

# TÉCNICAS ANALÍTICAS NUCLEARES APLICADAS À CARACTERIZAÇÃO DE AEROSSÓIS ATMOSFÉRICOS NA REGIÃO AMAZÔNICA

Fábio Gerab\*<sup>†</sup> e Paulo Artaxo\*

\*IFUSP  
Caixa Postal 66318  
05389-970, São Paulo, SP, Brasil  
e-mail: fgerab@if.usp.br e artaxo@if.usp.br

\*\*IPEN  
Grupo de Caracterização Isotópica  
USP-Travessa-R, 400  
05508-900, São Paulo, SP, Brasil

## RESUMO

Este trabalho apresenta a caracterização do aerossol atmosférico presente em regiões distintas da bacia amazônica. A emissão biogênica de aerossol pela floresta, bem como o material particulado emitido para a atmosfera devido a existência em larga escala de queimadas, durante a estação seca na Amazônia, foram caracterizadas. As amostras foram coletadas por um período de três anos em duas localidades distintas da Amazônia, representativas de composições atmosféricas distintas, utilizando-se "Stacked Unit Filters". Técnicas analíticas nucleares distintas foram utilizadas na análise destas amostras. Técnicas analíticas não nucleares também foram empregadas. Análise estatística multivariada foi empregada na identificação e na caracterização das fontes de aerossóis presentes nas regiões de amostragem. Concentrações elevadas de aerossóis foram observadas, devido às emissões provenientes da queima da vegetação no período entre os meses de junho e de setembro. Esta emissão responde pela maior parcela do particulado fino encontrado, sendo caracterizada por elevadas concentrações de "black carbon", S e K. Aerossóis de queimadas correlacionam-se com o incremento no "Aerosol Optical Thickness" na região Amazônica durante a estação seca.

## INTRODUÇÃO

A floresta tropical cobre uma vasta porção da área do planeta, sendo um dos mais importantes ecossistemas terrestres, caracterizando-se como uma importante fonte biogênica de gases e de material particulado para a atmosfera [1]. A floresta Amazônica constitui-se na maior floresta tropical existente, sendo caracterizada por intensas atividades convectivas [2] resultando em um eficiente deslocamento dos gases e dos aerossóis emitidos para altitudes elevadas, onde podem ser transportados à longas distâncias, tendo, portanto, um impacto na composição química global da troposfera. Estimativas da taxa global de produção de partículas orgânicas na atmosfera mostram que a vegetação florestal é a principal fonte de partículas orgânicas para a atmosfera. Além da importante emissão natural de aerossóis, a Amazônia contribui com uma parcela substancial das emissões mundiais de gases e de material particulado para a atmosfera, devido à queima de biomassa.

O rápido processo de desmatamento existente na região Amazônica afeta as concentrações totais de gases como CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> entre outros, bem como as concentrações e a composição do material particulado presente na atmosfera. Dentro deste contexto este trabalho concentrou-se no estudo das emissões de aerossóis na Amazônia, empregando para isto técnicas analíticas complementares na caracterização das amostras de aerossol, coletadas, ao longo de três anos, em diferentes regiões da Amazônia: Alta Floresta, no norte do Estado do Mato Grosso, caracterizada pela ocorrência intensiva de queimadas durante a estação seca na Amazônia (junho a outubro) e Serra do Navio, localizada no Estado do Amapá, em uma região onde prevalece a floresta tropical primária.

## TÉCNICAS ANALÍTICAS

As amostras de aerossóis atmosféricos foram coletadas utilizando-se amostradores de material

