



A influência dos marcadores de queima de biomassa no material particulado da atmosfera urbana de Manaus-AM

Elaine C. da S. Pereira^{1*}(PG), Cristine de M. D. Machado¹ (PQ), Karenn S. Fernandes¹(PQ)

¹Universidade Federal do Amazonas, Departamento de Química, Av. Rodrigo Otávio Jordão Ramos, 6200, Coroado I, 69080-900, Manaus AM, Brasil.

* pereira.elainecristina@gmail.com

Palavras-Chave: Material particulado, Queima de biomassa, Marcadores químicos, El Niño.

Introdução

Na Amazônia, os incêndios florestais e a queima de biomassa são fontes importantes de emissões de material particulado (MP) para atmosfera. O termo MP é utilizado para definir partículas sólidas e líquidas suspensas na atmosfera de tamanhos e composição química variável¹. O MP proveniente das queimadas é composto por uma mistura complexa de substâncias químicas, incluindo *black carbon* e compostos orgânicos e inorgânicos. Devido essa diversidade dos compostos que compõem o MP, são necessários marcadores que possibilitem avaliação das suas fontes³. Dentre os principais marcadores estudados no MP, destaca-se o levoglucosano (1,6-anidro- β -D-glucopiranosose – LEV), conhecido por ser um marcador específico da queima de biomassa pois é produzido a partir da pirólise de carboidratos como a celulose²; o íon potássio (K^+), nutriente essencial para as plantas presente em grandes quantidades de tecidos vegetais que durante a queima de biomassa é volatilizado e liberado para a atmosfera na forma de partículas solúveis (como KCl ou K_2SO_4)⁴ e o *black carbon* (BC), emitido diretamente na atmosfera, pela queima incompleta de combustíveis de carbono⁵. Diante desse contexto, é fundamental avaliar o MP coletado em uma área urbana da cidade de Manaus, nas frações partícula total em suspensão (PTS) e material particulado fino ($MP_{2,5}$) durante a estação seca dos anos de 2022 (setembro a novembro) e 2023 (agosto a novembro), período em que há maior ocorrência de queimadas, com o intuito de identificar os marcadores específicos de queima de biomassa no MP atmosférico e associá-los às suas principais fontes emissoras.

Material e Métodos

A amostragem foi realizada em uma área urbana de Manaus onde foi instalado dois amostradores de grandes volumes (HI-VOL), um para PTS e outro para $MP_{2,5}$, que operam com sucção de ar (fluxo de 1,13 m³/min/24h). As amostras foram coletadas durante a estação seca dos anos de 2022 (setembro a novembro) e 2023 (agosto a novembro), conforme a legislação vigente (Resolução CONAMA nº 506/2024) e regido pelas normas técnicas da ABNT NBR nº 9547/1997 em filtros de quartzos previamente calcinados em mufla e pesados, para obtenção da massa de MP coletado. A técnica utilizada para identificação e quantificação do levoglucosano (LEV) extraído do MP, foi a cromatografia a gás em combinação com a espectrometria de massas (CG-EM). Nessa técnica, há necessidade de extração (10 mL de metanol sob agitação em ultrassom por 45 min), seguido de filtração, secagem em baixo

fluxo de N₂ (150 min) e derivatização (100 μ L de bis-(trimetilsilil)-trifluoroacetamida (BSTFA) e 50 μ L de piridina a 70°C/1h em banho seco). Para a caracterização química dos íons de potássio (K^+) foi utilizada a Cromatografia de Íons (CI) com os extratos aquosos das amostras de MP. Antes da análise no CI, as amostras passam pelas etapas de extração (10 mL de água deionizada sob agitação ultrassônica por 30 min), filtragem e aferição de pH e condutividade. A determinação de *black carbon* (BC), foi realizada através do método de reflectância de luz, utilizando Reflectômetro.

