

Análise de carbono elementar do Pantanal Mato-grossense através do Método de Análise de Espectro Singular (SSA)

Carbon element analysis of Mato Grosso Pantanal through the Singular Spectrum Analysis Method (SSA)

Anna Carolinna Albino Santos^{1(*)}

Raphael de Souza Rosa Gomes²

Josiel Maimone de Figueiredo³

Jose de Souza Nogueira⁴

Resumo

Este estudo mostra como o método não paramétrico de Análise de Espectro Singular (*SSA Singular Spectrum Analysis*) pode ser utilizado para determinar a tendência do carbono elementar na série temporal dos anos 2012-2013. O método foi aplicado para avaliar o comportamento mensal do carbono elementar mensal, registrado na estação Pantanal, localizada na Baía das Pedras, pertencente à Reserva Particular do Patrimônio Natural - RPPN SESC – Barão de Melgaço, (16°39'S; 56°47'O), localizado a cerca de 160 km de Cuiabá – MT, Pantanal Mato-grossense, Brasil. As amostras de aerossóis atmosféricos foram coletadas de abril de 2012 a agosto de 2013 e o dispositivo de amostragem consistiu em amostradores de particulado fino e grosso (AFG), que separam a fração fina do aerossol ($d_p < 2,5 \mu\text{m}$) e a fração grossa (2,5 – 10 μm). Para a reconstituição da série original, foram utilizados os quatro autovetores correspondentes. O carbono elementar fino e grosso destaca que o valor singular do autovetor 1 contém informação sobre a tendência da série. As demais componentes representam suas devidas periodicidades. As séries reconstruídas reproduziram satisfatoriamente o comportamento não linear das séries originais, indicando a Análise de Espectro Singular como uma nova ferramenta de auxílio nas concentrações de carbono elementar.

Palavras-chave: Black carbon; Carbono; Concentrações; Séries Temporais.

Abstract

This study shows how the non-parametric method of Singular Spectrum Analysis (SSA Singular Spectrum Analysis) can be used to determine the trend of elemental carbon in the 2012-2013 time series. The method was applied to assess the monthly behavior of the monthly elementary carbon recorded at the Pantanal station, located in Baía das Pedras, belonging to the Private Reserve of Natural Heritage - RPPN SESC - Barão

1 Dr.; Química; Universidade Federal do Mato Grosso - UFMT; Endereço: Av. Fernando Correa da Costa, 2.367, Bairro: Boa Esperança, CEP: 78060-900, Cuiabá - MT, Brasil; Email: anna.annilorac@gmail.com (*) Autor para correspondência;

2 Msc.; Físico Ambiental; Universidade Federal do Mato Grosso - UFMT; Endereço: Av. Fernando Correa da Costa, 2.367, Bairro: Boa Esperança, CEP: 78060-900, Cuiabá - MT, Brasil; Email: rafael.pgfa@gmail.com;

3 Dr.; Cientista da Computação; Universidade Federal do Mato Grosso - UFMT; Endereço: Av. Fernando Correa da Costa, 2.367, Bairro: Boa Esperança, CEP: 78060-900, Cuiabá - MT, Brasil; Email: raphael@ic.ufmt.br;

4 Dr.; Físico; Universidade Federal do Mato Grosso - UFMT; Endereço: Av. Fernando Correa da Costa, 2.367, Bairro: Boa Esperança, CEP: 78060-900, Cuiabá - MT, Brasil; Email: nogueira@ufmt.br

Recebido para publicação em 16/02/2015 e aceito em 12/08/2020

de Melgaço, (16°39'S; 56°47'O), located about 160 km from Cuiabá - MT, Pantanal Mato-grossense, Brazil. Atmospheric aerosol samples were collected from April 2012 to August 2013 and the sampling device consisted of fine and coarse particulate (AFG) samplers, which separate the fine fraction of the aerosol ($d_p < 2,5 \mu\text{m}$) and the fraction thick ($2,5 - 10 \mu\text{m}$). Thus, for the reconstruction of the original series, the four corresponding eigenvectors were used. Thus, for thin and thick elementary carbon, they highlight that the singular value of eigenvector 1 contains information about the series trend. The other components represent their periodicity. The reconstructed series satisfactorily reproduced the nonlinear behavior of the original series, indicating that Singular Spectrum Analysis as a new aid tool in elementary carbon concentrations.

Keywords: Black carbon; Carbon; Concentrations; Time Series.

INTRODUÇÃO

O aerossol é definido como partículas sólidas ou líquidas suspensas em um gás, com tamanho que varia de alguns nanômetros a dezenas de micrômetros (SEINFELD e PANDIS, 2006). Partículas procedentes de combustão incompleta, em geral, (veículos, indústrias, queimadas) apresentam maior abundância de partículas de fuligem, também conhecidas como negro de fumo. Em inglês, esse tipo de partícula é conhecido como *black carbon* (BC), é um composto carbonáceo predominantemente presente na fração fina do aerossol, produto de combustão incompleta e é essencialmente um poluente primário, emitido durante combustão incompleta de biomassa ou combustível fóssil, que apresenta forte coeficiente de absorção de luz, assim, influenciando de forma definitiva no balanço radiativo da atmosfera (SEINFELD e PANDIS, 2006).

O estudo foi conduzido no Pantanal Mato-Grossense, uma região de enorme importância ecológica e socioeconômica, uma planície intermitente e sazonalmente inundada, que se destaca pela sua vasta biodiversidade e pelo regime hidrológico peculiar (JUNK e DA SILVA, 1999). Apresenta dois regimes sazonais distintos, com épocas secas (de abril a setembro) e, a partir de outubro, épocas inundadas de acordo com a intensidade e a duração das precipitações. A água presente em períodos de inundação influencia nas trocas de energia entre a atmosfera e a biosfera dessa região (JUNK *et al.* 2005). O Pantanal desempenha um papel fundamental na manutenção do ciclo hidrológico e do clima de grande parte da América do Sul (SENA; ARTAXO; CORREIA, 2013).

O método Análise de Espectro Singular (SSA) provém da decomposição espectral de uma matriz em um conjunto de autovalores (ELSNER e TSONIS, 1996), ou seja, decompõe uma série temporal em uma soma de um pequeno número de componentes independentes e interpretáveis como: uma tendência de variação lenta, componentes oscilatórias e uma estrutura de ruído. SSA é uma ferramenta que pode ser usada para resolver os seguintes problemas: 1) encontrar tendências de diferentes resoluções; 2) suavizar séries temporais; 3) extrair componentes sazonais; 4) extrair ciclos com pequenos e grandes períodos; 5) extrair periodicidades com amplitudes variáveis; 6) extrair tendências complexas e periodicidades e 7) estruturar em séries temporais curtas (HASSANI; HERAV; ZHIGLJAVSKY, 2012).

