

Composição multielementar e fontes de emissão de aerossóis atmosféricos em Cuiabá de 1992 à 1995

Carlos César Wyrepkowski¹, Edilberto Ojeda de Almeida Filho¹,
Alfredo Jorge¹, Carlo Ralph De Muisis¹,
José de Souza Nogueira¹

¹Programa de Pós-Graduação em Física e Meio Ambiente/ICET/UFMT
Av. Fernando Corrêa, s/n, bloco F, Sala 212. CEP 78960-900, MT, Brasil
e-mail: carlosc@ufmt.br

Resumo

As amostras de aerossóis atmosféricos foram coletadas continuamente de julho de 1992 à dezembro de 1995 na cidade de Cuiabá, localizada no cerrado brasileiro, sul da floresta tropical da bacia amazônica, Brasil. O dispositivo de amostragem consistiu em um amostrador de material de particulado fino e grosso (AFG), o qual separa a fração grossa (2,5-10 μm de diâmetro aerodinâmico equivalente) da fração fina do aerossol (< 2,5 μm). O material particulado fino e grosso de todos os filtros amostrados (180 no total) foram analisados para o material particulado (MP), *black carbon* (BC) e para 47 elementos químicos. As análises de componentes principais e componentes principais absoluta foram usadas para identificação das fontes de emissão. A análise multielementar foi realizada com uma combinação de PIXE e INAA. Três tipos principais de fontes de aerossóis foram identificados: queima de biomassa, emissões de biogênico natural e ressuspensão de poeira do solo. Durante a estação seca a fração fina do aerossol originou-se predominantemente das emissões da queima de biomassa (elas foram responsáveis por cerca de 64% da massa da fração fina), enquanto a fração grossa foi dominada por partículas de poeira do solo (50 a 60% da massa de aerossol). Durante a estação úmida os aerossóis biogênicos foram os tipos de partículas predominantes.

Palavras-chave: análise multielementar, aerossol atmosférico e fontes de emissão.

Summary

The atmospheric aerosol samples had been collected continuously of July of 1992 to the December of 1995 in the city of Cuiabá, located in the Brazilian, south open pasture of the tropical forest of the Amazonian basin, Brazil. The sampling device consisted of a amostrador of particulado material of finishes and thick (AFG), which separates the thick fraction (2,5-10 μm of aerodynamic diameter equivalent) of the fine fraction of aerosol (< 2,5 μm). The fine and thick particulado material of all the showed filters (180 in the total) had been analyzed for the particulado material (MP), black carbon (BC) and for 47 chemical elements. The analyses of main main and component components absolute had been used for identification of the emission sources. The multielementary analysis was carried through with a combination of PIXE and INAA. Three main types of aerosol sources had been identified: burning of biomass, emissions of natural biogênico and ressuspensão of dust of the ground. During the dry station the fine fraction of aerosol originated predominantly from the emissions of the biomass burning (they had been responsible for about 64% of the mass of the fine fraction), while the thick fraction was dominated by particles of dust of the ground (50-60% of the aerosol mass). During the humid station the biogênicos aerosols had been the types of predominant particles.

Key-words: multielementary analysis, atmospheric aerosol, sources of emission.

1. Introdução

A região amazônica contém uma larga extensão de Floresta Tropical no mundo, são mais de 5 milhões de km^2 . Todavia, nos últimos 30 anos teve um rápido desenvolvimento que direcionou-se para o desflorestamento de mais de 500.000 km^2 somente no Brasil. Isto leva para mudanças na composição atmosférica, causada pelo desmatamento e queima de biomassa, e estas tem efeitos local, regional e global na química atmosférica e climática (NOBRE et al., 2001). Estas mudanças que estão ocorrendo, as quais são muito significativas estão relacionadas com as atividades humanas e podem ter efeitos também nas quantidades de partículas de aerossóis. As partículas de aerossóis são importantes pelo seu papel de nucleação de nuvens e pelos efeitos no balanço da radiação solar sobre a floresta amazônica (ARTAXO, 2004).

A floresta tropical e o cerrado, um tipo de savana tropical, são entre todos os ecossistemas globais os mais severa e extensivamente afetados pelas atividades antropogênicas a partir da queima de biomassa e de processos de ocupação e alterações no uso da terra. A região urbanizada de Cuiabá possui características geográficas e climáticas que favorecem gran-

des concentrações de material particulado, que são emitidos para a atmosfera, durante as queimadas e incêndios florestais que ocorrem com frequência na região.

Na época da seca, a composição química da atmosfera amazônica, sofre grandes mudanças devido às emissões de gases traços e partículas de aerossóis provenientes de queimadas de pastagens e florestas. Diversos autores têm mostrado que as emissões de gases traços e partículas de aerossóis pelas queimadas ocorrem de forma significativa e podem afetar o inventário das emissões globais (GUENTHER et al., 1995; ANDREAE & CRUTZEN, 1997; KAUFMAN et al., 1998; ANDREAE, 1991) e são objeto de estudo do componente de química atmosférica do LBA – Experimento de Grande Escala da Biosfera e Atmosfera da Amazônia.

Quantificar os fluxos de deposição seca e úmida de nutrientes é crucial para o entendimento das complexas interações entre a floresta e o meio ambiente atmosférico. As principais fontes de material particulado na Amazônia são: emissões primárias de aerossóis biogênicos emitidos a partir da própria floresta e pelo cerrado; emissões primárias de partículas provenientes de queima de biomassa de floresta, cerrado ou pasto; partículas oriundas de ressuspensão de poeira do solo pela ação do vento ou da turbulência gerada pelas queimadas; transporte a longa distância de poeira do Saara, junto com aerossóis marinhos, e emissões da África (ARTAXO et al., 1998; LONGO, 1999). Estas fontes e seus fluxos variam significativamente de intensidade ao longo do ano.

