

ELEMENTOS QUÍMICOS TÓXICOS E TRAÇO EM PLANTAS LENHOSAS DAS CAATINGAS: VALORES DE REFERÊNCIA E POTENCIAL DE BIOACUMULAÇÃO

Matheus Andrade Rocha Costa¹;

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

Marcelo Belmiro Gomes de Lira²;

²CRCN-NE, Recife-PE.

Crescêncio Andrade Silva Filho³;

³CRCN-NE, Recife-PE.

Neura Mendes da Silva⁴;

⁴CRCN-NE, Recife-PE.

Amanda Katielly Jordão Pessoa Felix da Silva⁵;

⁵CRCN-NE, Recife-PE.

Raphael Henrique de Moura Pereira⁶;

⁶CRCN-NE, Recife-PE.

Karolyne Santos da Silva⁷;

⁷CRCN-NE, Recife-PE.

Elvis Joacir de França⁸.

⁸CRCN-NE, Recife-PE.

RESUMO: A caracterização química de espécimes vegetais em áreas preservadas favorece o estabelecimento de valores de referência, etapa essencial para a monitoração de impactos ambientais, além de permitir a identificação de espécies com potencial bioacumulador. O objetivo deste estudo foi determinar as concentrações de As, Cd, Cr, Ni, Pb e Sb em folhas de plantas lenhosas das caatingas do Parque Nacional (PARNA) do Catimbau, visando estabelecer valores de referência e avaliar tendências de bioacumulação nas famílias botânicas mais representativas. As concentrações médias (mg/kg) mantiveram-se dentro das faixas de referência (As = 0,06; Cd = 0,054; Cr = 0,27; Ni = 0,538; Pb = 0,266 e Sb = 0,015). Contudo, o perfil de absorção evidenciou alta variabilidade analítica com a incidência de valores atípicos (*outliers*) em táxons de grande representatividade, como Fabaceae e Euphorbiaceae. Adicionalmente, destacaram-se picos de captação de Cd na família Boraginaceae e de Cr e Ni em Nyctaginaceae. Neste contexto, conclui-se que as caatingas do PARNA do Catimbau refletem um ambiente conservado, consolidando os

resultados como valores de referência para plantas das caatingas, embora também abrigue espécimes vegetais com potencial de bioacumulação para elementos químicos tóxicos e traços.

PALAVRAS-CHAVE: Caatinga. Parque Nacional do Catimbau. *Background* ambiental.

TOXIC AND TRACE CHEMICAL ELEMENTS IN WOODY PLANTS OF THE CAATINGAS: REFERENCE VALUES AND BIOACCUMULATION POTENTIAL

ABSTRACT: The chemical characterization of plant specimens in preserved areas facilitates the establishment of reference values, an essential step for monitoring environmental impacts, in addition to enabling the identification of species with bioaccumulative potential. The objective of this study was to determine the concentrations of As, Cd, Cr, Ni, Pb, and Sb in the leaves of woody plants from the Caatingas of the Catimbau National Park (PARNA), aiming to establish reference values and evaluate bioaccumulation trends among the most representative botanical families. The mean concentrations (mg/kg) remained within reference ranges (As = 0.06; Cd = 0.054; Cr = 0.27; Ni = 0.538; Pb = 0.266, and Sb = 0.015). However, the uptake profile showed high analytical variability, with the incidence of outliers in highly representative taxa, such as Fabaceae and Euphorbiaceae. Additionally, peaks of Cd uptake in the Boraginaceae family, and of Cr and Ni in Nyctaginaceae, stood out. In this context, it is concluded that the Caatingas of the Catimbau PARNA reflect a conserved environment, consolidating the results as reference values for plants of the Caatingas, although it also harbors plant specimens with bioaccumulation potential for toxic and trace chemical elements.

KEY-WORDS: Caatinga. Catimbau National Park. Environmental background.