Resultados e Discussão

Na primeira campanha (setembro a novembro de 2022), os resultados apontaram que as concentrações de PTS e $MP_{2,5}$, ficaram em conformidade com a legislação nacional. No entanto, para as recomendações da OMS, a fração de $MP_{2,5}$ ultrapassou o limite estabelecido em 64%. Na segunda campanha (agosto a novembro de 2023), os efeitos do fenômeno do El Niño contribuíram para um aporte maior de partículas em suspensão na atmosfera, aumentando em 36% as concentrações de PTS e 48% as concentrações de $MP_{2,5}$. Porém, mesmo com concentrações elevadas para a fração PTS, não foram maiores que o padrão primário de qualidade do ar estipulado pela Resolução do CONAMA. Mas, para a fração $MP_{2,5}$, o padrão estabelecido pela legislação nacional foi excedido 19% e o limite da OMS, ultrapassado em 96%. Esses resultados trazem uma preocupação, pois essa fração de MP em especial ($MP_{2,5}$) está diretamente associado à saúde pública devido à sua capacidade de penetrar profundamente no sistema respiratório. As concentrações de todos os marcadores de queima de biomassa analisados em 2023 também foram maiores em comparação ao ano anterior (Tabela 1), mostrando a influência das condições climáticas e da queima de biomassa sobre o MP na área urbana de Manaus.

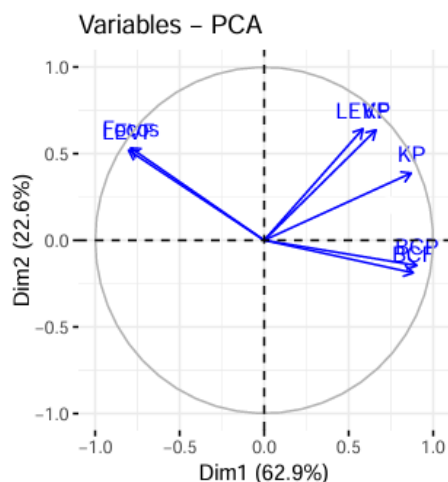
Tabela 1 – Concentração Média dos marcadores de queima de biomassa, 2022 e 2023 e seu percentual de aumento

Marcadores	2022 M (μ g/m ³) \pm DP	2023 M (μ g/m ³) \pm DP	Aumento (%)
LEV _P	0,43 \pm 0,67	1,38 \pm 1,01	68
LEV _F	1,12 \pm 0,93	1,51 \pm 1,51	25
BC _P	1,87 \pm 0,53	2,68 \pm 0,66	30
BC _F	1,81 \pm 0,59	2,36 \pm 0,75	23
K _P	0,29 \pm 0,12	0,39 \pm 0,13	26
K _F	0,27 \pm 0,12	0,36 \pm 0,13	25

M – Média; DP – Desvio Padrão; LEV_P – Levoglucosano PTS; LEV_F – Levoglucosano $MP_{2,5}$; BC_P – Black Carbon PTS; BC_F – Black Carbon $MP_{2,5}$; K_P – Potássio PTS; K_F – Potássio $MP_{2,5}$

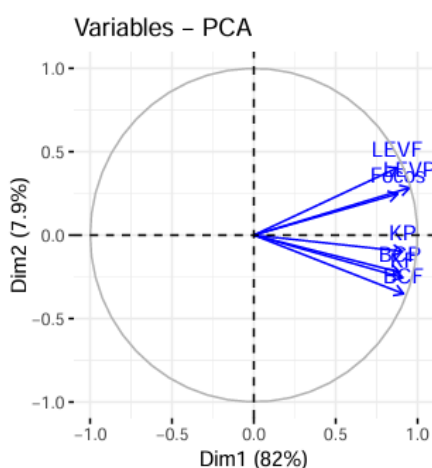
A análise dos componentes principais (PCA) dos marcadores de queima de biomassa (LEV_P , LEV_F , BC_P , BC_F , K_P e K_F) e focos de queimadas (**Figura 1**) mostrou que em 2022, os marcadores (LEV_P , K_P e K_F) apresentaram boa correlação entre si, comprovando similaridade na sua origem. Mostrou ainda, a forte correlação entre o marcador LEV_F e os focos de queimadas, comprovando que o aumento na concentração de Levoglucosano na forma de $MP_{2,5}$ está diretamente associado a queima de biomassa.