De acordo com SIMONEIT (1989), ARTAXO et al. (1990), TALBOT et al. (1990), as florestas emitem partículas de aerossóis diretamente, sob a forma de, por exemplo, grãos de pólen, bactérias, fragmentos de folhas entre outros. Uma parte importante das partículas biogênicas é constituída de partículas de formação secundárias, resultado da conversão gás-partícula de gases biogênicos (ANDREAE & CRUTZEN, 1997; ECHALAR et al., 1998). As partículas biogênicas são compostas basicamente de material orgânico e elementos traços, tais como, Na, P, S, K, Zn e Rb (ARTAXO et al., 1990, 1994). As partículas de aerossol também são produzidas durante a foto oxidação de biogênicos naturais hidrocarbonetos, como o isopreno, monoterpenos e outros gases. Os seus componentes na moda fina também afetam o balanço radiativo nas regiões tropicais (ARTAXO & HANSSON, 1995).

Estudos sobre a composição elementar dos aerossóis têm mostrado que a emissão de *black carbon*, o qual se sabe ser majoritariamente fuligem proveniente da combustão, está associada a conhecidos elementos traços de emissões de queimadas, como por exemplo: S, K, Cl, Ca e Zn, na fração fina do material particulado (YAMASOE, 1994; ECHALAR et al., 1998; ARTAXO et al., 1998). Os aerossóis pirogênicos provenientes de

atividades de queimadas antropogênicas predominam em maior quantidade em relação ao total de aerossóis emitidos durante a estação seca. MAENHAUT (1996) ressaltou que a queima do cerrado é a principal fonte para os seguintes elementos na fração de moda grossa: P, K, Ca, Mn, Zn, Sr, I, material particulado e *black carbon*. Na fração fina, a principal fonte para material particulado, *black carbon*, os halogênios (Cl, Br, I), K, Cu, Rb, Sb, Cs e Pb; e ainda Na e S.

Para determinar a concentração de aerossol atmosférico e sua composição, três estações de medidas em longo prazo foram instaladas e operadas; estas estações foram das poucas operadas continuamente em áreas continentais no hemisfério Sul. As estações foram instaladas em Serra do Navio, no Amapá, Cuiabá e Alta Floresta, em Mato Grosso. ARTAXO et al., (1994); ECHALAR et al. (1998); MAENHAUT et al. (2002) já apresentaram e discutiram dados destes três locais.

O objetivo do presente trabalho é determinar as concentrações elementares e *black carbon* do material particulado, identificar os principais tipos de fontes de aerossóis atmosféricos regionais e quantificar a contribuição destas fontes discriminando as estações seca e úmida para as frações fina e grossa.

2. Material e métodos

As medidas foram realizadas na região urbanizada de Cuiabá, que está localizada ao sul da Amazônia numa região de cerrado, mais precisamente situada na sede do INPE – Cuiabá – MT, no bairro Bosque da saúde, na Rua Hélio Ponce de Arruda s/nº (latitude: 16ºS; longitude: 56ºW; altitude: 165m), no período de julho de 1992 a dezembro de 1995.

Para realização deste trabalho, foi utilizado o equipamento já tradicional, como o amostrador de material particulado fino e grosso (AFG) que é um dispositivo bastante utilizado na coleta de partículas de aerossol ao nível da superfície do solo. O material particulado é coletado por impactação em filtros dispostos em série, em dois intervalos de tamanho pelos quais são separadas as frações fina e grossa do aerossol. A fração grossa (MPG) é definida por partículas com diâmetros aerodinâmicos maiores que 2,5 µm. A fração fina (MPF) é definida por partículas de diâmetros aerodinâmicos menores que 2,5 µm.

O AFG é feito de material plástico que apóia os filtros em dois estágios. No processo de filtração para coleta do material particulado, foram utilizados filtros de policarbonato da marca Nuclepore de 4,7 mm de diâmetro. No primeiro estágio é utilizado um filtro grosso com poros de 8 µm de diâmetro que retém por impactação inercial partículas grossas. No segundo estágio é utilizado um filtro fino, com poros de 0,4 µm que coletam a fração fina do particulado. O intervalo de tempo da coleta por amos-

tra foi de 3 a 5 dias e o total de 180 amostras foram analisadas.

Os filtros AFG de todas as amostras foram analisados através da gravimetria. Esta análise permite determinar a massa e a concentração elementar do particulado nas frações fina e grossa. Através da análise de refletância, se obtém a concentração do *black carbon* existente na fração fina do material particulado inalável. Foi necessário usar uma balança micro analítica de precisão nominal 1 micrograma, capaz de quantificar a variação de massa de cada filtro antes e após o processo de coleta. Esta balança está instalada em uma sala com temperatura e umidade controladas. Antes e após cada pesagem os filtros de policarbonato ficam expostos a fontes radioativas de ^{210}Po durante 24 horas para neutralizar as cargas elétricas agregadas a sua superfície, que podem alterar os resultados da pesagem.

As coletas em longo prazo foram também realizadas para uma subsequente análise multielementar de uma combinação de PIXE (*Particle Induced X Ray Emission*) e INAA (*Instrumental Neutron Activation Analysis*). Estas análises foram feitas como as descritas em CASTANHO (1999); ALMEIDA FILHO (2005). A utilização de INAA permitiu obter dados mais precisos de elementos metálicos (Na, Al), e também fornecer dados adicionais de vários outros elementos, incluindo os metais e metalóides As, Se, In, Sb e o halogênio I (MAENHAUT et al., 2002).