particulado nas suas frações fina e grossa, depositadas em filtros Nuclepore. A fração fina do material particulado é composta por partículas com diâmetro aerodinâmico menor que 2  $\mu\text{m}$ , enquanto as partículas correspondentes à fração grossa possuem diâmetro aerodinâmico entre 2 e 10  $\mu\text{m}$ . As concentrações absolutas de material particulado nas frações fina (MPF) e grossa (MPG) foram determinadas através de técnicas gravimétricas. A concentração de "Black Carbon" (BC) na fração fina do particulado atmosférico foi determinada utilizando-se análise por reflectância dos filtros Nuclepore amostrados. "Particle Induced X-Ray Emission" (PIXE)[3] foi utilizado na caracterização elementar do material particulado coletado. Foram determinadas as concentrações elementares de aproximadamente 25 elementos (Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Br, Rb, Au, Hg e Pb). Cromatografia de Íons foi utilizada na análise das amostras do particulado fino coletado em Serra do Navio. Foram quantificadas as concentrações dos seguintes íons e compostos:  $\text{H}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ , acetato, ácido acético, formato, ácido fórmico e ácido metil sulfônico (MSA). "Particle Induced Gamma-Ray Emission" foi utilizado para a quantificação das concentrações de Na, presentes em Serra do Navio.

Técnicas estatísticas multivariadas [4], como a Análise de Componentes Principais, (ACP), a Análise de Componentes Principais Absolutas (ACPA) e a Análise por Agrupamento foram utilizadas na identificação e na caracterização das fontes de aerossol atmosférico presentes nas diferentes regiões.

## RESULTADOS EXPERIMENTAIS

A figura 1 apresenta a variabilidade temporal da concentração de particulado fino e de particulado grosso em Alta Floresta no período de 1992 a 1994. Observa-se um acentuado incremento nas concentrações de material particulado durante a estação de queimadas, quando a concentração de particulado inalável chega a atingir valores superiores a 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . O início das chuvas na região faz com que rapidamente a concentração de material particulado retorne a valores típicos de "background" da ordem de 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Esta marcante sazonalidade nas emissões devido às queimadas na região de Alta Floresta também está presente na concentração de BC, um excelente traçador de aerossóis atmosféricos emitidos em processos de combustão. As amostras coletadas em Alta Floresta foram agrupadas segundo as estações seca e chuvosa na região, caracterizadas pela presença expressiva ou não de queimadas. Utilizando-se a concentração absoluta de BC como um indicador da ocorrência de queimadas, determinou-se que as amostras típicas da estação de queimadas são aquelas coletadas entre os dias 19 de julho a 8 de outubro de cada ano.

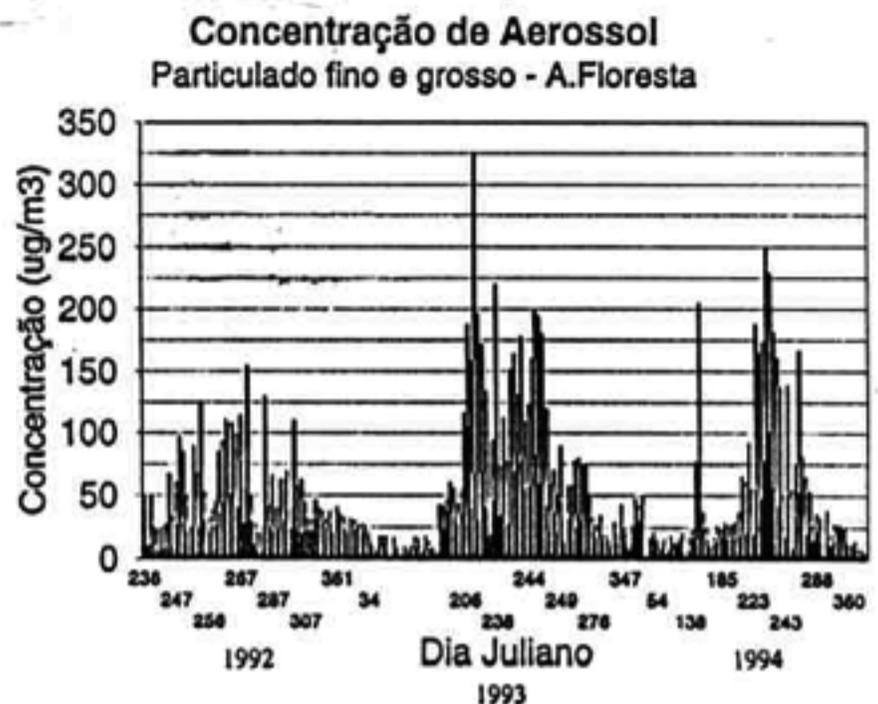


Figura 1: Concentração de particulado atmosférico medido em Alta Floresta.

