso – vegetação mista com distribuição equilibrada entre vegetação gramínea e arbórea (savana); e (5) Cerradão - formação que mais se assemelha à mata florestal. - vegetação mista com distribuição equilibrada entre vegetação gramínea e arbórea, - um campo com elementos arbóreo-arbustivos esparsos, e Campo Limpo (YAMASOE, M.A. *et al.*, 1999).

Assim, o cerrado é um mosaico de formas fisionômicas como é apresentado na figura 12, apresentando desde formas campestres bem abertas, como os campos limpos de cerrado, até formas relativamente densas, florestais, como o cerradão. Portanto de um modo geral podemos distinguir dois tipos de vegetação no Cerrado: o estrato lenhoso (árvores e arbustos) e estrato herbáceo (ervas e subarbustos).

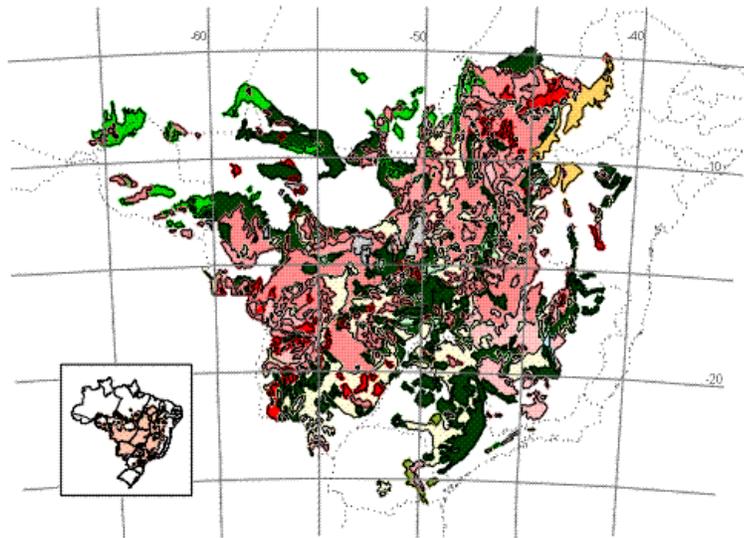


Figura 12. Vegetação Original (Cerrado e Pantanal)

O clima predominante no Cerrado é tropical sazonal. A temperatura média anual fica entorno de 22 – 23°C, a máxima absoluta mensal não varia muito ao longo do ano, podendo atingir mais de 40°C contudo a mínima absoluta possui variação maior podendo atingir próximo de zero ou abaixo de zero

A precipitação média no período úmido (Figura 14) é de 1200 mm à 1800 mm e precipitação média do período seco (Figura 13) o índice pluviométrico mensal pode chegar a zero, contudo pela manhã forma-se orvalho umedecendo o solo e no final da tarde a umidade relativa pode chegar a 11%. Ao contrário da temperatura a precipitação apresenta estacionalidade, período chuvoso (dezembro a março) e período seco (junho a setembro).

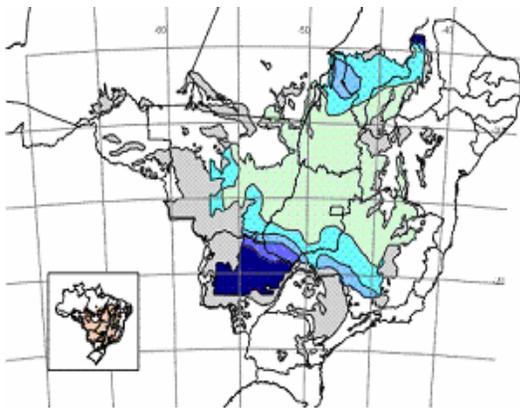


Figura 13. Precipitação no Período Seco

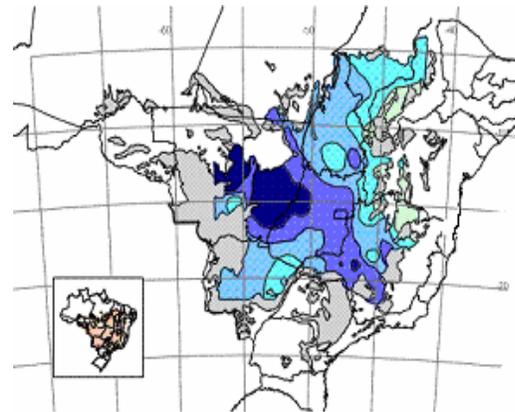


Figura 14. Precipitação no período úmido

A radiação solar no Cerrado é bastante intensa, podendo reduzir-se no período sazonal úmido (dezembro-março) devido as espessas nuvens de chuva e no período sazonal seco (junho-setembro), também reduzido pela nuvem de fumaça da queima de biomassa. Vento forte não é característica do Cerrado, normalmente a atmosfera é calma e ar muitas vezes fica parado. No mês de seca é comum ocorrer ventanias levantando poeira e cinzas de queimadas a grande altura através de processos convectivos.

O relevo do Cerrado como mostra a figura 15 é bastante plano ou em algumas partes, ligeiramente ondulado (planaltos e chapadões). Grande parte do Cerrado situa-se em altitudes que variam de 300 a 600 m acima do nível do mar, podendo, também, possuir altura de 2000 m acima do nível do mar (Serra do Espinhaço e Pico do Sol), em Cuiabá a altitude média é de 180 m acima do nível do mar.

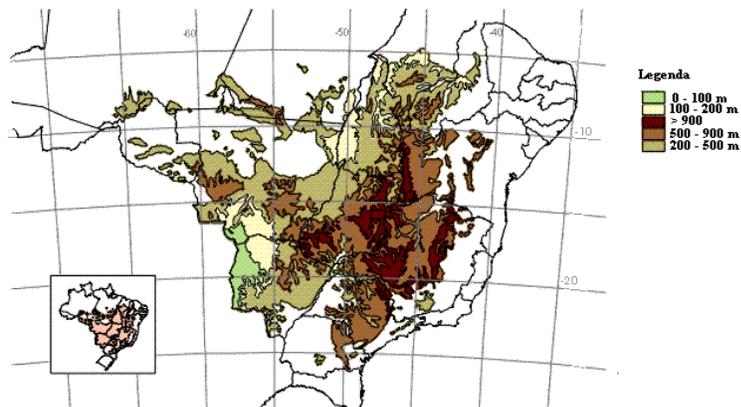


Figura 15. Relevo do Cerrado e Pantanal

2 - AMOSTRAGEM

As coletas de material particulado atmosférico foram realizadas, inicialmente em 24 de julho de 1990 e terminada em 30 de dezembro de 1999, obtendo uma longa série temporal de 347 Amostradores de Particulado Fino e Grosso (AFG) ocupados para amostragem de dados. A campanha foi realizada no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), localizado na cidade Cuiabá capital do estado de Mato Grosso. As amostras foram coletadas pela Universidade de São Paulo (USP) e analisadas no Instituto de Ciências Nuclear da Universidade de Gent, Bélgica (MAENHAUT, W., 1990).

O equipamento utilizado para a coleta do material particulado é o tradicional Amostrador de Particulado Fino e Grosso (AFG) para particulado inalável ($< 10 \mu\text{m}$ diâmetro de equivalência aerodinâmica, DEA). Este diâmetro de equivalência do material particulado é caracterizado em fração fina ($< 2,0 \mu\text{m}$, DEA) e grossa ($> 2,0 \mu\text{m}$ e $< 10 \mu\text{m}$, DEA), para explicar o material coletado outras técnicas com equipamentos diferentes (INAA e Gravimetria) foram realizados para integrarem as informações para que o nível de confiabilidade dos resultados das amostra seja satisfatório. O AFG é constituído de dois filtros empilhados com diâmetro de corte diferentes, o primeiro impacto dos aerossóis acontece no filtro da fração grossa e o segundo impacto no filtro da fração fina. Todos os filtros coletores de particulados fino e grosso são submetidos á pesagem e comparado com a pesagem dos filtros que não são levados a campo para amostragem (branco) para verificar a massa total do material particulado coletado e com Análise INAA verifica-se a massa elementar. A concentração massa/massa é conhecida pela razão da massa elementar com a massa total do material particulado encontrado nos filtros e a concentração massa/volume que é conhecida pela razão da massa elementar com volume de ar coletado, com a concentração elementar. Análises estatísticas permitem identificar a fonte dos elementos traços da região, que ainda serão discutidos.

O centro de coleta de material particulado foi montado e fixado em um lugar de fácil acesso para a troca de filtros, a uma altura de 2,8 m acima do solo, no Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE) localizado no Morro da Conceição, s/n Cuiabá (MT)

(Latitude: 15° 33' S, Longitude: 56° 04' W e 235 metros acima do nível do mar). Este local está situado em uma região alta a 11 Km afastado do centro da cidade com pouco tráfego de veículos e resíduos industriais, porém é um lugar de grande quantidade de vento permitindo diferenciar os elementos traços inorgânicos (ETI) biogênicos dos pirogênicos.

O tempo de campanha de amostragem escolhida para realizar esta dissertação foi de 01 de janeiro de 1993 a 21 de novembro de 1995 com intervalos sazonal úmida e seca. Os dados foram obtidos pelo Inlet funcionando 24 h/dia tendo intervalo de 3 a 5 dias para troca de AFG permitindo análises temporais e sazonais. Neste trabalho serão analisados os dados sazonais úmida (Dezembro-Março) e seca (Junho-Setembro).

No filtro que acumula a fração fina é possível ainda medir a concentração de *Black Carbon*, definidos como carbonáceos e compostos inorgânicos produzidos pela combustão incompleta da biomassa. Os compostos orgânicos possuem grande eficiência no espalhamento da radiação solar, inibindo a quantidade de radiação direta que influencia no balanço energético, assim a quantificação de compostos orgânicos e black carbon tanto para centros urbanos (cuja origem da fonte principal é a combustão incompleta do combustível fóssil dos veículos) quanto para locais rurais onde a principal fonte emissora de material particulado é a queima de biomassa transformando a mata nativa em área de pastagem ou monoculturas e também para controle da vegetação invasora de pasto. Essa prática na região do Cerrado e Floresta de Transição que está no limite do estado de Mato Grosso com outros estados é muito comum.

2.1 - Descrição do Amostrador de Particulados

O amostrador de particulado Fino e Grosso é um sistema frequentemente utilizado nas coletas de aerossóis, sendo coletado por impactação em dois filtros com diâmetros de cortes diferentes. Na Fração Grossa são coletados os aerossóis com diâmetro aerodinâmico maiores que 2,5 µm (PM₁₀). A Fração Fina são coletados os aerossóis com diâmetro aerodinâmico menores 2,5 µm (PM_{2,5}).

O AFG é construído de um material plástico onde os filtros são adequadamente encaixados em dois estágios. O material químico dos filtros é o Policarbonato de marca Nuclepore com 47 mm de diâmetro, no primeiro estágio do empacotamento é utilizado o filtro grosso com porosidade igual a 8 μm assegurando a coleta das partículas grossas e no segundo estágio de empacotamento é utilizado o filtro fino com porosidade igual a 0,4 μm assegurando a coleta das partículas finas. Em cada estágio do amostrador com diâmetros de corte apresentado possui eficiência de 50% (PARKER et.al,1977; CAHILL et al, 1979)

A seleção dos particulados que ocorre no AFG foram realizadas no inlet, como mostra a figura 16, (HOPKE et.al, 1997) separa partículas menores que 10 μm na entrada de ar a um fluxo de 16 L/min

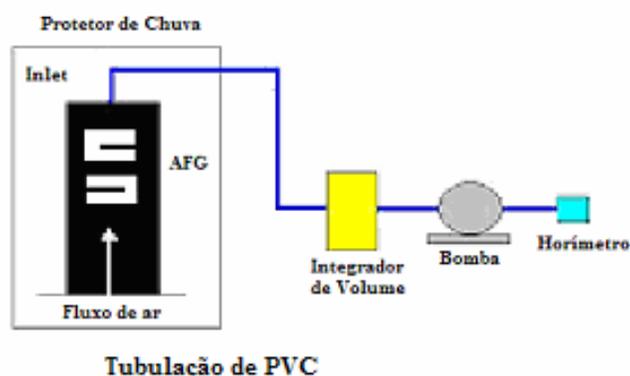


Figura 16. Aparelho de coleta de Material Particulado atmosférico (*Inlet*).

