

Caracterização morfológica de partículas na atmosfera de São José dos Campos –SP, utilizando microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Franklin Velarde Rosasco^{1,2},
Rauda Lúcia Mariani^{1,3},
Maria Paulete Pereira Martins¹,
Ênio Bueno Pereira¹.

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)
Avenida dos Astronautas 1758 – São José dos Campos – São Paulo/SP – Brasil - 12227-010
franklin.velarde@cptec.inpe.br;
rauda.lucia@cptec.inpe.br;
maria.paulete@cptec.inpe.br;
eniobp@cptec.inpe.br .

²Universidade de São Paulo (USP) - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG).

Rua do Matão 1226- Cidade Universitária – São Paulo/SP – Brasil – 05508-090
franklin@model.iag.usp.br .

³Universidade Federal de Fluminense (UFF) – Deptº Geoquímica Ambiental

Resumo

O estudo trata da caracterização morfológica do aerossol Black Carbon (BC) coletado durante os meses de março a novembro de 2008 num ponto de monitoramento em São José dos Campos-SP. O aerossol BC é um particulado inerte na atmosfera, porém, devido à sua porosidade e natureza adsorptiva, atua como superfície ativa de algumas reações químicas heterogêneas, podendo estar saturado com espécies tóxicas ou carcinogênicas. Assim, aerossóis de BC podem representar um perigo para a saúde pública, além de serem considerados o segundo maior contribuinte para o aquecimento global, em termos de sua forçante radiativa direta. A técnica utilizada foi a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) associada à Espectroscopia de Energia Dispersiva de raios X (EDX). Essa técnica também permite a análise qualitativa da composição elementar das partículas. A partir de classificação, por semelhança morfológica, foram identificados 6 grupos distintos de partículas: um grupo de partículas produzidas por combustão de motores; outro de partículas procedentes da ressuspensão do solo; grupo de partículas da queima de biomassa; de partículas de fuligem industrial e mais dois grupos com morfologia e composição química semelhantes e específicos da região. As principais fontes identificadas foram de combustão de motores e ressuspensão do solo, porém com influências de outras fontes naturais e antrópicas.

Palavras-chave: Aerossol Black Carbon; Composição Química; Morfologia; Dispersão

Abstract

The study deals with the morphological characterization of aerosol Black Carbon (BC) collected during the months from March to November 2008 in a monitoring point in Sao Jose dos Campos, State of São Paulo, southern Brazil. The BC aerosol particles is an inert in the atmosphere, but due to its porosity and adsorptive nature acts as the active surface of some heterogeneous chemical reactions, which may be saturated with toxic or carcinogenic species. Thus, aerosol BC may represents a danger to public health, besides being considered the second largest contributor to global warming, in terms of their direct radioactive forcing. The technique used was electron microscopy (SEM) associated with Energy Dispersive Spectroscopy (EDS). This technique also allows the quantitative analysis of elemental composition of the particles. From the classification by morphological similarity, we identified six distinct groups of particles: a group produced by combustion engines, other particles coming from resuspension of soil; group of particles from biomass burning, soot particles from industrial and two groups with similar morphology and chemical composition and

specific to the region. The main sources were identified combustion engines and resuspension of soil, but with influences of other natural and anthropogenic sources.

Keywords: *Black Carbon aerosol; Chemical composition; Morphology; Scatter*

Introdução

Estudos envolvendo a caracterização e determinação da origem de partículas atmosféricas despertam interesse da comunidade científica, tanto por sua comprovada relação com efeitos adversos na saúde humana (WHO, 2006), como pelos efeitos na biota e na microfísica atmosférica. A descrição completa das partículas de aerossol atmosférico requer especificação não só de sua concentração, mas, também, de seu tamanho, composição química, fase (líquida ou sólida) e morfologia (forma das partículas). Tais características dependem de suas fontes de emissão e dos processos de evolução ou “envelhecimento” na atmosfera, como ressaltado em Raes et al. (2000). As partículas componentes do material particulado podem ter origem direta das fontes poluidoras (naturais ou antropogênicas) ou origem secundária pelos processos físico-químicos de “transformação gás-partícula”, que ocorrem na própria atmosfera. Assim, há uma variação nas propriedades e na composição das partículas, que dependem, tanto da fonte poluidora, quanto da localização geográfica e das condições meteorológicas.

Os aerossóis atmosféricos são constituídos por íons inorgânicos e orgânicos solúveis em água (Na⁺, K⁺, NH₄⁺, Cl⁻, SO₄²⁻ e outros), elementos inorgânicos insolúveis em água (argilo-minerais, óxidos de Fe e metais coprecipitados, e outros), carbono grafítico, hidrocarbonetos (hidrocarbonetos policíclicos aromáticos e outros) e material biogênico (pólen, fragmentos de vegetais, bactérias e outros). A identificação da origem das partículas, em geral, é feita agregando a determinação da composição elementar, PIXE, FRX ou EDX, como principais técnicas analíticas, e a análise estatística multivariada, para agrupar elementos característicos das principais fontes. Assim, as partículas procedentes de ressuspensão do solo, sejam pelo tráfego veicular ou pelo vento, apresentam, como elementos característicos, Al, Si, Fe, Ca, K, Ti, como afirmam Miranda et al. (2008), Lara et al. (2005), Pozza (2005). Partículas procedentes de emissão veicular apresentam maior abundância de partículas de fuligem, processo também conhecido como negro de fumo (em inglês Black carbon - BC) e Cu, como afirma Castanho e Artaxo (2001). BC (C), K e Cl são os componentes típicos de emissões de queima agrícola, tais como a queima da cana-de-açúcar e queima de vegetação rasteira como menciona Pozza (2005). Partículas de origem

marinha apresentam-se ricas em Na e Cl. Já partículas com V e Ni podem estar relacionadas a produtos de queima residual de combustível diesel, como é mencionado nos trabalhos de Miranda et al. (2002) e Queiroz et al. (2007).