A variabilidade temporal das concentrações das frações fina e grossa do particulado atmosférico presente em Serra do Navio não segue o padrão sazonal apresentado em Alta Floresta. Serra do Navio além de caracterizar-se pela presença de chuvas intensas ao longo de todo o ano, não possuindo uma estação seca propriamente dita, não é afetada por processos intensos de desmatamentos, apresentando concentrações de material particulado em suspensão significativamente mais baixas que as presentes em Alta Floresta, tanto na estação seca como na estação chuvosa. Este comportamento pode ser verificado nas figuras 2 e 3, onde são apresentadas as concentrações elementares médias do particulado atmosférico de Serra do Navio e durante as estações seca e chuvosa de Alta Floresta, para as frações fina (figura 2) e grossa (figura 3).

## Particulado Fino

S.Nav. - A.Flor. Chuva - A.Flor. Seca

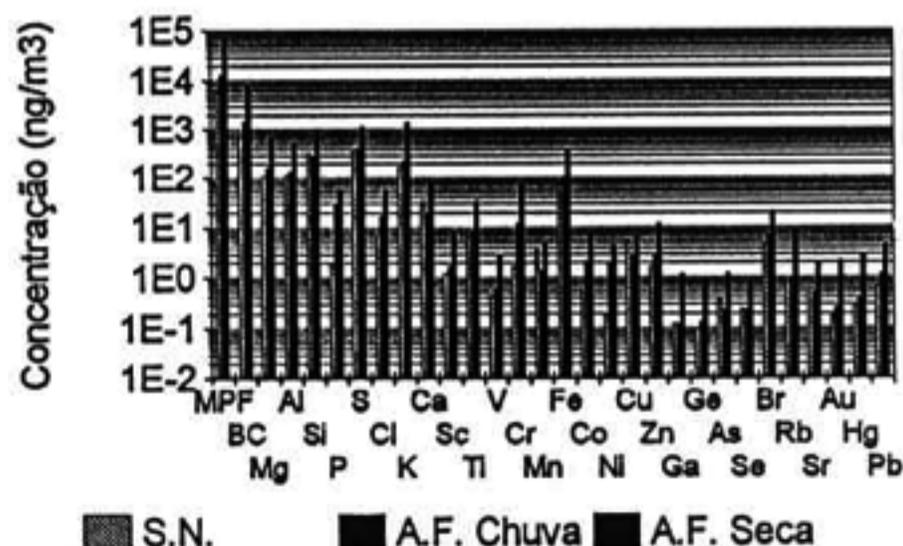


Figura 2: concentrações elementares médias para a fração fina do particulado de Serra do Navio e de Alta floresta durante as estações seca e chuvosa.

# Particulado Grosso

S.Nav. - A.Flor. Chuva - A.Flor. Seca

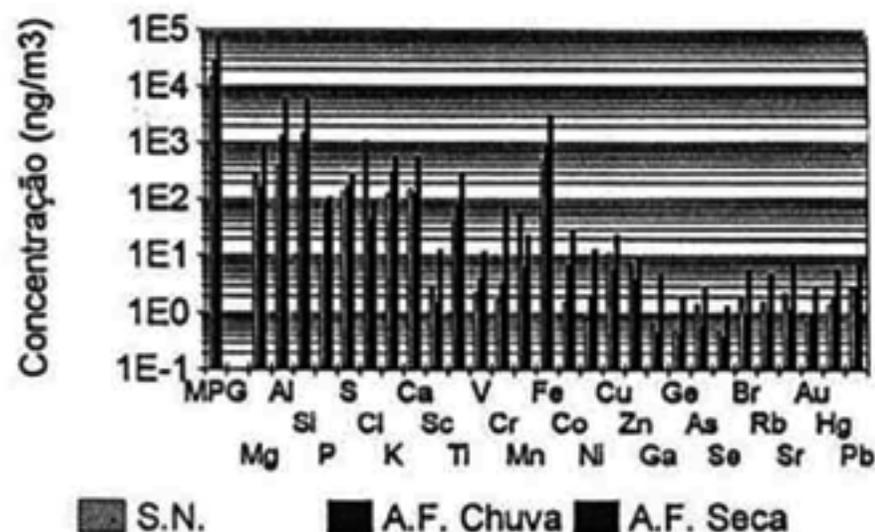


Figura 3: concentrações elementares médias para a fração grossa do particulado de Serra do Navio e de Alta floresta durante as estações seca e chuvosa.

