

## ANÁLISE DO MATERIAL PARTICULADO NO PANTANAL MATO-GROSSENSE

ANNA CAROLINNA ALBINO SANTOS E JOSÉ DE SOUZA NOGUEIRA

Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Instituto de Física, Cuiabá, MT, Brasil

anna.annilorac@gmail.com, nogueira@ufmt.br

Recebido Outubro de 2014 - Aceito Abril de 2015

### RESUMO

Este estudo analisa propriedades de aerossóis atmosféricos e suas fontes, procurando aprimorar o entendimento da dinâmica de poluentes na região do Pantanal. Os principais objetivos desse trabalho foram: caracterização do material particulado e avaliação das fontes de material particulado no Pantanal Mato-Grossense. As amostras de aerossóis atmosféricos foram coletadas continuamente de abril de 2012 a agosto de 2013 na Baía das Pedras, localizada no Pantanal Mato-grossense. O dispositivo de amostragem consistiu em coletores de particulado fino e grosso (AFG), que separa a fração fina do aerossol ( $d_p < 2,5 \mu\text{m}$ ) e a fração grossa ( $2,5 < d_p < 10 \mu\text{m}$ ). A análise elementar foi realizada por fluorescência de raios-X, enquanto que o teor de *black carbon* equivalente foi determinado por refletância. Utilizando a técnica de Fatoração de Matriz Positiva (PMF), foram estimados três tipos de fontes de aerossóis: emissões biogênicas naturais, suspensão de poeira do solo e queima da biomassa. Os resultados encontrados reforçam a importância do estudo no Pantanal para entender os mecanismos dos processos antrópicos e naturais que são capazes de regular a composição da atmosfera.

**Palavras-chave:** aerossóis; emissões; queimadas; ressuspensão do solo.

### ABSTRACT: ANALYSIS OF PARTICULATE MATTER AT PANTANAL MATO-GROSSENSE

This study examines properties of atmospheric aerosols and their sources, seeking to improve the understanding of the dynamics of pollutants in the Pantanal region. The main objectives of this work are: characterization of particulate matter and evaluation of their sources in the Mato Grosso Pantanal. Atmospheric aerosols samples were continuously collected from April 2012 to August 2013 in Baía das Pedras, located at Pantanal. The sampling devices consisted of fine and coarse mode particulate samplers, which separates the fine fraction of the aerosol ( $d_p < 2.5 \mu\text{m}$ ) and coarse fraction ( $2.5 < d_p < 10 \mu\text{m}$ ). X-ray fluorescence was used to figure out particle elemental composition, and a reflectance technique was applied to determine the black carbon content. Using the Positive Matrix Factorization (PMF) technique, three types of aerosol sources were estimated: natural biogenic emissions, soil dust suspension and biomass burning. The results reinforce the importance of studying the Pantanal particulate matter to understand the mechanisms of natural and anthropogenic processes that are able to regulating the atmosphere composition.

**Keywords:** aerosol, emissions; fires; soil resuspension.

## 1. INTRODUÇÃO

O Pantanal Mato-Grossense é uma região de enorme importância ecológica e socioeconômica, que se destaca pela sua vasta biodiversidade e pelo regime hidrológico peculiar. É a maior área alagável contínua existente e ocupa cerca de 1,6% do território brasileiro, diferindo-se das demais por ser uma planície e sazonalmente inundada. Apresentam dois regimes sazonais distintos, épocas secas e chuvosas com inundações de acordo

com a intensidade e a duração das precipitações (Junk, 2005). O Pantanal desempenha um papel fundamental na manutenção do ciclo hidrológico e do clima de grande parte da América do Sul.

Nessa região, são observados dois regimes sazonais distintos, estação seca (abril a setembro) e estação chuvosa (outubro a março), período que concentra 80 % do total anual de chuva. O trimestre mais chuvoso é de dezembro a fevereiro, e janeiro é o mês que apresenta o maior índice pluviométrico. Ocorrem cheias de diferentes proporções, variáveis, dos pontos de vista

interanual e intra-anual. Existem diferenças climáticas de uma sub-região para outra de acordo com a distribuição da chuva e sua intensidade (Garcia e Castro, 1986). Sabe-se que as queimadas na região do Pantanal são práticas bastante usuais, principalmente na segunda metade da estação seca (agosto – setembro). Entretanto, pouco se conhece sobre a taxa de deposição local de partículas oriundas da emissão de queimadas (Souza, 2011).

Na Figura 1 observou-se que durante o ano de 2012, os meses de maio, junho, outubro e novembro apresentaram volume de precipitação superior ao registrado entre 1983-1994. Em novembro foi registrado mais do que o dobro do volume de precipitação (342 mm) comparando-se à média registrada entre 1983-1994 (185 mm), e em maio se registrou 105 mm, valor bem superior à média de 1983-1994 (67 mm). Em novembro, o volume de precipitação foi influenciado pela ocorrência de três eventos da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), bem como pela atuação em altos níveis da Alta da Bolívia (CPTEC, 2012). Em maio, o excedente de precipitação teve sua origem em decorrência da ação de dois sistemas frontais bem como da formação de zonas de convergência de umidade (ZCOU), que afetaram o norte de Mato Grosso do Sul e o sul do Mato Grosso (CPTEC, 2012). Nos outros meses de 2012 se verificou uma precipitação inferior a média registrada entre 1983-1994, como em abril onde se registrou 55 mm, sendo que entre 1983-1994 se registrou 93 mm, e setembro onde se registrou 15 mm, sendo registrados 63 mm entre 1983-1994.

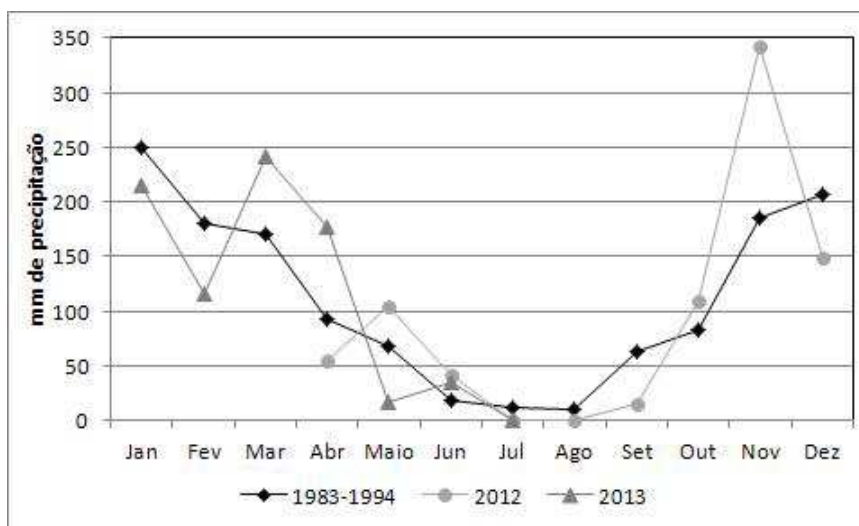
Entre janeiro e julho de 2013, os meses de março (241 mm), abril (176 mm) e junho (34 mm) apresentaram valores de precipitação superior a média de 1983-1994. Em março e abril atuaram as ZCOU, ZCAS além de sistemas frontais

que atingiram a área no dia 14 de cada mês (CPTEC, 2013). Enquanto que janeiro, fevereiro, março e julho os valores ficaram abaixo do registrado pela série histórica 1983-1994.