Uma das vantagens do método proposto em SSA é sua abordagem não paramétrica; ou seja, não é necessário conhecer ou especificar o modelo paramétrico para a série temporal considerada.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho consiste em analisar a tendência do carbono elementar na série temporal dos anos 2012-2013, segundo o método não paramétrico de Análise de Espectro Singular (SSA).

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida em uma área localizada na Base Avançada de Pesquisas do Pantanal – Baía das Pedras, pertencente à Reserva Particular do Patrimônio Natural - RPPN SESC – Barão de Melgaço, (16°39'S; 56°47'O), localizado a cerca de 160 km de Cuiabá – MT, Pantanal Mato-grossense de acordo com a Figura 1. O solo da região é classificado como GLEISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico típico, o clima definido como Aw segundo Köppen e a fitofisionomia é de campo (DALMAGRO, 2012; VOURLITIS; LOBO; BIUDES; ORTÍZ, 2011).

Figura 1 - Base de coleta de dados na estação Pantanal.



Fonte: O autor.

O clima no Pantanal é do tipo Aw (Köppen), sendo quente e úmido, com um período seco no inverno pronunciado de maio a setembro e um período chuvoso no verão de outubro a abril. Os índices pluviométricos oscilam de 800 a 1.400 mm/ano, com 80% do total ocorrendo nos meses de novembro a março. O clima é fortemente sazonal, com temperatura média anual em torno de 25 °C sendo nos meses de setembro a dezembro, observadas as máximas temperaturas absolutas, ultrapassando os 40 °C. As temperaturas médias anuais variam entre máximas de 29 a 32 °C, e mínimas de 17 a 20°C (MOREIRA e VASCONCELOS, 2011).

Método de amostragem e caracterização de aerossóis

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 impaction, interception e diffusion, 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 (MAENHAUTN; FERNÁNDEZ-JIMÉNEZ; ARTAXO, 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 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 (SANTOS, 2016).

O AFG coleta em dois intervalos de tamanho as partículas de aerossóis. O material particulado é coletado por impaction 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 0,4 μm de diâmetro. Ambos os filtros possuem 47 mm de diâmetro (ARTAXO, 2002). O fluxo típico durante a amostragem foi de 14 LPM. 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 (SANTOS, 2016).

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 a 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 ^{210}Po , durante 24 horas para neutralizar as cargas elétricas agregadas a sua superfície, que podem alterar os resultados da pesagem (ARTAXO, 2002).

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 no período úmido e analisadas no Laboratório de Física Atmosférica (LFA) do Instituto de Física da Universidade de São Paulo (IFUSP). Entre novembro/2012 e janeiro/2013, uma série de problemas técnicos inviabilizou a coleta de amostras neste período, um deles devido à demora na construção do site, não se conseguiu um número bom de filtros no período chuvoso necessário para análise estatística; outro problema foi à queda da rede de energia na BAPP-UFMT. Contudo, necessita-se mais de coletas de filtros principalmente no período chuvoso para análise das possíveis fontes existentes na base Pantanal (SANTOS, 2016).

Foram consideradas as amostras do período seco com 40 amostras, sendo que os dados no período chuvoso que são apenas 09 amostras, não foram utilizados devido serem poucas, não possibilitando uma estatística devida e, assim necessitando de mais dados coletados para o período chuvoso (SANTOS, 2016).

Aconteceu casos de filtros que foram descartados da análise gravimétrica de *black carbon*, devido a entrada de água no inlet, pois a mangueira estava solta do filtro quando íamos 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; aconteceram casos que a bomba parou de funcionar podendo interferir no fluxo (SANTOS, 2016).

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. O aparelho foi ajustado com os filtros brancos para 100% de reflexão (RIZZO, 2002).

O equipamento utilizado foi um refletômetro, marca “DiffusionSistemLtda” modelo “SmokeStainReflectometer – 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; RIBEIRO; ARTAXO, 1994).]

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

Sendo que: R = Refletância (%); A = Área do filtro (14,4 cm²); V = Volume amostrado (m³).

Singular Spectrum Analysis

SSA é um método de processamento de sinais que pode ser utilizado, dentre outras aplicações, na remoção de ruído de séries temporais (GOLYANDINA e OSIPOV, 2007). A versão básica pode ser dividida em duas etapas: *decomposição* e *reconstrução*. O primeiro estágio inclui a inserção da série num espaço vetorial (*embedding*) e a decomposição em valores singulares (*Singular Value Decomposition – SVD*), enquanto o segundo estágio compreende o agrupamento dos autovetores e a diagonalização (GOLYANDINA e OSIPOV, 2007; HASSANI; HERAV; ZHIGLJAVSKY, 2012).

Considerando a série temporal $C_{e_N} = (C_{e_0}, \dots, C_{e_{N-1}})$ de tamanho N , fixa-se o tamanho de janela em L , de forma que a série original seja transformada em uma sequência de vetores defasados no tempo por L . A matriz de covariância dada pela Equação 2 para o conjunto defasado será dada por C_{ij} de forma que:

$$C_{ij} = \frac{1}{N-|i-j|} \sum_{t=1}^{N-|i-j|} C_e(t)C_e(t + |i - j|) \quad (2)$$

Na matriz C_{ij} todos os elementos da diagonal onde $i + j = \text{constante}$ são iguais, dessa forma os autoelementos (autovalores e autovetores) podem ser obtidos pela Equação 3:

$$C_{Wp} \rho_k = \lambda_k \rho_k \quad (3)$$

Onde C_{ij} representa a matriz de covariâncias para os vetores defasados, ρ_k e λ_k são respectivamente autovetores e autovalores para essa matriz, cujas dimensões são dadas pela Equação 4:

$$L \{Wp_i\}_{i=1}^K \quad (4)$$

Onde pela Equação 5:

$$K = N - L + 1 \quad (5)$$

Após o primeiro estágio (desconstrução da série), foi analisado o ranque para os autovalores estipulando assim quais seriam os devidos autovetores associados que representariam a série em sua reconstrução. Dessa forma, foram obtidas as componentes principais representativas para descrição do fenômeno pela Equação 6:

$$A_k(t) = \sum_{j=1}^L C e(t + j - 1) \rho_j \quad (6)$$

Onde $A_k(t)$ representa as componentes principais escritas em função dos autovetores escolhidos para representar a série. Por fim, a série é reconstruída em função de $A_k(t)$, sendo essa dada pela Equação 7:

$$R_k(t) = \frac{1}{M_t} \sum_{k \in L} \sum_{j=L_t}^{U_t} A_k(t - j + 1) \rho_k(j) \quad (7)$$