O conjunto de queimadas em Mato Grosso causa grande problema ambiental nacional, com conseqüências futuras a nível global. A queima (combustão) de biomassa é iniciada de forma natural e por iniciativa humana. A forma natural ocorre devido aos fatores climáticos, pelo grande tempo sem precipitação, associado a uma fâsca de relâmpago fornecendo assim a energia de ativação (ignição) para o início do fogo, gerando alterações nos fatores climáticos, criam-se perturbações no sistema sócio-econômico, e qualidade de vida da população regional é afetada aumentando a mortalidade e mortandade. O desflorestamento é um outro fator agravante, pois para o uso racional da floresta tem que haver planejamento de árvore que irão ser cortada e o local que ela se encontra. Caso determinadas normas de estudos não sejam seguidas o homem deixar clareiras onde há

maior incidência da luz solar deixando a vegetação suscetível a ignição de uma queimada. A transformação da floresta e cerrado em pastagem provoca um desequilíbrio no comprimento de ondas de emissão do material aumentando o albedo da superfície do planeta.

3 - ANÁLISE INSTRUMENTAL

3.1 - Gravimetria

Para efetivar a análise gravimétrica com confiança são necessários alguns critérios metodológicos que garantam a qualidade das medidas coletadas no campo.

* O primeiro critério é selecionar os lotes de filtros de polycarbonato necessário para a campanha de amostragem e assim evitar alterações de fabricação dos filtros nos lotes. A massa dos filtros são aferidas numa balança eletrônica microanalítica com sensibilidade de 1 μg (Mettler). Os filtros ficam expostos durante 24 h a fonte de radiação do Po^{210} para neutralizar cargas elétricas superficiais que podem comprometer o resultado final da pesagem.

* O segundo critério acontece, em um laboratório climatizado (50 % UR e 20°C), a montagem do Amostrador de Particulado Fino e Grosso (AFG) com os filtros calibrados e embalados com papel alumínio estando pronto para ser levado a campo.

Os filtros que foram levados a campo retornam ao laboratório e novamente são climatizados por 24 h e submetidos novamente à radiação. Cada filtro amostrado é pesado novamente. A diferença em massa dos filtros pesados antes e após a amostragem fornece a massa do material coletado na fração fina grossa e para assegurar a massa do material particulado atmosférico subtrai-se com a massa adquirida do filtro branco levados a campo, devido às condições de armazenamento.

Portanto, a gravimetria é uma técnica utilizada para determinar a massa do material particulado atmosférico coletado pelo Amostrador de Particulado Fino e Grosso (AFG). Conhecendo a massa e o volume de ar amostrado pelo totalizador durante o funcionamento do inlet determina-se concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) do material particulado na fração fino, grosso e inalável ($< 10 \mu\text{m}$).

3.2 - INAA (Análise Instrumental por Ativação de Neutros)

O método de Análise Neutrônica Instrumental (AANI) baseia-se na formação de isótopos radioativos artificiais, por meio da interação dos isótopos naturais (não-radioativos) com nêutrons. Esses nêutrons são produzidos no reator nuclear, a partir da reação de fissão nuclear do urânio enriquecido.

O método de AANI, além de ser não-destrutivo, ao contrário da maioria dos métodos de análise química, nos quais é necessária a dissolução da amostra, possui características de alta sensibilidade, seletividade, precisão e exatidão, aplicação multidisciplinar e possibilidade de análises multielementares (determinação de muitos elementos simultaneamente, na mesma amostra).

A radioatividade induzida aos elementos químicos presentes na amostra é medida pelo equipamento denominado, “espectrômetro de raios gama”, que permitem realizar análises qualitativas e quantitativas, ou seja, permitem determinar a concentração elementar dos átomos.

As amostras foram analisadas no Instituto de Ciências Nucleares da Universidade de Gent (RUG), Bélgica.. O AANI envolveu duas irradiações separadas, a primeira com cinco minutos e a outra sete horas, em um fluxo termal de neutros $2\text{-}3.10^{12} \text{ ncm}^{-2}\text{s}^{-1}$ no reator Thetis da Universidade de Gent.

CAPÍTULO III - RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados da análise do tempo de amostragem obtidas no Período Sazonal Úmida (PSU) e no Período Sazonal Seco (PSS). A campanha de amostragem iniciou-se no dia 20 de julho de 1992 e terminou no dia 10 de maio de 1996, porém os dados utilizados para este trabalho tiveram início no dia 2 de dezembro de 1992 e teve término no dia 25 de março de 1995, dividido em períodos sazonais na capital do estado de Mato Grosso, Cuiabá.

O INAA registrou 47 átomos diferentes nos filtros de amostragem porém, para este estudo somente 11 átomos foram escolhidos para análise que difere o material particulado fino e grosso em um mesmo período sazonal, a relação do particulado de mesmo diâmetro de equivalência de aerodinâmica em períodos sazonais diferentes e a relação em massa do material particulado inalável nos períodos sazonais

Os procedimentos realizados para interpretar o Material Particulado foi a relação matemática entre as concentrações elementares. As análises do Material Particulado em cada filtro foram realizadas pelo INAA, aparelho que faz leitura da concentração de 47 elementos químicos que vai desde o Sódio (Na – Z=11) até o Tório (Th – Z=90).

A análise parte da variabilidade elementar na fração fina e grossa no Período Sazonal Seco e Úmido em relação à massa de cada filtro, ou seja, obteremos a concentração percentual elementar em função da massa individual do filtro. Os resultados informam os aumentos e diminuições das concentrações dos elementos químicos ao passar dos anos de coleta.

Contudo, a quantidade de amostra disponível não permitiu uma análise interanual para cada período sazonal tomado individualmente, portanto as quantidades de amostras no Período Sazonal Seco dos anos de 1993, 1994 e 1995 foram consideradas como quantidades de amostras coletadas em um só período sazonal. O mesmo procedimento de interpretação foi empregado para as quantidades de amostras no Período Sazonal Úmido. Assim chegaremos ao resultado, em qual fração (Fina ou Grossa) os elementos químicos

possuem maior concentração, tanto no Período Sazonal Seco quanto Período Sazonal Úmido.

A variabilidade das concentrações, também, é verificada individualmente nos Períodos Sazonais com Material Particulado de mesmo diâmetro de equivalência (fina e grossa), observando em qual Período Sazonal a concentração elementar é maior. Os resultados informam se há o acréscimo do Material Particulado Elementar fino e grosso do Período Sazonal Úmido para o Período Sazonal Seco.

E por fim, a variabilidade da concentração do Material Inalável no Período Sazonal Seco e do Úmido em relação ao somatório do Material Particulado Total. O resultado informa a porcentagem do Material Particulado Inalável no Período Sazonal Seco e a porcentagem do Material Particulado Inalável no Período Sazonal Úmido, juntamente com a razão das concentrações, mostrando que o Período Sazonal Seco possui maior concentração de Material Particulado que no Período Sazonal Úmido.

1 - SÉRIE TEMPORAL (1992-1995)

A proposta em apresentar os gráficos da Série Temporal das concentrações (ng/m^3) para 11 (Onze) elementos químicos é identificar o diâmetro de equivalência dos elementos químicos (Figuras 17 a 27). Esses 11 elementos químicos inorgânicos foram escolhidos por fazerem parte do ciclo biogeoquímico, ou seja, ciclo de interação biosfera-atmosfera. Os elementos selecionados são: Sódio (Na), Enxofre (S), Cloro (Cl), Potássio (K), Cálcio (Ca), Manganês (Mn), Ferro (Fe), Zinco (Zn) e Bromo (Br), a fim de verificar em qual filtro (fino e grosso) existem maior concentração elementar ao longo da coleta. Sendo assim podemos observar dois aspectos conclusivos.

A observação feita sobre os resultados dos gráficos, os elementos químicos Sódio (Na), Fósforo (P), Cloro (Cl), Potássio (K), Cálcio (Ca), Manganês (Mn), Ferro (Fe), Cobre (Cu) e Zinco (Zn) foram encontrados em maior concentração elementar, na fração grossa e os elementos químicos Enxofre (S) e Bromo (Br) foram encontrados em maior

concentração elementar na fração fina. O resultado das coletas dos dados para a realização deste trabalho, encontra resposta (respaldo) através da análise realizada pelo INAA.

O outro aspecto a considerar é a própria série temporal que mostra um aumento da concentração elementar do material particulado encontrado no Período Sazonal Seco (PSS) devido, principalmente, a queima de biomassa sendo acentuado pelos processos meteorológicos como falta da Umidade Relativa do ar e baixo índice pluviométrico, dificultando dispersão e a precipitação do material ao solo. Por estas condições a concentração elementar ultrapassa os padrões permitidos pela Resolução CONAMA nº03/90 e EPA (Agencia de Proteção Ambiental - USA). O contrário é observado no Período Sazonal Úmido (PSU) onde as concentrações elementares possuem concentrações a baixo dos níveis aceitáveis pelos padrões da Resolução CONAMA nº03/90 e EPA (Agencia de Proteção Ambiental - USA). Este fenômeno é repetido como característica em todos os gráficos.

Amostragem Temporal para o Elemento Sódio (Na) 1992-1995 em Cuiabá

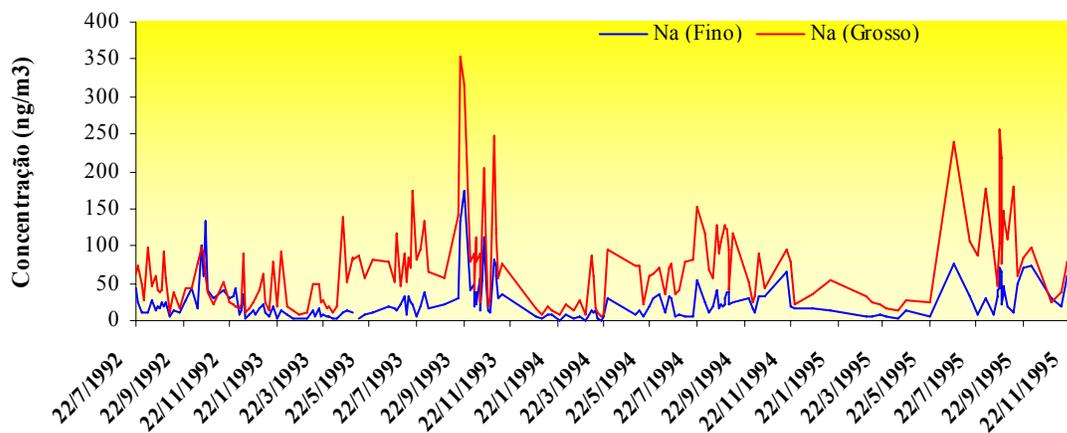


Figura 17. Série Temporal de Amostragem do Elemento Químico Sódio (Na).

Amostragem Temporal para o Elemento Fósforo (P) 1992-1995 em Cuiabá

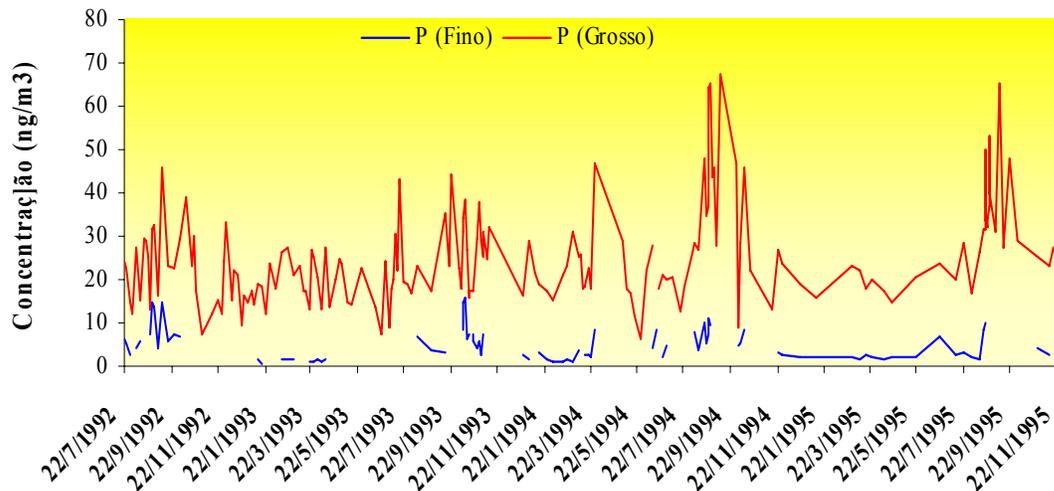


Figura 18. Série Temporal de Amostragem do Elemento Químico Fósforo (P).