A análise de componentes principais (ACP) e análise de componentes principais absoluta (ACPA) com rotação VARIMAX, foram realizadas conforme descrito nos trabalhos de MAENHAUT (1996), CASTANHO (1999) e ALMEIDA FILHO (2005) e serviram para identificar melhor os componentes de aerossol, ou seja, as fontes de emissão em cada uma das duas frações e para apontar o MP e os vários constituintes de aerossol para estes componentes.

3. Resultados e discussões

Determinação das concentrações e relação nas estações seca-úmida

Inicialmente nas Tabelas 1 e 2, são apresentados os valores médios e desvio padrão das concentrações de massa e elementares para as estações seca e úmida distintamente do material particulado fino e grosso. As concentrações médias apresentadas mostram que podemos avaliar os diferentes valores entre as concentrações das frações de particulado medido entre a estação seca e do resto do ano. Comparando-se os valores de concentrações elementares da massa de particulado fino com a massa de particulado grosso, nota-se que há uma maior concentração de S na fração fina que na fração grossa, enquanto os elementos Al, Si, Ti e Fe apresentam maiores concentrações na fração grossa.

Tabela 1. Concentrações elementares médias obtidas para o material particulado fino e grosso na campanha de amostragem em Cuiabá na estação seca.
CAMPANHA DE AMOSTRAGEM EM CUIABÁ – ESTAÇÃO SECA

Elementos	Material Particulado Fino				Material Particulado Grosso			
	Nº. Amostras	Mínimo (ng/m ³)	Máximo (ng/m ³)	Média ± D.P. (ng/m ³)	Nº. Amostras	Mínimo (ng/m ³)	Máximo (ng/m ³)	Média ± D.P. (ng/m ³)
MPF (µg/m ³) ^o	100	2,23 ^o	65,52 ^o	16,57 ^o ± 2,57 ^o	100	2,37 ^o	91,02 ^o	30,02 ^o ± 18,37 ^o
BC-AFG (µg/m ³) ^o	100	0,42 ^o	7,80 ^o	2,77 ^o ± 1,78 ^o	100	0,09 ^o	2,58 ^o	0,80 ^o ± 0,57 ^o
Na	100	6,17	173,40	33,57 ± 28,63	100	12,02	355,10	90,64 ± 61,52
Mg	32	5,90	82,27	36,75 ± 18,79	90	34,59	584,70	157,99 ± 108,47
Al	100	9,73	285,40	123,35 ± 66,38	100	67,68	4622,00	1905,16 ± 1014,22
Si	100	20,13	396,70	163,67 ± 89,66	100	129,20	6223,00	2603,35 ± 321,62
P	60	1,58	15,55	6,89 ± 3,47	99	7,38	67,38	28,64 ± 12,69
S	100	58,75	1141,00	384,62 ± 240,55	99	27,84	672,70	156,85 ± 120,16
Cl	86	2,61	63,57	17,03 ± 12,99	100	3,70	123,80	42,05 ± 25,67
K	100	49,72	1080,00	374,48 ± 249,81	100	33,42	1495,00	517,06 ± 318,62
Ca	100	3,92	133,40	23,71 ± 17,22	100	23,75	1972,00	430,32 ± 315,51
Sc	99	0,00	0,05	0,02 ± 0,01	100	0,01	0,68	0,29 ± 0,16
Ti	100	0,55	18,03	7,60 ± 4,26	100	3,84	274,80	99,49 ± 58,80
V	100	0,09	4,33	0,78 ± 0,72	100	0,16	10,93	3,64 ± 2,20
Cr	13	0,89	7,19	3,26 ± 2,04	46	0,46	7,95	3,03 ± 1,73
Mn	100	0,12	2,92	1,32 ± 0,70	100	0,53	46,90	15,52 ± 9,78
Fé	100	15,05	430,50	163,95 ± 92,60	100	113,40	4393,00	1693,41 ± 856,14
Co	38	0,01	0,11	0,03 ± 0,02	98	0,02	0,50	0,20 ± 0,10
Ni	24	0,08	1,20	0,32 ± 0,26	47	0,30	2,18	0,91 ± 0,43
Cu	98	0,11	5,22	0,96 ± 0,85	100	0,24	6,37	2,19 ± 1,32
Zn	100	0,86	10,74	4,66 ± 2,56	100	0,77	18,59	6,81 ± 4,01
Ga	53	0,01	0,12	0,05 ± 0,03	99	0,02	1,25	0,45 ± 0,24
As	98	0,01	0,49	0,12 ± 0,10	94	0,04	1,91	0,50 ± 0,33
Se	15	0,04	0,58	0,25 ± 0,14	33	0,07	0,59	0,23 ± 0,12
Br	93	0,56	13,76	4,35 ± 2,79	42	0,74	11,76	3,59 ± 2,72
Rb	57	0,43	6,38	1,94 ± 1,40	91	0,74	8,11	3,19 ± 1,62
Sr	1	0,52	0,52	0,52	70	0,59	5,73	2,41 ± 1,23
Zr	11	0,35	1,05	0,59 ± 0,22	95	0,73	16,65	4,14 ± 2,41
Nb	1	1,01	1,01	1,01	3	0,95	1,69	1,32 ± 0,37
Mo	1	0,18	0,18	0,18	32	0,05	0,48	0,19 ± 0,10
Ag	2	0,05	0,32	0,18 ± 0,19	3	0,15	0,94	0,54 ± 0,40
Cd	21	0,07	1,70	0,41 ± 0,34	15	0,10	1,31	0,41 ± 0,35
Sn	11	1,96	12,92	7,19 ± 3,62	5	5,39	73,42	24,18 ± 28,31
Sb	100	0,04	1,66	0,33 ± 0,26	100	0,01	0,81	0,13 ± 0,14
I	100	0,15	6,15	1,54 ± 1,00	95	0,07	3,05	0,69 ± 0,72
Cs	53	0,01	0,10	0,03 ± 0,02	96	0,02	0,32	0,11 ± 0,06
Ba	39	0,40	4,76	1,86 ± 1,05	97	3,43	47,98	15,97 ± 8,55
La	98	0,02	0,15	0,06 ± 0,03	100	0,03	2,02	0,81 ± 0,43
Ce	1	0,89	0,89	0,89	77	0,48	4,97	2,05 ± 1,02
Sm	100	0,00	0,02	0,01 ± 0,00	100	0,00	0,32	0,13 ± 0,07
W	25	0,01	0,10	0,02 ± 0,02	96	0,01	0,27	0,07 ± 0,05
Pb	99	0,37	18,85	2,72 ± 2,50	96	0,70	15,46	4,28 ± 2,63
Th	70	0,01	0,16	0,05 ± 0,03	100	0,02	0,97	0,38 ± 0,20