De forma que sejam satisfeitas as seguintes condições para o fator de normalização M_t e para os limites superiores e inferiores U_t e L_t (GHIL *et al.* 1991) pela Equação 8:

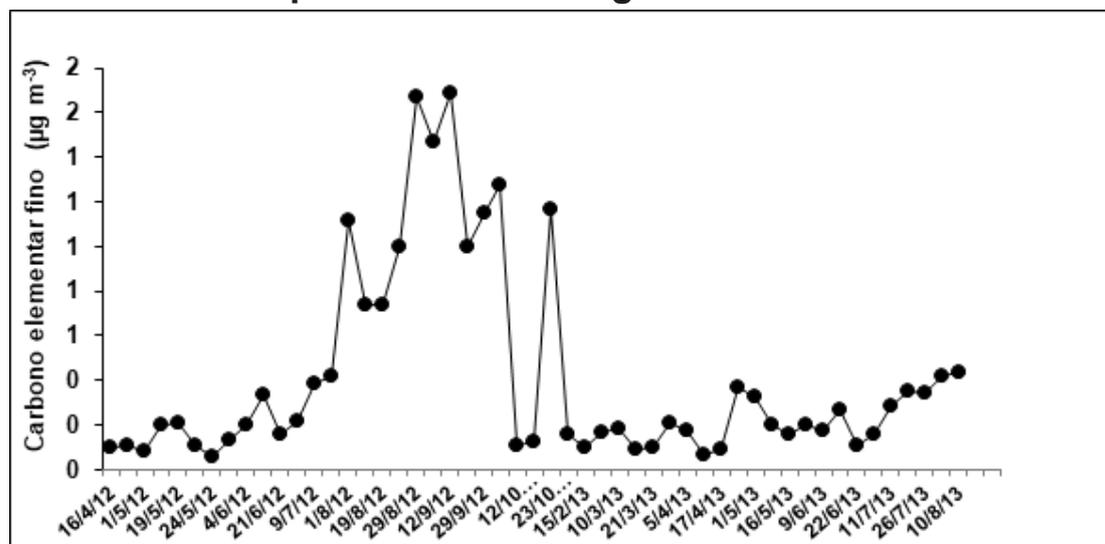
$$(M_t, L_t, U_t) = \begin{cases} \left(\frac{1}{t}, 1, t\right), & 1 \leq t \leq L - 1, \\ \left(\frac{1}{L}, 1, L\right), & L \leq t \leq K, \\ \left(\frac{1}{N-t+1}, t - N + L, L\right), & K + 1 \leq t \leq N \end{cases} \quad (8)$$

Os componentes reconstruídos têm a propriedade de captar a fase da série temporal, de forma que $C e(t)$ e $R_k(t)$ possam ser sobrepostas na mesma escala de tempo, ou seja, $1 \leq t \leq N$ (GHIL *et al.* 2002). Os resultados da análise da série temporal de carbono elementar da estação Pantanal são discutidos, a seguir.

Resultados e discussão

Nas Figuras 2 e 3, 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, totalizando 40 filtros no período seco.

Figura 2 - Série temporal da concentração de material particulado fino, obtidos pelas técnicas de gravimetria e refletância.



Fonte: A autora.

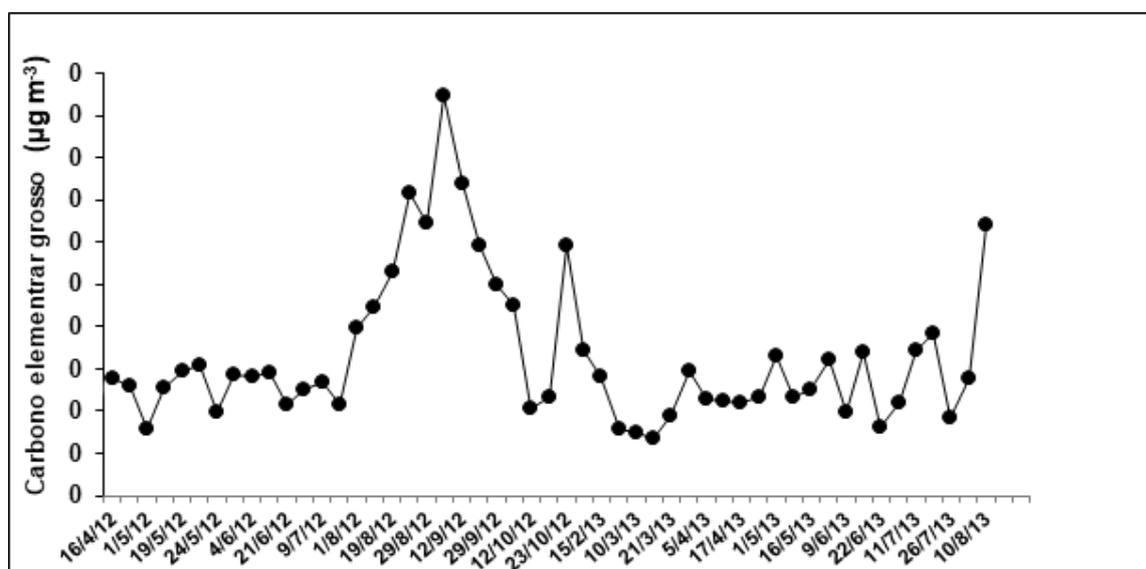
Na Figura 2, nota-se que o máximo de concentração de carbono elementar fino (C_e) foi de 1,68 $\mu\text{g m}^{-3}$, observada no dia 12 de setembro de 2012, no período seco. Esses períodos são caracterizados pela baixa taxa de precipitação e pela diminuição da eficiência dos processos de remoção (período seco), com muitas queimadas nesse período de acordo com a Tabela 1, nos meses de abril a outubro de 2012 (INPE, 2020; INMET, 2020).

Na Tabela 1 mostra-se a precipitação acumulada no período, à **média das temperaturas máximas e mínimas, o número de foco de queimadas retirados do site do INPE-Queimadas** (INPE, 2020) utilizando todos os satélites sobre o Estado de Mato Grosso. É notável a relação entre a redução de chuvas nos meses de julho até setembro e o aumento de queimadas, registra-se que as chuvas em setembro ocorreram no final desse mês.