O aerossol de fuligem (BC) é de grande interesse nos estudos de dispersão e identificação de fontes atmosféricas, pois é característico de emissões derivadas da combustão de carvão e diesel, seguido, em menor proporção, pela queima da biomassa. A concentração e características típicas do BC emitido são governadas, tanto pela quantidade de combustível consumido, quanto pela tecnologia de combustão. Em regiões remotas, a presença do aerossol de BC, na massa de ar, pode ser usada como traçador de atividades antropogênicas responsáveis por sua formação. As partículas de BC são inicialmente formadas em altas concentrações, nos processos de combustão, como partículas com diâmetros de 5-20 nm. No entanto, elas coagulam rapidamente, para formar agregados de tipo fractal, que, no início, colapsarão para estruturas mais compactas, na ordem de 10 nm, devido às forças capilares de vapores condensados. Quanto à morfologia, geralmente, as partículas grossas, em fase sólida, são as que têm formas geométricas mais irregulares (por exemplo, partículas sólidas de amianto têm formas de finíssimas agulhas), enquanto as grossas, na fase líquida, são quase sempre, aproximadamente, esféricas. Já as partículas finas tendem a apresentar-se em forma esférica, como consequência do processo de sua geração (a transformação gás-partícula).

Nesse trabalho, apresenta-se uma classificação por semelhança morfológica das partículas identificadas nas amostras de aerossol de BC, coletadas em São José dos Campos, no Estado de São Paulo, no período de 03 de março a 30 de novembro de 2008. A classificação das partículas foi feita tomando como referência o Atlas de Aerossóis Atmosféricos publicado por Micic, et al. (2003). São José dos Campos concentra duas grandes fontes de poluição atmosférica: veicular e industrial. A fonte veicular é ampliada pela proximidade com rodovias federais de intenso tráfego veicular, pois se situa entre os dois maiores pólos econômicos do país: Rio de Janeiro e São Paulo. As atividades industriais, de maior destaque, são refinaria de petróleo, indústrias aeronáuticas, automóveis e explosivos.

Metodologia

A coleta do material foi feita nas dependências do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), situado na Avenida dos Astronautas, 1758, Jardim da Granja, município de São José dos Campos, São Paulo, coordenadas 23°12'41”S e 45°51'37”O. O município localiza-se a leste no Estado de São Paulo, a 97 km da cidade de São Paulo, no médio vale do Paraíba do Sul, possui uma população de mais de 600 mil habitantes e uma área total de 1099,60 km² (Figura 1).

O aerossol de BC foi medido, continuamente e em tempo real, com um detetor ótico, num instrumento conhecido como Aethalometer, modelo AE-9 da Magee Scientific. Esse

equipamento foi utilizado sem separador de tamanho de partículas no inlet e as coletas foram realizadas entre 03 de março e 30 de novembro de 2008. O princípio de funcionamento desse instrumento baseia-se nas propriedades de absorção do aerossol BC, como é descrito por Hansen e Schnell (1991). O aerossol, presente no ar e que contém BC, é retido numa área pequena (0,95 mm de diâmetro) de um filtro de fibra de quartzo de 37 mm de diâmetro e, a intervalos de tempo, previamente determinados, mede-se a atenuação ótica de um feixe de luz que atravessa o filtro de fibra de quartzo que recebe o material do ar constantemente amostrado. A atenuação

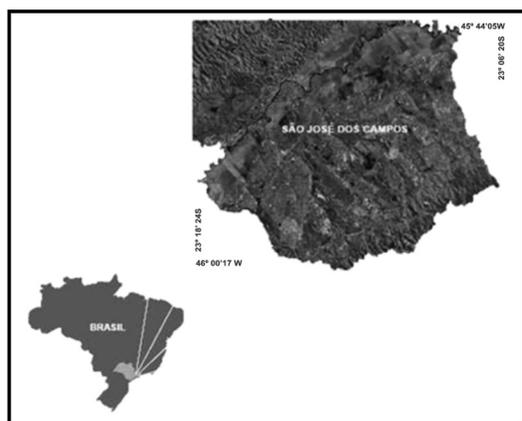


Figura 1 - Localização geográfica de São José dos Campos.

está diretamente relacionada com a massa de carbono elementar depositada no filtro e com o volume de ar amostrado. Informação mais detalhada pode ser encontrada em Hansen e Schnell (1991).