INTRODUÇÃO

As caatingas brasileiras representam um mosaico de ecossistemas, englobando uma das maiores áreas de floresta tropical sazonalmente seca da América do Sul (Silva *et al.*, 2017). Reconhecida por sua ampla biodiversidade e endemismo, a flora das caatingas desenvolve estratégias de adaptação para sobreviver em condições climáticas de aridez e estresse hídrico (Silva *et al.*, 2017). No entanto, devido às atividades antropogênicas, associadas às condições climáticas desta região, este bioma tornou-se um dos tipos vegetacionais mais alterados e ameaçados do país, com alto nível de fragmentação (Silva *et al.*, 2017; Pereira *et al.*, 2023).

O Parque Nacional (PARNA) do Catimbau, localizado no interior do Estado de Pernambuco, destaca-se como um dos últimos remanescentes de Caatinga ainda em excelente estado de conservação, com elevada diversidade de espécies endêmicas e

presença de espécies raras (Tabarelli *et al.*, 2017). Por abrigar mosaicos de vegetação em diferentes estágios de regeneração e áreas livres de impacto humano severo, o PARNA Catimbau atua como um verdadeiro laboratório natural para estudos de ecologia de ecossistemas (Santos *et al.*, 2024). Ademais, por estar distante de grandes centros urbanos e industriais, as áreas preservadas do PARNA Catimbau surgem como um local estratégico para o estabelecimento de valores de referência de elementos químicos da flora e do solo, antes de uma maior expansão antrópica (Markert, 1998; Santos *et al.*, 2024).

Embora a dinâmica de macronutrientes foliares (como carbono, nitrogênio, fósforo, magnésio, potássio e cálcio) venha sendo documentada na Caatinga para compreender as respostas das plantas à aridez e à perturbação (Santos *et al.*, 2024; Santos *et al.*, 2026), a caracterização de elementos traço e potencialmente tóxicos, como arsênio (As), cádmio (Cd), cromo (Cr), níquel (Ni), antimônio (Sb) e chumbo (Pb), permanece como uma grande lacuna. Diferente dos poluentes orgânicos, estes elementos químicos tóxicos e traço são persistentes e acumulativos no ambiente, apresentando alta toxicidade celular (Kabata-Pendias, 2011).

Apesar de As, Cd, Cr, Pb e Sb serem frequentemente encontrados nos tecidos vegetais, não há evidências de que possuam papel essencial as plantas. Estes elementos químicos, atuam como fitotóxicos e vetores de risco para a saúde humana, sendo potencialmente carcinogênicos, afetando os sistemas respiratório, cardiovascular e nervoso. Nas plantas, Cd e Pb, por exemplo, desregulam processos biológicos fundamentais (fotossíntese, crescimento e mitose). Cr apresenta uma dualidade ecofisiológica peculiar, embora apresente essencialidade para o homem e animais (participando do metabolismo da glicose e colesterol), não possui essencialidade comprovada para as plantas. Sua toxicidade depende do estado de oxidação, sendo o Cr^{6+} cerca de mil vezes mais tóxico que o Cr^{3+} . Enquanto Ni, apresenta essencialidade para animais, ao homem e para algumas espécies de bactérias, algas e plantas superiores. Contudo, concentrações elevadas de Ni, torna-se altamente tóxico, além de que compostos específicos, como $\text{Ni}(\text{CO})_4$, representam grave risco tóxico e carcinogênico (Markert, 1998; Kabata-Pendias; Mukherjee, 2007; Kabata-Pendias, 2011).

Estabelecer valores de referência naturais (*background*) para a flora em unidades de conservação, como no PARNA do Catimbau, constitui uma etapa estratégica, visto que o conhecimento das concentrações em ambientes preservados favorece o diagnóstico e o monitoramento de futuros episódios de contaminação em áreas adjacentes ou de ambientes correlatos (França *et al.*, 2010; Maćkiewicz *et al.*, 2018). Essa abordagem fornece referencial de qualidade ambiental necessário para a gestão do bioma. Além disso, a caracterização química da flora do PARNA do Catimbau permite avaliar como as diferentes famílias botânicas gerenciam elementos potencialmente tóxicos, revelando se a absorção é um processo homogêneo ou se existem a ocorrência de espécies bioacumuladoras. Tais espécies podem ser utilizadas para monitorar os efeitos antropogênicos no ambiente, além de tendências e efeitos acumulativos (Elias *et al.*, 2008; França *et al.*, 2010; Maćkiewicz *et*

al., 2018).