Considerando o número de focos de queimadas registrados em Mato Grosso disponibilizados pelo Monitoramento Orbital e Risco de Fogo do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2013), foram registrados 26.017 focos de calor em 2012 e 17.823 focos no ano de 2013. De maneira geral reflete a variação sazonal da precipitação no estado, que na sua maioria apresenta uma estação seca entre abril e setembro, sendo que neste período se concentrou o maior número de focos, sendo 21.531 em 2012 e 13.119 em 2013. Entre alguns dos motivos para a realização da queimada, deve ser considerado que se trata de um método barato para a limpeza de áreas que serão destinadas posteriormente a atividades de pecuária e agricultura.

Os estudos da química da atmosfera demonstram um cenário complexo dentro das mudanças climáticas, nos quais os materiais particulados têm impacto potencialmente importante no clima (IPCC, 2007), embora o conhecimento que se tem atualmente sobre as partículas de aerossol atmosférico (sulfatos, orgânicos, poeira, aerossol marinho, fuligem) não são totalmente satisfatórios para entender como eles influenciam o clima.

Os aerossóis apresentam-se como partículas líquidas ou sólidas em suspensão num meio gasoso. Sua estrutura física e química depende da fonte de emissão, podendo ser de origem natural ou antrópica. Como exemplo, a poeira do solo suspensa pela ação do vento, o desflorestamento para a prática agrícola em que está envolvido o aumento da concentração de CO<sub>2</sub>, na agropecuária (pastagens), na urbanização (a queima de combustível fóssil veicular e emissões industriais), as queimadas



**Figura 1:** Variação da precipitação durante o período de amostragem em 2012 e 2013 e precipitação registrada pelo INMET entre os anos de 1983-1994 na região de Porto Cercado (Tarifa, 2011).

(as quais causam alterações no ciclo do carbono e de nutrientes) e os processos meteorológicos que afetam a duração dessas partículas na atmosfera (Seinfeld e Pandis, 2006).

O presente trabalho tem como objetivo caracterizar o material particulado e avaliar as fontes de material particulado no Pantanal Mato-Grossense.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Localização e Descrição da Área de Estudo

A pesquisa foi conduzida em uma reserva natural protegida, Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) do Serviço Social do Comércio (SESC)-Pantanal, a 111 m de altitude (16°39' S, 56°47' W), sendo referido aqui como SESC Pantanal – Centro Avançado de Pesquisas do Pantanal (Dalmagro, 2012) (Figura 2). O site está localizado a cerca de 160 km de Cuiabá – MT. O solo da região é classificado como GLEISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico típico, ou seja, os solos dessa classe apresentam mudança textural abrupta com acentuada diferença de textura do A para o horizonte B imediatamente subjacente, permeabilidade lenta ou muito lenta, profundidade de 150 cm e textura arenosa (Moreira e Vasconcelos, 2007).

Este local tem como característica uma área de transição de vegetação mista entre floresta monodominante e pastagem natural, que está sofrendo um processo de invasão por *Vochysia divergens* (Vourlitis et al., 2011). A topografia da várzea é praticamente plana, causando grandes inundações durante a estação chuvosa (Da Cunha e Junk, 2000), que normalmente ocorre entre dezembro e maio, com níveis de água variando

entre 1-2 m de profundidade (Da Cunha e Junk, 2004). Durante a estação seca pode não haver precipitação mensurável e os recuos do nível de água ficam abaixo da superfície do solo.

Na proposta de Tarifa (2011), esta área se localiza na unidade climática III E2 (III - Clima Tropical Continental Mesotérmico Subúmido das Depressões e Pantanaís do Médio Cuiabá), cuja precipitação anual fica em torno de 1300 a 1400 mm, apresentando de 7 a 8 meses de período seco (precipitação inferior a 100 mm mensais).

### 2.2 Métodos de Amostragem e Caracterização de Aerossóis

#### 2.2.1 Amostragem e análise gravimétrica de aerossóis

A coleta de partículas de aerossóis utilizando filtros é um método simples e muito comum para amostragem de partículas de aerossóis. Os filtros permitem realizar análise elementar e iônica por uma série de técnicas. Os mecanismos pelos quais as partículas depositam-se nos filtros são a impactação, interceptação e difusão, que são função do fluxo de ar no filtro, do diâmetro dos poros e do tamanho das partículas (Hinds, 1999).

O material particulado atmosférico foi coletado pelo Amostrador de Particulado Fino e Grosso (AFG), que separa as partículas em duas frações de tamanhos (Maenhaut et al., 2002), instalado em um “inlet” apropriadamente projetado, colocado a uma altura de 2,8 m do solo com proteção contra chuva e uma rede de nylon na entrada do inlet para prevenir a entrada de insetos (Barbosa, 2007). Uma fração grossa (MPG) definida por partículas com diâmetros entre 2,5 e 10 µm e



Figura 2: Base de coleta de dados na estação Pantanal.

outra fração fina (MPF) definida por partículas com diâmetros menores que 2,5 µm.

Para este estudo foram utilizados os dados coletados na estação Pantanal, analisados pelo Laboratório de Física Atmosférica (LFA) do Instituto de Física da Universidade de São Paulo (IFUSP). As amostras de material particulado foram coletadas durante o período de abril de 2012 a agosto de 2013.

O AFG coleta em dois intervalos de tamanho as partículas de aerossóis. O material particulado é coletado por impactação inercial, em dois filtros de policarbonato da Nuclepore dispostos em série. O primeiro estágio retém as partículas da fração grossa com a utilização de um filtro grosso com poros de 8 µm de diâmetro. As partículas da fração fina são retidas no segundo estágio, por meio de um filtro com poros de 0,4µm de diâmetro. Ambos os filtros possuem 47 mm de diâmetro (Artaxo, 2002). O fluxo típico durante a amostragem foi de 14LPM. O tempo de integração de cada conjunto de filtros foi de aproximadamente 48 h na estação seca e 72h na estação chuvosa.