Observa-se um incremento de aproximadamente 5 vezes na concentração de MPF durante a estação seca, que passa de uma concentração média de  $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$  na época das chuvas para  $72 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . A concentração de MPG também apresenta um expressivo incremento, passando de  $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$  durante as chuvas para  $76 \mu\text{g}/\text{m}^3$  na estação de queimadas. Incrementos semelhantes são observados para a maioria dos elementos quantificados. A exceção do fósforo. O P tem sido apontado como um nutriente fundamental para o ecossistema Amazônico [4]. A pouca disponibilidade de P na Amazônia é colocada como um fator limitante para a expansão da floresta. Tanto para o particulado fino como para a fração grossa, o P apresenta uma diminuição na sua contribuição percentual para a massa total de particulado em suspensão durante a estação seca, indicando que este é pouco emitido na forma de aerossóis durante o processo de queimadas e que uma parte significativa do P presente na biomassa deve permanecer nas cinzas depositadas sobre o solo após o término da combustão [5]. A pequena variabilidade anual na concentração do P presente no particulado é um indicativo de que o P emitido como aerossol deve-se principalmente às atividades biogênicas naturais. A baixa emissão de P no particulado grosso foi também verificada no estudo da composição elementar das emissões de queimadas de cerrado, na região de Cuiabá, MT, [6]. Neste trabalho Yamasoe não constatou incremento na concentração de P no particulado grosso em Cuiabá, quando da análise comparativa entre a estação chuvosa e a estação seca, embora o aumento na concentração total do particulado grosso tenha sido multiplicada por quatro. Comportamento semelhante, embora com menor intensidade, também foi verificado por Yamasoe para as

emissões na fração fina das queimadas em regiões onde o cerrado predomina.

As figuras 2 e 3 mostram que as concentrações de de MPF e MPG e as concentrações elementares do material particulado, medidas por PIXE, presentes em Serra do Navio são significativamente menores que as concentrações medidas em Alta Floresta, tanto durante a estação seca, como durante a estação chuvosa, a exceção das concentrações de Cl e de Mg, mais elevadas em Serra do Navio devido à influência do aerossol de origem marinha na composição do particulado em suspensão na região, e das concentrações de alguns metais, principalmente do Mn, devido às contribuições locais das mineração em larga escala de Mg em Serra do Navio.

## IDENTIFICAÇÃO DAS FONTES DE PARTICULADO DE SERRA DO NAVIO

A Aplicação da ACP e da análise por agrupamento às concentrações elementares medidas em Serra do Navio propiciou a identificação das principais fontes de material particulado presentes na região, tanto para a fração fina como para a fração grossa do aerossol.

Para a fração fina foram identificadas quatro fontes majoritárias: A primeira fonte de aerossol está associada fortemente a  $\text{H}^+$ , BC, S,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NH}_4^+$ , K, Zn,  $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ , MPF, ácido fórmico, MSA, Se, Pb, Br e, mais fracamente, a Na e Mg. Esta fonte identifica-se com a emissão biogênica natural, enriquecida em nutrientes essenciais à floresta e em compostos orgânicos. A associação desta fonte com a concentração total em massa de particulado mostra que a emissão biogênica natural é a principal contribuinte para a massa do particulado fino em uma floresta tropical como é a floresta Amazônica. A segunda fonte de aerossóis correlaciona-se com elementos característicos de solo, tais como Si, Fe, Al, Co, Ti, Ca, Sr, Sc e Pb. Este fator está associado à ressuspensão local de partículas do solo. A terceira fonte identificada mostra uma contribuição marinha para o aerossol presente na Serra do Navio, cuja proximidade do mar permite que a brisa marinha alcance facilmente a região. Esta fonte é caracterizada pela presença de Mg, Na, Cl e MSA. A quarta fonte identificada associa-se à emissão local de Mg.