A caracterização morfológica das amostras de aerossol BC foi feita através da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) com microanálise semiquantitativa de Energia Dispersiva de Raios X (EDX). Essa técnica, processada em uma câmara de alto vácuo, utiliza um bombardeio com feixe de elétrons primários, em uma amostra previamente metalizada, que produz imagens da estrutura por emissão de diferentes tipos de radiações, principalmente de elétrons secundários e retroespalhados, produzidas pela interação desse feixe com a superfície da amostra. Essa interação, também, gera emissão de raios X, característicos para cada elemento, que são identificados pelo Espectroscópio de Dispersão de Raios X (EDX), associado ao MEV (Maliska, 1998).

Resultados e discussões

A análise dos filtros revelou uma grande variedade de partículas, tanto de BC, quanto de outros tipos de material particulado atmosférico, principalmente partículas de origem do solo. Cada filtro representa a coleta de aerossóis por vários dias e, muitas vezes essa diversidade de partículas encontra-se num mesmo filtro, o que dificulta os estudos das fontes dessas partículas. Outra limitação da técnica ocorre em função de a composição do filtro, utilizado para a coleta dos aerossóis, ser de fibra de quartzo. Os filtros em branco apresentam composição química média de 72.0 a 73.8% de Si, 23.8 a 26.7% de O e 1.3 a 2.4% de C, sendo que tais elementos estão presentes em 100% (Si e O) e 89,1% (C) das amostras analisadas, devido à grande presença de partículas de solo e, também, de partículas originadas por combustão de compostos carbonáceos.

Um dos grupos identificados por Micic et al. (2003), refere-se às partículas de BC, típicas de motores de combustão interna, que mostram uma estrutura conglomerada de pequenas esferas com pouca separação entre elas. Tais esferas podem ser observadas na Figura 2-(a). O tamanho de cada esfera encontra-se na faixa de 20 - 50 nm, que formam agrupamentos em cadeias. Essas partículas podem compreender compostos policíclicos aromáticos carcinogênicos e diversos tipos de metais, dependendo do tipo de combustível, tornando-se de grande perigo para a saúde, pois podem penetrar no

trato respiratório, alocando-se nos alvéolos pulmonares. As análises foram realizadas no INPE, no Laboratório Associado de Sensores e Materiais, LAS, que conta com o Microscópio Eletrônico de Varredura (Scanning Microscope) marca JEOL, modelo JSM-5310. Para a análise, foram selecionados 31 filtros, considerando os que apresentaram maiores concentrações de BC, para uma melhor diversidade de partículas, e um filtro em branco, como referência. A escolha das partículas presentes em cada filtro foi feita de forma aleatória, sendo selecionadas somente aquelas de tamanhos maiores, que formaram algum tipo de conglomerado com aspecto e composições químicas característicos. A partir do banco de dados montado, foi feita uma classificação por semelhanças morfológicas com trabalhos prévios, principalmente tomando como referência o Atlas de Aerossóis Troposféricos, publicado por Micic et al. (2003). A composição química foi utilizada apenas sob aspecto qualitativo.

trato respiratório, alocando-se nos alvéolos pulmonares.

Na Figura 2 (b - e) estão mostradas imagens de partículas de BC, semelhantes à Figura 2(a), típicas de motores de combustão interna, encontradas nos filtros utilizados durante as coletas realizadas em 23 e 25 de abril (b,c), 18 e 23 de julho (d,e). O gráfico ao lado mostra o percentual da composição química elementar de cada uma das partículas avaliadas, sugerindo que, em (b) e em (c), há uma tendência de geração em fonte primária, como é o caso de motores de combustão. Já em (d) e em (e), devido à presença de elementos como Al, As e Na em conjunto com Si, tais partículas podem estar associadas a algum processo físico que gerou aderência a partículas de solo ou misturadas a outras geradas em algum processo industrial. Em outras partículas, também classificadas nesse grupo, a presença de elementos típicos de origem industrial, como Co, Fe e Al, também foi identificada. No entanto, essas partículas são bem finas e no momento da análise o feixe de elétrons primários emitido pelo MEV pode transpassar a partícula oferecendo uma composição mista entre os componentes da partícula e os componentes do filtro, prejudicando assim a identificação da procedência da partícula.

Uma imagem com uma partícula típica de fuligem, gerada por queima de biomassa, pode ser observada na Figura 3-(a) e (b), onde a imagem da esquerda refere-se à obtida no