OBJETIVO

O presente estudo tem como objetivo determinar as concentrações de elementos químicos tóxicos e traço (As, Cd, Cr, Ni, Pb e Sb) em folhas de plantas lenhosas das caatingas do PARNA do Catimbau, visando estabelecer os valores de referência (*background*) e avaliar o perfil de absorção e as tendências de bioacumulação entre as famílias botânicas mais representativas.

METODOLOGIA

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa quantitativa, voltada para a determinação de concentrações dos elementos químicos As, Cd, Cr, Ni, Pb e Sb em folhas de espécimes arbóreas das caatingas do PARNA do Catimbau, localizado no Estado de Pernambuco (Brasil). Foram coletadas 97 espécies em 34 parcelas permanentes no âmbito do Projeto Ecológico de Longa Duração Sítio Parque Nacional do Catimbau (PELD – Catimbau), totalizando 304 amostras de folhas. Características relacionadas ao PARNA Catimbau e parâmetros de coleta das plantas podem ser consultados em Santos *et al.* (2024; 2026).

A fase experimental e analítica foi desenvolvida nos laboratórios da Central Analítica do Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste (CRCN-NE/CNEN). As amostras de folhas passaram por processos de secagem em estufa de circulação de ar (TECNAL - TE 394/3) a 60 °C até peso constante, com posterior moagem em moinho de bolas (Retsch, PM200), com tamanho das partículas $\leq 0,5$ mm. Em seguida, porções analíticas de 0,5 g das amostras de folhas foram tratadas quimicamente por meio de solubilização ácida (digestão), com base no protocolo analítico da USEPA 3051A (ELEMENT, 2007). A digestão foi realizada em forno digestor (Provecto Analítica, DGT 100 Plus) com 9 mL de ácido nítrico (HNO_3) destilado, com rampa de aquecimento em potência de 220 W, 5 minutos, aumentando-se para 430 W por 10 minutos, seguido de resfriamento por 10 minutos. Posteriormente as amostras foram filtradas (papel de filtro quantitativo) em tubo falcon e avolumadas com água ultrapura para posterior análise. Os materiais de referência certificados SRM-1515 *Apple Leaves* e SRM-1573a *Tomato Leaves*, produzidos pelo NIST (*National Institute of Standards and Technology*), também foram preparados nas mesmas condições das amostras, para serem utilizados no controle da qualidade do procedimento analítico.

A quantificação das concentrações químicas para As, Cr e Ni nas amostras de folhas, brancos analíticos e materiais de referência foram realizadas por Espectrometria de Absorção Atômica com Forno de Grafite (GFAAS), equipamento modelo VARIAN AA220FS. Enquanto as análises de Cd, Sb e Pb foram determinadas por Espectrometria de Massas

com Plasma Acoplado Indutivamente – ICP-MS modelo NexION 300 da PerkinElmerSCIEX.

O número En foi calculado a partir dos resultados dos materiais de referência certificados para avaliar a qualidade do procedimento analítico, de acordo com a norma ISO 13528 (2005). Estatística descritiva (média, mediana, máximo, mínimo, coeficiente de variação) foi realizada considerando o resultado das 304 amostras analisadas para os 6 elementos químicos investigados. Em seguida, gráficos de *boxplots* foram construídos considerando as famílias mais representativas do banco de dados (Tabela 1). Famílias menos representativas, com menos de 3 espécies por família dentro do conjunto de dados foram excluídas, totalizando 25 amostras eliminadas desta análise por *boxplots*. As famílias menos representativas eliminadas foram: *Amaranthaceae*, *Asteraceae*, *Bignoniaceae*, *Cannabaceae*, *Celastraceae*, *Malpighiaceae*, *Malvaceae*, *Moraceae*, *Polygonaceae*, *Rhamnaceae*, *Salicaceae*, *Sapindaceae*, *Sapotaceae* e *Simaroubaceae*.