Na fração grossa do particulado atmosférico de Serra do Navio foram identificadas três fontes importantes de aerossóis: A primeira explica 53% da variabilidade temporal das concentrações medidas, associando-se às contribuições do aerossol proveniente de ressuspensão do solo (Si, Al, Sr, Ti, Ca, Fe e Co), juntamente com o aerossol de origem biogênica. Fatores meteorológicos contribuem para aumentar a dificuldade de separação entre as fontes biogênica e de ressuspensão de partículas do solo em Serra do Navio, pois a ocorrência de chuvas fortes reduz simultaneamente as concentrações de particulado grosso de origem biogênica e de origem de ressuspensão do solo, correlacionando assim, as duas séries temporais e tornando

difícil a sua separação. A segunda fonte foi associada ao aerossol marinho devido às contribuições elevadas das concentrações de Cl, Na, S e Mg. Para a fração grossa do particulado atmosférico de Serra do Navio também foi possível identificar a influência da mineração local na composição do aerossol. Esta influência é caracterizada pela presença de uma terceira fonte, com contribuições significativas de Mn, Fe, Co e Ti.

A determinação da fração das concentrações medidas associadas a cada uma das fontes identificadas foi obtida através da ACPA aplicada às concentrações medidas no particulado atmosférico de Serra do Navio. A fonte biogênica responde por 76% da massa do particulado fino. As fontes majoritárias na composição da fração fina do particulado, o  $\text{SO}_4^{2-}$ , o BC, o S e o K, contribuem com 14%, 12%, 5% e 2,5%, respectivamente, da massa da fonte biogênica fina. Cerca de 70% do Zn no particulado fino também é emitido por processos biogênicos, servindo assim como um bom traçador de emissões biogênicas. A fonte marinha está caracterizada por altas concentrações de Na, S (na forma de  $\text{SO}_4^{2-}$ ) e Cl. Entretanto, cerca de 45% do Na na fração fina aparece associado às emissões devido às atividades biogênicas. A contribuição marinha para a fração fina do aerossol é pequena (5%). Já as partículas provenientes do solo são responsáveis por 23% da concentração da fração fina do particulado de Serra do Navio.

A ACPA aplicada a fração grossa do aerossol revelou que as emissões biogênicas naturais e aos processos de ressuspensão de solo respondem por 44% da massa de particulado grosso presente na atmosfera, enquanto que a fonte marinha é responsável por 51% da massa total de aerossóis na fração grossa presentes em Serra do Navio. Este fato aponta a forte influência marinha na composição do aerossol presente na região leste da bacia Amazônica. A emissão local de Mn contribui com menos de 5% da massa do particulado coletado.

## IDENTIFICAÇÃO DAS FONTES DE PARTICULADO DE ALTA FLORESTA

Tanto para a estação seca como para a estação chuvosa, a ACP da fração fina do particulado atmosférico presente em Alta Floresta identificou somente duas fontes importantes de aerossóis. A primeira fonte identificada fração fina do aerossol de Alta Floresta durante a estação seca mostra contribuições elevadas das concentrações de S, BC, K, MPF, Pb, Ca e Zn. Esta fonte está claramente associada às emissões de queimadas. A segunda fonte da fração fina durante a estação seca se refere às partículas de solo em suspensão, uma vez que apresenta contribuições elevadas para Fe, Al, Ti e, em menor intensidade, para Ca. Para a estação chuvosa, a primeira fonte identificada apresenta contribuições de S, MPF, K, Pb, BC, Zn e Ca. Esta fonte refere-se à contribuição biogênica, haja visto que na estação chuvosa não se espera uma contribuição