Amostragem Temporal para o Elemento Enxofre (S) 1992-1995 em Cuiabáhd

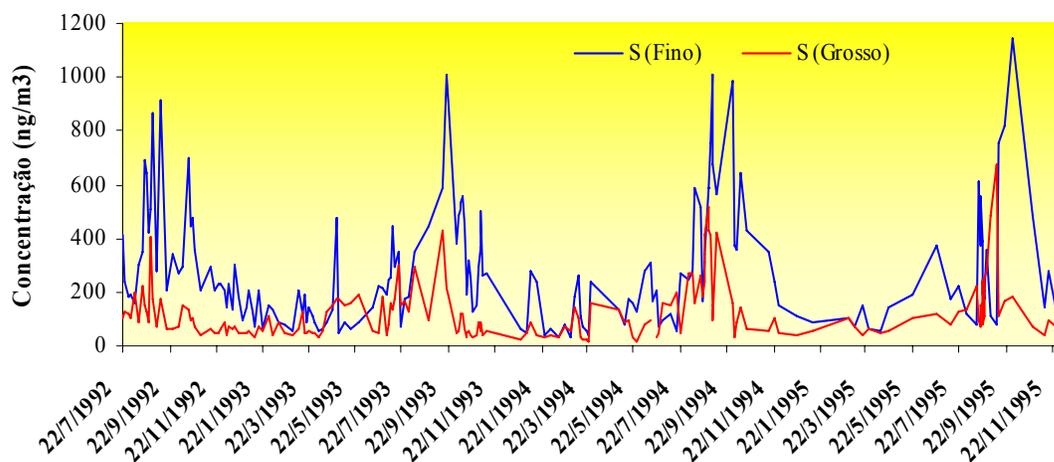


Figura 19. Série Temporal de Amostragem do Elemento Químico Enxofre (S).

Amostragem Temporal para o Elemento Cloro (Cl) 1992-1995 em Cuiabá

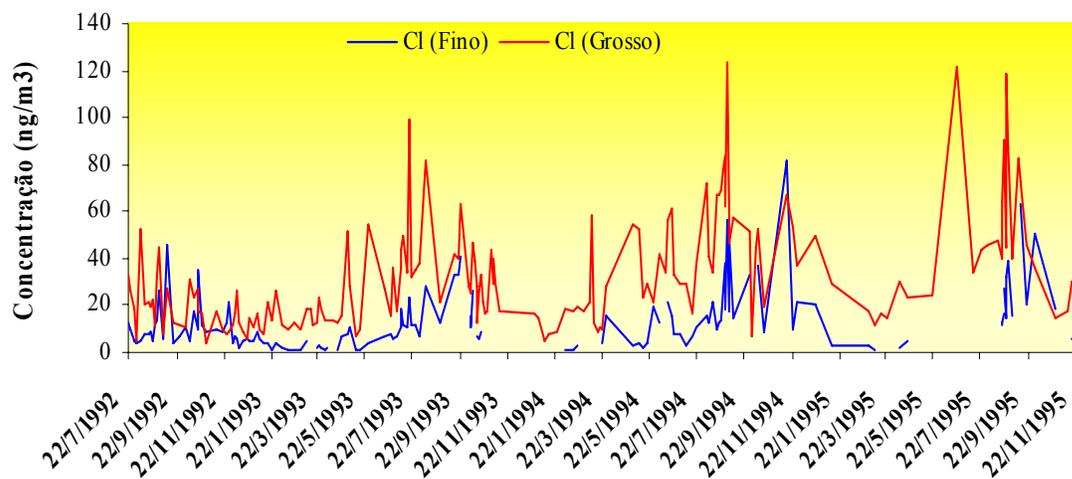


Figura 20. Série Temporal de Amostragem do Elemento Químico Cloro(Cl).

Amostragem Temporal para o Elemento Potássio (K) 1992-1995 em Cuiabá

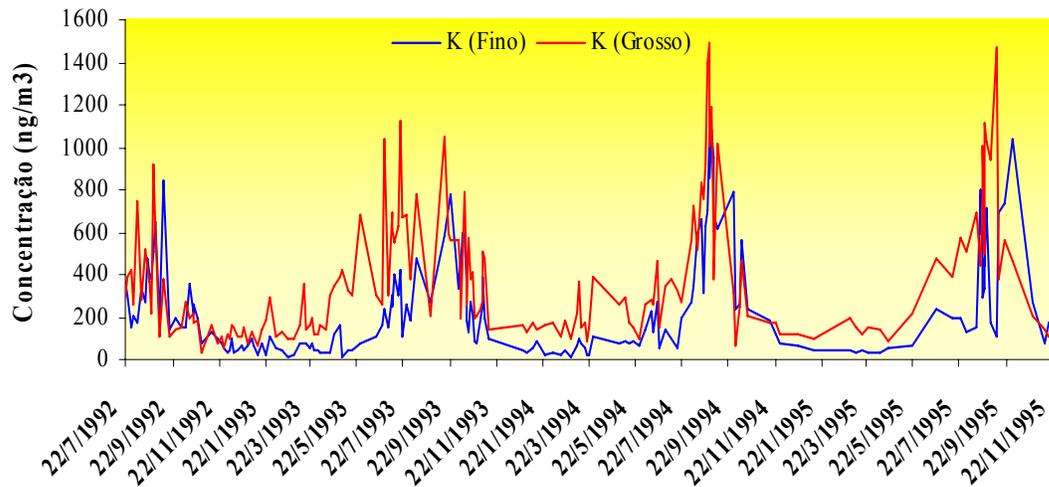


Figura 21. Série Temporal de Amostragem do Elemento Químico Potássio(K).

Amostragem Temporal para o Elemento Cálcio (Ca) 1992-1995 em Cuiabá

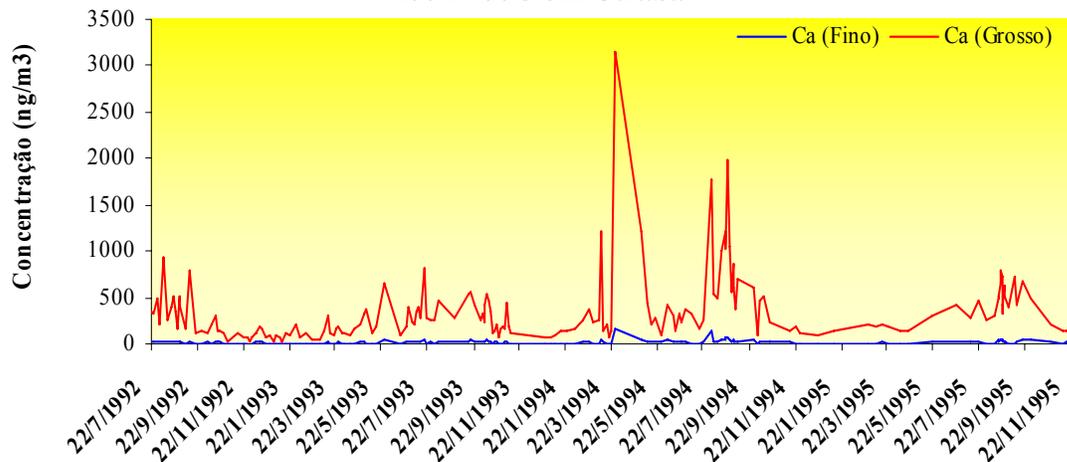


Figura 22. Série Temporal de Amostragem do Elemento Químico Cálcio (Ca).

Amostragem Temporal para Elemento Manganês (Mn) 1992-1995 em Cuiabá

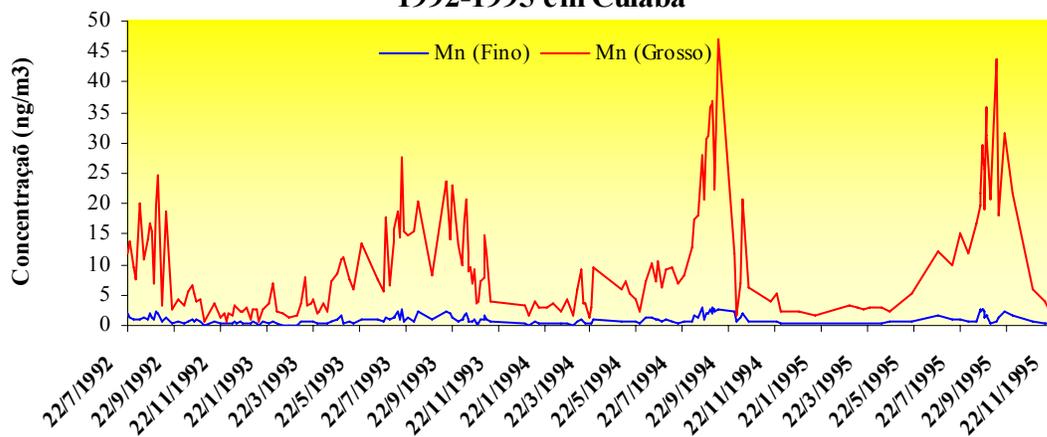


Figura 23. Série Temporal de Amostragem do Elemento Químico Magnésio(Mn).

Amostragem Temporal para Elemento Ferro (Fe) 1992-1995 em Cuiabá

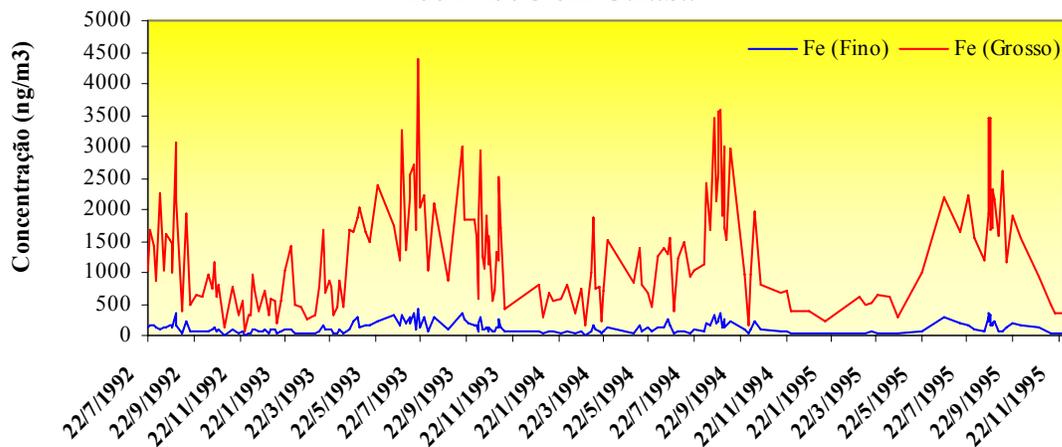


Figura 24. Série Temporal de Amostragem do Elemento Químico Ferro (Fe).

Amostragem Temporal para Elemento Cobre (Cu) 1992-1995 em Cuiabá

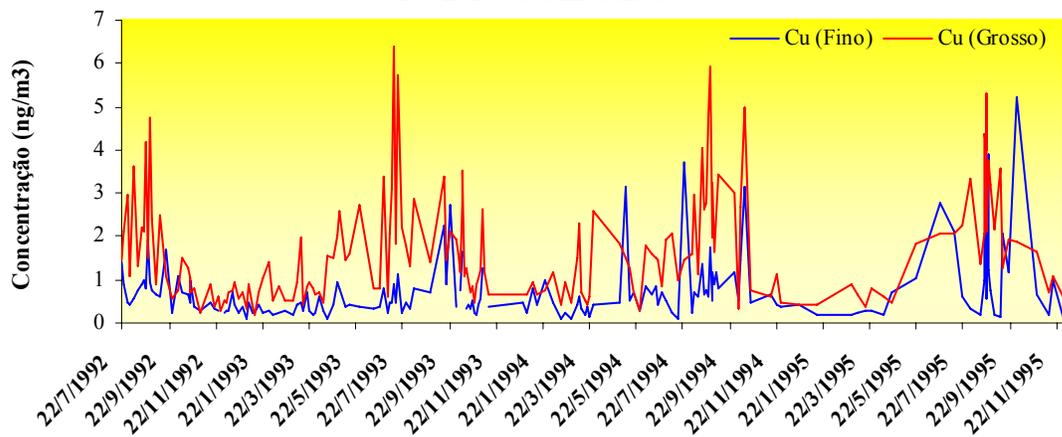


Figura 25. Série Temporal de Amostragem do Elemento Químico Cobre(Cu).