É comum, durante o período seco (maio a setembro, mais especificamente), o transporte de fumaça do norte para o sul devido aos incêndios intensos que transportam também poeira do solo devido à atividade agrícola. Na transição inverno-primavera, as temperaturas aumentam substancialmente e a umidade relativa atinge níveis do deserto durante as tardes, podendo chegar abaixo de 10% (MOREIRA e VASCONCELOS, 2011).

Na Figura 3, nota-se que o máximo de concentração de carbono elementar grosso (C_g) foi de 0,189 $\mu\text{g m}^{-3}$, no dia 04 de setembro e no dia 10 de agosto de 2013. As maiores concentrações do material particulado grosso ocorreram de agosto a início de outubro de 2012. Observa-se aumento na concentração a partir do mês de agosto de 2013. Observa-se que as concentrações de BC grosso diminuem a partir de outubro de 2012 devido à alta taxa de precipitação e um aumento de umidade, caracterizando o período chuvoso no Pantanal.

Figura 3 - Série temporal da concentração de material particulado grosso, obtido pelas técnicas de gravimetria e refletância.



Fonte: A autora.

Tabela 1 - Dados mensais meteorológicos e de amostragem de filtros nos meses de abril a outubro de 2012.

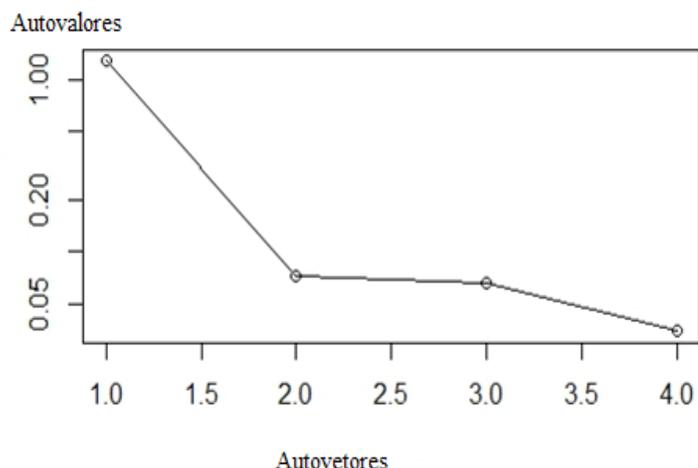
Mês	Precipitação (mm)*	T _{max} (°C)*	T _{min} (°C)*	Focos de queimadas**
Abril	51.1	33.79	22.8	2,877
Maio	264.2	32.2	19.4	9,421
Junho	33.3	31.0	18.4	24,163
Julho	0	32.0	16.2	27,012
Agosto	0	35.5	17.1	90,913
Setembro	40.3	38.0	139.9	155,038
Outubro	26	36.8	32.7	46,824

Fontes: (INMET, 2020)*, (INPE, 2020)**

Por apresentar uma periodicidade anual a série C_g foi defasada fixamente por L , onde conforme sugerido por Ghil *et al.* (2002) a razão $N/L=11$, dessa forma, o valor de defasagem foi fixado em $L=51$. Após a inserção da série no espaço vetorial realizado através da Equação 2, foram estipulados os autovalores e autovetores da série conforme a Equação 3. Os autovalores e autovetores estão representados na Figura 4 e 5 para o carbono elementar fino e grosso, respectivamente.

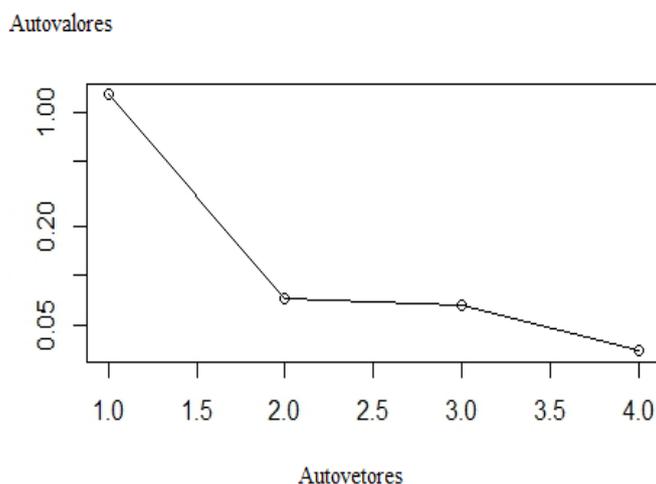
As Figuras 6 e 7 representam o agrupamento desses autovetores na formação de uma componente principal para carbono elementar fino e grosso. Observa-se que, para as variáveis carbono elementar fino e carbono elementar grosso, quatro autovalores se destacam dos demais. Assim, para a reconstituição da série original, foram utilizados os quatro autovetores correspondentes. Dessa maneira, tem-se que o carbono elementar fino e grosso destacam que o valor singular do autovetor 1 é considerado maior que os valores singulares dos outros autovetores,

Figura 4 - Autovalores resultantes da decomposição da série original (L=51) para carbono elementar fino.



Fonte: A autora.

Figura 5 - Autovalores resultantes da decomposição da série original (L=51) para carbono elementar grosso.



Fonte: A autora.

ou seja, ele não se apresenta dentro de um par de valores semelhantes. Sendo assim, o autovetor 1 não está correlacionado com outros autovetores extraídos das séries. Conseqüentemente, o autovetor 1 contém informação sobre a tendência da série. As demais componentes representam suas devidas periodicidades.

A segunda componente mostra uma oscilação decorrente dos períodos seco e chuvoso durante o ano para a estação Pantanal, em que os picos positivos correspondem ao período que antecede as precipitações na região. A terceira e quarta componente representam as variações que antecedem os períodos de chuva e seca.

De acordo com Hassani (2007) e Golyandina e Osipov (2007), uma componente é definida por um par de autovetores de um mesmo período e valores singulares próximos e, um autovetor isolado é responsável pela tendência da série. Neste trabalho, os autovetores de ordem menos importante ($\text{index} > 6$), ou seja, do número 4 em diante possivelmente estão relacionados a ruído e oscilações, não sendo de interesse para o mesmo (GHIL *et al.* 2002; DESTRO; LIMA; ZEILHOFER, 2012).

Foi verificado que, do total de 51 autovalores calculados, estes explicam 86,528% dos dados originais para o carbono elementar fino e 94,085% para o carbono elementar grosso. Tal fato é justificado pelas pequenas formas de oscilações na distribuição temporal de carbono elementar de forma que a técnica de SSA possui perceptíveis dificuldades em lidar com a amplitude de tais oscilações. Entretanto, os dados explicados evidenciam claramente os padrões sazonais, assim como as flutuações entre o atraso ou antecedência do período seco na área de estudo (PALÁCIOS *et al.* 2016).

