

CASCAS DE ÁRVORES COMO BIOMONITORES DA DEPOSIÇÃO ATMOSFÉRICA DE TÓRIO E URÂNIO EM ÁREAS VERDES URBANAS DA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE

Amanda Katielly Jordão Pessoa Felix da Silva¹;

¹Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste (CRCN/NE), Recife, PE.

<http://lattes.cnpq.br/0600207134536458>

Raphael Henrique de Moura Pereira²;

²Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Recife, PE.

<http://lattes.cnpq.br/5600183954524705>

Karolyne Santos da Silva³;

³Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste (CRCN/NE), Recife, PE.

<http://lattes.cnpq.br/3100689264595769>

Neura Mendes da Silva⁴;

⁴Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste (CRCN/NE), Recife, PE.

<http://lattes.cnpq.br/5572921381396407>

Matheus Andrade Rocha Costa⁵;

⁵Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste (CRCN/NE), Recife, PE.

<http://lattes.cnpq.br/0269073658419341>

Marcelo Belmiro Gomes de Lira⁶;

⁶Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste (CRCN/NE), Recife, PE.

<http://lattes.cnpq.br/6839413515136731>

Crescêncio Andrade Silva Filho⁷;

⁷Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste (CRCN/NE), Recife, PE.

<http://lattes.cnpq.br/0987251699522230>

Elvis Joacir de França⁸.

⁸Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste (CRCN/NE), Recife, PE.

<http://lattes.cnpq.br/1716496767364751>

RESUMO: O aumento da poluição atmosférica em centros urbanos é favorecido pela deposição de elementos potencialmente tóxicos em diferentes compartimentos ambientais, isso de deve em decorrência da intensificação de atividades antrópicas e crescente urbanização. Dentre esses contaminantes, podemos destacar tório (Th) e o urânio (U), radionuclídeos naturais correlacionados a processos geogênicos e antrópicos, como tráfego veicular, ressuspensão de partículas atmosféricas e emissões industriais. Dessa forma, o biomonitoramento ambiental utilizando cascas de árvores é vista como alternativa eficiente e de baixo custo para avaliação da qualidade ambiental urbana, pois é devido à elevada capacidade de retenção de partículas atmosféricas. Dessa maneira, o presente estudo teve como objetivo avaliar as concentrações de Th e U em cascas de árvores de áreas verdes urbanas da Região Metropolitana do Recife (RMR) utilizando como biomonitores da poluição a partir da deposição atmosférica. As amostras foram coletadas em parques e praças dos municípios de Recife e Paulista, totalizando 109 árvores selecionadas aleatoriamente. A determinação dos elementos foi realizada por ICP-MS após digestão de acordo com o método USEPA 3051A. Os dados foram submetidos à estatística descritiva e análises multivariadas. Assim, os resultados indicaram diferenças espaciais nas concentrações dos radionuclídeos, evidenciando a possível influência da dinâmica urbana e da contribuição de partículas atmosféricas nas áreas estudadas.

PALAVRAS-CHAVE: Radionuclídeos. Casca de árvores. biomonitor.

TREE BARK AS BIOMONITORS OF ATMOSPHERIC DEPOSITION OF THORIUM AND URANIUM IN URBAN GREEN AREAS OF THE METROPOLITAN REGION OF RECIFE

ABSTRACT: The increase in air pollution in urban centers is favored by the deposition of potentially toxic elements in different environmental compartments, due to the intensification of anthropogenic activities and increasing urbanization. Among these contaminants, we can highlight thorium (Th) and uranium (U), natural radionuclides correlated with geogenic and anthropogenic processes, such as vehicular traffic, resuspension of atmospheric particles, and industrial emissions. Therefore, environmental biomonitoring using tree bark is seen as an efficient and low-cost alternative for assessing urban environmental quality, due to its high capacity for retaining atmospheric particles. Thus, this study aimed to evaluate the concentrations of Th and U in tree bark from urban green areas in the Recife Metropolitan Region (RMR) using them as biomonitors of pollution from atmospheric deposition. Samples were collected in parks and squares in the municipalities of Recife and Paulista, totaling 109 randomly selected trees. The determination of the elements was performed by ICP-MS after digestion according to the USEPA 3051A method. The data were subjected to descriptive statistics and multivariate analyses. Thus, the results indicated spatial differences in the concentrations of radionuclides, highlighting the possible influence of urban dynamics and the contribution of atmospheric particles in the studied areas.