Amostragem Temporal para Elemento Zinco (Zn) 1992-1995 em Cuiabá

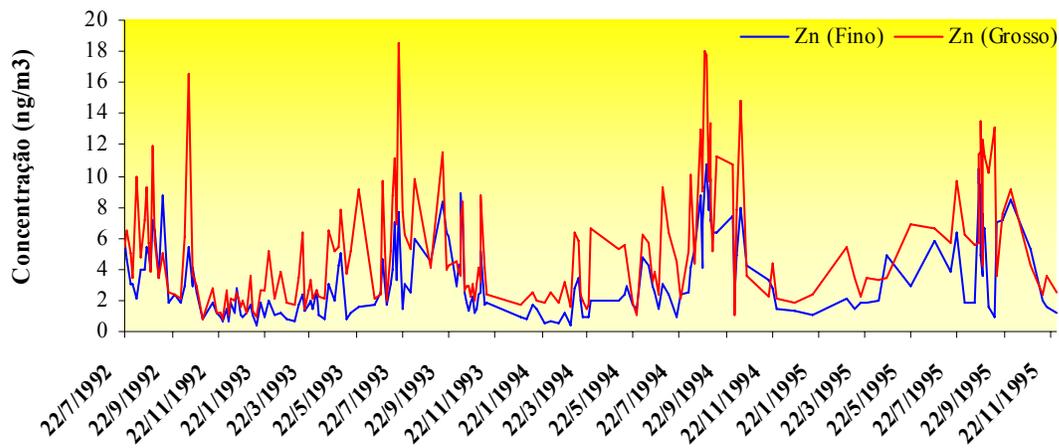


Figura 26. Série Temporal de Amostragem do Elemento Químico Zinco(Zn).

Amostragem Temporal para Elemento Bromo (Br) 1992-1995 em Cuiabá

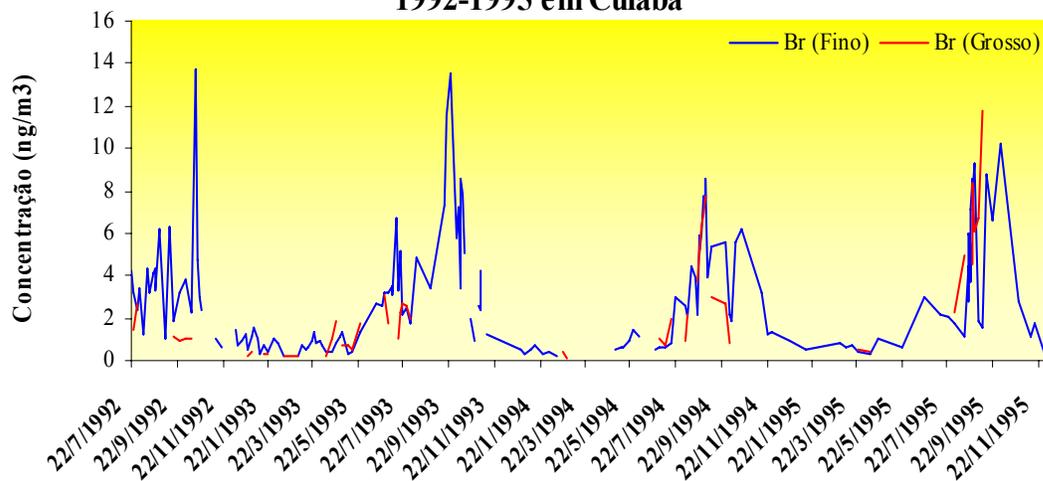


Figura 27. Série Temporal de Amostragem do Elemento Químico Bromo (Br).

Observa-se dos gráficos da série temporal a existência bem caracterizada da sazonalidade, caracterizada por uma maior concentração de aerossóis no período de seca e menor concentração de aerossóis no período úmido. Com isso essa diferença de concentração elementar da fração fina e grossa durante os períodos sazonais é que este trabalho foi elaborado, com intenção de verificar o aumento da concentração de material particulado inalável e o aumento da concentração elementar, em porcentagem, de átomos classificados como pirogênicos, biogênicos, ressuspensão do solo e poluição urbana de um período sazonal para outro.

2 SÉRIE SAZONAL (1992-1995)

O intervalo de estudo para este trabalho inicia-se no ano de 1993 e termina em 1995, dividido em Series Sazonais Seca (Junho – Setembro) e Úmida (Dezembro – Março) sendo analisados filtros com duas frações de diâmetro de equivalências diferentes. O filtro com fração Fina (0,4 μm) e fração Grossa (8 μm).

2.1 - Período Seco

Período onde o número de Material Particulado (aerossol) encontrado na camada de mistura é aumentado pela queima de biomassa local e regional, pela presença de material inorgânico oriundo da ressuspensão do solo, elementos que são caracterizadas como antropogênicos e elementos biogênicos (MORALES J.A. et al.,1995; ECHALAR et al.,1998, MARCAZZAN G.M. et al.,2003)

2.1.1 - Material Particulado Fino

Na Figura 28 apresenta a concentração média do Material Particulado Fino (MPF) do Período Sazonal Seco (PSS) dos anos de 1992, 1993 e 1994.

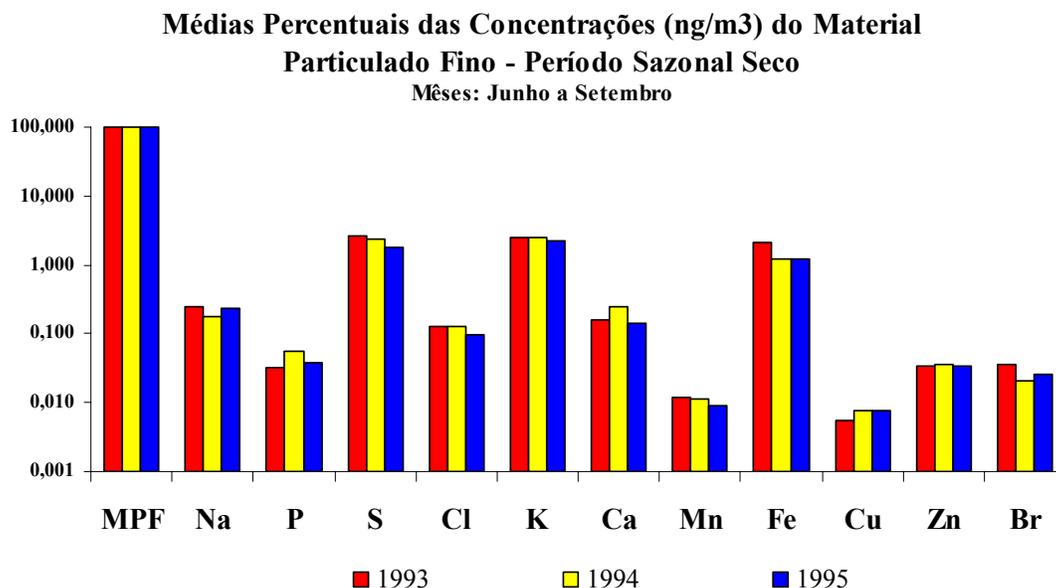


Figura 28. Amostragem da Coleta de Material Particulado Fino no Período Seco

Destaca-se claramente a presença do Enxofre (S), Potássio (K) e Ferro (Fe) em concentração percentual médio, valores significativamente maiores que o restante dos elementos químicos, ao passo que os elementos químicos Manganês (Mn) e Cobre (Cu) em menores concentrações. Neste período sazonal esses resultados indicam a existência de muitos focos de queima de biomassa na cidade e região de Cuiabá.

O comportamento da concentração dos elementos químicos Sódio (Na) e Bromo (Br) são semelhantes em diminuir a concentração elementar do ano de 1993 para 1994, no ano seguinte em 1995 a concentração elementar aumenta, contudo o comportamento da concentração dos elementos Fósforo (P), Cloro (Cl), Potássio (K), Cálcio (Ca) e Zinco (Zn), também, são semelhantes em aumentar a concentração elementar no ano 1993 para 1994 e diminuir a concentração elementar no ano seguinte, 1995.

O comportamento da concentração dos elementos Enxofre (S), Manganês (Mn) e Ferro (Fe) são de diminuição da concentração durante todo o período de estudo - 1993 a 1995, no sentido contrário, é observado o comportamento da concentração elementar do Cobre (Cu) durante todos os anos de estudo, somente aumenta.

Os valores das concentrações elemento de maior e menor valor de concentração média e o erro da média, máximos, mínimos durante todo tempo de estudo do período sazonal seco estão disponíveis na Tabela 5 (a, b, c). Porém o Potássio (K) no ano de 1994 com valor de 470,23 ng/m³ é o elemento químico de maior concentração média e o elemento químico de menor concentração média é o Cobre (Cu) no ano de 1993 com valor de 0,80 ng/m³.

2.1.2 Material Particulado Grosso

A figura 29 mostra a média das concentrações elementares dos compostos analisados no PSS para o material particulado da fração grossa nos anos de 1992, 1993 e 1994.

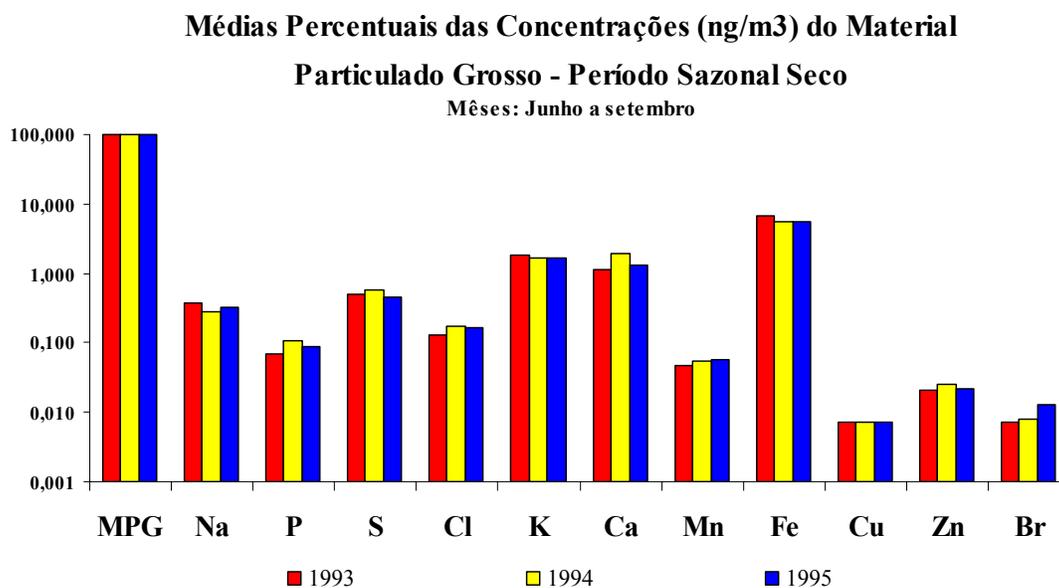


Figura 29. Amostragem da Coleta de Material Particulado Grosso no Período Seco

É observado a alta concentração média dos elementos químicos Potássio (K), Cálcio (Ca) e Ferro (Fe) nesta fração do Inlet, o oposto é observado para os elemento químico Cobre (Cu) e Bromo (Br) onde as concentrações elementares são as memores.