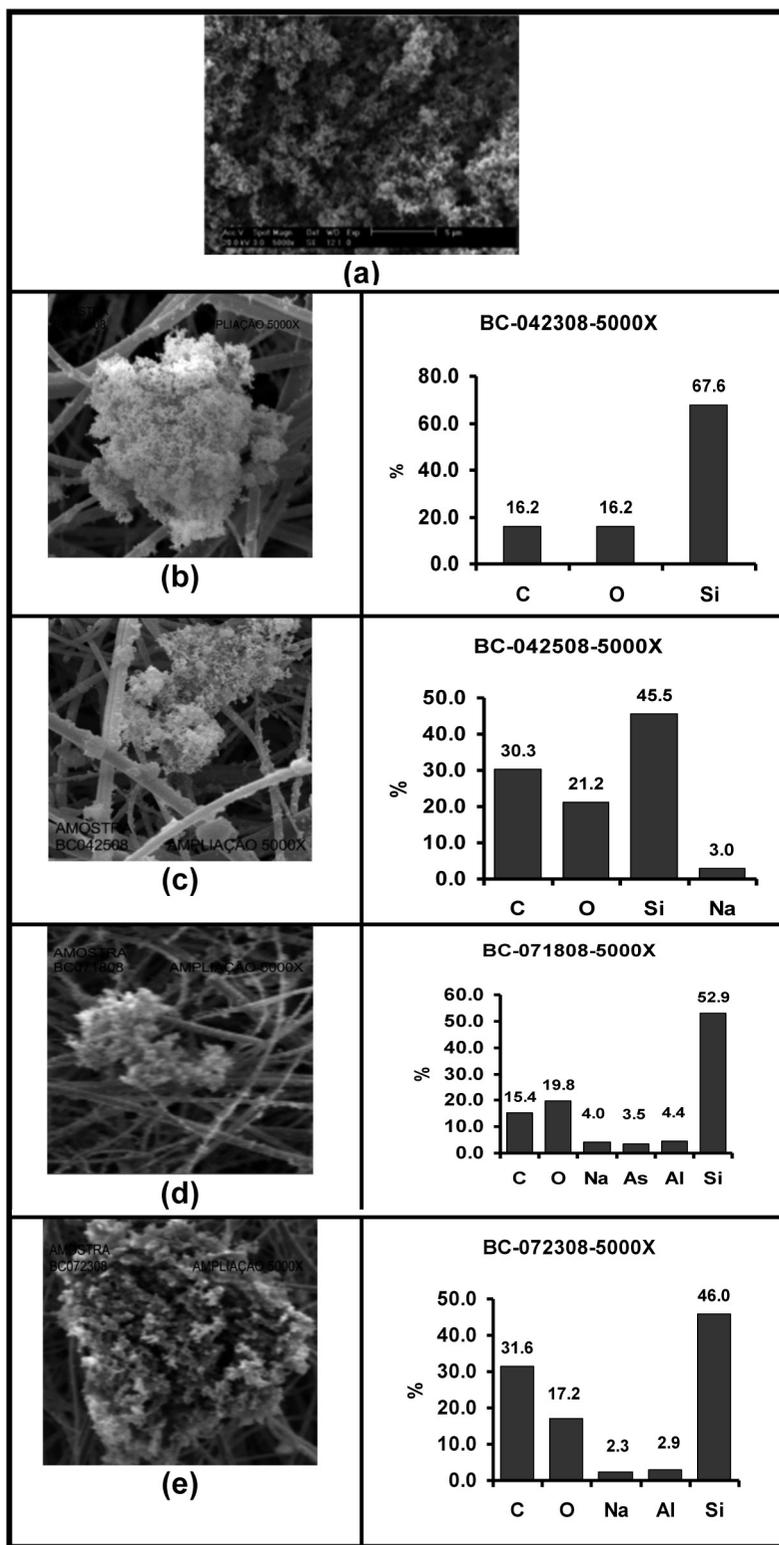


Figura 2 - Imagens de partículas de BC típicas de motores de combustão interna, geradas pelo MEV; (a) Imagem de referência do Atlas do Micic (2003); (b) a (e) Imagens geradas pelo MEV nos filtros amostrados nos dias 23 e 25 de abril, 18 e 23 de julho de 2008.

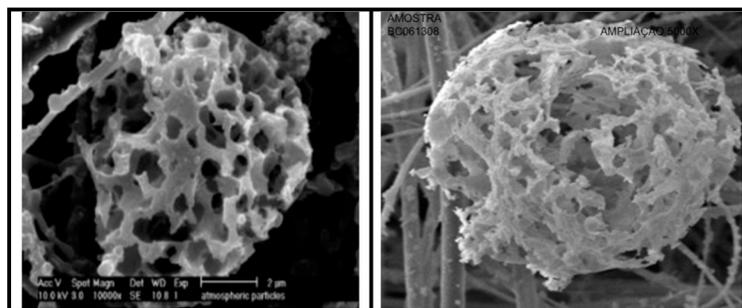


Figura 3 - Imagens de partículas típicas de queima de biomassa: (a) segundo MICIC (2003); (b) amostra coletada no aetalômetro no dia 13 de junho de 2008.

Atlas de referência e a da direita, à imagem da partícula coletada no dia 13 de junho de 2008. Foram detectados, através do EDX, os elementos C, O, Si, Al, Ti e Fe, associados, principalmente, ao material de solo em ressuspensão, como é o caso de partículas oriundas de queimadas, onde sempre são identificadas partículas de solo, devido à convecção gerada pelo processo de queima. Esse tipo de partícula é altamente porosa e, em geral, de maior tamanho, da ordem de 10 µm, mantendo a semelhança estrutural do material de origem. O maior tamanho pode ser explicado pelo tipo de processo de combustão, com pressão e temperaturas menos elevadas.

Outro grupo de partículas destacadas no Atlas refere-se ao conglomerado de partículas de fuligem e cinzas voláteis originárias de fontes industriais (Figura 4-a). Essas partículas, segundo a análise de EDX, feita por Micic e colaboradores, são identificadas como misturas de partículas carbonáceas com aluminossilicatos, com alto conteúdo em ferro, embora seja possível, também, associar outro tipo de metais. No entanto, não é muito usual observar aluminossilicatos, que formam os conglomerados nas imagens de MEV, já que tais conglomerados são constituídos de pequenas esferas, perfeitas em forma, da ordem de 20 nm a 5 µm. Cabe destacar aqui que o MEV atinge partículas a partir de 1µm. Partículas semelhan-

tes foram encontradas no material coletado em 16 de agosto e 11 de novembro (Figuras 4 - (b) e (c)). Apesar da diferença na ampliação das imagens (Figura 4 (a) com ampliação de 11.598 vezes e Figuras 4 (b) com ampliação de 5.000 vezes e (c) com ampliação de 1000 vezes), é possível identificar a similaridade entre as imagens.