Tabela 1: Famílias mais representativas no PARNA do Catimbau com relação ao banco de dados.

Família	Abreviação	Nº espécies	Nº amostras
Anacardiaceae	Anac	4	5
Annonaceae	Anno	3	16
Apocynaceae	Apoc	4	10
Boraginaceae	Bora	6	8
Burseraceae	Burs	3	7
Capparaceae	Capp	3	20
Erythroxylaceae	Eryt	3	14
Euphorbiaceae	Euph	12	38
Fabaceae	Fab	28	97
Lamiaceae	Lami	3	4
Myrtaceae	Myrt	8	30
Nyctaginaceae	Nyct	3	15
Rutaceae	Rut	3	7
Verbenaceae	Verb	5	8
Total			279

Fonte: Os autores (2026).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A garantia da qualidade do procedimento analítico é uma etapa fundamental para assegurar a confiabilidade na determinação de elementos químicos tóxicos e traço em matrizes ambientais, como os tecidos foliares. Conforme apresentado na Tabela 2, os resultados obtidos para as concentrações de As, Cd, Cr, Ni, Pb e Sb nas amostras dos materiais de referência certificados (SRM 1515 *Apple Leaves* e SRM 1573a *Tomato Leaves*)

demonstraram concordância com os valores de referência certificado. Por exemplo, para o elemento químico As em SRM 1515, obteve-se a concentração de $0,035 \pm 0,006$ mg/kg, valor estatisticamente equivalente ao certificado ($0,036 \pm 0,006$ mg/kg). Este comportamento também é observado para os demais elementos químicos de ambos os materiais de referência.

Na Figura 1, observa-se que os valores para o Número En para os elementos químicos As, Cd, Cr, Ni, Pb e Sb quantificados nos materiais de referência analisados estiveram no intervalo entre -1 e 1. Faixa considerada adequada conforme a recomendação ISO 13528 (2005), o que corrobora a exatidão dos resultados instrumentais, além de permitir confirmar a qualidade do procedimento analítico em nível de 95% de confiança para a determinação As, Cr e Ni por GFAAS e Cd, Pb e SB por ICP-MS.

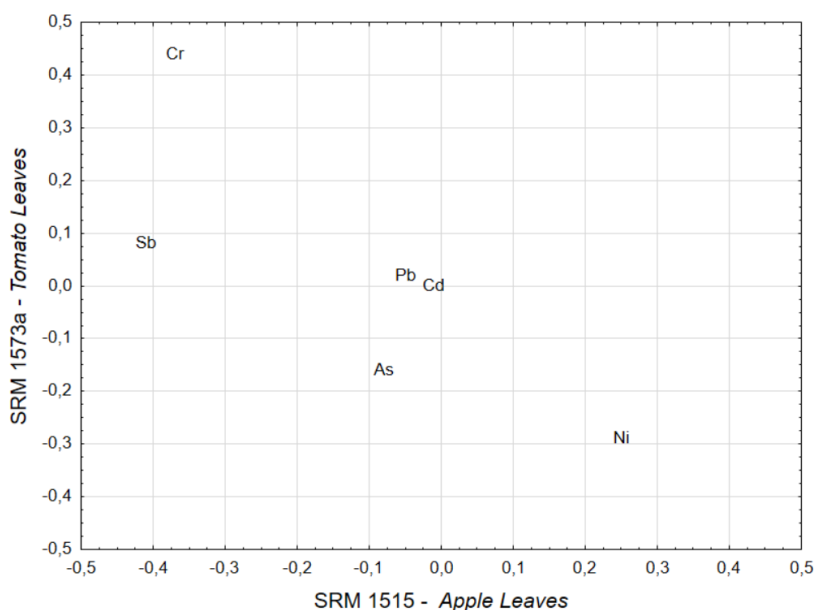
Tabela 2: Valores obtidos e certificados (mg kg^{-1}) e suas respectivas incertezas expandidas em nível de 95% de confiança dos elementos químicos determinados nos materiais de referência SRM 1515 *Apple Leaves* e SRM 1573a *Tomato Leaves* analisados por GFAAS e ICP-MS.