KEY-WORDS: Radionuclides. Tree bark. Biomonitor.

AGRADECIMENTOS: CNEN; CRCN-NE; FACEPE, FINEP, CNPq.

INTRODUÇÃO

A intensificação da poluição atmosférica tem sido intensificada pelo crescimento acelerado das áreas urbanas e industriais, com isso, a deposição de elementos potencialmente tóxicos em diferentes compartimentos ambientais tem sido demonstrado de forma progressiva. Dentre contaminantes, podemos destacar os metais-traço e radionuclídeos naturais. A dispersão desses elementos apresenta elevada associação com o tráfego veicular, emissões industriais, combustão de combustíveis fósseis e ressuspensão de partículas do solo (Silva Filho, 2018; França et al., 2023). Em áreas urbanas, a deposição desses elementos em solos, vegetação e superfícies expostas representa importante preocupação ambiental em conjunto com a saúde pública, especialmente em espaços verdes, parques e praças, frequentados pela população.

A poluição nesses ambientes está diretamente relacionada à deterioração da qualidade ambiental, consequentemente ao aumento de riscos à saúde humana. Contribuindo de forma indireta para doenças cardiovasculares, distúrbios respiratórios, alterações comportamentais e aumento da incidência de neoplasias em diferentes grupos populacionais (França et al., 2023).

Dessa forma, o biomonitoramento ambiental utilizando organismos vegetais tem sido empregado como alternativa eficiente e de baixo custo para avaliação da qualidade atmosférica. Dentre os organismos considerados como biomonitores, destacam-se as cascas de árvores devido à elevada capacidade de retenção de partículas atmosféricas e facilidade de coleta. Estudos tem demonstrado que as cascas funcionam como acumuladores passivos de poluentes atmosféricos, sendo assim, permite avaliar padrões espaciais de deposição atmosférica em diversas áreas (Rajfur, 2019; Świsłowski; Kříž; Rajfur, 2020). Quando comparadas a outros biomonitores, como musgos e líquens, cascas de árvores apresentam vantagens importantes, especialmente, em ambientes urbanos onde apresentam distribuição limitada. Além disso, a amostragem é simples, não destrutiva e tem elevada capacidade de acumulação de elementos-traço ao longo do tempo (Santos et al., 2021).

Diversos estudos tem demonstrado a eficácia das cascas de árvores no monitoramento de elementos potencialmente tóxicos e elementos traço em ambientes urbanos. De acordo com Shotyk et al. (2023) foi observado enriquecimento natural de Cd e Tl em cascas de árvores, destacando a elevada capacidade de bioacumulação desses elementos em espécies arbóreas específicas. Além disso, foi verificado que processos de absorção e acumulação de elementos químicos nas cascas podem refletir tanto a disponibilidade ambiental quanto características fisiológicas das espécies vegetais.

Embora a maioria dos estudos esteja voltada para metais potencialmente clássicos, como Pb, Zn, Cd e Cu, se tem observado um crescente interesse relacionado à avaliação de radionuclídeos naturais, como tório (Th) e urânio (U). Isso é devido à persistência ambiental, potencial toxicológico e associação com processos geogênicos e antrópicos. Esses radionuclídeos podem ser liberados para o ambiente por meio de mineração, fertilizantes fosfatados, combustão de combustíveis fósseis, atividades industriais e ressuspensão de partículas do solo (Nurkassimova et al., 2017).