O AFG é conectado por uma tubulação de PVC a uma bomba de vácuo. A tubulação passa por um medidor de fluxo (Mass flowmeter), que mede o fluxo de ar em tempo real e volume total de ar amostrado. Cada circuito elétrico possui um horímetro que fornece o tempo de amostragem, integrado em horas.

Os dois filtros coletados pelo amostrador AFG foram analisados por gravimetria para determinação da massa da moda grossa e moda fina, cujo princípio resume-se em medir a massa do filtro antes e após a amostragem, em balança analítica de alta precisão e sensibilidade, mantendo temperatura e umidade controlada. A diferença entre as massas é devida ao material depositado nos filtros. Conhecendo-se o volume de ar amostrado, pode-se determinar a concentração do particulado coletado nas frações fina e grossa correspondente a cada filtro (Begum et al., 2010). A determinação gravimétrica foi realizada em uma balança com precisão nominal de 1 µg, capaz de quantificar a variação de massa de cada filtro antes e após o processo de coleta. Antes e após cada pesagem os filtros de policarbonato ficam expostos a fontes radioativas de <sup>210</sup>Po durante 24 horas para neutralizar as cargas elétricas agregadas a sua superfície, que podem alterar os resultados da pesagem.

Foram coletadas 49 amostras de particulado no período de 16/abril a 23/outubro de 2012 e 10/fevereiro a 10/agosto de 2013, sendo 40 na estação seca e 09 na estação úmida. Entre novembro/2012 e janeiro/2013, uma série de problemas técnicos inviabilizou a coleta de amostras neste período, um deles foi devido à demora na construção do site, não conseguindo assim, um número bom de filtros na estação chuvosa necessária para análise estatística, outro problema foi a queda da rede de energia na BAPP-UFMT, contudo, foram necessárias mais coletas

de filtros principalmente na estação chuvosa para análise das possíveis fontes existentes na base Pantanal.

Para a análise do PMF foram consideradas as amostras da estação seca com 40 amostras, sendo que os dados na estação chuvosa que são apenas 09 amostras, não foram utilizados devido à pouca quantidade de amostras, não possibilitando uma estatística mais exata e, assim necessitando de mais dados coletados para a estação chuvosa.

Aconteceram casos de filtros que foram descartados da análise, tanto gravimétrica, quanto de *black carbon* e de fluorescência de Raios-X, devido a entrada de água no *inlet*, a mangueira estava solta do filtro ao se fazer a leitura no site, ou até mesmo medidas muito altas ou baixas de acordo com as estações em que se estava fazendo o estudo. Houve casos de entupimento na mangueira quando o fluxo caíria à zero, parando a bomba.

## 2.2.2 Análise do Teor de Black Carbon por Refletância

A determinação das concentrações de *black carbon* (BC) foi feita pela técnica de refletância ótica antes e depois da coleta das partículas de aerossóis nos filtros. O processo se baseia na incidência de luz de uma lâmpada de tungstênio (W) na amostra, a qual reflete uma intensidade inversamente proporcional à quantidade de *black carbon* presente. Como as partículas de *black carbon* absorvem luz com alta eficiência, tanto maior a quantidade presente, menor será a intensidade de luz refletida e detectada pelo fotossensor. Sendo que o aparelho foi ajustado com os filtros brancos para 100% de reflexão (Rizzo, 2002). O equipamento utilizado foi um refletômetro, marca “Diffusion Sistem Ltda” modelo “Smoke Stain Reflectometer – Model 43”. A curva de calibração da luz refletida pela quantidade de *black carbon* foi obtida empiricamente de acordo com a Equação 1, a qual indica que a partir da refletância medida, pode-se obter a massa de *black carbon* presente na amostra (Loureiro et al., 1994).

$$BC \left[ \frac{\mu g}{m^3} \right] = [(30,90 \pm 0,15) - (14,454 \pm 0,007 * \log(R) * \frac{A}{V})] \quad (1)$$

Sendo que: R = Refletância (%); A = Área do filtro (14,4 cm<sup>2</sup>); V = Volume amostrado (m<sup>3</sup>).

## 2.2.3 Análise Elementar

A partir das coletas foi realizada uma subsequente análise elementar por fluorescência de raios-X (ED-XRF), que se baseia na medida das intensidades dos raios-X, que são emitidos pelos componentes dos elementos químicos da amostra quando ela é devidamente excitada. Por sua vez, estes emitem

linhas espectrais com energias características dos elementos e cujas intensidades estão relacionadas com a concentração de cada elemento (Filho, 1999). Os elementos identificados nesse trabalho foram: Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Se, Br, Rb, Sr, Cd, Sb e Pb. O equipamento que está no Laboratório de Física Atmosférica – USP é um Epsilon Modelo Espectrômetro da PANalytical,

A técnica ED-XRF vem sendo utilizada principalmente para amostras sólidas, permitindo a determinação da concentração de vários elementos, sem a necessidade de destruir a amostra, ou seja, de modo instrumental, sem nenhum pré-tratamento químico. Para amostras líquidas pode-se recorrer a uma pré-concentração, empregando-se troca iônica, precipitação, quelação, entre outras. Essa técnica tem sido muito usada nos últimos anos, tanto para análise qualitativa, quanto para quantitativa, podendo atingir limites de detecção da ordem de 1 a 20 ppm para amostras sólidas (sem tratamento químico) e da ordem de 1 a 20 ppb para amostras líquidas (com tratamento de pré-concentração) (Filho, 1999).

### 2.3 Análise Multivariada: Fatoração de Matriz Positiva (PMF)

A análise multivariada é uma ferramenta que permite a interpretação de uma base de dados com um número grande de variáveis por meio de tratamentos estatísticos. Para o estudo da poluição do ar, os modelos receptores são importantes para determinação de padrões de variação temporal e espacial dos poluentes e na quantificação de suas fontes.

A fatoração de matrizes que representam conjuntos de dados multidimensionais complexos é à base de várias técnicas comumente aplicadas para reconhecimento de padrões e de agrupamento não supervisionado. Assim como Análise de Componentes Principais (PCA) ou análise de componentes independentes (ICA), o objetivo não. A Fatoração de Matriz Negativa (NMF) explica os dados observados, utilizando um número limitado de componentes de base, o que, quando combinados aproximam os dados originais com a maior precisão possível. As características do NMF são: a matriz representa os componentes de base, bem como a matriz dos coeficientes de mistura, os quais são obrigados a ter entradas não-negativas, e que não ortogonalidade ou independência são as restrições impostas sobre os componentes de base. Isto leva a uma interpretação simples e intuitiva dos fatores em NMF, e permite que os componentes básicos a se sobrepor (<http://www.biomedcentral.com/1471-2105/11/367>).