Tabela 2. Concentrações elementares médias obtidas para o material particulado fino e grosso na campanha de amostragem em Cuiabá na estação úmida.
CAMPANHA DE AMOSTRAGEM EM CUIABÁ – ESTAÇÃO ÚMIDA

Elementos	Material Particulado Fino				Material Particulado Grosso			
	Nº. Amostras	Mínimo (ng/m ³)	Máximo (ng/m ³)	Média ± D.P. (ng/m ³)	Nº. Amostra	Mínimo (ng/m ³)	Máximo (ng/m ³)	Média ± D.P. (ng/m ³)
MPF (µg/m ³) [§]	78	0,89 [§]	17,94 [§]	3,82 [§] ± 2,63 [§]	78	4,09 [§]	30,77 [§]	11,35 [§] ± 6,05 [§]
BC-AFG (µg/m ³) [§]	78	0,24 [§]	3,60 [§]	0,77 [§] ± 0,46 [§]	78	0,08 [§]	0,76 [§]	0,27 [§] ± 0,15 [§]
Na	77	1.06	73.45	14.53 ± 15.57	78	5.47	138.90	41.43 ± 31.94
Mg	31	3.23	61.14	13.63 ± 12.10	74	9.41	481.30	60.36 ± 64.30
Al	78	9.31	167.00	48.64 ± 35.24	78	59.74	2435.00	661.39 ± 516.62
Si	78	15.09	224.20	70.26 ± 46.27	78	94.85	3482.00	919.50 ± 688.94
P	44	0.68	8.35	2.41 ± 1.72	78	6.25	46.80	20.54 ± 6.34
S	78	30.83	502.40	150.90 ± 97.64	78	17.59	192.20	69.81 ± 40.65
Cl	57	0.51	81.84	6.80 ± 11.41	78	4.85	66.88	20.76 ± 13.86
K	78	13.70	385.60	70.51 ± 57.17	78	58.64	684.40	183.83 ± 113.33
Ca	77	1.92	165.70	13.42 ± 19.33	78	15.32	3153.00	226.70 ± 388.80
Sc	77	0.00	0.03	0.01 ± 0.01	78	0.01	0.36	0.10 ± 0.08
Ti	77	0.58	12.75	2.91 ± 2.24	78	2.82	112.90	30.62 ± 25.00
V	78	0.03	2.83	0.44 ± 0.41	78	0.17	6.31	1.63 ± 1.32
Cr	6	0.71	2.27	1.17 ± 0.59	44	0.34	2.71	0.98 ± 0.52
Mn	78	0.11	1.74	0.48 ± 0.30	78	0.57	14.73	4.15 ± 2.99
Fé	78	6.43	274.50	76.55 ± 56.70	78	70.37	2526.00	782.25 ± 534.63
Co	36	0.00	0.03	0.01 ± 0.01	78	0.01	0.26	0.07 ± 0.05
Ni	30	0.02	0.43	0.13 ± 0.09	30	0.11	1.85	0.52 ± 0.44
Cu	76	0.08	3.17	0.44 ± 0.40	78	0.18	2.72	0.94 ± 0.60
Zn	78	0.35	5.17	1.74 ± 1.02	78	0.77	9.19	3.19 ± 1.88
Ga	47	0.00	0.11	0.02 ± 0.02	77	0.03	0.75	0.17 ± 0.13
As	77	0.01	0.30	0.07 ± 0.05	75	0.02	0.69	0.15 ± 0.13
Se	17	0.02	0.18	0.07 ± 0.04	27	0.02	0.21	0.07 ± 0.04
Br	64	0.23	4.24	0.90 ± 0.67	26	0.14	1.91	0.53 ± 0.45
Rb	34	0.08	1.06	0.37 ± 0.25	74	0.24	3.85	1.03 ± 0.72
Sr	4	0.07	0.28	0.14 ± 0.10	47	0.14	6.51	0.92 ± 1.06
Zr	8	0.09	0.90	0.35 ± 0.25	73	0.20	7.68	1.56 ± 1.24
Nb	1	0.33	0.33	0.33	2	0.27	0.45	0.36 ± 0.12
Mo	-	-	-	-	36	0.02	0.22	0.07 ± 0.04
Cd	29	0.03	0.73	0.13 ± 0.13	16	0.05	0.35	0.14 ± 0.09
Sn	11	0.34	9.43	2.66 ± 3.02	1	5.10	5.10	5.10
Sb	78	0.03	2.57	0.20 ± 0.32	78	0.01	0.52	0.05 ± 0.06
I	78	0.03	2.07	0.22 ± 0.27	77	0.02	0.62	0.13 ± 0.11
Cs	19	0.00	0.02	0.01 ± 0.00	75	0.00	0.14	0.04 ± 0.03
Ba	45	0.19	1.64	0.73 ± 0.38	77	1.33	21.53	6.08 ± 4.07
La	77	0.01	0.07	0.02 ± 0.02	78	0.02	0.99	0.28 ± 0.20
Ce	1	0.17	0.17	0.17	68	0.10	2.40	0.64 ± 0.45
Sm	78	0.00	0.01	0.00 ± 0.00	78	0.00	0.15	0.05 ± 0.03
W	27	0.00	0.05	0.01 ± 0.01	75	0.01	0.08	0.03 ± 0.02
Pb	78	0.26	5.79	1.16 ± 0.90	77	0.33	7.37	2.12 ± 1.60
Th	63	0.00	0.05	0.02 ± 0.01	78	0.02	0.77	0.15 ± 0.13