A variação da concentração dos elementos Fósforo (P), Enxofre (S), Cloro (Cl), Cálcio (Ca), Cobre (Cu) e Zinco (Zn) durante os anos de estudo possuem comportamento

semelhante em aumentar a concentração no ano de 1994 em relação ao ano de 1993 e diminuir a concentração elementar em 1995, contudo o comportamento da concentração do Sódio (Na) é de diminuir a concentração de 1993 para 1994, e de 1994 para 1995 a concentração elementar é aumentada.

O comportamento da concentração de potássio (K) e Ferro (Fe) somente diminui, o contrário é observado no comportamento da concentração média do Manganês (Mn) que somente aumenta. Esses comportamentos são observados do início (1993) ao término (1995) da coleta.

Os valores da concentração média e o erro da média, máximos, mínimos durante todo tempo de estudo do período sazonal seco estão disponíveis na Tabela 5 (a, b, c). Contudo o elemento químico que possui maior concentração média é o Ferro (Fe) com valor de 2118,12 ng/m³ no ano de 1993 e o elemento químico de menor concentração é o Cobre (Cu) com valor de 2,40 ng/m³ no ano de 1994.

Tabela 5. Concentração elementar média obtida para particulado fino e grosso na campanha de amostragem realizada em Cuiabá no período sazonal seco em *(a)* 1993, *(b)* 1994 e *(c)* 1995.

(a)

Element	n° de Amostra
MP	17
Na	17
P	06
S	17
Cl	17
K	17
Ca	17

Mn	17
Fe	17
Cu	17
Zn	17
Br	17

(b)

**CAMPANHA DE AMOSTRAGEM EM
CUIABÁ (1994)**

PERÍODO SAZONAL SECO (PSS)

M	M
a	at
t	e
e	ri
r	al
i	P
a	a
l	rt
P	ic

a
r
ti
c
u
l
a
d
o
F
i
n
o

ul
a
d
o
G
r
o
ss
o

nº de
Amostra

(c)

**CAMPANHA DE AMOSTRAGEM EM
CUIABÁ (1995)**

PERÍODO SAZONAL SECO (PSS)

**M
a
t
e
r
i
a
l
P
a
r
t
i
c
u
l
a
r
o
F
i
n
o**

**M
a
t
e
r
i
a
l
P
a
r
t
i
c
u
l
a
r
o
G
r
o
s
s
o**

nº de
Amostra

2.1.3 – Índice de Diferença do Material Fino e Grosso no PSS.

O Período Sazonal Seco (PSS) é caracterizado pela maior concentração elementar na fração grossa, como mostra a Tabela 6, indicando a média das concentrações dos elementos químicos e a percentagem da diferença do material particulado no mesmo Período Sazonal com dois filtros de diâmetro de corte diferentes, porém seqüência em anos diferentes (PSS – 1993; PSS – 1994 e PSS – 1995). Este procedimento foi adotado pois foi levado em conta que a composição centesimal das substâncias químicas que compõem a atmosfera não tenha sido alterado significativamente durante os anos estudados.

	Fração Fina	Fração Grossa	%
MI*	100	100	100
MP*	31,417	68,583	54,19
Na	0,064	0,220	70,70
P	0,012	0,060	79,81
S	0,701	0,359	48,86

Cl	0,035	0,107	67,47
K	0,732	1,214	39,66
Ca	0,054	0,993	94,60
Mn	0,003	0,035	91,58
Fé	0,397	4,033	90,17
Cu	0,002	0,005	57,612
Zn	0,010	0,016	36,38
Br	0,008	0,007	15,38

Tabela 6. Concentração média em porcentagem dos Elementos químicos e do Material Particulado (MP) em relação ao Material Inalável (MI).

MI* e MP* - unidade $\mu\text{g}/\text{m}^3$; Os Elementos – ng/m^3 .

A Figura 30 informa a comparação da concentração percentual dos elementos químicos nas diferentes frações, fina com $0,4 \mu\text{m}$ e grossa com $8 \mu\text{m}$.

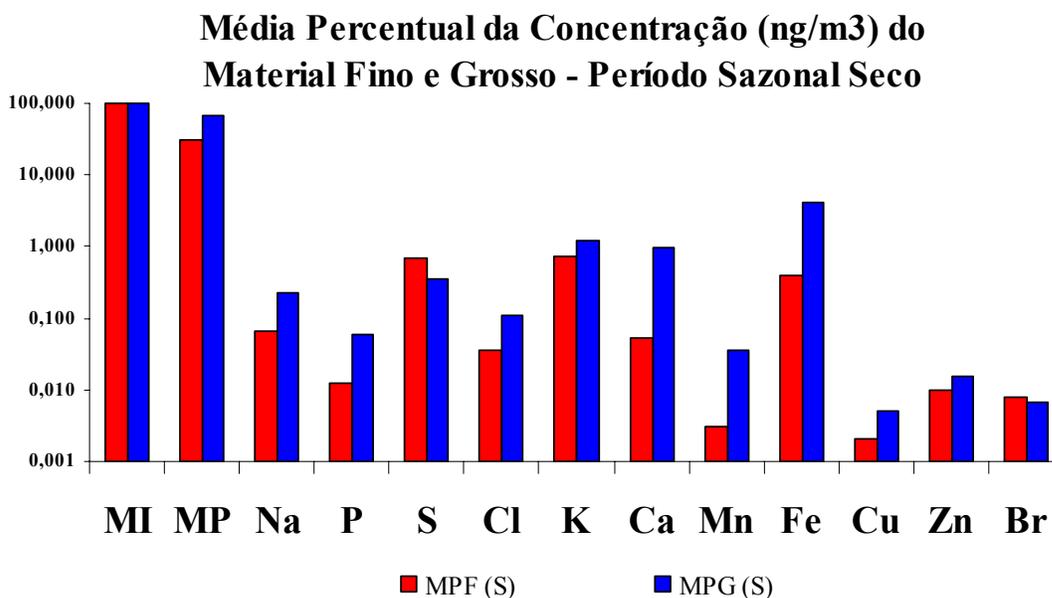


Figura 30. Comparação de Amostragem da Coleta de Material Particulado Fino e Grosso no Período Seco

Todos os elementos são encontrados nas duas frações, porém os elementos químicos Cálcio (Ca), Manganês (Mn) e Ferro (Fe) são especialmente caracterizados com mais de 90% de material na Fração Grossa. O resultados destes elementos químicos mais a presença do Potássio (K), tanto na fração grossa quanto na fina seguem, segundo ECHALAR et al.,

1998; GERAB et al., 1998; ARTAXO et al.,1999 e outros autores que constatarem estes elementos químicos na fração grossa devido à formação de cristais de óxidos tendo origem na ressuspensão do solo (ELEFTHERIADIS, K. & COLBECK, I, 2001).

O Enxofre (S) e Bromo (Br) são elementos químicos característicos na fração fina que acompanhado do Potássio (K), Cálcio (Ca) e Zinco (Zn) na mesma fração, e também elementos como Cloro (Cl), Potássio (K) e Manganês (Mn) na fração grossa no Período Sazonal Seco, esses elementos nestas frações possuem concentração elementar característicos que são indicativos de traços de queima de biomassa local e regional, pois o Material Particulado Pirogênico coletado em Cuiabá não é de transporte a longa distância (ECHALAR et al.,1998; MAENHAUT et al.,2002).

O Cobre (Cu) e Zinco (Zn) associados a outros elementos químicos na fração fina são associados à atividade antropogênica, poluição urbana (MORALES et al.,1996; ECHALAR et al.,1998), porém MIRANDA et al., 2001 informa que em São Paulo o Cobre e Zinco são encontrados na fração grossa e associados ao mesmo fator.

A meteorologia são fatores externos ao meio vegetal que contribuem para liberação de elementos químicos traços para a atmosfera através de processos fisiológicos - Transpiração e Gutação (ARTAXO, P. & HANSSON H.C., 1994) e os principais elementos encontrados são Fósforo (P), Enxofre(S), Potássio (K) e Manganês (Mn). Esses portanto, são classificados como elementos biogênicos sendo encontrada em maior concentração na fração grossa (ECHALAR et al.,1998; YAMASOE et al.,1999; GUYON et al.,2003).

2.2 – Período Sazonal Úmido

Período onde o número de Material Particulado (aerossol) produzido da queima de biomassa, da ressuspensão do solo, elementos antropogênicos são encontrados em menores

proporções. Os elementos biogênicos, elementos liberados diretamente do vegetal para atmosfera, são favorecidos pelas condições meteorológicas (MORALES J.A. et al.,1995; ESCHALAR et al.,1998, MARCAZZAN G.M. et al.,2003)

2.2.1 - Material Particulado Fino

A Figura 31 apresenta concentrações elementares dos átomos escolhidos para análise do Material Particulado Fino (MPF) no Período Sazonal Úmido (PSU) nos anos de 1992/93, 1993/94 e 1994/95.

É destacado a alta concentração elementar do Enxofre (S), Potássio (K) e Ferro (Fe), contrário, pela baixa concentração são encontrados os elementos químicos Manganês (Mn) e Cobre (Cu).

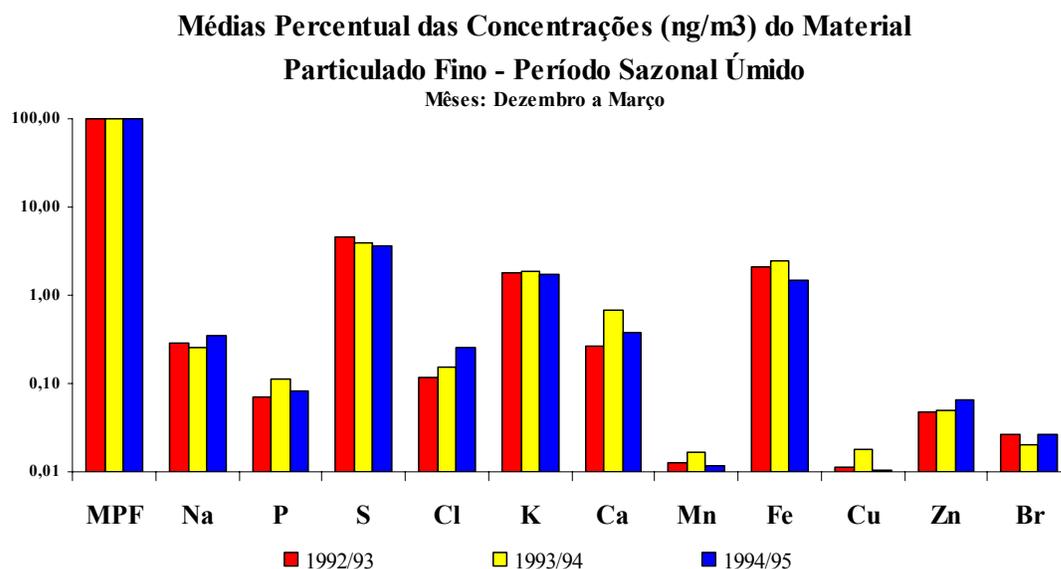


Figura 31. Amostragem da Coleta de Material Particulado Fino no Período Úmido.

A variação da concentração média elementar para os elementos químicos Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Manganês (Mn), Ferro (Fe) e Cobre (Cu) possuem comportamentos semelhantes em aumentar a concentração elementar no período de 1993/94 e diminuir no período seguinte de análise. O comportamento do Sódio (Na) e

Bromo (Br) é semelhante em diminuir a concentração elementar no período de 1993/94 e aumentar a concentração elementar no período seguinte.

O comportamento do Cloro (Cl) e Zinco (Zn) é semelhante em, somente, aumentar a concentração média elementar, já o comportamento do Enxofre (S) é diminuição da concentração média elementar. Essas análises são observadas durante todo tempo de estudo e coleta dos dados.

O elemento de maior e menor valor de concentração média e o desvio padrão, máximos, mínimos durante todo tempo de estudo do período sazonal úmido estão disponíveis na Tabela 3 (a, b, c). Contudo o elemento químico que possui maior concentração média é o Enxofre (S) com valor de $143,2 \text{ } \eta\text{g/m}^3$ no ano de 1992/93 e o elemento químico de menor concentração é o Cobre (Cu) com valor de $0,10 \text{ } \eta\text{g/m}^3$ no ano de 1994/95.