Hassani (2007) e Golyandina Golyandina e Osipov (2007) destacam que dois autovetores da mesma componente periódica estão fortemente correlacionados entre si, mas não estão correlacionados com os autovetores das outras componentes. Uma das formas de se medir esse grau de dependência entre os autovetores é por meio da análise de correlação. Quanto maior for o módulo do coeficiente de correlação, maior é a relação e, conseqüentemente, a dependência entre os autovetores.

As Figuras 8 e 9 mostram os coeficientes de correlação entre os quatro autovetores defasados, tanto para o carbono elementar fino e grosso, o autovetor 1 contém informação sobre a tendência da série; os autovetores 2, 3 e 4 representam suas devidas periodicidades.

De acordo com Ghil *et al.* (2002), Destro; Lima; Zeilhofer (2012) e analisando o índice de Oscilação Sul (SOI, Southern Oscillation Index), o comportamento geral ou tendência da série é dada pelo primeiro valor singular, enquanto os demais representam as principais periodicidades da série.

A reconstrução da série foi realizada utilizando-se a primeira componente principal, sendo assim a série temporal descrita em função de sua tendência geral, e oscilações anuais, em relação ao período seco e chuvoso, facilmente entendidas em função da sazonalidade característica da área de estudo.

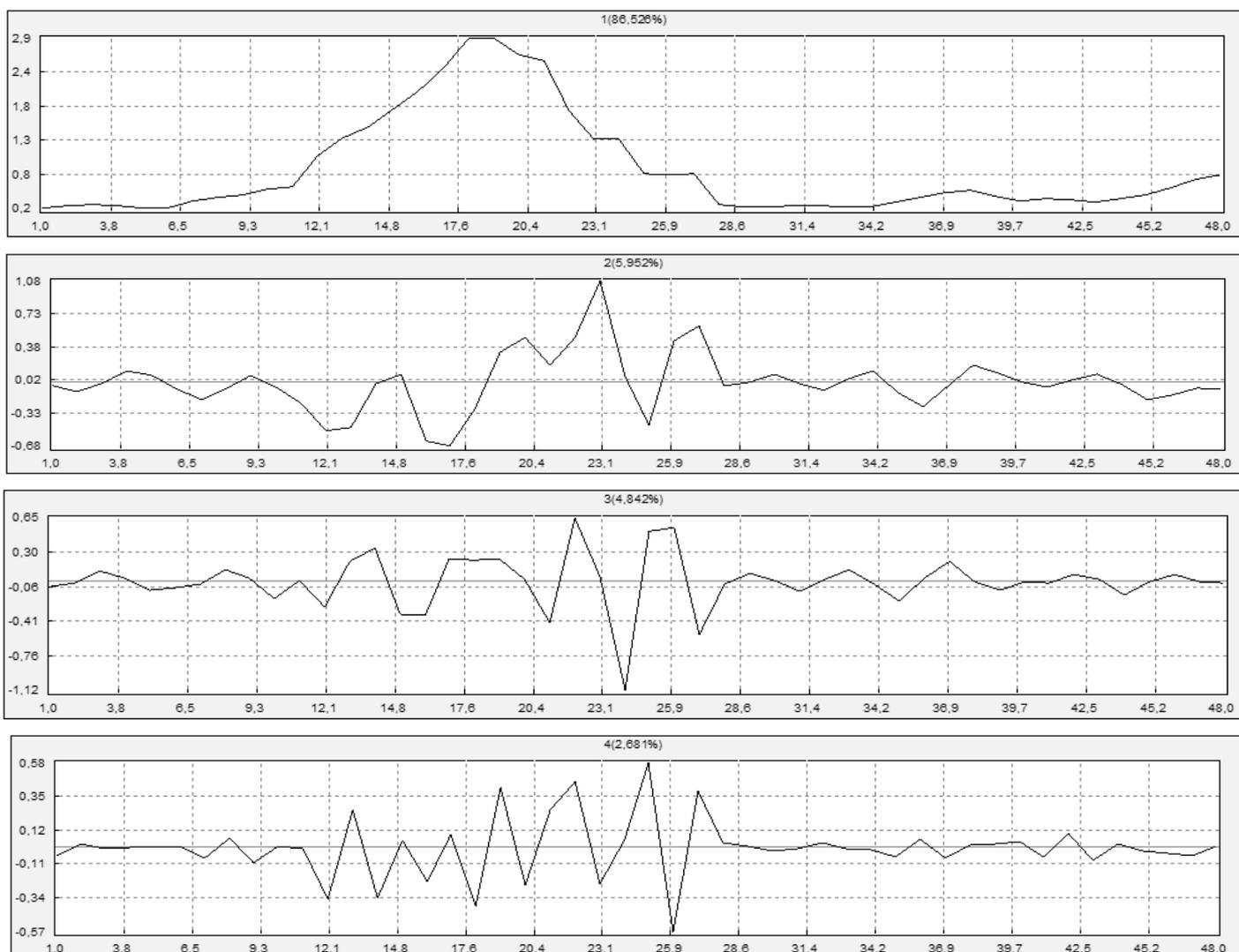
As Figuras 10 e 11 representam a série original e a série reconstruída a partir das duas primeiras componentes principais para carbono elementar fino e grosso.

Na Figura 10, o máximo de concentração de carbono elementar fino foi no dia 12 de setembro de 2012, no período seco com concentração de 1,68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para a série original comparada com a reconstruída. Esse período é caracterizado pela baixa taxa de precipitação e pela diminuição da eficiência dos processos de remoção (período seco), com muitas queimadas na região (SANTOS *et al.* 2016).

Na Figura 11, o máximo de concentração de carbono elementar grosso foi no dia 04 de setembro de 2012, com concentração de 0,189 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para a série original comparada com a reconstruída. Observa-se que as concentrações carbono elementar grosso diminuem a partir de outubro de 2012 devido à alta taxa de precipitação e um aumento de umidade, caracterizando o período chuvoso no Pantanal (SANTOS *et al.* 2016).

As principais periodicidades analisadas neste trabalho, juntamente com a tendência geral da série descrita pela primeira componente principal representam as principais oscilações temporais

Figura 6 - Componentes principais formadas a partir dos 4 primeiros autovetores para o carbono elementar fino.