Analito	SRM 1515 – <i>Apple Leaves</i>						SRM 1573a – <i>Tomato Leaves</i>					
	Certificado			Obtido			Certificado			Obtido		
	Média		Inc.	Média		Inc.	Média		Inc.	Média		Inc.
As*	0,036 ^{a)}	±	0,006	0,035	±	0,006	0,1126	±	0,0024	0,11	±	0,02
Cr*	0,30	±	0,06	0,269	±	0,066	1,988	±	0,034	2,23	±	0,55
Ni*	0,936	±	0,094	1,02	±	0,28	1,582	±	0,041	1,47	±	0,41
Cd**	0,0132	±	0,0015	0,013	±	0,003	1,51	±	0,027	1,52	±	0,28
Pb**	0,47	±	0,024	0,47	±	0,13		nd			nq	
Sb**	0,013*	±	0,0026	0,012	±	0,002	0,0619	±	0,0032	0,063	±	0,008

Inc. = incerteza analítica expandida em nível de 5% de significância; *Analitos quantificados por GFAAS; **Analitos quantificado por ICP=MS; nd = não disponível; nq = não quantificado; a) dados da literatura: Yamashita et al. (2006)

Fonte: Os autores (2026).

Figura 1: Valores de Número En para a garantia da qualidade dos procedimentos analíticos para a determinação dos elementos químicos As, Cr e Ni (GFAAS) e Cd, Pb e SB (ICP-MS).



Fonte: Os autores (2026).

Na Tabela 3, reporta-se a estatística descritiva das concentrações dos elementos potencialmente tóxicos e traço (As, Cd, Cr, Ni, Pb e Sb), em folhas de espécimes arbóreas das caatingas do PARNA do Catimbau. De maneira geral, os resultados indicam que os níveis médios encontrados na flora do PARNA do Catimbau caracterizam um ambiente natural conservado, visto que tais valores estão dentro da faixa concentração de referência para a Planta de Markert (1998) e de valores de referência de Kabata-Pendias (2011). Estes resultados confirmam baixo impacto antropogênico nas caatingas do PARNA do Catimbau, com relação aos elementos químicos As, Cd, Cr, Ni, Pb e Sb. Desta forma, estes resultados podem ser utilizados como valores de referência para plantas das caatingas, o que favorece a monitoração futura de ambientes correlatos no bioma.

Tabela 3: Estatística descritiva das concentrações dos elementos químicos (mg/kg) das amostras de folhas de plantas das caatingas do PARNA Catimbau

Analito	n	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	CV%	Valores de referência mínimo e máximo	
							Markert (1998)	Kabata-Pendias (2011)
As	297	0,06	0,054	0,004	0,202	60,61	0,01-1,5	0,009-1,5
Cd	298	0,054	0,028	0,001	0,621	144,11	0,03-0,5	0,029-0,4
Cr	304	0,27	0,22	0,036	1,978	75,75	0,2-1	0,02-0,5
Ni	304	0,538	0,395	0,042	3,587	91,84	0,4-4	0,13-2,7
Pb	299	0,266	0,206	0,022	1,266	76,78	0,1-5	0,7-3,6
Sb	302	0,015	0,01	0,0002	0,086	83,14	0,0001-0,2	0,002-0,029