Nesta pesquisa foi utilizado o modelo PMF 3.0 desenvolvido pela EPA dos EUA (Norris et al., 2008), para repartir a fontes de material particulado. A partir da concentração das espécies e respectivas incertezas, o programa calcula a

quantidade de fontes, os tipos, perfis, contribuições relativas e a série temporal. PMF tem sido utilizada recentemente em diversos estudos, constituindo uma ferramenta confiável para localizar e estimar fontes (Morishita et al., 2011). Pode ser considerado um aperfeiçoamento das técnicas multivariadas aplicadas na área de poluição do ar, pois incorpora as incertezas das variáveis associadas às medidas como peso, e ainda força todos os valores na solução dos perfis e das contribuições a serem não negativos.

O modelo PMF se desenvolveu com base no trabalho de Paatero e Tapper (1994) e Paatero (1997). Existe um software disponível na internet que faz os cálculos do PMF, disponível no endereço: <http://www.epa.gov/air/basic.html>, onde se pode baixar o programa, sendo que a versão utilizada EPA PMF 3.0, o qual exige dois arquivos de entrada: uma para a concentração medida da espécie, e uma para a incerteza estimada da concentração.

No PMF um único elemento pode contribuir para a classificação das fontes. Todavia, é o conjunto de elementos agrupados num mesmo fator que determina a fonte. Uma das principais observações ao se utilizar o PMF é determinar o número de fatores. De acordo com Reff et al. (2007), não há uma maneira exata de saber quantos fatores devem ser extraídos do conjunto de dados durante a análise usando a programação, pois ela é empírica. Uma das melhores formas de se obter o melhor valor de  $p$  é analisar o  $Q$ , porque se  $p$  aproxima o número de fatores do número de dados e suas incertezas respeitam o modelo bilinear, então o  $Q_{\text{teórico}}$  deve ser igual a aproximadamente o número de pontos de dados da matriz  $x_{ij}$ . Um bom ajuste é considerado quando os valores de  $Q$  são próximos do  $Q_{\text{teórico}}$ . Se a solução que se encontrar não tiver validade física, outros valores de  $p$  devem ser testados até que seja encontrada.

Um passo essencial na análise PMF é a determinação do número de fatores. Um método para a escolha do número de fatores é de avaliar o ajuste variável ( $Q$ ) – (função perda). Entretanto, o  $Q$  foi encontrado para diminuir suavemente o número de fatores e, contudo, da não dimensionalidade. É necessária a escolha do número de fatores para proporcionar resultados significativos e claros, que reduzem a matriz de dados o quanto for necessário. Os modelos com mais de quatro fatores não são considerados significativos, pois reduzem a dimensionalidade da matriz de dados, no caso da estação Pantanal. Foram realizados testes com 3, 4, 5, 6 e 7 fatores. Para o material particulado fino e grosso, o fator 4 foi o que apresentou um bom ajuste, sendo mais eficaz, reduzindo a dimensionalidade e, assim explicando as possíveis fontes de aerossóis no Pantanal. Assim, análise PMF serviu para identificar as fontes prováveis do material particulado na região do Pantanal.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Determinações das Concentrações nas Estações Seca-Úmida.

A concentração de massa coletada nos filtros foi analisada por gravimetria e a composição elementar, obtida a partir da análise multielementar de Fluorescência de Raios-X por energia dispersiva. Os filtros fino e grosso de todas as amostras de AFG, num total de 49, foram analisados para as concentrações de *black carbon* e de 25 elementos (Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Se, Br, Rb, Sr, Cd, Sb e Pb). Inicialmente, são apresentados os resultados obtidos na análise gravimétrica e da análise de refletância, na Figura 3 e 4, em que a escala no eixo x não é linear e marca o início e o término da amostragem dos filtros, que foi de 16 de abril de 2012 a 10 de agosto de 2013, somando um total de 15 meses.

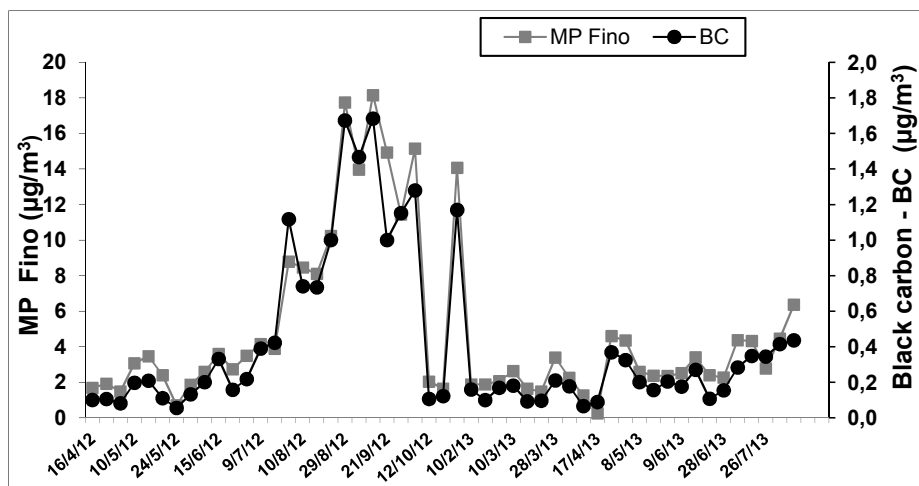
Na Figura 3, nota-se que as concentrações de BC fino acompanharam as variações das concentrações de material particulado fino, tanto na estação seca como chuvosa. O máximo de concentração de *black carbon* foi de  $1,68 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e de MPF  $18,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  observada no dia 12 de setembro de 2012, na estação seca. As maiores concentrações do material particulado fino ocorreram de julho a início de outubro de 2012. Esses períodos são caracterizados pela baixa taxa de precipitação e pela diminuição da eficiência dos processos de remoção (estação seca), com muitas queimadas nessa estação.