Os filtros de Nuclepore foram submetidos à análise gravimétrica e análise de refletância, as quais possibilitaram a obtenção de concentrações de massa de partículas e concentrações de *black carbon*, para cada intervalo de tamanho, respectivamente.

No modelo de distribuição apresentado por SEINFELD (1986), observa-se uma moda de distribuição de massa entre 0,1 e 1 μm , chamada fração fina, e uma moda grossa com diâmetros acima de 1,8 μm . O *black carbon* possui maior concentração de massa no intervalo da fração fina do aerossol, embora apresente uma pequena quantidade de concentração de massa na fração grossa na tabela 1. Isto é devido ao fato de este composto ser produto de combustão onde são formadas partículas finas. O intervalo de diâmetro médio onde se tem a maior concentração de BC, também chama a atenção por ser coincidente ao intervalo de comprimento de onda de radiação visível, o que contribui com que as partículas de BC possuam alta seção de choque na absorção de radiação solar. Esta propriedade torna-o um poluente de alta influência no balanço radiativo da atmosfera em uma escala regional (CASTANHO, 1999).

Comparando-se as concentrações de massa e elementares do material particulado, na estação seca e no resto do ano, verifica-se uma redução das concentrações médias na estação úmida. A redução nas concentrações elementares ocorre em proporções diferentes para cada elemento. Esta diferença se deve aos processos de produção e ou remoção das partículas da atmosfera em virtude das mudanças nas condições das estações do ano.

Nas Figuras 1 e 2 são apresentadas comparações entre as concentrações elementares médias obtidas nas campanhas de amostragens dos anos de 1992, 1993, 1994 e 1995 na cidade de Cuiabá. Estas comparações das concentrações elementares são relativas à massa do particulado fino e grosso para estação seca de cada ano.

Na comparação das frações de concentração elementar do particulado fino para os quatro anos de amostragens, nota-se na Figura 1, que há um aumento significativo da concentração do *black carbon*, o qual se deve possivelmente, ao aumento das queimadas na região. O S apresenta uma redução significativa ao longo dos quatro anos e os elementos característicos de poeira do solo, como Al, Si, Ti e Fe, apresentaram pequenas variações, com exceção no ano de 1993 os quais tiveram um aumento nas suas concentrações.

Verifica-se na Figura 2, que a comparação das frações de concentração elementar do particulado grosso apresenta um aumento dos elementos Al, Si, K, Ca e Fe nos quatro anos com relação à concentração elementar do particulado fino. Elementos com Ga, Nb, La, Ce e Th aparecem em pequenas frações apenas no particulado grosso. A fração de concentração de *black carbon*, embora seja reduzida em relação à fração de concentração

encontrada no filtro fino, ainda se faz presente no filtro grosso. A pequena variabilidade encontrada no decorrer dos anos na análise indica pouca variação da composição elementar relativa à massa do particulado emitido de um ano para outro.

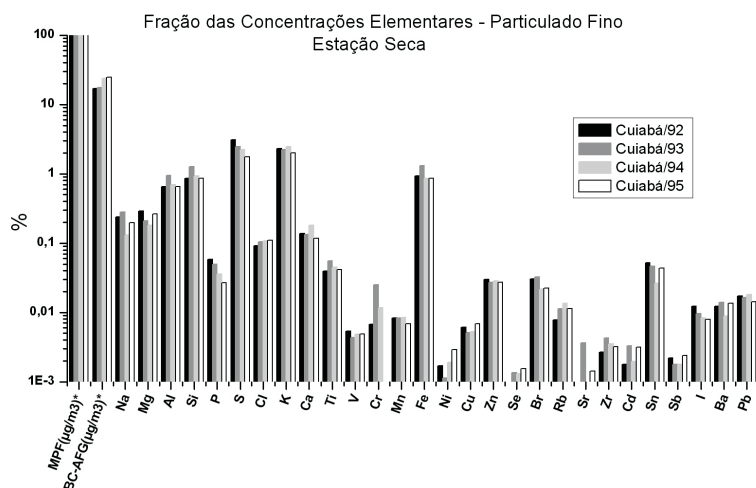


Figura 1. Fração das concentrações elementares relativas ao particulado fino, obtido para a estação seca nos anos de 1992 a 1995.