A composição química referente às Figuras 4 (b) e (c) confirma a presença de aluminossilicatos, tal qual a Figura 4 (a). A presença de elementos, como Si, Al, Fe, K e Mg, na partícula da Figura 4 (b), mostra uma origem com característica de ressuspensão de poeira de solo. Essa partícula pode se comparar, morfologicamente, com o grupo a ser apresentado a seguir (Figuras 5 (a)-(f)). Já a partícula da Figura 4 (c), apresenta, além de Si, Al e Fe, elementos característicos de presença de aluminossilicatos, outros elementos como Ca, Mg, K, Na, Cl e Ag, podendo caracterizar origem industrial, segundo Miranda et al. (2002). Outra indicação, para a origem industrial dessa partícula, é a análise da direção predominante dos ventos e de retrotrajetória, no período de coleta desse filtro, fato que comprova a influência de uma fonte industrial, com uma alta concentração em BC. Essa alta concentração foi apresentada por esse filtro às 07h do dia 12 de novembro, como é mostrado em Velarde-Rosasco (2009).

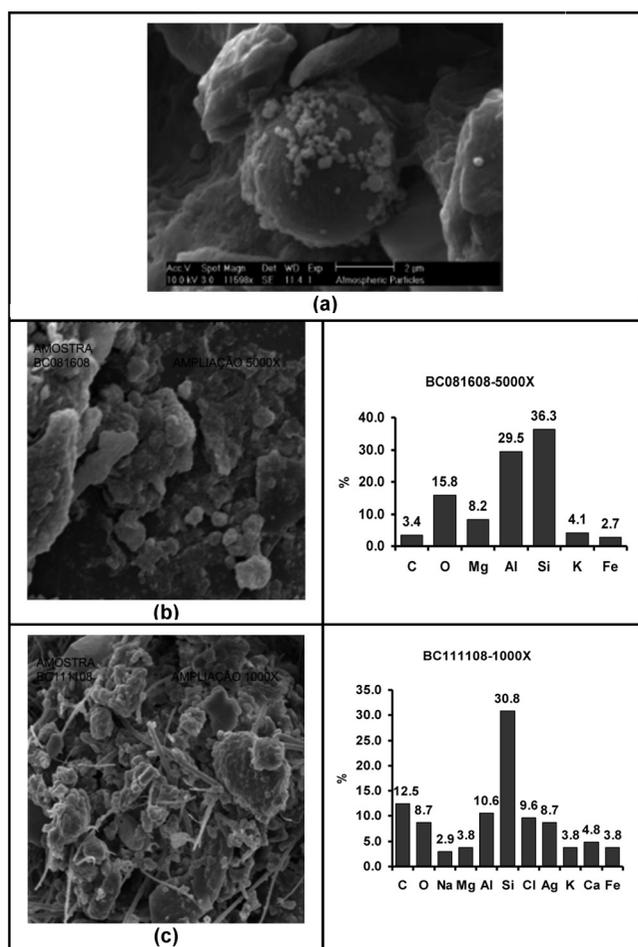


Figura 4 - Imagens de partículas de fuligem e cinzas voláteis originadas de fontes industriais; (a) Imagem de referência do Atlas do Micic et al. (2003); (b) e (c) Imagens geradas pelo MEV nos filtros amostrados nos dias 16 de agosto e 11 de novembro de 2008.

O grupo de partículas do solo é apresentado a seguir com uma variedade de morfologias e de estruturas, como mostra a EDX das partículas analisadas. A Figura 5 (a) (partícula de poeira mineral) e (b) (aluminossilicato) mostra

imagens obtidas por Micic et al. (2003), para partículas de origem crosta, como poeira, solos e partículas minerais ressuspensas do solo pelos ventos ou transportadas de regiões remotas.

Imagens semelhantes foram obser-

vadas nas coletas referentes aos dias 27 de março, 09 de junho, 11 de julho e 22 de agosto, como mostram as Figuras 5 (c), (d), (e), (f). Na Figura (c), observa-se um fragmento cristalino semelhante ao aluminossilicato observado na referên-

cia, no canto inferior direito. A composição química mostra predominância em silício (provavelmente como óxido de silício), aluminossilicatos (partículas que contêm Al, Si, Fe e K), partículas de Si-Ca e Si-Fe, misturadas, provavelmente, com NaCl e BC, processo não apreciado na imagem, embora presentes na composição estrutural da partícula. A Figura (d) apresenta, em sua composição, aluminossilicatos (Si, Al e Fe), indicador de partículas minerais suspensas pelo ar, C, P e Cr, que são indicadores de emissões industriais, K, indicador de queima de biomassa e Na e Cl, associados com contribuição marinha. Nas Figuras (e) e (f), os fragmentos cristalinos não são facilmente observados, porém a composição química indica a presença de aluminossilicatos. A partícula da Figura (f)

apresenta composição coerente com fontes de ressuspensão de solo. A presença de partículas de cloreto de sódio, segundo a composição elementar da Figura (e), na superfície dos aglomerados, com formas arredondadas e textura porosa, também foi identificada, por Miranda et al. (2002), na caracterização de aerossóis na Região Metropolitana de São Paulo. Essas partículas estão, uniformemente, distribuídas durante o período de coleta analisado, ou seja, não mostram sazonalidade.