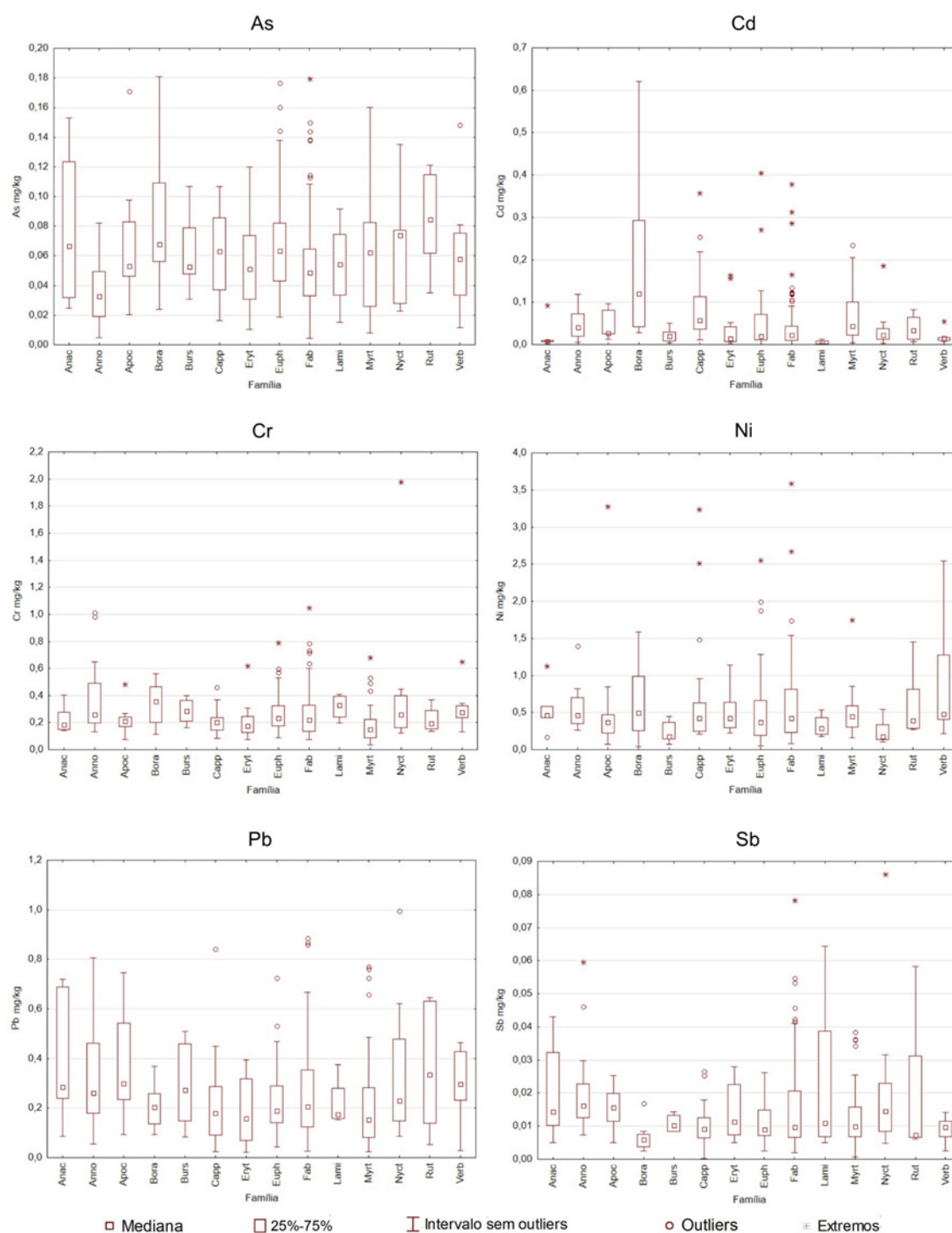
n = número de amostras cadastradas; CV = Coeficiente de Variação.

Fonte: Os autores (2026).

Por outro lado, observa-se elevados Coeficientes de Variação (CV%), que variaram de 60,61% (As) a 144,11% (Cd), o que demonstra dinâmica destes elementos químicos nas plantas das caatingas. Destaca-se que valores máximos reportados para alguns elementos químicos ultrapassam os limites superiores de normalidade estabelecidos pelos autores de referência. O valor máximo de Cd (0,621 mg/kg), por exemplo, supera o limite de 0,5 mg/kg de Markert e de 0,4 mg/kg de Kabata-Pendias. Cr (1,978 mg/kg) excede o limite superior de Markert (1,0 mg/kg) e de Kabata-Pendias (0,5 mg/kg). De forma semelhante, os valores máximos de Ni (3,587 mg/kg) e Sb (0,086 mg/kg) ultrapassam as faixas máximas estipuladas por Kabata-Pendias. A ocorrência de concentrações máximas acima dos valores de referência (Cd, Cr, Ni e Sb), principalmente em uma área de conservação afastada de grandes centros urbanos, sugere a ocorrência de pontos fora de controle ou indicativo de espécies de plantas com potencial bioacumulativo (Markert, 1998; Kabata-Pendias, 2011).