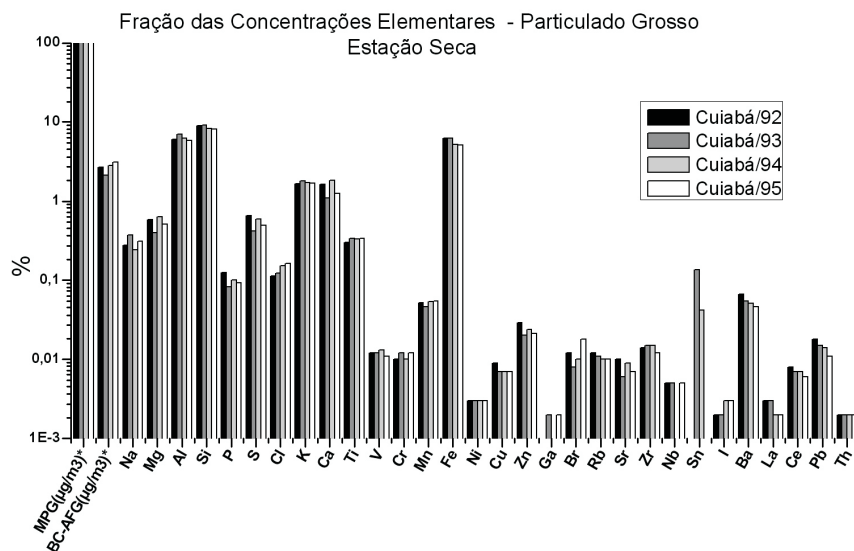


Figura 2. Fração das concentrações elementares relativas ao particulado grosso, obtido para a estação seca nos anos de 1992 a 1995.

As Figuras 3 e 4 mostram a comparação das frações de concentração elementares relativa à massa do particulado fino e grosso para as estações úmidas nos anos 92/93, 93/94 e 94/95.

Nas estações úmidas há uma redução significativa das concentrações dos elementos na atmosfera devido à remoção dos aerossóis causada, principalmente pelas chuvas. A Figura 3 mostra que na fração fina do material particulado é encontrada uma relativa contribuição dos aerossóis pirogênicos (componentes da queima de biomassa) como o BC, S, Cl, K, Zn, Br, Rb e I, embora os níveis de concentração absoluta fossem obviamente menores. As contribuições das frações elementares P, K e S indicam a presença dos aerossóis biogênicos (Componentes das emissões da vegetação). Por outro lado, as contribuições das frações elementares do Al, Si, Ti, e Fe (elementos característicos de poeira do solo) apontam para emissões de ressuspensão do solo.

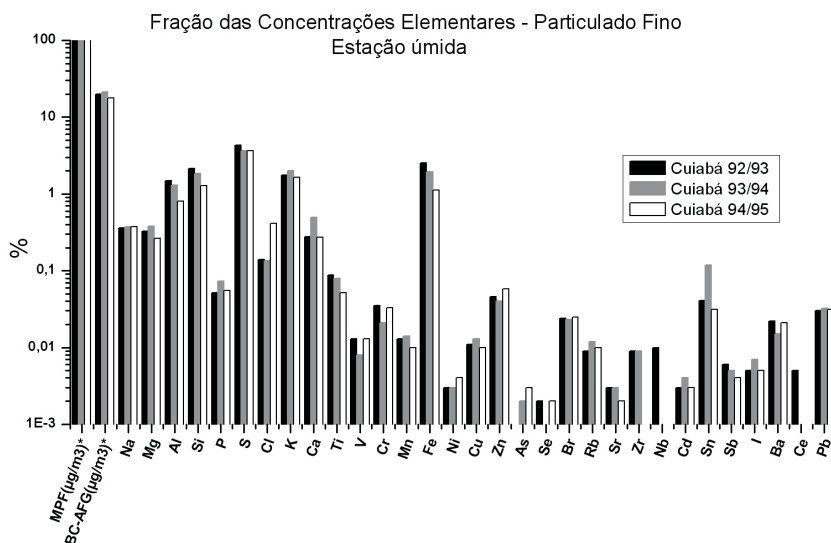


Figura 3. Fração das concentrações elementares, com relação ao particulado fino, obtido para a estação úmida dos anos 92/93, 93/94 e 94/94.

Na estação úmida de cada ano há uma redução significativa das concentrações dos elementos na atmosfera devido à remoção dos aerossóis causada, principalmente pelas chuvas. A Figura 3 mostra que na fração fina do material particulado é encontrada uma relativa contribuição dos aerossóis pirogênicos (componentes da queima de biomassa) como o BC, S, Cl, K,

Zn, Br, Rb e I, embora os níveis de concentração absoluta fossem obviamente menores. As contribuições das frações elementares P, K e S indicam a presença dos aerossóis biogênicos (Componentes das emissões da vegetação). Por outro lado, as contribuições das frações elementares do Al, Si, Ti, e Fe (elementos característicos de poeira do solo) apontam para emissões de ressuspensão do solo.