Pelo padrão nacional de qualidade do ar (Resolução CONAMA nº 03 de 28/06/90), foram separados dois tipos de padrão de qualidade: primário e secundário, em que o padrão primário para as partículas totais em suspensão amostrados em 24 h é de  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e para o padrão secundário é de  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Pela OMS (Organização Mundial da Saúde) – (2006),

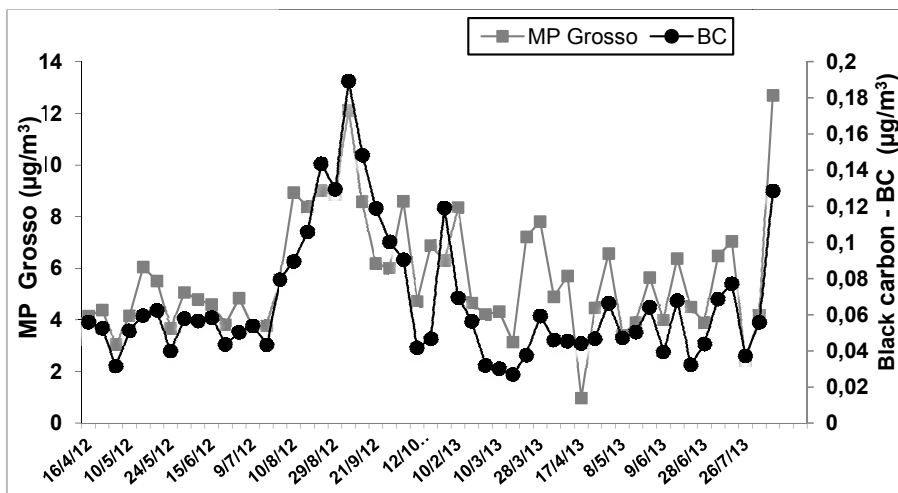
a média anual para o  $\text{MP}_{2,5}$  é de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e em 24 h,  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Pela legislação internacional, a USEPA (*United States Environmental Protection Agency*), o padrão de 24 horas para  $\text{MP}_{2,5}$  passou de  $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para  $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , e manteve o padrão anual de  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Observou-se que a estação Pantanal está dentro dos padrões de qualidade nacional, pela OMS e tanto para o padrão internacional, mesmo apresentando um pico alto na época da estação seca, que foi de  $18,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , não ultrapassou os padrões de qualidade do ar.

De acordo com a Figura 4, nota-se que as concentrações de BC grosso acompanharam as variações das concentrações de material particulado grosso, tanto na estação seca como na chuvosa. O máximo de concentração de *black carbon* foi de  $0,189 \mu\text{g}/\text{m}^3$  no dia 04 de setembro de 2012 e de MPG foi de  $12,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  no dia 10 de agosto de 2013. As maiores concentrações do material particulado grosso, ocorreram de agosto a início de outubro de 2012 e, se tivesse mais dados no ano de 2013, poder-se-ia notar um aumento na concentração a partir do mês de agosto de 2013. Observa-se que as concentrações de BC grosso e MPG diminuem a partir de outubro de 2012 devido a alta taxa de precipitação e um aumento de umidade, caracterizando a estação chuvosa no Pantanal.

Para o  $\text{MP}_{10}$ , o padrão brasileiro estabelece concentração média anual de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , quando o ideal segundo a OMS é de  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; e para concentração de 24 horas o padrão nacional é de  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$  enquanto o estabelecido pela organização é de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . O padrão anual para  $\text{MP}_{10}$  foi revogado devido à falta de evidências que ligam problemas de saúde a exposição em longo prazo (USEPA, 2006). Observou-se que a estação Pantanal está dentro dos padrões de qualidade nacional, pela OMS e para o padrão internacional, mesmo apresentando um pico alto na época da estação seca, que foi de  $12,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , não ultrapassou os padrões de qualidade do ar.



**Figura 3:** Variação da concentração de material particulado fino e BC, obtidos pelas técnicas de gravimetria e refletância, respectivamente, durante o experimento de amostragem no Pantanal.



**Figura 4:** Variação da concentração de material particulado grosso e BC, obtidos pelas técnicas de gravimetria e refletância, respectivamente, durante o experimento de amostragem no Pantanal.

Na Figura 3 e 4, observa-se que durante a estação seca até 90 % da concentração de *black carbon* está na fração fina do aerossol, resultados semelhantes foram encontrados por Marques (2011) em na cidade de Cuiabá. Também se verificou no mês de agosto/2012 que as concentrações de MPF foram até nove vezes superiores (chegando a 18 µg/m<sup>3</sup>) do que o registrado nos meses de chuvosos, tanto de 2012, quanto 2013 (valores em torno de 2 ng/m<sup>3</sup>). Para o MPG, podem-se notar concentrações até três vezes mais elevadas na estação seca do que na estação chuvosa.

Em Balbina (Amazônia Central), Artaxo et al. (2006) foram observados valores significativamente maiores durante a estação seca para as concentrações de BC e PM<sub>2,5</sub>, sugerindo que as emissões de queimadas estão alterando a atmosfera nessa região. Com é uma área que se caracteriza predominantemente por uma floresta nativa, as concentrações de aerossóis estão sendo alterada por emissões de queimadas provenientes de transporte a longa distância. De acordo com a Tabela 1 observam-se as concentrações de material particulado fino e grosso nas estações seca e chuvosa para diferentes estações.

Em Manaus, na estação ZF2-TT24 durante a estação seca, os valores médios de material particulado fino foram de 4,87 µg/m<sup>3</sup> e em Balbina foi de 5,4 µg/m<sup>3</sup>. Na estação chuvosa,

para Manaus foi 1,65 µg/m<sup>3</sup> e para Balbina, 3,4 µg/m<sup>3</sup>, sendo esse aumento na concentração na moda fina, o qual pode indicar possíveis influências de queimadas de pequeno porte nessa região e até mesmo transporte de longa distância de partículas emitidas de queimadas de outras regiões (Arana, 2009). Sendo que a concentração de BC\_F para Manaus foi de 0,325 µg/m<sup>3</sup> na estação seca e, na estação chuvosa, BC\_G foi de 0,094 µg/m<sup>3</sup>. Em Balbina, na estação seca, BC\_F foi de 0,418 µg/m<sup>3</sup>, na estação chuvosa, BC\_G foi de 0,250 µg/m<sup>3</sup> (Arana, 2009).

As médias das concentrações de MPF chegaram a 0,00866 µg/m<sup>3</sup>, enquanto que os de BC\_F foram de 0,00076µg/m<sup>3</sup> na estação seca para o Pantanal, sendo concentrações menores que as cidades observadas (Manaus, Balbina). Em Alta Floresta, as concentrações da moda fina são em torno de 2 a 3 µg/m<sup>3</sup> para a estação chuvosa (Schafer et al., 2008). Artaxo (2002) destaca que as concentrações de BC em áreas fortemente influenciadas por queimadas podem atingir valores de 10.000 a 30.000 ng/m<sup>3</sup>, ao invés dos baixos valores da ordem de 1680 ng/m<sup>3</sup> observados na estação seca no Pantanal. As médias das concentrações de MPG chegaram a 0,00314 µg/m<sup>3</sup> para a estação seca, enquanto que as de BC\_G, 0,00014µg/m<sup>3</sup> na estação chuvosa para o Pantanal, sendo concentrações menores do que nas cidades observadas (Manaus, Balbina).