Em áreas urbanas, a deposição atmosférica de Th e U tem despertado interesse em estudos ambientais devido ao enriquecimento desses radionuclídeos em ambientes com intensa atividade antrópica. A associação desses elementos ao material particulado atmosférico favorece sua dispersão, consequentemente a deposição em superfícies vegetais, tornando as cascas de árvores ferramentas promissoras para estudos de biomonitoramento ambiental.

A Região Metropolitana do Recife (RMR) é caracterizada por elevada densidade populacional, intenso fluxo veicular e presença de atividades industriais, porém, ainda há escassez referentes a estudos envolvendo biomonitoramento atmosférico utilizando cascas de árvores, especialmente relacionados à deposição de radionuclídeos naturais. No estudo realizado por França et al. (2023) foi identificado a presença de elementos potencialmente carcinogênicos em áreas verdes urbanas da RMR, reforçando que investigações ambientais voltadas ao monitoramento de contaminantes atmosféricos na região é necessário.

Dessa forma, o uso de cascas de árvores como biomonitores da deposição atmosférica de Th e U apresenta como uma abordagem promissora para avaliação da qualidade ambiental urbana em espaços verdes urbanos.

OBJETIVO

Avaliar as concentrações de tório (Th) e urânio (U) em cascas de árvores de áreas verdes urbanas da Região Metropolitana do Recife, utilizando-as como biomonitores da deposição atmosférica e da influência das atividades antrópicas sobre a qualidade ambiental urbana.

METODOLOGIA

O presente estudo é caracterizado como uma pesquisa de abordagem quantitativa, de natureza aplicada, com objetivos descritivos e exploratórios. A pesquisa é enquadrada como pesquisa de campo e experimental, uma vez que envolveu a coleta de amostras em áreas verdes urbanas e posterior realização de análises laboratoriais para determinação das concentrações de tório (Th) e urânio (U).

As amostras de cascas de árvores foram coletadas em áreas verdes urbanas localizadas nos municípios de Recife e Paulista, pertencentes à Região Metropolitana do Recife (RMR), Pernambuco, Brasil. As áreas amostradas incluíram a Praça da Várzea, Praça do Engenho do Meio, Praça Engenho do Meio – BR-101, Parque 13 de Maio, Parque de Paulista e Praça Jardim Paulista. Foram selecionadas um total de 109 árvores nas áreas estudadas, essas foram escolhidas de forma aleatória.

A coleta das cascas foi realizada utilizando como referência a circunferência à altura do peito (CAP), considerando-se uma altura mínima de 1,30 m em relação ao solo. As amostras removidas apresentaram aproximadamente 45 cm de comprimento, sem ultrapassar um terço do CAP da árvore. Após a coleta, as cascas foram submetidas à higienização em campo com água potável e, posteriormente, em laboratório, foram lavadas com solução de Extran®, secas em estufa com circulação de ar forçada, trituradas e armazenadas até a realização do processo de preparo das amostras.

A digestão ácida das amostras foi conduzida conforme o método USEPA 3051A. Aproximadamente 0,1 g das amostras foram pesadas e transferidas para tubos de Teflon®, sendo adicionados 9,0 mL de ácido nítrico destilado concentrado (HNO_3 , ~65%). Inicialmente, as amostras foram submetidas à pré-digestão em banho-maria a 80 °C e ultrassom por 30 minutos, seguida de digestão em forno micro-ondas MAR SXpress (CEM) a 175 °C, com rampa de aquecimento de 15 minutos e permanência de 5 minutos na temperatura final. Após resfriamento, as soluções foram filtradas, transferidas para tubos Falcon® e completadas para o volume final de 20 mL com água ultrapura (18,2 MΩ·cm a 25 °C). As amostras permaneceram refrigeradas até a realização das análises. A determinação das concentrações de tório (Th) e urânio (U) foi realizada por espectrometria de massas com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS), utilizando o equipamento NexION 300 (PerkinElmer SCIEX). A calibração do equipamento foi realizada utilizando soluções-padrão multielementares certificadas (Merck®). Detalhes adicionais da metodologia analítica podem ser consultados em Silva Filho (2018).