Entre os 31 filtros analisados, foram identificados, ainda, mais dois grupos de imagens com morfologia e semelhantes composições químicas, porém sem possibilidades de comparação com outros trabalhos. O primeiro grupo (Figuras 6 - (a, b, c, d)), apresenta uma matriz de óxidos de silício com

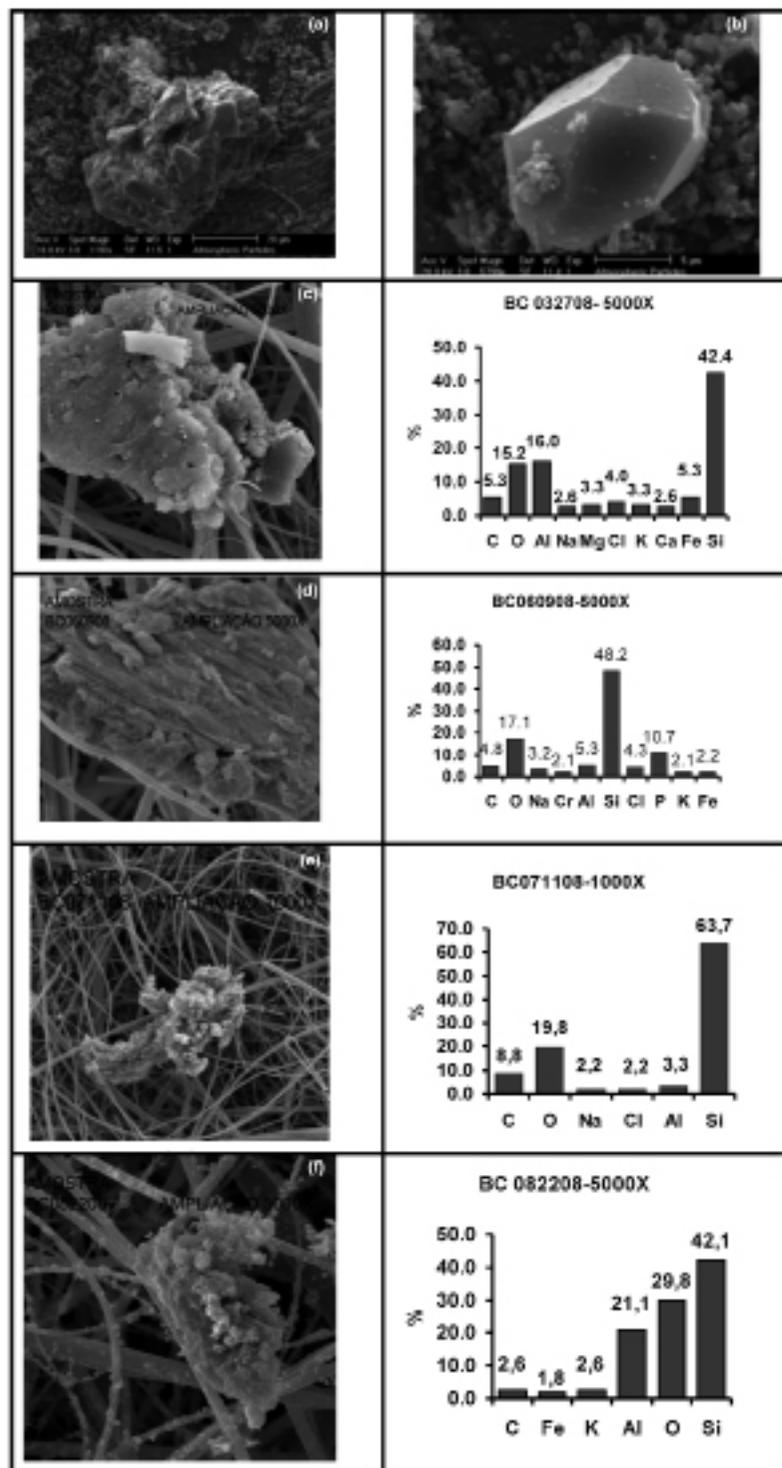


Figura 5 - Imagens de partículas de poeira mineral e aluminossilicato; (a) e (b) Imagem de referência do Atlas do Micic et al. (2003); (c) até (f) Imagens geradas com MEV nos filtros amostrados nos dias 27 de março, 09 de junho, 11 de julho e 22 de agosto de 2008.

presença de sódio, cálcio e potássio, como óxidos ou cloretos, e um teor apreciável de carbono. Esses compostos mostram uma combinação de aerossóis, tanto de origem crostal, quanto de fontes industriais, marinha e vegetal. Tais grupos apresentam uma morfologia de superfície compacta, rugosa e estriada e revela a maior frequência de K, entre todos os grupos

propostos, sugerindo influência de queimadas. Fatores como presença de Fe e Cl, além de K, reforçam essa sugestão. Nesse grupo também deve ser considerada a influência marinha, devido à presença de Na, este sempre acompanhado de Cl.