**Tabela 1:** Média das concentrações de material particulado fino e grosso nas estações seca e chuvosa (Balbina, Manaus e Pantanal).

	Estação seca		Estação chuvosa			
	MPF (µg/m <sup>3</sup> )	MPG (µg/m <sup>3</sup> )	BC_F (µg/m <sup>3</sup> )	MPF (µg/m <sup>3</sup> )	MPG (µg/m <sup>3</sup> )	BC_G (µg/m <sup>3</sup> )
<b>Balbina</b>	5,4	6,7	0,418	3,4	7,8	0,250
<b>Manaus ZF2-TT24</b>	4,87	5,95	0,325	1,65	6,19	0,094
<b>Pantanal</b>	0,00866	0,00314	0,00076	0,00425	0,00544	0,00014

Em Manaus na estação chuvosa a concentração de partículas grossas foi de  $6,19 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e na estação seca,  $5,95 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Arana, 2009). Enquanto que BC na fração grossa em Manaus, na estação ZF2-TT24, foi de  $0,094 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Em Balbina, observa-se que a concentração da moda grossa na estação chuvosa é de  $7,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e, na estação seca,  $6,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Schafer et al. (2008), em Alta Floresta de agosto de 1992 a fevereiro de 2005, encontrou as concentrações de  $\text{PM}_{10}$  em torno de 9 a  $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$  na estação chuvosa o que indicou pouca influência de emissões de queimadas na região. Filho (2006) observou na estação seca  $2,41 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de BC e na estação chuvosa  $0,73 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

### 3.2 Modelo Receptor por Análise de Fatoração de Matriz Positiva (PMF)

No PMF um único elemento pode contribuir para a classificação de diversas fontes. Todavia, é o conjunto de elementos agrupados num mesmo fator que determina a fonte. Sendo assim, na Tabela 2, moda fina (estação seca), no Fator 1, notam-se baixas porcentagens dos elementos de MPF, BC\_F, Br, Mg, Al, Si, P, S, K, Ca, Ti, Fe e Zn provenientes da queima da biomassa, solo e emissão biogênica no Pantanal. Para Barbosa (2007), na cidade de Cuiabá, BC, S, K, Zn, Br, I e massa de MPF foram as variáveis associadas com a componente 1 que pode ser classificada como fonte de queima de biomassa, uma vez que para Guyon et al. (2004), Maenhaut et al. (2002) e Yamasoe et al. (2000), a presença de BC, K e S na fração fina do aerossol durante a estação seca, são indicadores característicos de emissões de queimadas.

Para Arana (2009), em Manaus, pela análise de fatores e cluster, altos valores de BC (traçador de emissões de queimadas) e os elementos Br, S, Cl, K e Zn; Poeira do solo, devido aos valores altos para os elementos Ti, Fe, Al, Si, Mn e Ca, traçadores de emissões de solo; Emissão biogênica natural representada pelos altos valores de P, o qual permanece isolado dos outros elementos também associados por emissões biogênicas.

No Fator 2, notam-se as porcentagens dos elementos: MPF, BC\_F, P, S, K e Br provenientes da queima da biomassa no Pantanal. De acordo com Arana (2009), BC, S, K, Br, I e massa de MPF foram as variáveis associadas com a componente principal 1 que pode ser classificado como fonte de queima da biomassa, uma vez que a presença de BC, K e S na moda fina do aerossol durante a estação seca, são indicadores característicos de emissões de queimadas de acordo com Guyon et al., (2004), Maenhaut et al. (2002) e Yamasoe et al., (2000)).

No Fator 3, notam-se porcentagens dos seguintes elementos: Al, Si, Ca e Fe provenientes de ressuspensão do solo, pode ser associadas às proximidades do site onde há tráfego veicular. 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. (2002), Lara et al. (2005), Pozza (2005).

Artaxo et al. (2006) destaca que as concentrações de Al, Si e Fe (elementos associados à ressuspensão de partículas do solo) aumentam do período de seca para estação chuvosa. No Pantanal, observa-se que a concentração de poeira do solo aumentou significativamente na estação seca, já que na

**Tabela 2:** Porcentagem de participação das espécies ( $\text{ng}/\text{m}^3$ ) nos fatores identificados no PMF na moda fina na estação seca. \*MPF e BC ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). As atribuições dessas fontes estão discutidas detalhadamente no texto. **Fator 1:** Queima da biomassa, solo e emissão biogênica; **Fator 2:** Queima da biomassa; **Fator 3:** Solo e queima da biomassa; **Fator 4:** Combustíveis fósseis.

Elementos	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4
MPF	<b>0.4430</b>	<b>0.1771</b>	<b>0.1954</b>	0.0370
BC_F	<b>0.0064</b>	<b>0.0017</b>	<b>0.0020</b>	0.0002
Na_F	0.0000	0.0000	0.1031	<b>5.0200</b>
Mg_F	<b>1.3812</b>	0.1389	<b>0.0901</b>	0.0782
Al_F	<b>11.3400</b>	0.0000	<b>0.0087</b>	0.8551
Si_F	<b>16.5880</b>	0.1569	<b>0.2202</b>	1.1708
P_F	<b>0.0353</b>	<b>0.4686</b>	<b>0.4104</b>	0.0000
S_F	<b>0.6012</b>	<b>0.2329</b>	0.0000	<b>1.5054</b>
Cl_F	0.0000	0.0000	4.7921	0.2338
K_F	<b>2.3462</b>	<b>1.3599</b>	<b>1.3690</b>	0.2153
Ca_F	<b>1.5109</b>	0.2028	<b>0.1779</b>	0.0614
Ti_F	<b>1.0749</b>	0.0034	<b>0.0000</b>	0.0782
Fe_F	<b>12.8790</b>	0.1961	<b>0.1605</b>	1.0286
Zn_F	<b>0.0242</b>	0.0084	<b>0.0108</b>	0.0010
Br_F	0.0000	<b>0.7740</b>	0.0000	0.1865



**Tabela 3:** Porcentagem de participação das espécies (ng/m<sup>3</sup>) nos fatores identificados no PMF na moda grossa na estação seca. \*MPF e BC (µg/m<sup>3</sup>). As atribuições dessas fontes estão discutidas detalhadamente no texto. **Fator 1:** Queima da biomassa; **Fator 2:** Ressuspensão do solo e queima da biomassa; **Fator 3:** Emissão biogênica; **Fator 4:** Emissão biogênica.