expressiva das emissões de queimadas. A segunda fonte novamente está associada a partículas de solo em suspensão, com contribuições de Fe, Ti, Al, e Zn. A comparação entre as fontes identificadas para as estações seca e chuvosa, revelou uma similaridade entre as emissões biogênicas naturais (estação chuvosa) e emissões de queimadas, sendo a estação de queimadas caracterizada principalmente pelo aumento abrupto das concentrações absolutas de poluentes, como mostra a figura 1. Em ambas as análises a primeira fonte esteve relacionada com a massa, BC, S, K, Ca, Zn e Pb. A similaridade entre as fontes biogênica e de queimadas pode indicar uma pequena influência de aerossóis oriundos da queima de biomassa fora da estação seca. Embora as emissões de queimada estejam fortemente concentradas na estação seca, uma pequena contribuição de queimadas durante a estação chuvosa pode alterar a composição média do aerossol, uma vez que a concentração em massa do particulado nesta época é muito menor que na estação seca.

Três fontes majoritárias foram identificadas pela ACP da fração grossa do aerossol de Alta Floresta amostrado durante a estação seca. A primeira fonte possui contribuições significativas para todas as variáveis, com exceção do P. As maiores contribuições para esta fonte estão relacionados com o Ti, Al, Fe, Si, Co, Ca, Mn, MPG e Zn. Em menor intensidade também contribuem S e K. Esta fonte deve-se principalmente às contribuições provenientes de partículas de solo. A segunda fonte identificada relaciona-se ao aerossol emitido pelas queimadas, sendo marcada por contribuições significativas das concentrações de K, S e Ca. A terceira fonte apontada pela ACP é caracterizada pela presença de P juntamente com contribuições de Ca e da MPG. A presença marcante de P e Ca aponta esta terceira fonte como sendo derivada das emissões biogênicas naturais da floresta.

Uma rede de monitoramento de propriedades ópticas da atmosfera, instalada na Amazônia e operada pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e pela NASA ("National Aeronautics and Space Administration") [7], fornece os resultados de "Aerosol Optical Thickness" (AOT) [8] obtidos para Alta Floresta, simultaneamente às medidas diretas das concentrações de material particulado em suspensão. Os resultados de AOT são obtidos pela medida da intensidade da radiação solar que atinge a superfície terrestre em diferentes comprimentos de onda, podendo ser correlacionados, com a presença de material particulado na atmosfera [8], distribuído ao longo de toda a coluna de ar existente sobre a superfície.

Uma análise conjunta dos resultados de AOT e das medidas diretas das concentrações da fração fina de material particulado em Alta Floresta, bem como a sua caracterização elementar, utilizando-se 60 amostragens de material particulado, coletado tanto durante a estação seca como durante a estação chuvosa, mostrou uma correlação expressiva entre os resultados de AOT e a concentração de aerossóis para a atmosfera devido às queimadas na região de Alta Floresta. Esta mistura indica que o AOT sofre influências significativas das altas concentrações de

aerossóis observadas na baixa troposfera durante a estação de queimadas. Embora bem definida, a fonte associada à ressuspensão do solo não apresentou um efeito detectável no aumento da espessura óptica, independentemente do comprimento de onda da radiação do AOT. Entretanto, a componente de solo aparece fortemente anti-correlacionada com a concentração de vapor d'água, estimada pelas medidas de AOT. Neste caso a correlação negativa entre a componente de solo e de vapor de água indica mais uma vez que a ressuspensão de solo está sob o domínio dos fatores meteorológicos, quando a concentração de particulado proveniente do solo é inversamente proporcional à umidade relativa do ar. Já para a fração grossa do particulado, praticamente não se verifica a influência da concentração de aerossóis nos valores de AOT.

A APCA mostra que o particulado fino de Alta Floresta é dominado pelas emissões biogênicas ou de queimadas, para as estações chuvosa e seca, respectivamente, pois a contribuição do solo corresponde a apenas 24% da massa de particulado na estação seca, caindo para 13% na estação chuvosa. A APCA também indica um ligeiro incremento na participação da concentração de BC na concentração total de particulado fino durante a estação de queimadas, passando de 8,7% na estação chuvosa para 11,5% na estação seca. O particulado atribuído à ressuspensão do solo, na fração grossa, cresce de um fator 9 quando comparam-se as estações seca e chuvosa, enquanto que a concentração total de massa cresce de apenas um fator cinco. Este incremento na contribuição percentual da componente de solo para a concentração total de aerossóis na fração grossa, durante a estação seca, indica uma forte influência meteorológica.