Os dados obtidos foram submetidos à estatística descritiva, incluindo média, mediana, valores mínimos e máximos, desvio padrão, variância e coeficiente de variação (CV%). A normalidade dos dados foi avaliada pelo teste de Shapiro-Wilk. Posteriormente, foram realizadas análises multivariadas por meio da Análise de Componentes Principais (PCA), visando identificar padrões de distribuição e similaridade entre as áreas estudadas. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software Statistica (versão 13.5, TIBCO Software Inc., Palo Alto CA, USA), adotando nível de significância de 5% ($p < 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estatística descritiva dos dados

Os dados da Tabela 1 demonstram elevada variabilidade nas concentrações de Th e U entre os pontos amostrados, refletida pelos altos coeficientes de variação (CV), especialmente para Th em 13 de Maio (155,55%) e Várzea (127,70%). Esses valores indicam distribuição heterogênea dos dados e possível influência de fontes pontuais e processos locais de deposição e ressuspensão de partículas (Onte; Widom; Kuentz, 2017; Lima; Saiki, 2019). Assim, a mediana constitui uma medida de tendência central mais representativa do que a média aritmética.

Tabela 1. Estatística descritiva das concentrações de tório (Th) e urânio (U) em cascas de árvores coletadas em áreas verdes urbanas da Região Metropolitana do Recife (RMR).

		13 de Maio	Engenho do Meio	Engenho do Meio-Br 101	Várzea	Jardim Paulista	Praça de Paulista
Concentração (mg kg ⁻¹)							
Th	Média	0,516	0,423	1,969	0,426	1,005	0,174
	Mediana	0,173	0,313	1,551	0,208	0,500	0,153
	Max.	3,106	1,321	6,034	1,924	2,967	0,428
	Min.	0,016	0,026	0,911	0,042	0,042	0,002
	DP	0,803	0,368	1,576	0,544	0,931	0,141
	CV (%)	155,55	87,04	80,03	127,70	92,64	81,06
	n	26	18	9	15	20	21
Concentração (mg kg ⁻¹)							
U	Média	0,113	0,076	0,218	0,060	0,182	0,036
	Mediana	0,088	0,060	0,185	0,039	0,140	0,038
	Max.	0,416	0,211	0,551	0,207	0,453	0,080
	Min.	0,004	0,021	0,143	0,010	0,012	0,003
	DP	0,109	0,052	0,127	0,059	0,132	0,022
	CV (%)	96,44	68,39	58,29	96,78	72,80	62,69
	n	26	18	9	15	20	21

Máx.: valor máximo; Mín.: valor mínimo; DP: desvio-padrão; CV: coeficiente de variação; n: número de amostras coletadas.

Fonte: autores (2026).