Elementos	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4
COM	<b>1.494</b>	<b>2.240</b>	<b>1.793</b>	0.000
BC_G	<b>0.022</b>	0.022	0.015	0.006
Na_G	2.465	0.000	0.000	<b>9.284</b>
Mg_G	9.844	<b>19.649</b>	2.151	2.201
Al_G	61.981	<b>179.680</b>	2.761	4.600
Si_G	114.940	<b>227.640</b>	0.000	<b>7.511</b>
P_G	<b>3.583</b>	0.000	<b>14.215</b>	0.000
S_G	<b>12.690</b>	<b>2.335</b>	<b>4.956</b>	<b>0.958</b>
Cl_G	0.000	0.597	2.797	<b>2.237</b>
K_G	<b>23.539</b>	<b>29.669</b>	<b>41.322</b>	0.000
Ca_G	<b>13.321</b>	<b>17.358</b>	4.165	<b>4.317</b>
Ti_G	<b>5.204</b>	<b>18.152</b>	0.562	0.029
Fe_G	<b>58.196</b>	<b>212.210</b>	12.876	<b>3.627</b>
Zn_G	0.346	<b>0.210</b>	<b>0.214</b>	<b>0.032</b>
Br_G	<b>0.456</b>	0.000	0.000	0.000

estação chuvosa o solo está completamente inundado e não há contribuição local de poeira do solo. Arana (2009), em Balbina, pela análise de fatores e cluster, altos valores de BC (traçador de emissões de queimadas) e os elementos Br, S, Cl, K e Zn provenientes da queima da biomassa.

No Fator 4 notam-se altas porcentagens dos elementos Na e S, que podem ser provenientes de combustíveis fósseis e para uma melhor compreensão necessita-se de mais dados.

Na Tabela 3, moda grossa (estação seca), no Fator 1, há presença P, S, BC\_G provenientes da queima da biomassa no Pantanal. Filho (2006) mostrou que a ACP identificou um agrupamento com elementos que caracterizam a queima da biomassa, tais como BC, MP, K, I, Br e S, tanto na fração fina, como na grossa durante a estação seca.

No Fator 2, há presença de Al, Si, Ca, Ti e Fe provenientes da poeira do solo, e BC\_G, S, K, Br provenientes da queima da biomassa no Pantanal. Artaxo et al. (2006) destacam que as concentrações de Al, Si e Fe (elementos associados à ressuspensão de partículas do solo) aumentam do período de seca para estação chuvosa). Para Barbosa (2007), pode ser identificado como fonte de ressuspensão do solo, pois apresenta associação com Al, Si, Sc, Ti, Mn, Zr, La, Sm, Th, que são elementos característicos da composição do solo. Arana (2009) observou os elementos Al, Fe, Si, Zn e Ca provenientes de poeira do solo, devido aos altos valores de loadings.

No Fator 3 e 4, há presença de S, P, K e Zn provenientes de emissão biogênica no Pantanal. Segundo Filho (2006) há contribuição de emissões biogênicas associadas aos seguintes elementos (MP, Cl, S, I, K, Br, Sr, Mn e P). Filho (2006) pela análise de agrupamento que complementa a ACP identificou o P como um elemento característico, como emissões biogênicas,

associado com K, S e Mn. Arana (2009) observou os traçadores identificados pelos elementos P e K provenientes de emissão biogênica.

#### 4. CONCLUSÃO

Utilizando metodologias analíticas e de amostragem, foi possível obter a caracterização e identificação das principais fontes de material particulado para a região do Pantanal.

No Pantanal (MT) foram identificados 15 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.