Fonte: A autora.

para o carbono elementar fino e grosso sobre a região do Pantanal. A variância encontrada foi consideravelmente menor que a variância da série original. A série reconstruída para o carbono elementar fino e grosso modela as amplitudes da série original, explicando claramente as periodicidades reais da série assim como sua variação ao longo da série analisada (Figuras 10 e 11).

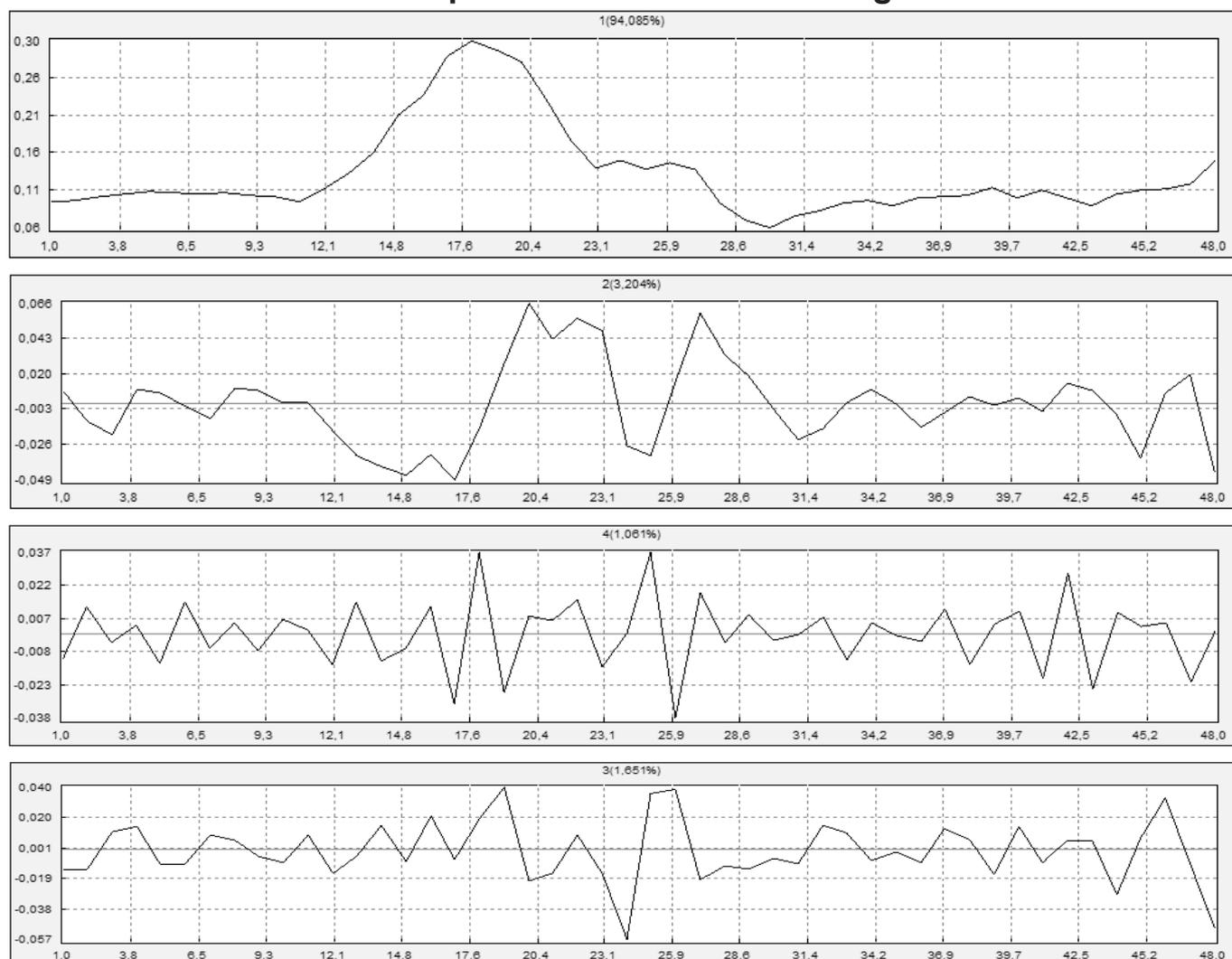
Conclusão

O resultado obtido na análise de espectro singular dos valores de carbono elementar fino e grosso conclui que o método extrai informações sobre a variável estudada e suas respectivas periodicidades.

Há uma maior concentração de carbono elementar na fração fina do aerossol e a redução das concentrações de carbono elementar na fração grossa no período chuvoso é devido às chuvas que são frequentes nesse período. Verifica-se que as maiores concentrações de carbono elementar fino e grosso foram de 1,68 e 0,189 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ durante o período seco e chuvoso no Pantanal.

A primeira componente principal que se obteve pela interpretação do primeiro autovetor, forneceu informações sobre a tendência da série e uma periodicidade anual com valores máximos

Figura 7 - Componentes principais formadas a partir dos 4 primeiros autovetores para o carbono elementar grosso.



Fonte: A autora.

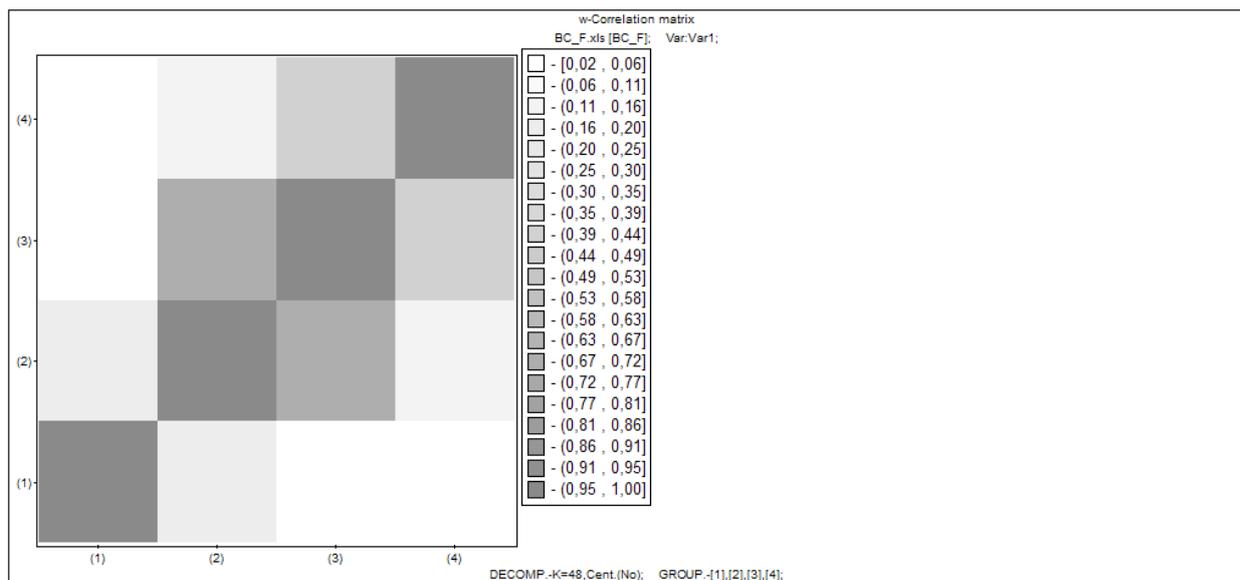
que antecedem os eventos de precipitação e mínimos durante a seca. A terceira e quarta componentes mostram uma periodicidade de aproximadamente seis meses, o qual se explica pelos períodos de transição da estação seca e chuvosa na área de estudo.