2.2.2 Material Particulado Grosso

A Figura 32 apresenta concentração média elementar dos átomos escolhidos para análise do Material Particulado Grosso (MPG) no Período Sazonal Úmido (PSU) dos anos de 1992/93, 1993/94 e 1994/95.

É observada com clareza a presença do Ferro (Fe) como o elemento químico a possuir maior concentração elementar e os elementos químicos Cobre (Cu) e Bromo (Br) com as menores concentrações elementares durante todo tempo de obtenção dos resultados.

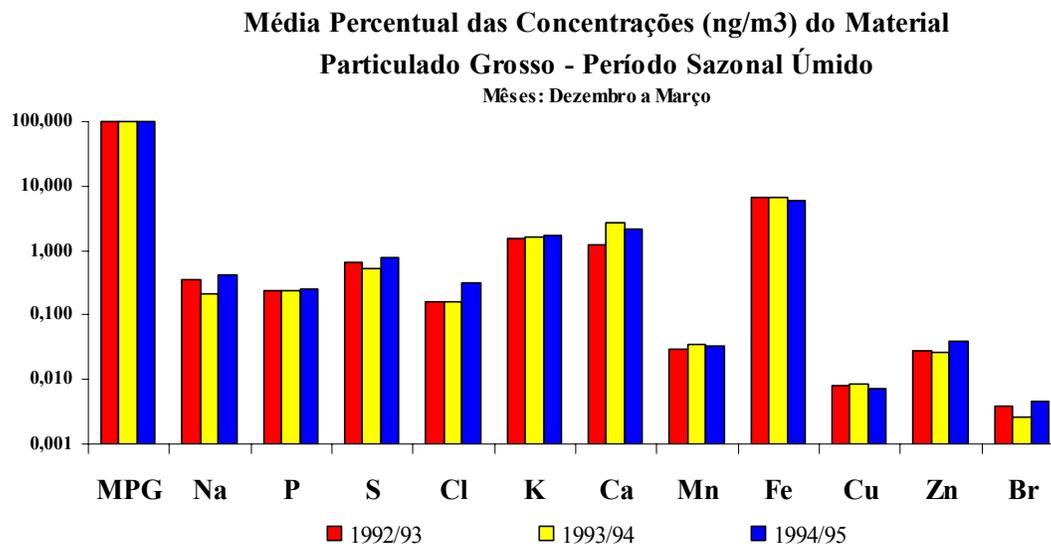


Figura 32. Amostragem da Coleta de Material Particulado Grosso no Período Úmido.

A variação da concentração elementar média dos elementos químicos Sódio (Na), Fósforo(P), Enxofre (S), Cloro (Cl), Zinco (Zn) e Bromo (Br) possui comportamento semelhante em diminuir a concentração elementar no período de 1993/94 e no período seguinte a concentração aumenta, possuindo comportamento oposto, os elementos químicos Cálcio (Ca), Manganês (Mn) e Cobre (Cu) aumentam a concentração no período 1993/94 e no período seguinte diminuem a concentração.

O comportamento da concentração média do elemento químico Potássio (K) é somente em aumentar, contudo o comportamento da concentração do elemento químico Ferro (Fe) é somente diminuir. Esses dados são observados durante toda campanha de amostragem.

O elemento de maior e menor valor de concentração média e o desvio padrão, máximos, mínimos durante todo tempo de estudo do período sazonal úmido, estando disponíveis na Tabela 7 (a, b, c). Contudo o elemento químico que possui maior concentração média é o Ferro (Fe) com valor de 735,7 ng/m³ no ano de 1993/94 e o elemento químico de menor concentração é o Bromo (Br) com valor de 0,20 ng/m³ no ano de 1994/95.

Tabela 7 – Concentração elementar média obtida para particulado fino e grosso na campanha de amostragem realizada em Cuiabá no período sazonal úmido em (a) 1992/93, (b) 1993/94 e (c) 1994/95.

(a)

**CAMPANHA DE AMOSTRAGEM EM
CUIABÁ (1992/1993)**

PERÍODO SAZONAL ÚMIDO (PSU)

M	M
a	at
t	e
e	ri
r	al
i	P
a	a
l	rt
P	ic
a	ul
r	a
ti	d
c	o
u	G
l	r
a	o
d	ss
o	o
F	
i	
n	
o	

(b)

**CAMPANHA DE AMOSTRAGEM EM
CUIABÁ (1993/1994)**

PERÍODO SAZONAL ÚMIDO (PSU)

M	M
a	at
t	e
e	ri
r	al
i	P
a	a
l	rt
P	ic
a	ul
r	a
ti	d
c	o
u	G
l	r
a	o
d	ss

o
F
i
n
o

o

(c)

**CAMPANHA DE AMOSTRAGEM EM
CUIABÁ (1994/1995)**

PERÍODO SAZONAL ÚMIDO (PSU)

M	M
a	at
t	e
e	ri
r	al
i	P
a	a
l	rt
P	ic
a	ul

**r
ti
c
u
l
a
d
o
F
i
n
o**

**a
d
o
G
r
o
ss
o**

2.2.3 Índice de Diferença do Material Fino e Grosso no PSU.

O Período Sazonal Úmido (PSU) é caracterizado pela maior intensidade dos fatores meteorológicos como o vento, alto índice pluviométrico, e alta umidade relativa do ar, Essas condições aumentam a tendência de liberação de compostos biogênicos dos vegetais para a atmosfera. A presença do Enxofre (S) é verificada pelas reações químicas de transformação de gás para partículas com a presença de alta temperatura e alta umidade

relativa. Fração de maior concentração elementar é a fração grossa, como mostra a tabela 8, indicando as médias concentrações dos elementos químicos escolhidos para esse trabalho.

	Fração Fina	Fração Grossa	%
MI	100	100	100
PM	23,773	76,227	68,81
Na	0,071	0,233	69,50
P	0,019	0,186	90,04
S	1,032	0,481	53,37
Cl	0,036	0,138	73,89
K	0,420	1,228	65,77
Ca	0,089	1,444	93,84
Mn	0,003	0,024	87,06
Fé	0,477	4,939	90,33
Cu	0,003	0,006	54,48
Zn	0,011	0,023	46,77
Br	0,006	0,003	53,54

Tabela 8 – Concentração média em porcentagem dos Elementos químicos e do Material Particulado (MP) em relação ao Material Inalável (MI).

MI* e MP* - unidade $\mu\text{g}/\text{m}^3$; Os Elementos – ng/m^3 .

Na figura 33 informa a comparação da concentração percentual dos elementos químicos nas diferentes frações, fina com $0,4 \mu\text{m}$ e grossa com $8 \mu\text{m}$.

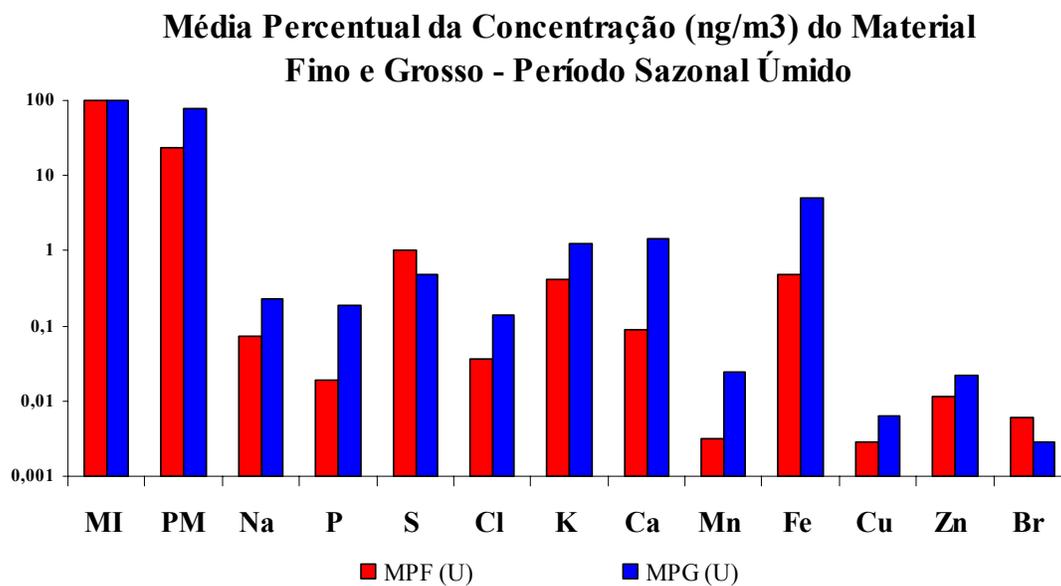


Figura 33. Comparação de Amostragem da Coleta de Material Particulado Fino e Grosso no Período Úmido

Todos os elementos são encontrados nas duas frações (Figura 33), porém os elementos químicos Fósforo (P), Cálcio (Ca) e Ferro (Fe) são especialmente caracterizados com mais de 90% de material na Fração Grossa. Os elementos químicos Ferro (Fe) e Manganês (Mn) sendo encontrados na fração fina e grossa, o Cálcio (Ca) na fração fina e o Potássio (K) na fração grossa seguem, segundo ECHALAR et al., 1998; MORALES J. et al., 1995; GERAB et al., 1998; MAENHAUT W. et al., 2002 e outros autores que constatarem estes elementos químicos nas respectivas frações, como compostos de origem da ressuspensão de poeira do solo (ROBERTS G et al., 1995; ELEFTHERIADIS, K. & COLBECK, I, 2001).

Os elementos que melhor representam indicadores de traços de queima de biomassa Local e Regional na fração fina é o Manganês (Mn) e Potássio (K) e Manganês (Mn) segundo ECHALAR et al., 1998; ANDREAE M. O & MERLET P, 2001; MAENHAUT et al., 2002.

O Cobre (Cu) estando localizado na fração fina, o cloro (Cl) na fração grossa e o Cálcio localizado nas duas frações (fina e grossa) entre outros elementos químicos está

associado à atividade antropogênica, poluição urbana (MORALES et al.,1996; ECHALAR et al.,1998).

A meteorologia são fatores externos ao meio vegetal que contribuem para liberação de elementos químicos traços para a atmosfera através de processos fisiológicos - Transpiração e Gutação (ARTAXO, P. & HANSSON H.C., 1994) e os principais elementos encontrados na fração grossa é o Fósforo (P) e na fração fina o elemento químico potássio (K) e MPF, em adição o Enxofre(S) que está localizado nas duas frações (fina e grossa) indicam característica de elementos químicos biogênicos (ECHALAR et al.,1998; YAMASOE et al.,1999; GUYON et al.,2003).

O elemento químico de maior concentração média na fração grossa é o Cálcio (Ca) com 417,95 ng/m³ no ano de 1993/94, enquanto que na fração fina os elementos de maior concentração é o enxofre (S) com valor de 143,23 ng/m³ no ano de 1992/93. O elemento de menor concentração média na fração grossa é o Bromo com valor de 0,2 ng/m³ em 1993/94, enquanto que o Cobre (Cu) é o elemento químico de menor concentração em 1992/93 e 1994/95 com valor de 0,3 ng/m³.

2.3 - Análise de Material Particulado Fino em Diferentes Períodos.