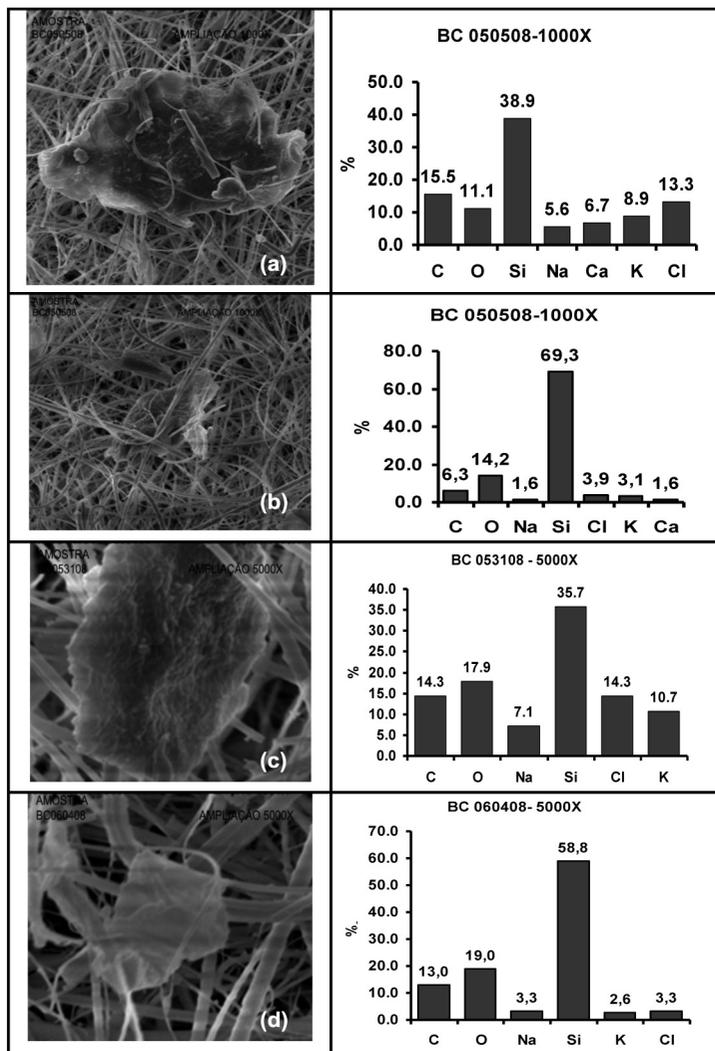


Figura 6 – Imagens geradas pela MEV nos filtros amostrados nos dias (a) e (b) 05 de maio, (c) 31 de maio e (d) 04 de junho de 2008.

O outro grupo, Figuras 7-(a), (b), (c), mostra partículas com morfologias semelhantes, de aspecto translúcido e superfície lisa, sem conglomerados, e semelhante composição química apresentada nos filtros brancos, porém com maior teor na porcentagem de C e menor teor de Si. Tais partículas também apresentam composição química semelhante, com presença de Ca, Al, K e

Cl, sem Na, mostrando provável influência crostal com CaO e Al₂O₃. As partículas classificadas, nesses dois últimos grupos, só aparecem no período entre maio e agosto, coincidindo com o período do ano onde as influências das queimadas são mais evidentes.

Conclusões

Entre as amostras analisadas, foi possível estabelecer uma classificação das partículas em seis grupos: BC, procedente de queima de biomassa; BC, típico de motor a combustão; fuligem (fonte industrial), partícula de origem de ressuspensão de poeira do solo, e mais dois grupos, não identificados, porém com composição química e morfologia semelhantes. Desses, um é composto de C, O e Si, e aspecto translúcido, e outro grupo é uma mistura desses elementos, cloreto e outros metais como Na, K, Ca.

Em todos os grupos selecionados, as influências de outras fontes foram identificadas através da composição química da partícula. No grupo das partículas de origem de ressuspensão de solo, por exemplo, a análise química mostra influências de fonte marinha e fontes antrópicas, devido à presença de sódio e cloro, simultaneamente, e à presença de Ca, Ba, Cr, S e P, respectivamente, em diferentes partículas desse grupo.

A análise da distribuição temporal mostra uniformidade das partículas consideradas de origem de ressuspensão do