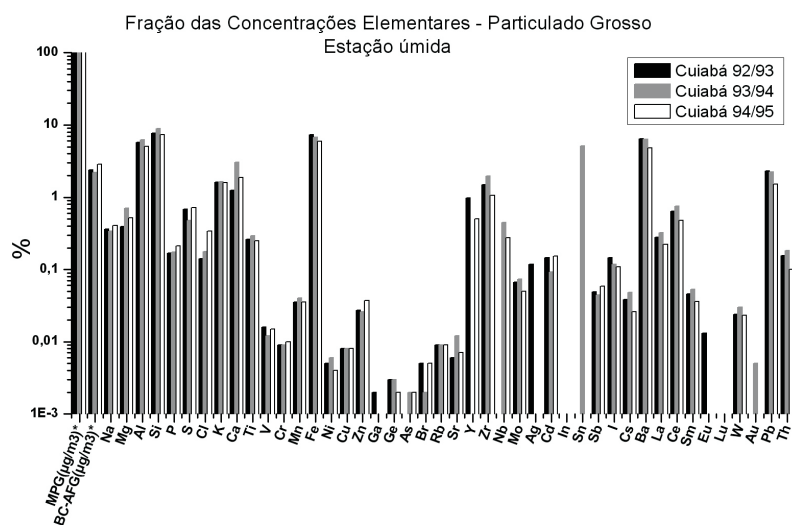


Figura 4. Fração das concentrações elementares, com relação ao particulado grosso, obtido para a estação úmida dos anos 92/93, 93/94 e 94/94.

As frações de concentrações elementares do particulado grosso nas estações úmidas apresentam um enriquecimento de I, Cs, Ba, La, Ce, Sm, Pb e Th com relação ao anterior, mostradas na Figura 3. Esses elementos apontam para emissões de poluentes urbanos provenientes das áreas urbanas da cidade de Cuiabá. As frações de concentrações elementares da ressuspensão de poeira do solo são evidenciadas pela contribuição do Al, Si, Ti e Fe. Relativamente às frações elementares do particulado grosso durante a estação seca, na estação úmida há um aumento significativo nas concentrações das frações elementares de Sn, Sb, Y, Nb, Mo e Cd. As demais frações apresentam pequenas variações.

Modelo Receptor por Análise de Componentes Principais (ACP) e Análise de Componentes Principais Absoluta (ACPA)

Para a estação seca a análise de componentes principais obtida para o material particulado fino e grosso foi realizada sobre uma extensa base de

dados com 49 variáveis e 99 amostras (para a ACP do particulado fino foi retirado o elemento Ge). Na fração fina, após a rotação VARIMAX, quatro componentes foram identificadas, explicando 80,0% da variabilidade dos dados. Uma componente carregada com MP, BC, K, S, Cl, Br, Zn e I, está associada com a queima de biomassa (emissão de aerossóis pirogênicos). Outra componente está altamente carregada com elementos Al, Si, Fe, Ti, Sc, La, Sm, Mn, Ca e Th que são atribuídos à ressuspensão de poeira do solo. Duas componentes urbanas, apresentaram, distintamente, elementos traçadores ou característicos de poluição urbana. Uma carregada com os elementos V, Cu, As, Sb e Pb e outra com Co e Eu, a qual pode estar associada com as emissões de poluição da área urbana de Cuiabá. A ACP identificou, após a rotação VARIMAX, três componentes na fração grossa do particulado explicando 80,7% da variabilidade dos dados. A primeira é atribuída a ressuspensão de poeira do solo e está altamente carregada com os elementos Fe, Al, Si, Ti, Sc, Th, Sm, La e também Ca, V, Mn, K, MP e Pb estão correlacionados com esta componente. A presença do Pb sugere que o aerossol de poluição da área urbana pode também ser incluído nesta componente, de acordo com ECHALAR et al. (1998). A segunda componente é atribuída às emissões da queima de biomassa, entretanto pode ser notado que deve haver alguma contribuição de emissões biogênicas e os seguintes elementos estão associados a esta componente: MP, Cl, S, I, K, Br, Sr, e Mn. A terceira componente mostra a presença do P, indicando que pode lhe ser atribuída às emissões biogênicas.

Para a estação úmida a análise de componentes principais foi realizada sobre a base de dados das frações fina e grossa do particulado com 49 variáveis e 80 amostras, obtidos na estação úmida (para a ACP do particulado fino foi retirado o elemento Ge). Após a análise de componentes principais (ACP) com a rotação VARIMAX, cinco componentes foram identificadas, na fração fina do aerossol, explicando 86,8% da variabilidade dos dados. A primeira componente está altamente carregada com os elementos Lu, Sr, Cr, Co, Mo, Th, Rb, Ag, Ba, Ce e In e lhe foi atribuída às emissões biogênicas. Entretanto, alguns elementos desta componente podem estar associados à queima de biomassa e às emissões urbanas. A segunda componente mostra uma alta associação com os elementos Al, Fe, Si, Sc, Sm, Ti, La, Mn e Ca, que têm características de composição do solo, portanto, essa componente foi identificada como ressuspensão de poeira do solo. As componentes três e cinco estão altamente carregadas com os seguintes elementos As, Pb, Cu, Sb, Zn, V e Ni, que estão associados às emissões de poluição da área urbana de Cuiabá. A quarta componente apresenta os elementos I, Sn e BC, e foi atribuída à queima de biomassa. A ACP identificou quatro componentes na fração grossa do aerossol, após a rotação VARIMAX, explicando 87,8% da variabilidade dos dados. A primeira com-

ponente está altamente carregada com os elementos característicos do solo (Fe, Al, Si, Ti), a essa componente foi atribuída a ressuspensão de poeira do solo. Também está correlacionado com esta a MP, K, Mn, Sc, Th e o Pb. A segunda e terceira componentes estão associadas a elementos que podem estar indicando uma fonte de poluição urbana, tais como: Br, Mo, Ag, As, Cu e Pb. A quarta componente está carregada com S, Sr, Ca, Mg e P, e lhe foi atribuída às emissões biogênicas.