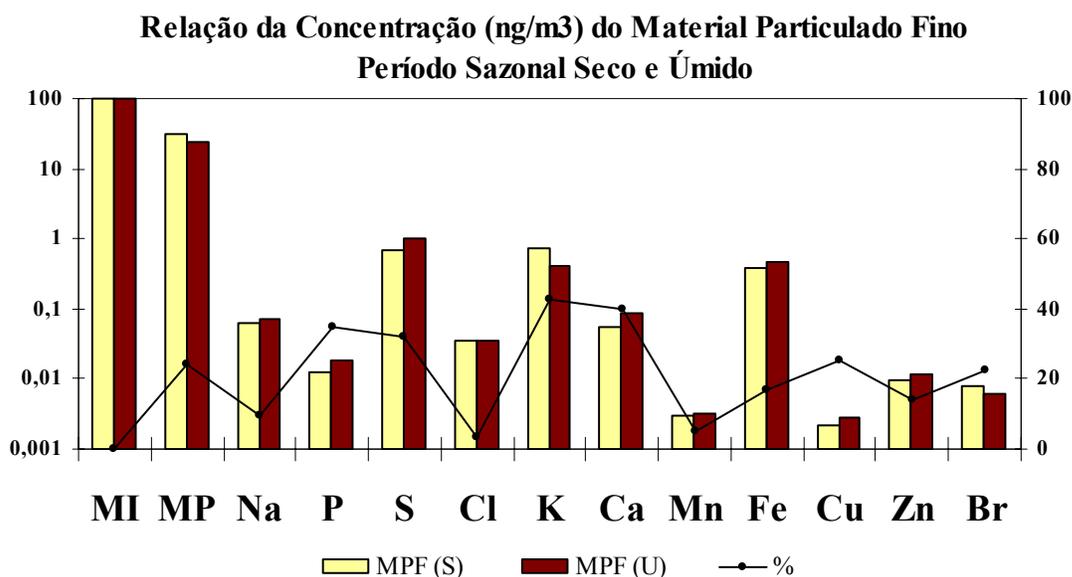


Figura 34. Comparação de Amostragem da Coleta de Material Particulado Fino do Período Seco e Úmido

A Figura 34, explica o comportamento da concentração elementar na fração fina em diferentes períodos sazonais. As concentrações em porcentagem obtidas, foram extraídas da massa elementar colhida nos filtros em relação ao Material Particulado Inalável nos respectivos períodos sazonais.

Os elementos que possuem maior diferença de concentração de Material Particulado no Período Sazonal Seco são: Potássio (K) e Bromo (Br), com adição do MPF. O restante dos elementos possuem maior concentração de MP no período sazonal úmido. O Potássio (K) é o elemento químico que possui maior diferença de concentração (42,6%) e o Cloro (Cl) é o elemento químico de menor diferença de concentração (3,4%). Em relação ao Material Inalável, verifica-se que o Material Particulado Fino no Período Sazonal Úmido é maior em quase todos os elementos escolhidos para este trabalho.

A maior concentração elementar do Enxofre (S) é encontrado no Período Sazonal Úmido, explicado pela alta temperatura e alta umidade relativa do ar, essas condições meteorológicas favorecem a reação química de transformação de gás em partícula. O Potássio (K) possui maior concentração no Período Sazonal Seco pois é indício de focos de queimadas locais e regionais.

2.4 - Análise de Material Particulado Grosso em Diferentes Períodos.

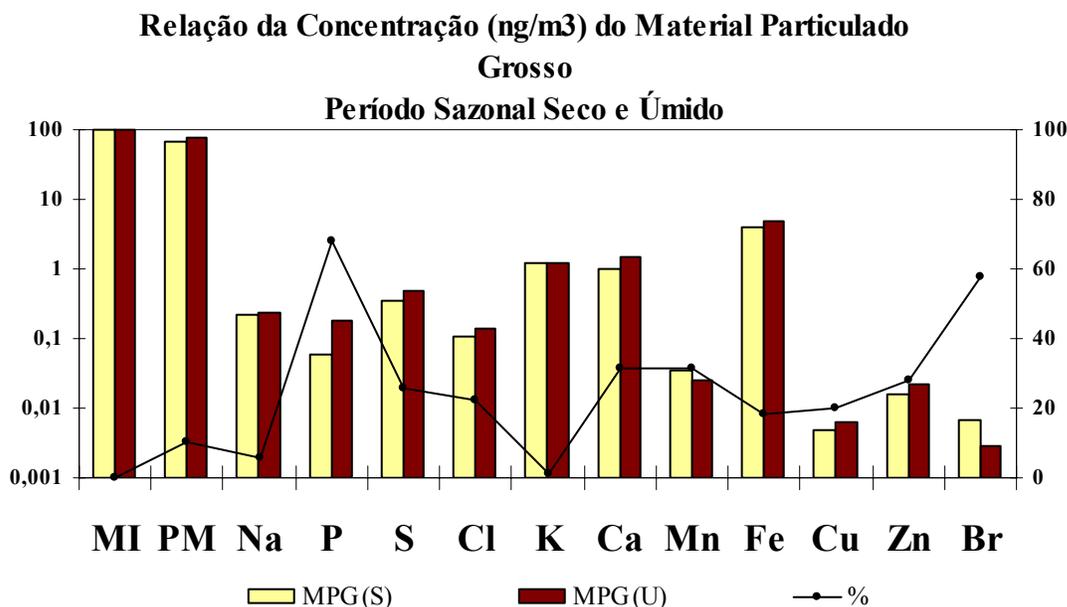


Figura 35. Comparação de Amostragem da Coleta de Material Particulado Grosso do Período Seco e Úmido

A Figura 35, explica o comportamento da concentração elementar na fração grossa em diferentes períodos sazonais. Os valores numéricos foram obtidos da mesma forma que se montou o gráfico 7.

Os elementos químicos que possuem maior concentração de material particulado no período sazonal seco é o manganês (Mn) e Bromo os demais elementos possuem maior concentração de materiais particulados no período sazonal úmido. O Fósforo (P) é o elemento químico que possui maior diferença de concentração (67,8 %), sendo mais concentrado no período sazonal úmido e Potássio (K) é o elemento químico de menor diferença de concentração (1,13 %).

O elemento químico Manganês (Mn) no período sazonal seco é característico de ressuspensão de poeira do solo e o elemento químico Bromo (Br) pela queima de biomassa. A diferença de concentração do elemento químico Fósforo (P) no Período Sazonal Úmido e maior concentração na Fração Grossa por ser um elemento químico biogênico (SCHALAR F. et al.,1998; ARTAXO P. et al., 2002).

3 Diferença do Material Particulado no PSS para o PSU

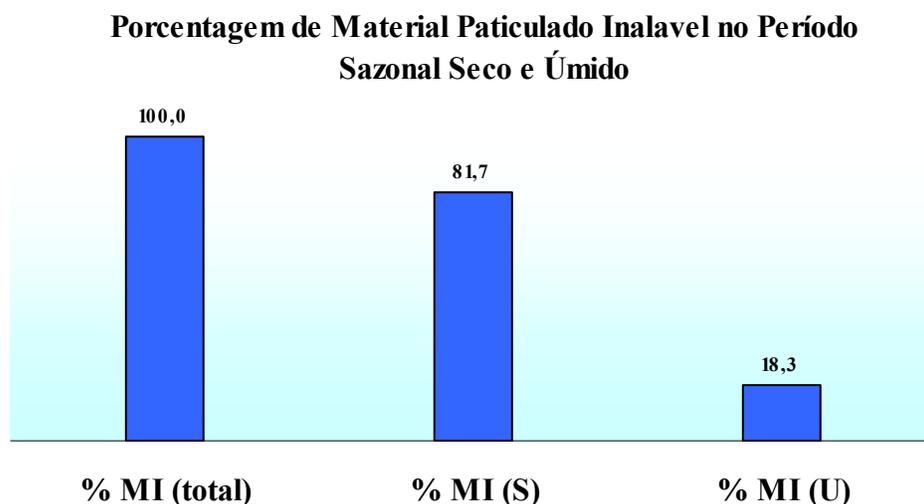


Figura 36. Comparação de Amostragem da Coleta de Material Inalável do Período Seco e Úmido.

A concentração de Material Particulado Inalável no Período Sazonal Seco é 4,5 vezes maior que o Material Particulado Inalável no Período Sazonal Úmido (Figura 36). Os valores foram obtidos através do cálculo de porcentagem do Material Particulado Inalável do PSS e o Material Particulado Inalável do PSU, em relação ao somatório dos Particulados Inaláveis.

O valor da concentração no PSS é significativamente alto, desta forma causa desequilíbrio no balanço energético, pois os aerossóis liberados possuem propriedade de espalhamento da radiação solar, com exceção do black carbono que possui a propriedade de absorver energia. A alta concentração de particulados atuam como núcleos condensadores de nuvem, impedindo a formação de gotas e transportando as nuvens para outras regiões. As condições meteorológicas neste período não propiciam a dispersão do material particulado, ocorrendo a deposição a seco dos aerossóis.

No PSS devido à concentração elevada de material particulado, crianças e idosos são afetados mais diretamente causando inflamações nas vias respiratórias e no balanço energético. Nesse período a quantidade de atendimento público hospitalar é aumentada. No

PSU a concentração de material particulado inalável é aceitável dentro dos padrões nacionais ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

CAPÍTULO IV – ANÁLISE DOS RESULTADOS

A capital do estado de Mato Grosso, Cuiabá, está geograficamente localizada no interior do Brasil, tendo possibilidade de se tornar um grande centro de estratégias políticas. Porém o resultado deste trabalho informa que o desenvolvimento desordenado pode causar efeito ao Homem e ao equilíbrio do ecossistema.

Verificou-se que no período seco a concentração de material particulado é maior que no período úmido. No período seco é onde encontra maior número de atendimento hospitalar de crianças e idosos com sistemas respiratórios comprometidos, podendo em casos extremos levar a morte.

Proporcionalmente ao material inalável, foi determinado um índice de diferença que mostra a superioridade, em porcentagem, da concentração do material particulado grosso tanto no período úmido quanto no período seco. A presença do fósforo no material particulado grosso e no período úmido indica índice de diferença de concentração superior a 90%, devido à presença de material biogênico (citado por vários autores, confirmado neste trabalho), ressalta a presença do índice de diferença de concentração dos elementos químicos Cálcio e Ferro, que nos dois períodos sazonais apresentam valores acima de 90%. O enxofre no período úmido possui maior índice de diferença de concentração, sendo encontrado nos dois períodos sazonais, o bromo é encontrado em maior em maior concentração no período seco e na fração fina caracteriza, assim, a queima de biomassa .

Na comparação intersazonal, é observada a presença do enxofre nos dois períodos sazonais, porém é encontrado em maior concentração na fração fina e período úmido mostrando que existe reação química que transforma gás em partícula (Formação de compostos secundários). O índice de diferença de concentração para o potássio e bromo é favorecido no material particulado fino do período seco, indicando queima de biomassa. O potássio possui o menor índice de diferença de concentração, encontrado no material particulado grosso no período seco, indicando a queima de biomassa, emissão biogênica e material de ressuspensão do solo.

Com esses dados disponíveis sobre a atmosfera da cidade de Cuiabá. As decisões políticas de desenvolvimento do estado de Mato Grosso devem-se levar em conta o bem estar da população, pois o maior índice de material inalável são das queimadas regionais e locais. Em época de queimada a quantidade de material particulado inalável é 4,5 vezes superior, podendo alterar o balanço energético da região.

CAPÍTULO V – CONCLUSÃO

A atmosfera da cidade de Cuiabá, como de outras cidades, é complexa, mesmo assim é possível por meio das metodologias analíticas e de amostragem obter a identificação e quantificação de elementos químicos. Em uma campanha de amostragem de longa data de coleta foi obtida uma extensa base de dados com informações sobre o material particulado inalável. A comparação do material inalável entre diferentes períodos sazonais de amostragem apresenta resultados compatíveis, que permitiu a certificação dos dados.

No período de seca foi observado, de uma forma geral, grande variabilidade das concentrações de particulado inalável. A concentração de material inalável varia de 13,01 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 126,14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, em média de 3 a 5 dias de coleta. O acúmulo de poluentes ocasionou elevadas concentrações de particulado quase atingindo os parâmetros nacionais (150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) de alguns dias do período de seca.

No período úmido foi observada uma variabilidade muito grande das concentrações de material particulado inalável. A concentração de material inalável varia de 5,45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 29,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, em média de 3 a 5 dias. A quantidade de material inalável máximo encontrado neste período está bem abaixo do padrão de qualidade do ar sendo este fato observado em todos os filtros analisados.

Comparando-se os períodos sazonais verifica-se uma redução de 63,5% concentração de material inalável do período sazonal seco para o período sazonal úmido, esse índice é claramente observado devido à diferença nas condições meteorológicas e queima de biomassa.

Foram utilizados equipamentos de coletas e medidas de concentração de aerossóis com alta resolução, que proporcionou a identificação de 47 elementos químicos que apresenta perfis e comportamentos diferentes durante a campanha de amostragem. Os índices encontrados para os elementos possibilitam obter o balanço de massa do particulado inalável, que chegaram a valores inferiores aos grandes centros e comparáveis a outros centros urbanos.