A série resultante confirma que os autovetores dão origem a componente de tendência da série original. A reconstrução da série de *C_e* (carbono elementar) foi realizada com o mínimo possível de autovalores ou valores singulares, contudo moldam as amplitudes da série original e explicam as periodicidades reais da série bem como sua variação ao longo do período estudado e, assim, sendo de grande importância em futuros estudos e interpretações da dinâmica da variável estudada.

Referências bibliográficas

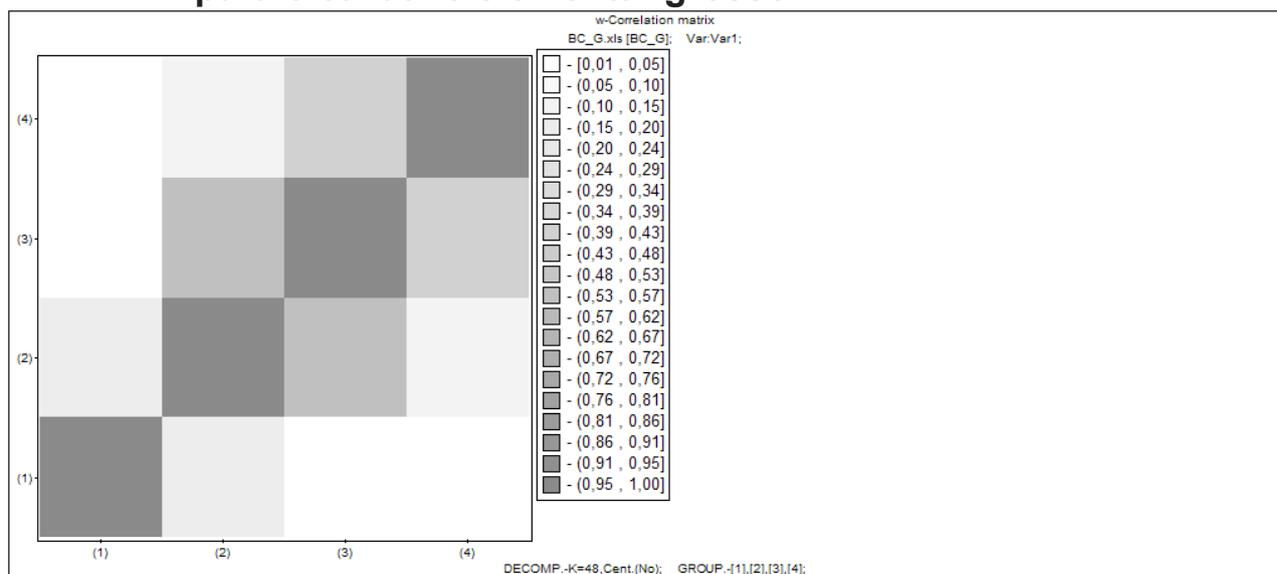
ARTAXO, Paulo. Aerosol sampling and analysis, in: Environmental Monitoring Handbook, edited by Alex Guenther. McGraw-Hill, New York, USA, ISBN: 0-07-135176-0, 2002.

Figura 8 - Matriz de correlação entre os quatro primeiros autovetores para o carbono elementar fino.



Fonte: A autora.

Figura 9 - Matriz de correlação entre os quatro primeiros autovetores para o carbono elementar grosso.



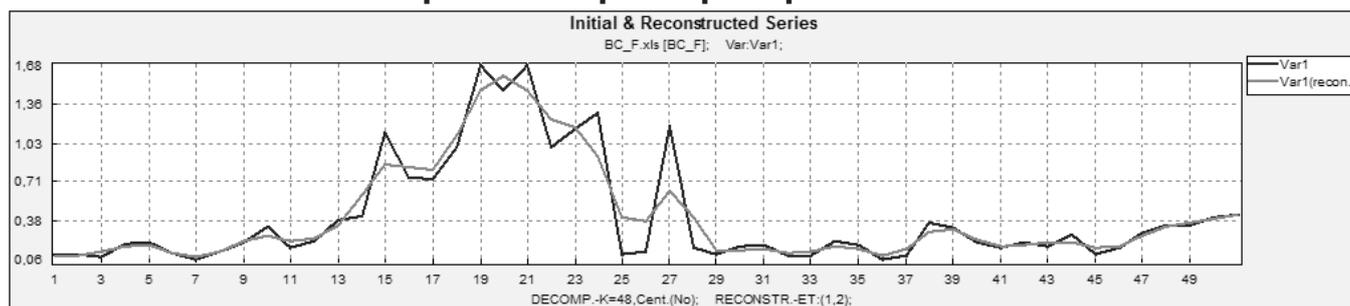
Fonte: A autora.

BARBOSA, Andreia Maria. Caracterização elementar sazonal do PM10 e a influência das condições meteorológicas em Cuiabá – MT, 2007. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

BEGUM, Bilkis Ara; BISWAS, Swapan K.; MARKWITZ, Andreas; HOPKE, Philip K.. Identification of Sources of Fine and Coarse Particulate Matter in Dhaka, Bangladesh. **Aerosol and air Quality Research**, v.10, p. 345-353, 2010.