Esta dinâmica de bioacumulação para algumas espécies de plantas, torna-se visualmente evidente quando a distribuição das concentrações foliares é realizada nas famílias mais representativas dentro do conjunto de dados. Conforme observado na Figura 2, os diagramas de caixa (*boxplots*) explicitam o comportamento e a variabilidade para cada elemento químico investigado nas famílias mais representativas dentro do conjunto de dados. A análise gráfica revela que os intervalos interquartis da grande maioria das famílias apresentam compactos e posicionados nas faixas mais baixas de concentração, o que corrobora o padrão de *background* ambiental discutido anteriormente. Contudo, a presença marcante de valores atípicos (*outliers* e extremos) superiores e hastes (intervalo) significativamente alongadas em famílias específicas, evidenciam a ocorrência de pontos fora de controle ou indicativo da presença de espécimes vegetais com potencial bioacumulativo para elementos químicos tóxicos e traço.

Figura 2: Distribuição das concentrações de As, Cd, Cr, Ni, Pb e Sb em folhas das famílias botânicas mais representativas do PARNA do Catimbau.



Fonte: Os autores (2026).

Destacam-se, neste cenário, famílias como Boraginaceae, sendo observado os valores máximos para Cd, e Nyctaginaceae, responsável pelas concentrações extremas de Cr e Sb. No caso de Fabaceae, a análise revela uma presença de valores extremos e *outliers* para diversos elementos químicos analisados. Sendo a família de maior diversidade

estrutural e funcional dentro do conjunto de dados, esse padrão de alta dispersão indica que não há um comportamento fisiológico padronizado dentro do grupo. Enquanto uma parcela das espécies de Fabaceae reflete os níveis basais nas plantas, alguns espécimes vegetais dentro da família despontam como potenciais bioacumuladoras, com destaque para valores máximos em As, Ni, Pb e Sb.

Neste contexto, este trabalho evidenciou que a flora do PARNA do Catimbau apresentou concentrações médias e medianas de As, Cd, Cr, Ni, Pb e Sb que atestam a preservação das caatingas do PARNA do Catimbau, fornecendo valores de referência (*background*) para elementos tóxicos e traço em uma região de baixo impacto antropogênico. Por outro lado, observa-se que a biodiversidade local abriga famílias botânicas com perfis de absorção específicos, com possível presença de espécimes vegetais bioacumuladoras de metais tóxicos e traço. Contudo, estudos adicionais devem ser realizados para confirmar o potencial bioacumulativo destes espécimes vegetais que apresentaram valores extremos na investigação por família (Figura 2), visando a utilização futura destas plantas em programas de biomonitoração ambiental.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A avaliação das concentrações dos elementos químicos traço e tóxicos As, Cd, Cr, Ni, Pb e Sb nas plantas lenhosas do PARNA do Catimbau permitiu estabelecer importantes valores de referência para o bioma Caatinga, além de confirmar o grau de preservação ambiental do parque. A presença de concentrações elevadas para algumas famílias botânicas de grande representatividade, como Fabaceae e Euphorbiaceae, além de táxons específicos como Boraginaceae e Nyctaginaceae, comprovam a existência de espécies com capacidade de bioacumulação de elementos químicos tóxicos e traço pertencentes a estas famílias. Conclui-se, portanto, que as caatingas abrigam espécies promissoras para serem utilizadas na biomonitoração do bioma, sendo fundamental o direcionamento de estudos para identificação destas espécies.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES, ao CNPq, à FINEP e à FACEPE pelo apoio financeiro, e ao CRCN/CNEN pelo suporte institucional e de infraestrutura.

REFERÊNCIAS

ATHIÊ-SOUZA, S. M.; MELO, J. I. M. D.; SILVA, L. P. D.; SANTOS, L. L. D.; SANTOS, J. S. D.; OLIVEIRA, L. D. S. D.; SALES, M. F. D. Phanerogamic flora of the Catimbau national park, Pernambuco, Brazil. **Biota Neotropica**, v. 19, p. e20180622, 2019.