Para a fração grossa, a APCA aponta que durante a estação chuvosa, o particulado é marcado pela predominância das emissões biogênicas naturais, que representa 72% da massa total do aerossol. Este quadro se altera na estação de queimadas. Embora em valores absolutos a massa de aerossol biogênico se mantenha praticamente constante para ambas as estações, a participação das emissões biogênicas se reduz a 28% da massa total de aerossol, na sua fração grossa, durante a estação de queimadas. Isto decorre do aumento das emissões por ressuspensão de solo e das altas taxas de emissão de queimadas.

#### **ANÁLISE COMPARATIVA DAS ASSINATURAS ELEMENTARES DAS FONTES DE AEROSSÓIS DE SERRA DO NAVIO E DE ALTA FLORESTA**

Para comparar os perfis elementares de fontes do aerossol atmosférico identificadas pela APCA para Alta Floresta e para Serra do Navio, pode-se comparar as contribuições percentuais da concentração de cada elemento para concentração em massa de particulado atribuída à cada uma das fontes identificadas durante as análises.

A comparação entre as assinaturas características do particulado fino de Serra do Navio e do particulado fino de Alta Floresta na estação chuvosa revelou uma marcada similaridade entre as composições elementares do aerossol biogênico. A concordância entre as assinaturas para elementos como S, K, Ca, Zn, As, Se Br, Rb, Au, Hg, Pb e BC verificou-se dentro de um fator dois. Pode-se dizer que, para a fração fina do aerossol, o perfil de emissão elementar para a componente biogênica do aerossol em Alta Floresta é bastante semelhante ao perfil de emissão elementar para a componente biogênica em Serra do Navio. Para a estação seca observamos que a componente de queimadas em Alta Floresta é semelhante, dentro de um fator dois, à componente biogênica de Serra do Navio para BC, K, Ca, Sc, Zn, As, Br, Rb, Au, Hg e Pb, este fato justifica as dificuldades sistematicamente encontradas na separação inequívoca entre as emissões para a atmosfera de partículas provenientes da atividade biogênica, natural da floresta, e as partículas emitidas durante a combustão da biomassa, durante as queimadas. Observa-se também que as partículas provenientes da ressuspensão do solo, presentes na fração fina do aerossol, observadas em Serra do Navio e em Alta Floresta, apresentam composição elementar distinta. Al, P, Ti, Mn e Fe possuem contribuições percentuais para a massa do particulado fino mais elevadas em Serra do Navio.

A comparação entre as frações grossas do aerossol atmosférico de Alta Floresta e de Serra do Navio não é direta, visto que para tornar essa comparação possível é necessário agrupar fontes distintas de aerossol para cada uma das localidades. Entretanto, pôde-se observar uma compatibilidade entre as assinaturas características do particulado grosso de Serra do Navio e do particulado grosso de Alta Floresta, tanto para a estação seca como para a estação chuvosa.

#### **CONCLUSÃO**

Detectaram-se concentrações elevadas de aerossóis para a região de Alta Floresta durante a estação de queimadas, tanto na fração fina como na fração grossa do particulado atmosférico. Estas concentrações são caracterizadas por uma marcante sazonalidade, seguindo a variabilidade temporal das emissões de aerossóis devido às queimadas, que, de maneira geral, iniciam-se em julho e findam-se em fins de setembro. Na estação de queimadas as concentrações do particulado fino e do particulado grosso aumentam 11 e 5 vezes, respectivamente, na região de Alta Floresta.