Figura 1 – Análise dos componentes principais (PCA) dos marcadores de queima de biomassa (LEV_P , LEV_F , BC_P , BC_F , K_P e K_F) e os focos de queimadas em 2022



O PCA dos marcadores de queima de biomassa e focos de queimadas de 2023 (**Figura 2**), mostrou que todos os marcadores avaliados apresentaram forte correlação positiva entre si, com vetores orientados na mesma direção. Essa ausência de variáveis em oposição ou em direções ortogonais reforça a interpretação de que os marcadores estão relacionados a mesma fonte emissão.

Figura 2 – Análise dos componentes principais (PCA) dos marcadores de queima de biomassa (LEV_P , LEV_F , BC_P , BC_F , K_P e K_F) e os focos de queimadas em 2023



Conclusões

Neste estudo, foi possível observar que os efeitos do El Niño em 2023, principalmente temperaturas mais altas, menor umidade relativa do ar e redução das chuvas, favoreceram o aumento dos focos de incêndios, e com isso, contribuíram para aumentar as concentrações de MP em 36% (PTS) e 48% ($MP_{2,5}$) em relação ao mesmo período do ano de 2022. Mostrou também que as concentrações de todos os marcadores de queima de biomassa analisados em 2023 foram maiores em comparação ao ano anterior (68% de LEV_P , 25% de LEV_F , 30% de BC_P , 23% de BC_F , 26 % de K_P e 25% de K_F), evidenciando a influência das condições climáticas e da queima de biomassa sobre o MP na área urbana de Manaus. A análise dos componentes principais (PCA) dos marcadores de queima de biomassa e focos de queimadas mostrou que em 2023, as emissões desses marcadores estão mais relacionadas a fontes de queima de biomassa do que a combustíveis fósseis ou resíduos industriais, reforçando a origem comum dos marcadores desse estudo: a queima de biomassa. Por fim, este estudo constatou a necessidade de monitoramento do MP em áreas urbanas da Amazônia e contribui para o entendimento de sua emissão, transporte e seus impactos na qualidade do ar na cidade de Manaus.

Agradecimentos

À CAPES, FAPEAM, FINEP e CNPq pelo apoio financeiro; à Universidade Federal do Amazonas (UFAM) pelo desenvolvimento da pesquisa e à Universidade Estadual de Londrina (UEL) e Universidade do Estado do Amazonas (UEA) pela parceria nas análises.

Referências

- [1] ALVES, C. Aerossóis atmosféricos: Perspectiva histórica, fontes, processos químicos de formação e composição orgânica. Química Nova, v. 28, n. 5, p. 859–870, 2005.
- [2] LEE, T. et al. Chemical Smoke Marker Emissions During Flaming and Smoldering Phases of Laboratory Open Burning of Wildland Fuels. Aerosol Science and Technology, v. 44, n. 9, p. i-v, 2010
- [3] OROS, D. R.; SIMONEIT, B.R.T. Identification and emission factors of molecular tracers in organic aerosols from biomass burning Part 1. Temperate climate conifers. Applied Geochemistry, v. 16, p. 1513-1544, 2001.
- [4] URBAN, R. C. et al. Use of levoglucosan, potassium, and water-soluble organic carbon to characterize the origins of biomass-burning aerosols. Atmospheric Environment, v. 61, p. 562–569, dez. 2012.
- [5] VAN DEN HOVE, A. et al. Development of a land use regression model for black carbon using mobile monitoring data and its application to pollution-avoiding routing. Environmental Research, v. 183, 2020.