ELEMENT, C. A. S. Method 3051A microwave assisted acid digestion of sediments, slud-

- ges, soils, and oils. **Zeitschrift für Analytische Chemie**, v. 111, p. 362-366, 2007.
- ELIAS, C.; FERNANDES, E. A. N.; FRANÇA, E. J.; BACCHI, M. A.; TAGLIAFERRO, F. S. Native bromeliads as biomonitors of airborne chemical elements in a Brazilian restinga forest. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v. 278, p. 423-427, 2008.
- FRANÇA, E. J.; FERNANDES, E. A. N.; BACCHI, M. A.; RODRIGUES, R. R.; BODE, P.; SAIKI, M. Native plant bioaccumulation strategies: a baseline study for biomonitoring the Atlantic Forest. **International Journal of Environment and Health**, v. 4, p. 181-200, 2010.
- ISO – INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARTIZATION. **ISO 13528:2005 Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparisons**. ISO, 2005. 66 p.
- KABATA-PENDIAS, A.; MUKHERJEE, A. B. **Trace elementes from soil to human**. 1^a ed. Berlin-Heidelberg-New York: Springer Science & Business Media, 2007. 561 p.
- KABATA-PENDIAS, A. **Trace elements in soils and plants**. 4^a ed. Boca Raton: CRC press, 2011. 512 p.
- MAĆKIEWICZ E.; PAWLACZYK, A.; SZYNKOWSKA, M. I. Trace elements in the environment – law, regulations, monitoring and biomonitoring methods. In: CHOJNACKA, K.; SAEID, A. **Recent Advances in Trace Elements**, Chichester: John Wiley & Sons, 2018. p. 61-104.
- MARKERT, B. Distribution and biogeochemistry of inorganic chemicals in the environment. In: SCHÜÜRMANN, G.; MARKERT, B. **Ecotoxicology: Ecological fundamentals, chemical exposure, and biological effects**. New York: John Wiley & Sons; Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag, 1998. p. 165-222.
- PEREIRA, I. M. S.; AZEVEDO JÚNIOR, S. M.; OLIVEIRA, F. M. P.; SANTOS, L. D. N.; LAS-CASAS, F. M. G. The influence of chronic anthropogenic disturbance and precipitation on endemic birds in a Seasonally Dry Tropical Forest. **Journal of Arid Environments**, v. 210: 104917, 2023.
- SANTOS, A. B.; SILVA, A. C.; BARROS, M. F.; VANDERLEI, R. S.; TABARELLI, M.; LINS, S. R. M. Aboveground and soil carbon, nitrogen, and phosphorus concentrations and stocks and their responses to environmental and human-related drivers in a tropical dry forest. **Journal of Arid Environments**, v. 224, p. 105213, 2024.
- SANTOS, A. B.; SILVA, A. C.; TABARELLI, M.; et al. Soil attributes are key drivers of calcium, potassium, and magnesium concentrations and stocks in a tropical dry forest. **Journal of Arid Environments**, v. 235, p. 105604, 2026.
- SILVA, J. M. C.; LEAL, I. R.; TABARELLI, M. **Caatinga. The largest tropical dry forest region in South America**. Cham: Springer International Publishing, 2017. 429 p.
- TABARELLI, M.; MELO, F. P. L.; et al. Perturbação antrópica no Parque Nacional do Catimbau: estaria a Caatinga transformando-se em um ecossistema emergente? In: MANTO-

VANI, W.; MONTEIRO, R. F.; ANJOS, L.; CARIELLO, M.O. **Pesquisas em unidades de conservação no domínio da Caatinga: subsídios à gestão**. Fortaleza: Edições UFC, 2017. p. 141-162.

YAMASHITA, C. I.; SAIKI, M.; SERTIÉ, J. A. A. Elemental analysis of leaves and extracts of Casearia medicinal plants by instrumental neutron activation analysis. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v. 270, p. 181-186, 2006.