Realizada a análise de componentes principais absoluta (APCA) para cada componente identificada na massa do particulado fino e grosso, associada a cada fonte na estação seca, percebe-se que a componente urbana na fração fina contribui apenas com 15% do MPF. A queima de biomassa é claramente uma fonte dominante na estação seca, com uma contribuição média com cerca de 64% do MPF. A ressuspensão de poeira solo é responsável, em média, com cerca de um quinto do MPF (21%). A ressuspensão do solo é uma fonte principal do particulado grosso em Cuiabá durante a estação seca. Em média ela é responsável por cerca de 57% do MPG. As emissões biogênicas e a queima de biomassa contribuem com 4 e 39% do MPG, respectivamente.

Os resultados da ACPA para o particulado fino na cidade de Cuiabá durante a estação úmida evidenciam as emissões biogênicas como uma fonte dominante das partículas finas, contribuindo com cerca de 58% do MPF. As demais fontes, tais como: ressuspensão de poeira do solo, poluição urbana e queima de biomassa são responsáveis por 28, 13 e 1% do MPF, respectivamente. Os resultados da ACPA ressaltam que, na estação úmida a ressuspensão de poeira do solo é uma fonte dominante das partículas grossas, contribuindo com cerca de 68% do MPG. A poluição urbana e as emissões biogênicas são responsáveis, cada uma, por 16% do MPG.

4. Conclusões

Em Cuiabá (MT) foram identificados 47 elementos e *black carbon* nas concentrações de aerossóis atmosféricos e três principais fontes de emissão: queima de biomassa, emissões de biogênico natural de vegetação e ressuspensão de poeira do solo. O estudo analítico também identificou pequenas contribuições de fontes urbanas locais, as quais atingiram cerca de 15% da massa do aerossol na estação úmida.

Uma grande diferença na contribuição de cada fonte de emissão de material particulado na atmosfera foi observada entre as estações seca e úmida e para as frações fina e grossa. As emissões de queima de biomassa dominaram a moda fina do aerossol durante a estação seca, em virtude do aumento das queimadas na região com cerca de 64% da massa do aerossol. Por outro lado, a ressuspensão de poeira do solo dominou a moda grossa

nesta estação, com cerca de 57% da massa do aerossol. Durante a estação úmida os aerossóis biogênicos, que resultam das emissões naturais de vegetação, tiveram contribuições marcantes em ambas as frações fina e grossa do aerossol. Durante esta estação, a fração grossa foi dominada também pela ressuspensão de poeira do solo, contribuindo com cerca de 68% da massa do aerossol.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem o Prof. Paulo Eduardo Artaxo Netto do Laboratório de Física Atmosférica da Universidade de São Paulo (USP), pelos dados experimentais usados no trabalho.

6. Referências bibliográficas

ALMEIDA FILHO, E. O. *Avaliação das Fontes de Emissão de Material Particulado na Atmosfera da Cidade de Cuiabá*. Cuiabá, 2006. 87p. Dissertação (Mestrado) – Física e Meio Ambiente, Universidade Federal de Mato Grosso.

ANDREAE, M. O. & CRUTZEN, P. J. *Atmospheric aerosols: Biogeochemical sources and role in atmospheric chemistry*. Science 276, 1052-1058, 1997.

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, 1991, p. 3-21, MIT Press, Cambridge Mass.

ARTAXO, P.; MAENHAUT, W.; STORMS, H.; van GRIEKEN, R. *Aerosol characteristics and source for the Amazon Basin during the wet season*. Journal of Geophysical Research-Atmospheres 95 (D10), 16971-16985, 1990.

ARTAXO, P.; GERAB, F.; YAMASOE, M. A.; MARTINS J. V. *Fine Mode Aerosol Composition in Three Long Term Atmospheric Monitoring Sampling Stations in the Amazon Basin*. Journal of Geophysical Research, 99 (D11):22857-22868, 1994.

ARTAXO, P. & HANSSON, H. C. *Size distribution of biogenic aerosol from the Amazon Basin*. Atmospheric Environment, vol. 29, No. 3, 1995, p. 393-402.

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.

ARTAXO, P. *Mudanças climáticas globais e a Amazônia*. Ciência Hoje, 35 (206): 40-42, 2004.

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

ECHALAR, F.; ARTAXO, P.; GERAB, F.; YAMASOE, M. A.; MARTINS, J. V.; MAENHAUT, W.; HOLBEN, B. N. *Long-term monitoring of atmospheric Aerosols in the Amazon basin: Source identification and apportionment*. Journal of Geophysical Research 103, Issue D24, 1998, p. 31849-31866.

GUENTHER, A.; HEWITT, C. N.; ERICKSON, D.; FALL, R.; GERON, C. *A global model of natural volatile organic compound emissions*. Journal of Geophysical Research, 100: 8.873-8.892, 1995.

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. *"Global Change" related and other atmospheric aerosol research at the university of Gent and role of PIXE therein*. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 189/110, 419-428, 1996.

MAENHAUT, W.; FERNÁNDEZ-JIMÉNEZ, M.-T.; RAJTA I.; 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, 243-248, 2002.

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

SEINFELD, J. H. *Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution*. John Wiley & Sons, New York, 1986.

SIMONEIT, B. R. T. *Organic matter of the troposphere V: Application of molecular marker analysis to biogenic emissions into Troposphere for source reconciliations*. J. Atmos. Chem. 8, 251-275, 1989.

TALBOT, R.W.; ANDREAE, M. O.; BERRESHEIM, H.; ARTAXO, P.; GARSTANG, M.; R.C. HARRISS, R. C.; K.M. BEECHER, K. M. & LI, S. M. *Aerosol chemistry during the wet season in central Amazonia: the influence of long-range transport*, Journal of Geophysical Research, 95D:16955-16970, 1990.

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.