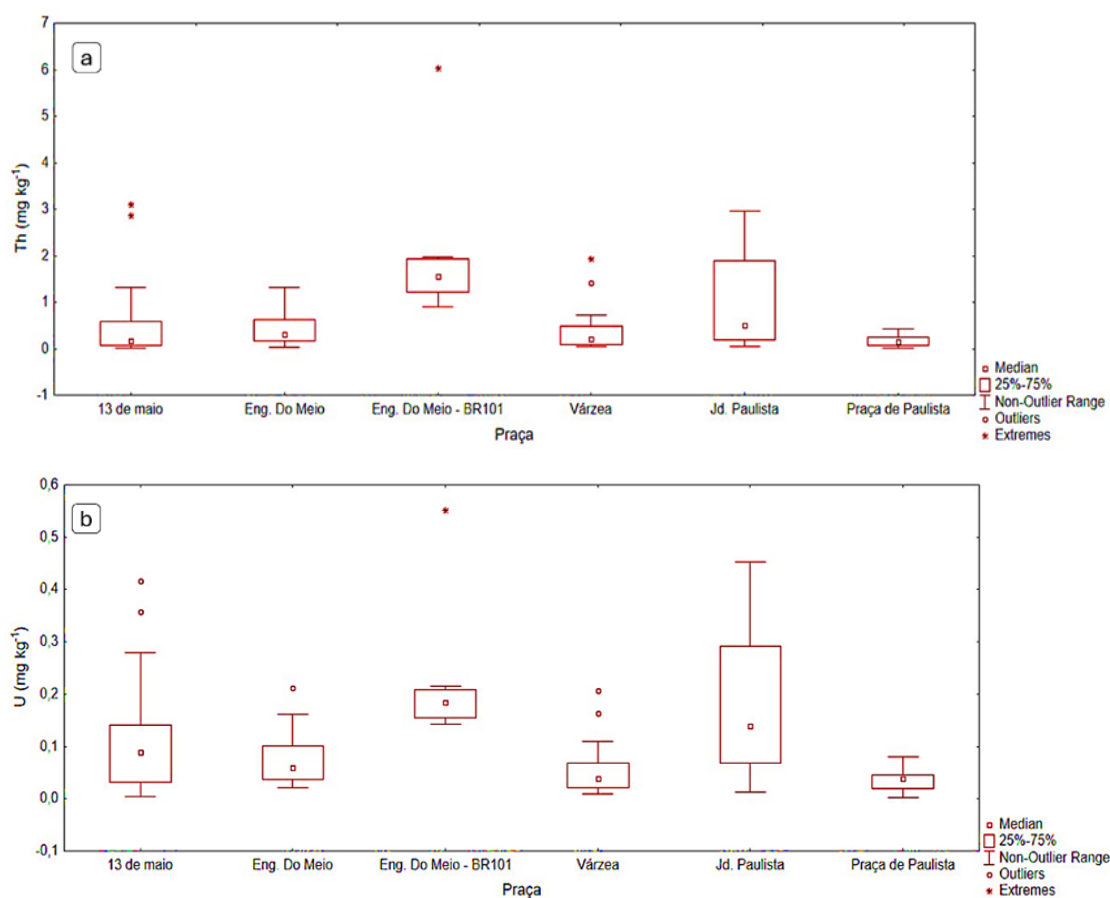
Para Th, as maiores medianas foram observadas em Engenho do Meio–BR 101 (1,551 mg kg⁻¹) e Jardim Paulista (0,500 mg kg⁻¹), locais caracterizados por intenso fluxo veicular. O ponto Engenho do Meio–BR 101 apresentou destaque devido à influência direta da BR-101, importante corredor rodoviário com circulação contínua e elevada densidade de veículos. O ponto 13 de Maio, apesar de localizado em área central da capital e submetido a intenso tráfego urbano, apresentou mediana intermediária para Th (0,173 mg kg⁻¹). Esse comportamento pode indicar diferenças na dinâmica local de circulação atmosférica,

deposição de partículas e características urbanas específicas, além de possíveis variações na intensidade e no tipo de tráfego em comparação às áreas adjacentes a grandes corredores rodoviários.

Para U, observou-se padrão semelhante, com maiores medianas em Engenho do Meio–BR 101 (0,185 mg kg⁻¹) e Jardim Paulista (0,140 mg kg⁻¹). Já Praça de Paulista apresentou os menores valores medianos para ambos os elementos, sugerindo menor acúmulo relativo no material particulado analisado. De forma geral, os resultados sugerem influência do tráfego veicular sobre a distribuição espacial de Th e U, principalmente em áreas próximas a vias de circulação intensa, embora fatores locais relacionados à morfologia urbana, ventilação e dinâmica de deposição também possam controlar a variabilidade observada.

A Figura 1 apresenta os boxplots das concentrações de Th e U nos diferentes pontos de coleta, possibilitando uma avaliação mais clara da distribuição dos dados, da variabilidade entre as amostras e da presença de valores extremos, complementando a interpretação dos parâmetros estatísticos apresentados na Tabela 1.

Figura 1. Diagramas *boxplot* dos resultados obtidos para as concentrações de Th e U nas diferentes praças da Região Metropolitana do Recife.