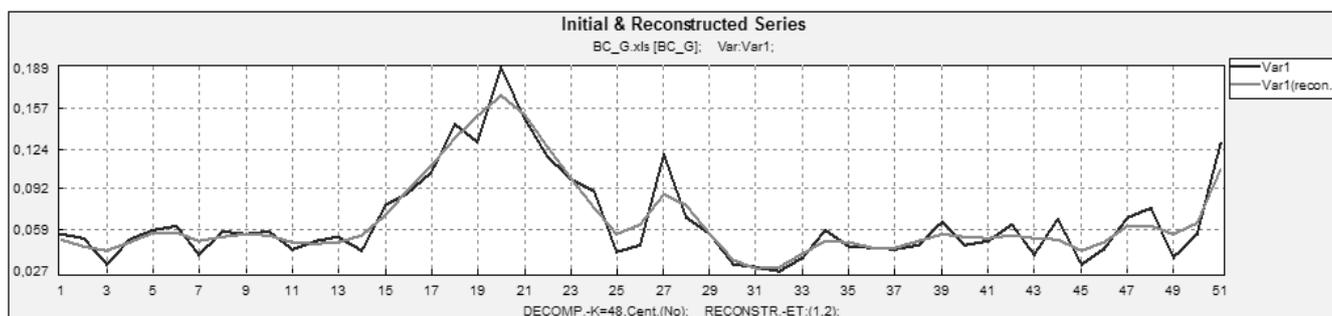
DA CUNHA, Catia Nunes da; JUNK, Wolfgang Johannes. The impact of Flooding on

Figura 10 - Representação da série original e da série reconstruída com três componentes principais para carbono elementar fino.



Fonte: A autora.

Figura 11 - Representação da série original e da série reconstruída com três componentes principais para carbono elementar grosso.



Fonte: A autora.

Distribution of woody plants communities along in the Pantanal of Poconé, Mato Grosso, Brazil. *Int. J. Ecol. Environ. Sci.*, [S. l.], v. 27, 2000.

DALMAGRO, Higo José. **Capacidade Fotossintética de duas espécies invasoras do Pantanal e do Cerrado**, 2012. Tese (Doutorado em Física Ambiental)- Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

DESTRO, Cesar Augusto Medeiros; LIMA, Gilson Alberto Rosa; ZEILHOFER, Peter. Análise de séries temporais de vazão média mensal do Rio Cuiabá através do método de Análise de Espectro Singular. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 17, n. 2, p. 111-120, 2012.

ELSNER, James B.; TSONIS, Anastasios A. **Singular Spectrum Analysis: A New Tool in Time Series Analysis**. Plenum Press, New York and London, 164 p, 1996.

GHIL, Michael *et al.* Advanced spectral methods for climatic time series. *Reviews of Geophysics*, v. 40, p. 3.1-3.40, 2002.

GHIL, Michael; VAUTARD, Robert. Interdecadal oscillations and the warning trend

in global temperature time series. **Nature**, v. 350, p. 324-327, 1991.

GOLYANDINA, Nina E.; OSIPOV, E. The “Caterpillar”-SSA method for analysis of time series with missing values. **Journal of Statistical Planning and Inference**. v. 137, p. 2642-2653, 2007.

HASSANI, Hossein; HERAVI, Saeed; ZHIGLJAVSKY, Anatoly. Forecasting UK Industrial Production with Multivariate Singular Spectrum Analysis, presented at the 2012. **International Conference on the Singular Spectrum Analysis and its applications**, Beijing, China, 2012.

HINDS, Willian C. **Aerosol Technology: properties, behavior and measurement of airborne particles**. Jonh Wileu & Sons, 1999.

INPE. **Instituto Nacional de Pesquisa Espacial - Queimadas**. Disponível em: <http://queimadas.dgi.inpe.br/>. Acesso em: 20 de julho de 2020.

INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia**. Disponível <http://www.inmet.gov.br>. Acesso em: 20 de julho de 2020.

JUNK, Wolfgang J.; DA SILVA Carolina Joana. **O conceito do pulso de inundação e suas implicações para o Pantanal Mato Grossense**, p. 17 – 28. In: Anais do II Simpósio sobre Recursos Naturais e Sócio – econômicos do Pantanal – Manejo e Conservação. Corumbá, EMPRAPA Pantanal, p. 535, 1999.

JUNK, Wolfgang J.; Pantanal: a large South American wetland at a crossroads. **Ecological engineering**. 24, p. 391-401, 2005.

LOUREIRO, Ana Lucia; RIBEIRO, A. R.; ARTAXO, Paulo. Assesment of accuracy in aerossol sampling and elemental analysis, 4 th, International Aerosol Conference, Los Angeles, Califórnia, 1994.

MAENHAUT, Willy; FERNÁNDES-JIMÉNEZ, Maria-Tereza; RAJTA, Istvan; ARTAXO, Paulo. 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.

MOREIRA, Maria Lucidalva Costa; VASCONCELOS, Teresa Neide Nunes. **Mato Grosso: solos e paisagens**. Cuiabá: Entrelinhas, 2011.

PALÁCIOS, Rafael da Silva; MARQUES, João Basso; PRADO, Magdiel Josias do; MUSIS, Carlo Ralph de; SALLO, Fernando da Silva; SANCHES, Luciana; PAULO, Sérgio Roberto de; NOGUEIRA, José de Souza. Análise de espectro singular e Wavelet sobre série temporal de profundidade ótica de aerossóis no Pantanal do Brasil, **Revista Brasileira de Metereologia**, n.4, v.31, p.527-537, 2016.

RIZZO, Luciana Varanda. **Modelamento de propriedades físicas e químicas de aerossóis e suas interações com gases traços na Amazônia**, 2002. Tese (Doutorado em Física Atmosférica) - Instituto de Física da USP, São Paulo, São Paulo.

SANTOS, Anna Carolinna Albino; FINGER, Amanda; NOGUEIRA, José de Souza; CURADO, Leone F.A.; PALÁCIOS, Rafael da Silva; PEREIRA, Vinicius Marcio Rodrigues. Análise da concentração e composição de aerossóis de queimadas no Pantanal Mato-grossense, **Química Nova**, n.8, v. 39, p. 919 – 924, 2016.

SEINFELD, John H.; PANDIS, Sypros N. **Atmospheric Chemistry and Physics: from air pollution to climate change**, New York: John Wiley & Sons, Inc, 2006.

SENA, Elisa T.; ARTAXO, Paulo; CORREIA, Alexandre L. Spatial variability of the direct radiative forcing of biomass burning aerosol and the effects of land use change in Amazonia. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 13, p. 1261-1275, 2013.

VOURLITIS, George L.; LOBO, Francisco de Almeida; BIUDES, Marcelo Sacardi; ORTÍZ, Carmen Eugenia Rodrigues; NOGUEIRA, José de Souza. Spatial variations in soil chemistry and organic matter content across a *Vochysia divergens* invasion front in the Brazilian Pantanal. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.75, p.1553-1560, 2011.