A fração fina do particulado presente na atmosfera de Alta Floresta apresentou duas fontes principais: uma relacionada com as emissões de queimadas e outra associada à ressuspensão de partículas de solo. As emissões biogênicas e de queimadas mostraram-se semelhantes em sua composição elementar. A fração grossa do particulado atmosférico presente em Alta Floresta possui três fontes predominantes: uma componente resultante da mistura de

## REFERÊNCIAS

contribuições de solo e de queimadas, sendo determinada pelas condições meteorológicas. Outra componente aparece como uma contribuição puramente derivada das queimadas. Distingue-se uma terceira componente relacionada com as emissões biogênicas, marcada por contribuições relevantes de Ca e de P. Não se constatou uma presença significativa de fósforo no particulado emitido pela queima de biomassa. Observou-se uma correlação entre as medidas de AOT e as concentrações, na baixa troposfera, da fração fina dos aerossóis emitidos por queimadas. Esta correlação não foi verificada para a fração grossa do aerossol. Esse resultado aponta para influência significativa das altas concentrações de aerossóis verificadas ao nível do solo e provenientes da queima de biomassa, no comportamento médio do AOT verificado na Amazônia durante a estação de queimadas.

Durante a estação chuvosa, onde não é verificada uma contribuição expressiva das emissões devido às queimadas, as emissões biogênicas representam 72% em massa dos aerossóis em Alta Floresta. A emissão de fósforo para a atmosfera aparece relacionada com as atividades biogênicas naturais da floresta.

A caracterização do material particulado presente na atmosfera de Serra do Navio mostrou que a fração fina do aerossol é resultante de três fontes emissoras principais: particulado de origem biogênica natural, particulado proveniente da ressuspensão do solo e particulado marinho. Cerca de 75% da massa do particulado fino está associada às emissões biogênicas naturais, fonte importante de  $\text{SO}_4^{2-}$  e partículas de carbono orgânico, atuantes como núcleos de condensação de nuvens.

A fração grossa do particulado atmosférico presente em Serra do Navio é dominada por duas fontes: aerossol marinho e aerossol proveniente tanto do solo como da floresta. Não foi possível separar a emissão devido à ressuspensão do solo da emissão biogênica natural da floresta na fração grossa. Isto se deve aos efeitos das condições meteorológicas sobre a concentração na atmosfera do particulado grosso emitido por estes dois fatores. A massa do particulado grosso é dominada pela componente marinha, correspondendo à 51% da massa total de aerossóis. Este fato aponta a forte influência marinha na composição da atmosfera da região leste da Amazônia. A segunda componente, que mescla as emissões da floresta e do solo na fração grossa, é responsável por 44% da massa de aerossóis presentes na região.

Verificou-se uma forte semelhança entre os perfis elementares das emissões biogênicas de Alta Floresta e de Serra do Navio, embora estas localidades distem de cerca de 1.500 km e representem condições atmosféricas diferentes.

- [1] Harris, R.C., Wofsy, S.C., Garstang, M., Browell, E.V., L.C., Mollion, McNeal, R.J., Hoell, J.M., Bendura, R.J., Beck, S.M., Navarro, R.L., Riley, J.T. e Snell, R.L., **The Amazon boundary layer Experiment (ABLE-2B): Dry Season 1985**, *J. Geophys. Res.*, 93, 1351-1360, 1988.
- [2] Garstang, M., Scala, J., Greco, S., Harris, R., Beck, S., Browell, E., Sachse, G., Gregory, G., Hill, G., Simpson, J., Tao, W.K. e Torres, A., **Trace gases exchanges and convective transports over the Amazonian rain forest**, *J. Geophys. Res.*, 93, 1528-1550, 1988.
- [3] Johansson, S.A.E. e Campbell, J. L., **PIXE: A novel technique for elemental analysis**, John Wiley and Sons, Chichester, 1988.
- [4] Hopke, P.K., **Receptor modeling for air quality management**, Elsevier Science Publishers, Amsterdam, Holanda, 1991.
- [5] Kauffman, J.B., Cummings, D.L., e Ward, D.E., **Relationships of fire, biomass and nutrient dynamics along a vegetation gradient in the Brazilian cerrado**, *J. Ecology*, 82, 519-531, 1994.
- [6] 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, 1994.
- [7] Holben, B. N., Setzer, A. W., Eck, T. F., Pereira, E. B. e Slusker, I., **Temporal and spatial variability of aerosol loading and properties during the Amazon basin dry season**, submetido para publicação em *J. Geophys. Res.* em, 1995.
- [8] Horvath, H., **Atmospheric light absorption - A review**, *Atmosph. Env.*, 27A, n.3, 293-317, 1993.