Fonte: autores (2026).

Os boxplots apresentados nas Figuras 1 evidenciam a elevada variabilidade das concentrações de Th e U entre as amostras analisadas, corroborando os altos coeficientes de variação observados na Tabela 1. A presença de *outliers* e valores extremos demonstra que as distribuições são assimétricas e heterogêneas, especialmente em pontos como 13 de Maio, Várzea e Engenho do Meio–BR101. Entretanto, é importante destacar que as amostras avaliadas consistem em diferentes espécies vegetais, incluindo plantas nativas e exóticas, o que pode contribuir significativamente para a variabilidade observada.

Diferentes espécies apresentam características fisiológicas distintas relacionadas à absorção, retenção e acúmulo de elementos químicos, influenciando diretamente as concentrações determinadas. Dessa forma, os valores classificados estatisticamente como *outliers* não foram interpretados necessariamente como dados anômalos ou erros experimentais, mas podem refletir comportamentos específicos de determinadas espécies vegetais com maior capacidade de acumular Th e U.

Esse comportamento pode explicar, em parte, a ocorrência de concentrações elevadas pontuais observadas nos gráficos, bem como a ampla dispersão dos resultados em alguns locais. Assim, a variabilidade observada provavelmente resulta não apenas de diferenças ambientais entre os pontos de coleta, mas também da composição botânica heterogênea das amostras analisadas.

Análise Estatística

Inicialmente, os dados foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro–Wilk, cujos resultados indicaram que as concentrações de Th e U não seguem distribuição normal (p -valor $< 0,05$). Em função dessa condição e da elevada variabilidade observada entre as amostras, optou-se pela utilização de métodos estatísticos não paramétricos. Assim, foi aplicado o teste de Kruskal–Wallis com o objetivo de avaliar a existência de diferenças estatisticamente significativas entre as praças amostradas.

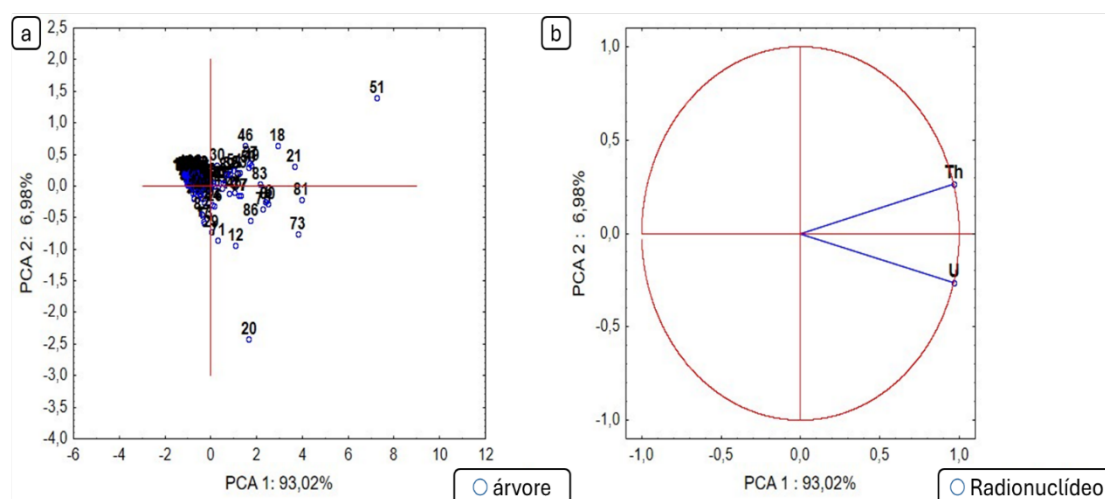
Para Th, o teste de Kruskal–Wallis evidenciou diferenças estatisticamente significativas entre as praças avaliadas ($H(5, N=109)=28,43$; $p<0,05$). O ponto Engenho do Meio–BR101 destacou-se por apresentar concentrações superiores às observadas em 13 de Maio ($p=0,0017$), Engenho do Meio ($p=0,0310$), Várzea ($p=0,0135$) e Praça de Paulista ($p<0,001$). Além disso, Jardim Paulista diferiu significativamente de Praça de Paulista ($p=0,0071$). Entre as demais combinações de praças, não foram verificadas diferenças significativas ($p>0,05$), sugerindo comportamento semelhante para parte dos pontos amostrais.