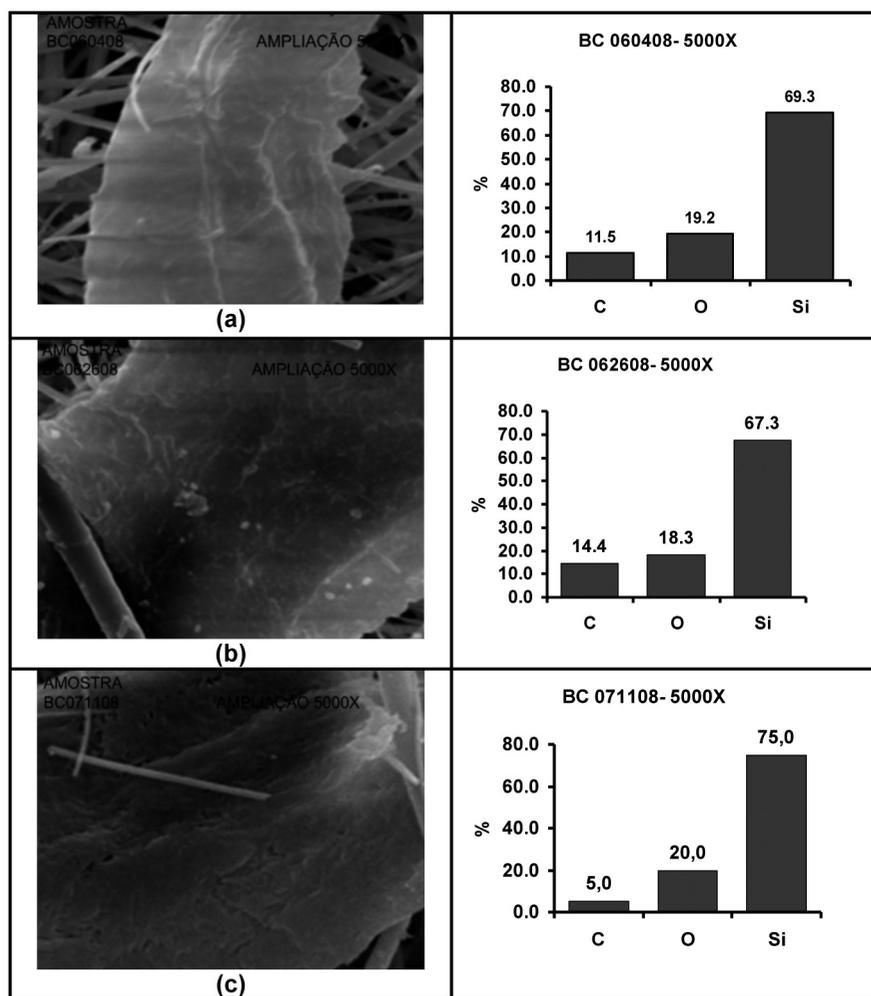


Figura 7 – Imagens geradas pela MEV nos filtros amostrados nos dias (a) 04 de junho (b) 26 de junho e (c) 11 de julho de 2008.

solo e de combustão de motores, isto é, estão presentes durante todo o período de coleta analisado. Já as partículas dos dois grupos não identificados só aparecem entre maio e agosto.

Em termos de frequência de amostras, foi observa-

do 42% de partículas produzidas por combustão de motores, 20% de origem de ressuspensão de solo, 32% de mistura de partículas e o restante referente aos dois grupos não caracterizados e ao grupo procedente de queima de biomassa.

Referências bibliográficas

- CASTANHO, A. D. A., ARTAXO, P. Wintertime and summertime São Paulo aerosol source apportionment study. *Atmospheric Environment*, 35, p. 4889-4902, 2001
- HANSEN, A. D. A., SCHNELL, R. C. *The Aethalometer*. Magee Sci., Berkeley, California, 1991. p. 83.
- MALISKA, A. M. Relatório técnico: Microscopia Eletrônica de Varredura e microanálise. Universidade Federal de Santa Catarina- Departamento de engenharia Mecânica- Laboratório de Materiais- Laboratório de caracterização micro-estrutural e análise de imagens: www.materiais.ufsc.br/lcm/web-MEV/MEV_Apostila.pdf. 1998. 98 p.
- MICIC, M., LEBLANC, R. M., MARKOVIC, D., STAMATOVIC, A., VUKELIC, N., POLIC, P. Atlas of the tropospheric aerosols from Belgrade troposphere. *Fresenius Environmental Bulletin*, v. 12, n. 9, p. 1-10, 2003.
- MIRANDA, R. M., ANDRADE, M. F., WOROBIEC, A., VAN GRIEKEN, R. Characterization of aerosols particles in the São Paulo Metropolitan Area. *Atmospheric environment*, v. 36, p. 345-352, 2002.
- LARA, L. L., ARTAXO, P., MARTINELLI, L. A., CAMARGO, P. B., VICTORIA, R. L., FERRAZ, E. S. B. Properties of aerosols from sugar-cane burning emissions in Southeastern Brazil. *Atmospheric environment*, v. 39, p.4627-4637,

- 2005.
- POZZA, S. A. Identificação das fontes de poluição atmosférica na cidade de São Carlos-SP. Universidade Federal de São Carlos. Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, 2005. 104p. (Dissertação de Mestrado).
- QUEIROZ, P. G. M., JACOMINO, V. M. F., MENEZES, M. A. B. C. Composição elementar do material particulado presente no aerossol atmosférico do município de Sete Lagoas, Minas Gerais. *Química NOVA*, v. 30, n. 5, p.1233-1239, 2007
- RAES, F., VAN DINGENEN, R., VIGNATI, E., WILSON, J., PUTAUD J-P., SEINFELD J.H., ADAMS P. Formation and cycling of aerosols in the global troposphere. *Atmospheric Environment*, v. 34, p. 4215-4240, 2000.
- VELARDE-ROSASCO, F. Estudo sazonal e caracterização do aerossol black carbon medido no INPE de São José dos Campos. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). 2009. 157p. (Dissertação de Mestrado).
- WORLD HEALTH ORGANIZATION, EUROPE. Air quality guidelines, global update 2005, particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. WHO. 2006.