O material inalável é o somatório de vários tipos de aerossóis ($< 10 \mu\text{m}$) e os elementos estudados representam índices de diferença entre os períodos sazonais dos elementos é igual a: 70,7% para Na, 79,8% para P, 67,5% para Cl, 39,7% para K, 94,6% para Ca, 91,6% para Mn, 90,2% para Fe, 57,6% para Cu e 36,4% para Zn a mais na fração grossa, e 48,9% para S e 15,4% para Br a mais na fração fina no período sazonal seco. O período sazonal úmido possui índices iguais a 69,5% para Na, 90,0% para P, 73,9% para Cl, 65,8% para K, 93,8% para Ca, 87,1% para Mn, 90,3% para Fe, 54,5% para Cu, 46,8% para Zn a mais na fração grossa, e 53,4% para S e 53,5% para Br a mais na fração fina.

Foram obtidos índices de diferença onde relaciona o material particulado fino em diferentes períodos sazonais, onde os resultados mostram 9,3% para Na, 34,7% para P, 32,1% para S, 3,3% para Cl, 39,8% para Ca, 5,3% para Mn, 16,9% para Fe, 25,2% para Cu e 13,8% para Zn, mais concentrados no período sazonal úmido, e 42,7% para K e 22,6% para Br, mais concentrados no período sazonal seco. O material particulado grosso possui índices iguais a 5,6% para Na, 67,8% para P, 25,5% para S, 22,4% para Cl, 1,1% para K, 31,2% para Ca, 18,3% para Fe, 19,7% para Cu, 27,9% para Zn, com maior concentração no período úmido, e 31,3% para Mn e 57,5% para Br com maior concentração no período seco.

Sendo visível a diferença de material particulado nos períodos sazonais, houve a necessidade de quantificar a diferença de material inalável na cidade de Cuiabá. Primeiro identificando a concentração elementar proporcional a massa do filtro, segundo para comparação do material particulado fino e grosso no mesmo período sazonal é obtido através da média do MI e posteriormente extrai a proporção elementar com os resultados se faz a comparação das concentrações média dos elementos de mesmo diâmetro de equivalência em diferentes períodos sazonais e o terceiro identifica a diferença de material inalável no período sazonal seco em relação ao úmido, considerando o somatório de particulado inalável no período sazonal seco e do período úmido.

A campanha de amostragem temporal realizada de 1992 a 1995 permite uma ampla abordagem da questão da quantidade de aerossóis (poluentes) em Cuiabá. Porém esse

estudo realizado é um significativo avanço para melhor conhecermos o comportamento da atmosfera de grandes centros urbanos, para que os munícipes tenham boa qualidade de vida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIBLIOGRAFIAS CITADAS

ANDREAE, M. O.; **Biomass burning: Its history, use and distribution and its impact on environmental quality and global climate, in Global Biomass Burning: Atmospheric, Climate and Biospheric Implications**, edited by J. S. Levine, pp. 3-21, MIT Press, Cambridge Mass, 1991.

ALEX, M. A.; **Avaliação dos efeitos do material particulado proveniente da queima de cana-de-açúcar sobre a morbidade respiratória na população de Araraquara-SP**. 204 f. Tese de Doutorado, Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Paulo 2001.

ARTAXO, P.; FERNANDES, E. T.; MARTINS, J. V.; YAMASOE, M. A.; HOBBS, P. V.; MAENHAUT, W.; LONGO, K. M.; CASTANHO, A.; **Large scale aerosol source apportionment in Amazônia**. Journal of Geophysical Research 103, 31837-31848, 1998.

BARBOSA, R. I.; **Savanas da Amazônia: Emissão de gases do efeito estufa e material particulado pela queima e decomposição da biomassa acima do solo, sem a troca do uso da terra, em Roraima, Brasil**. Doctoral Dissertation. Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia (INPA)/Universidade do Amazonas (UA), Manaus, Amazonas, Brasil, 212 pp., 2001.

BRANCO S. M. & MURGEL E., **Poluição do ar**. 8ed. São Paulo: Moderna, .1995. 87p.

CRUTZEN, P. J. & ANDREA, M. O.; **Biomass Burning in the Tropics: Impact on Atmospheric Chemistry and Biogeochemical Cycles**. Science, Volume 250, Issue 4988, pp. 1669-1678, 1990.

CRUTZEN, P. J. & GOLDAMMER, J. G., **Fire in the Environment: The Ecological, Atmospheric, and Climatic Importance of Vegetation Fires**, (Dahlem Workshop Reports, Environmental Sciences Research Report 13, Wiley, Chichester, UK, 1993).

CRUTZEN, P.J., L.E. HEIDT, J.P. KRASNEC, W.H. POLLOCK and W. SEILER, 1979: **Biomass burning as a source of atmospheric gases CO, H₂, N₂O, NO, CH₃Cl and COS.** Nature, 282, 253-256.

ECHALAR, F.; ARTAXO, P.; GERAB, F.; YAMASOE, M. A.; MARTINS, J. V.; LONGO, K. M.; MAENHAUT, W.; HOLBEN, B. N.; **Aerosol composition and variability in the Amazon basin.** Journal of Geophysical Research 103, 31849-31866, 1998.

EPA (1999). Consulta na página da internet da Agência de Proteção Ambiental Americana (www.epa.gov).

FEARNSIDE, P. M.; **Global warming and tropical land use change: greenhouse gas emissions from biomass burning, decomposition, and soils in forest conversion, shifting cultivation, and secondary vegetation.** Climatic Change, 46, 115-158, 2000.

GERAB, F.; ARTAXO P.; GILLET, R.; AYRES, G.; **PIXE, PIGE and ion chromatography of aerosol particles from northeast Amazon Basin.** Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 136-138 (1998) 955-960.

HOUGHTON, J. T.; MEIRA FILHO, L. G.; CALLANDER, B. A.; HARRIS, N.; KATTENBERG, A.; MASKELL, K. (Eds); **Climate Change 1995: The Science of Climate Change.** Cambridge University Press, Cambridge, UK. 1996.

HANSEN J., Desarmando a bomba-relógio do aquecimento global. **Scientific American**, Brasil, ano 2, n.23, p.30-39, abril 2004.

HAO, W. M.; LIU, M. H.; CRUTZEN, P. J.; **Estimates of annual and regional releases of CO₂ and other trace gases to the atmosphere from fires in the tropics. Based on the**

FAO statistics for the period 1975-1980. In: Goldammer. J. G. (Ed), Fire in the tropical Biota. Springer-Verlag, Berlin, Germany, pp 440-462, 1990.

HELENE M. E. M., BUENO M. A. F., GUIMARÃES M. R. F., PACHECO M. R., NUNES E., **Poluentes atmosféricos.** 1ed. São Paulo: Scipione, 2001. 63p.

KAUFMAN, Y. J.; NAKAJIMA, T.; **Effect of Amazon smoke on cloud microphysics and albedo – Analysis from satellite imagery.** J. Applied Meteor. 32. 729-744, 1993

KAUFMAN, Y. J.; FRASER, R. S.; **Confirmation of smoke particles effect on clouds and climate forcing.** Science 277, 1636-1639, 1997.

KAUFMAN, Y. J.; HOBBS, P. V.; KIRCHHOFF, V. W. J. H.; ARTAXO, P.; REMER, L. A.; HOLBEN, B. N.; KING, M. D.; WARD, D. E.; PRINS, E. M.; LONGO, K. M.; MATTOS, L. F.; NOBRE, C. A.; SPINHIME, J. D.; JI, Q.; THOMPSON, A. M.; GLEASON, J. F.; CHRISTOPHER, S. A.; TSAY, S. -C.; **Smoke, clouds, and Radiation-Brazil (SCAR-B) experiment.** Journal of Geophysical Research 103 D24, 31783-31808, 1998.

LONGO, K. M.; **Estudos de partículas de Aerossóis e Gases Traços na Atmosfera da Bacia Amazônica: Influências das circulações Regionais e de Larga Escala.** Tese de Doutorado, Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Paulo 1999.

MAENHAUT, W.; FERNÁNDEZ-JIMÉNEZ, M.-T.; ARTAXO, P.; **Two-year study of atmospheric aerosols in Alta Floresta, Brazil: Multielemental composition and source apportionment.** Nuclear Instruments and methods in Physics Research B 189 (2002) 243-248.

MARTINS, V. J.; ARTAXO, P.; LIOUSSE, C.; REID, J. S.; HOBBS, P. V.; KAUFMAN, Y. J.; **Effects of black carbon content, particle size, and mixing on light absorption by**

aerosols from biomass burning in Brazil. Journal of Geophysical Research 103 (D4), 32041-32050, 1998.

MORAN, E. F.; BRONDIZIO, E.; MAUSEL, P.; et al.; **Integrating Amazonian vegetation, land-use, and satellite data.** BioScience, 44,329-338, 1994.

NOBRE, C. A.; FISCH, G.; NOBRE, A. D.; MARQUES, A. O. - **Balço de energia, vapor d'água e CO₂ em áreas de floresta tropical na Amazônia central.** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), relatório apresentado ao INPE e INPA; 14 f: 373 – 386, 1999”

POTH, M.; ANDERSON, I. C.; MIRANDA, H. S.; MIRANDA, A. C.; RIGGAN, P. J.; **The magnitude and persistence of soil NO, N₂O, CH₄ and CO₂ fluxes from burned tropical savanna in Brazil.** Global Biogeochemical Cycles, Volume 9, Issue 4, p. 503-514, 1995.

YAMASOE, M. A.; **Estudo da composição elementar e iônica de aerossóis emitidos em queimadas na Amazônia.** Dissertação de mestrado, Instituto de Física, Universidade de São Paulo. São Paulo. 1994.

YAMASOE, M. A.; **Estudo de Propriedades ópticas de Partículas de Aerossóis a partir de uma Rede de Radiômetros.** 273 f. Tese de Doutorado, Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Paulo.1999.

BIBLIOGRAFIAS CONSULTADAS

FURLAN S. A., NUCCI J. C., **A Conservação das florestas tropicais.** 3ed. São Paulo: Atual, 1999. 112p.

KUHLBUSCH, T. A.; CRUTZEN, P. J.; **Black carbon, the carbon cycle, and atmospheric carbon dioxide. In: Levine, J. S. (Ed), Biomass Burning and Global Change, Vol. 1, Remote Sensing, Modeling and Inventory Development, and Biomass Burning in Africa.** MIT Press, Cambridge, MA, pp. 160-169. 1996.

LAURANCE, W. F.; LAURANCE, S. G.; FERREIRA, L.V. et al.; **Biomass collapse in Amazonian Forest Fragments.** Science. 278, 1117-1118, 1997.

NOBRE, C. A.; WICKLAND, D.; KABAT, P. I.; **The large scale biosphere-atmosphere experiment in Amazonia (LBA),** IGBP Newsletter Issue No. 45, 2001.

MAGOSSI L. R., BONACELLA P. H., **Poluição das águas.** 19ed. São Paulo: Moderna, 2001. 56p.

NOBRE C. A; SELLERS, P. J.; SHUKLA, J. - **Amazonian deforestation and regional climate change.** Journal of Climate, 30f: 957 – 987, 1991

PRIANTE FILHO, N.; HAYASHI, M. M. S.; NOGUEIRA, J. DE S.; CAMPELO JUNIOR, J. H.; NUNES, P. C.; SOUZA, L. S. E; COUTO, E. G.; HOEGER, W.; RAITER, F.; TRIENWEILER, J. L.; MIRANDA, E. J.; PRIANTE, P. C.; PEREIRA, L. C.; BIUDES, M. S.; FRITZEN, C. L; LACERDA, M.; SULI, G. S.; SHIRAIWA, S.; MARCELINO, T.H; SILVEIRA, M.; VOURLITIS, G. L.. **Comparison of the Mass and Energy Exchange of a Pasture and a Mature Transitional Tropical Forest of a Southern Amazon Basin during the Wet-Dry Season Transition.** Global Change Biology, Urbana - IL - USA, v.10, p. 863-876, 2004.

SKOLE, D. L.; TUCKER, C.J.; **Tropical deforestation and habitat fragmentation in the Amazon: satellite data from 1978 to 1988.** Science, 260, 1905-1910, 1993.