Uma grande diferença na contribuição de cada fonte de emissão de material particulado na atmosfera foi observada entre a estação seca 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. Por outro lado, a ressuspensão de poeira do solo dominou a moda grossa nesta estação.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos técnicos (Fabio, Fernando, Alcides, Ana Lúcia) do Laboratório de Física Atmosférica da Universidade de São Paulo (USP) pelo suporte na amostragem e análise dos dados experimentais usados no trabalho. A FAPESP pelo apoio financeiro ao projeto de pesquisa AEROCLIMA FAPESP 2008/58100-2. Ao PRONEX pelo apoio financeiro ao projeto de pesquisa processo n. 823971/2009.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARANA, A. **A composição elementar do aerossol atmosférico em Manaus e Balbina**, 2009. 98 p. Dissertação (Mestrado em Clima e Ambiente) – INPA - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Universidade Estadual do Amazonas.
- ARTAXO, P. **Aerosol sampling and analysis, in: Environmental Monitoring Handbook**, edited by Alex Guenther. McGraw-Hill, New York, USA, ISBN: 0-07-135176-0, 2002.
- ARTAXO, P.; OLIVEIRA, P. H.; LARA, L. L.; PAULIQUEVIS, T. M.; RIZZO, L. V.; JUNIOR, C. P.; PAIXÃO, M. A.; LONGO, K. M.; FREITAS, S.; CORREIA, A. Efeitos climáticos de partículas de aerossóis biogênicos e emitidos em queimadas na Amazônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, p. 168-189, 2006.
- BARBOSA, A. M. **Caracterização elementar sazonal do PM<sub>10</sub> e a influência das condições meteorológicas em Cuiabá – MT**, 2007. 104 p. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.
- BEGUM, B. A.; BISWAS, S. K.; MARKWITZ, A.; HOPKE, K. P. Identification of Sources of Fine and Coarse Particulate Matter in Dhaka, Bangladesh. **Aerosol and air Quality Research**, v.10, p. 345-353, 2010.
- CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS (CPTEC), 2012. **Boletim Climanalise 2012**. Disponível em:  
<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/> Acesso em 05 de janeiro de 2014.
- CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS (CPTEC), 2013. **Síntese Sinótica Mensal de 2013**. Disponível em:  
<http://www.cptec.inpe.br/noticias/faces/noticias.jsp?idConsulta=&idQuadros=109>. Acesso em 05 de janeiro de 2014.
- DA CUNHA, C. N., JUNK, W. J. The impact of Flooding on Distribution of woody plants communities along in the Pantanal of Poconé, Mato Grosso, Brazil. **Int. J. Ecol. Environ. Sci.**, v.27, n.525, p.63-70, 2000.
- DA CUNHA, C. N.; JUNK, W. J. Year-to-year changes in water level drive the invasion of *Vochysia divergens* in Pantanal grasslands. **Appl. Veg. Sci.**, v.7, p.103-110, 2004.
- DALMAGRO, H. J. **Capacidade Fotossintética de duas espécies invasoras do Pantanal e do Cerrado**, 2012. 77 p. Tese (Doutorado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.
- EPA Positive Matrix Factorization (PMF) 3.0. Fundamentals and User Guide, USEPA Office of Research and Development, 2008.
- FILHO, E. O. A. **Avaliação das fontes de emissão de material particulado na atmosfera da cidade de Cuiabá**, 2006. 87 p. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.
- FILHO, V. F. N. **Técnicas analíticas nucleares de Fluorescência de Raios-X por dispersão de energia (ED-XRF) e por reflexão total (TXRF)**, 1999.
- GARCIA, E. A. C., CASTRO, L. H. R. “**Análise da frequência de chuva no Pantanal Mato-Grossense**”. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 21, n. 9, p. 909-925, 1986.
- GUYON, P. GRAHAM, B.; ROBERTS, G. C.; BRACERO, O. L. M.; MAENHAUT, W.; ARTAXO, P.; ANDREAE, M. O. Source sofoptically aerosol particles over the Amazon forest. **Atmospheric Environment**, v. 38, p. 1039- 1051, 2004.
- HINDS, W. C. **Aerosol Technology: properties, behavior and measurement of airborne particles**, Jonh Wiley & Sons, 1999.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. Monitoramento de focos ativos por estado: Mato Grosso – Brasil. 2013. Disponível em:  
[http://www.inpe.br/queimadas/estatisticas\\_estado.php?estado=MT&nomeEstado=MATO%20GROSSO](http://www.inpe.br/queimadas/estatisticas_estado.php?estado=MT&nomeEstado=MATO%20GROSSO). Acesso em 5 janeiro de 2014.
- IPCC - 2007 – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2007. The Scientific Basis: Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the International Panel of Climate Change**. Edited by Houghton, J. T. et al. Cambridge University Press, New York, 2007.
- JUNK, W. J.; Pantanal: a large South American wetland at a crossroads. **Ecological Engineering**, 24, p. 391-401, 2005.
- 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.
- LOUREIRO, A. L.; RIBEIRO, A. R.; ARTAXO, P. Assesment of accuracy in aerossol sampling and elemental analysis, 4 th, International Aerosol Conference, Los Angeles, Califórnia, 1994.
- MAENHAUT, W.; FERNÁNDES-JIMÉNEZ, M. F.; RAJTA, I.; ARTAXO, P. Two-year study of atmospheric aerossol in Alta Floresta, Brazil: Multielemental composition and source apportionment. **Nuclear Instruments and Methods B**, v. 189, p.23-249, 2002.
- MARQUES, R. **Avaliação temporal da composição química das águas de chuva e do material particulado inalável: estudo aplicado a Cuiabá-MT**. 2011, 129 p. Tese (Doutorado em Ciências – Meteorologia), Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas – IAG, Universidade de São Paulo – USP.

- 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.
- MOREIRA, M. L. C.; VASCONCELOS, T.N.N. Mato Grosso: solos e paisagens. Cuiabá: Entrelinhas, 2011.
- MORISHITA, M.; KEELER, G. J.; KAMAL, A.S.; WAGNER, J.G.; HARKEMA, J. R.; ROHR, A. C.. Identification of ambient PM 2.5 sources and analysis of pollution episodes in Detroit, Michigan using highly time-resolved measurements. **Atmospheric Environment**, v. 45, p. 1627-1637, 2011.
- NORRIS, G.; WADE, K.; FOLEY, C. EPA Positive Matrix Factorization (PMF) 3.0 Fundamentals & User Guide, U. S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Washington, 2008.
- OMS - Organización Mundial de la Salud. Calidad del aire salud (2006). Disponível em: <<http://www.who.int>>. Acessado em 22/08/2014.
- PAATERO, P. Least squares formulation of robust non-negative factor analysis. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, v.37, p.23-35, 1997.
- PAATERO, P.; TAPPER, U. Positive Matrix Factorization: a non-negative factor model with optimal utilization of error estimates of data values. **Environmetrics**. v.5, p. 111-126, 1994.
- POZZA, S. A. **Identificação das fontes de poluição atmosférica na cidade de São Carlos-SP**. São Paulo. 2005. 104 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos.
- REFF, A.; EBERLY, S.I.; BHAVE, P.V. Receptor modeling of ambient particulate matter data using positive matrix factorization: review of existing methods. **Journal of the Air & Waste Management Association**. v. 57, p. 146-154, 2007.
- RIZZO, L. V. **Modelamento de propriedades físicas e químicas de aerossóis e suas interações com gases traços na Amazônia**, 2002, 240 p. Masters Thesis Instituto de Física da USP, São Paulo, São Paulo.
- SCHAFER, J. S.; ECK, T. F.; HOLBEN, B. N.; ARTAXO, P.; DUARTE, A. F. Characterization of the optical properties of atmospheric aerosols in Amazonia from long-term AERONET monitoring (1993-1995 and 1999-2006). **Journal of Geophysical Research**. v. 113, p. 1-16, 2008.
- SEINFELD, J. H.; PANDIS, S. N.; **Atmospheric Chemistry and Physics: from air pollution to climate change**, New York: John Wiley & Sons, Inc, 2006.
- SOUZA, R. L. M. **Balanco de energia na camada limite superficial sobre o Pantanal sul Mato – grossense – estação seca**, 2011. 121 p. Dissertação (Engenharia Civil) – COPPE – Programa de Pós – graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil.
- TARIFA, J.R.; **Mato Grosso: clima – análise e representação**. Cuiabá: Entrelinhas (Série Recursos Naturais e Estudos Ambientais da Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação Geral – SEPLAN-MT), 2011.
- USEPA – United States Environmental Protection Agency. National ambient air quality standards/Clean air act (2006). Disponível em: <<http://www.epa.gov/air/criteria.html>>. Acessado em: 22/08/2014.
- VOURLITIS, G.L.; LOBO, F.A.; BIUDES, M.S.; ORTÍZ, C.E.R.; NOGUEIRA, J.S. Spatial variations in soil chemistry and organic matter content across a *Vochysia divergens* invasion front in the Brazilian Pantanal. **Soil Science Society of America Journal**, SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA JOURNAL v.75, p.1553-1560, 2011.
- YAMASOE, M. A.; ARTAXO, P.; MIGUEL, A. H.; ALLEN, A. G. Chemical composition of aerosol particles from direct emissions of vegetation fires in the Amazon Basin: water-soluble species and trace elements. **Atmospheric Environment**, v. 34, p. 1641-1653, 2000.