Em relação ao U, também foi observada diferença significativa entre os locais investigados ($H(5, N=109)=35,85$; $p<0,05$). As maiores distinções envolveram novamente Engenho do Meio–BR101, que apresentou concentrações significativamente mais elevadas que Engenho do Meio ($p=0,0452$), Várzea ($p=0,0024$) e Praça de Paulista ($p<0,001$).

Jardim Paulista também apresentou diferença em relação a Várzea ($p=0,0157$) e Praça de Paulista ($p<0,001$). Para os demais pares comparados, os resultados não indicaram diferença estatística significativa ($p>0,05$).

A análise de componentes principais-PCA (Figura 2) mostrou que a variação nos teores é explicada quase inteiramente pelo primeiro eixo (PC1), que retém 93,02% da variabilidade total, enquanto o segundo (PC2) responde por apenas 6,98%. No gráfico de *scores* (Figura 2a), a maioria das árvores aparece concentrada à esquerda (PC1 negativo), evidenciando que a maior parte das cascas coletadas apresenta teores baixos de concentração para ambos os elementos. Por outro lado, o estiramento de pontos para a direita isola os indivíduos que registraram acúmulo acentuado, destacando-se a amostra 51, pertencente ao Engenho do Meio – BR 101, o que corrobora o perfil de alta exposição dessa área de tráfego intenso.

Figura 2. Análise de componentes principais (PCA) para as amostras de cascas coletadas. (a) gráfico de *scores* e (b) gráfico de *loadings*.



Árvores 1-26: 13 de Maio; 27-44: Engenho do Meio; 45-53: Engenho do Meio – BR 101; 54-68 Várzea; 69-89: Jardim Paulista; 90-110: Praça de Paulista.

Fonte: autores (2026).

No gráfico de *loadings* (Figura 2b), os vetores do Th e do U aparecem longos e orientados para o mesmo quadrante (PC1 positivo) (Widom; Kuentz, 2018). Esse comportamento indica que o primeiro eixo reflete o acúmulo total ou a capacidade de retenção da casca. A proximidade entre os vetores mostra que os maiores valores de concentração de ambos os elementos tendem a aparecer concentrados nas mesmas amostras, o que aponta para um processo comum de deposição na malha urbana, como o acúmulo de material particulado atmosférico ou poeira de solo (Ma; Bellis; Mcleod, 2000).

Já o eixo vertical (PC2) serve para identificar desvios na proporção entre os dois radionuclídeos, segregando o Th no semicírculo superior e o U no inferior. Isso justifica o posicionamento atípico da amostra 20, localizada no parque urbano 13 de Maio, que apresentou um escore negativo extremo no PC2 (próximo a -2,5) (Camargo; Figueiredo; Sígolo, 2009). O perfil desse indivíduo reflete um possível enriquecimento de Urânio frente ao Tório, sugerindo uma fonte de exposição muito localizada dentro da área do parque ou uma resposta fisiológica específica da espécie na retenção seletiva desse radionuclídeo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos demonstraram que as cascas de árvores apresentam elevado potencial para utilização como biomonitores da deposição atmosférica de tório e urânio em ambientes urbanos, principalmente, em espaços verdes, como praças e parques. A elevada variabilidade observada nas concentrações dos radionuclídeos evidencia a influência de fatores ambientais locais, características urbanas e dinâmica atmosférica sobre o acúmulo desses elementos nas cascas. As maiores concentrações de Th e U foram observadas em áreas submetidas a intenso fluxo veicular, especialmente no ponto Engenho do Meio–BR101, sugerindo influência da ressuspensão de partículas atmosféricas. A análise de componentes principais (PCA) demonstrou associação entre Th e U, indicando comportamento geoquímico semelhante e possível origem comum relacionada ao material particulado atmosférico. A heterogeneidade observada entre as amostras pode estar associada não apenas às diferenças ambientais entre os pontos de coleta, mas também às características morfológicas e anatômicas das espécies analisadas, que apresenta influência na acumulação de partículas atmosféricas. Sendo assim, o uso de cascas de árvores representa uma alternativa viável, baixo custo e ambientalmente sustentável para estudos de biomonitoramento atmosférico.

REFERÊNCIAS

CAMARGO, S. P.; FIGUEIREDO, A. M. G.; SÍGOLO, J. B. Uranium and thorium in urban park soils of São Paulo. In: INTERNATIONAL NUCLEAR ATLANTIC CONFERENCE - INAC, 2009, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABEN, 2009. p. 1-7.

CONTE, E.; WIDOM, E.; KUENTZ, D. Uranium isotopes in tree bark as a spatial tracer of environmental contamination near former uranium processing facilities in southwest Ohio. **Journal of Environmental Radioactivity**, v. 178-179, p. 265-278, 2017.

FRANÇA, Elvis Joacir de et al. Natural radioisotopes and chemical elements causing carcinogenic risks in soils of urban green spaces in the Metropolitan Region of Recife, Pernambuco, Brazil? **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v. 332, p. 3943-3955, 2023.

ISINKARALAR, K. Some atmospheric trace metals deposition in selected trees as a possi-

ble biomonitor. **Romanian Biotechnology Letters**, v. 27, n. 1, p. 3225-3234, 2022.

LIMA, N. P.; SAIKI, M. Determination of uranium in tree bark samples by epithermal neutron activation analysis. **Brazilian Journal of Radiation Sciences**, v. 7, n. 2A, p. 1-11, 2019.

MA, R.; BELLIS, D.; MCLEOD, C. W. Isotopic Analysis of Uranium in Tree Bark by ICP Mass Spectrometry: A Strategy for Assessment of Airborne Contamination. **Analytical Chemistry**, v. 72, n. 20, p. 4878-4881, 2000.

MARQUES JUNIOR, A. N. et al. Tracking atmospheric dispersion of metals in Rio de Janeiro Metropolitan region (Brazil) with epiphytes as bioindicators. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 90, n. 3, p. 2991-3005, 2018.

NURKASSIMOVA, M. U. et al. Biomonitoring of atmospheric depositions of heavy metals and radionuclides in Irtysh areas of Kazakhstan. **Chemical Technology**, n. 4, p. 71-79, 2017.

RAJFUR, M. Assessment of the possibility of using deciduous tree bark as a biomonitor of heavy metal pollution of atmospheric aerosol. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 191, p. 1-12, 2019.

SANTOS, E. C. et al. A study on tree bark samples for atmospheric pollution monitoring. **Brazilian Journal of Radiation Sciences**, v. 9, n. 1A, p. 1-17, 2021.

SHOTYK, William et al. Natural enrichment of Cd and Tl in the bark of trees from a rural watershed devoid of point sources of metal contamination. **Environmental Research**, v. 237, p. 116973, 2023.

SILVA FILHO, C. A. **Elementos terras raras na vegetação nativa do Estado de Pernambuco**. 2018. 102 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Energéticas e Nucleares) - Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2018, 102p.

ŚWISŁOWSKI, P.; KŘÍŽ, J.; RAJFUR, M. The use of bark in biomonitoring heavy metal pollution of forest areas on the example of selected areas in Poland. **Ecological Chemistry and Engineering S**, v. 27, n. 2, p. 195-210, 2020.

WIDOM, E.; KUENTZ, D. Assessment of tree bark as a biomonitor of anthropogenic thorium and radium contamination. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v. 318, p. 673-676, 2018.