


**CONTRIBUIÇÃO AOS CONHECIMENTOS DA CONTAMINAÇÃO DE
ALFACE BRS LEILA (L. SATIVA) POR CARBONATO DE LÍTIO (LI₂CO₃)**

**CONTRIBUTION TO KNOWLEDGE ON THE CONTAMINATION OF BRS
LEILA LETTUCE (L. SATIVA) BY LITHIUM CARBONATE (LI₂CO₃)**

**CONTRIBUCIÓN AL CONOCIMIENTO SOBRE LA CONTAMINACIÓN DE
LA LECHUGA BRS LEILA (L. SATIVA) POR CARBONATO DE LITIO
(LI₂CO₃)**

 <https://doi.org/10.56238/arev7n8-128>

Data de submissão: 13/07/2025

Data de publicação: 13/08/2025

Paula Marques Crelier

Programa de Pós-Graduação em Geoquímica: Petróleo e Meio Ambiente

Instituição: Universidade Federal da Bahia (UFBA)

E-mail: paulacrelier.bio@hotmail.com

Orcid: 0009-0000-8828-7859

Manoel Jerônimo Moreira Cruz

Professor Titular

Instituição: Universidade Federal da Bahia (UFBA)

E-mail: jc9508@gmail.com

Orcid: 0000-0002-8488-4936

Danusia Ferreira Lima

Instituição: Universidade Federal da Bahia (UFBA)

E-mail: danbio28@gmail.com

Orcid: orcid.org/0000-0002-8412-9148

RESUMO

Considerando o elemento lítio, nos dias atuais, é um metal de crescimento exponencial de utilização, crescendo para a ordem de 135 mil toneladas em 2024, devido a sua aplicação na mudança da matriz energética, através o seu emprego em baterias, onipresença em equipamentos de novas tecnologias e que cerca de que apenas cerca de 3% do lítio é reciclado; considerando-se que em sítios de antigos lixões, transformados pelas populações de das periferias das cidades, são implantadas hortas comunitárias para cultivo de diversos legumes e hortaliças que completam a renda familiar e complementam a alimentação cotidiana; considerando a utilização de lítio como estabilizador de humor, antidepressivo e eficaz contra o comportamento violentos e suicida; considerando-se que o lítio utilizado desde a década de como redutor no seu percentual de crimes, depressão e dependência química; engendrou-se a pesquisa preliminarmente apresentada neste artigo, visando-se desta forma, contribuir com o saber científico, a partir de uma experiência controlada sobre a biofortificação em laboratório, sobre o lítio e suas correlações com elementos químicos de propriedades semelhantes (Na, K, Mg, Sr), cultivando-se a alface BRS Leila (*L. sativa*), em diferentes amostras (simples e triplas), contaminadas com carbonato de lítio (Li₂CO₃), em concentrações de 150 e 200 mol/L, em diferentes tempo de regas. Concluindo-se que o Li possui um comportamento correlacionado com os demais elementos alcalinos e alcalinos terrosos e estas associações podem ser desenvolvidas no sentido de se buscar por um equilíbrio mais adequado entre os benefícios e os possíveis riscos à saúde

e ao ambiente, invertendo-se o que seria uma contaminação ambiental, em um benefício à saúde das populações.

Palavras-chave: *Lactuca sativa*. Lítio. Biofortificação.

ABSTRACT

Considering the exponential growth use of lithium, as a metal reaching approximately 135,000 tons by 2024, due to its application in changing the energy matrix through its use in batteries of ubiquity in new technology equipment, and the fact that only about 3% of lithium is recycled. Considering that on former landfill sites, transformed by populations on the outskirts of cities, community gardens are established to grow a variety of vegetables and greens that supplement family income and daily diets. Considering the use of lithium as a mood stabilizer, antidepressant, and effective against violent and suicidal behavior. Considering that lithium has been used since the 1990s as a reducer in the percentage of crime, depression, and drug addiction. The preliminary research presented in this article was developed to contribute to scientific knowledge through a controlled laboratory experiment on lithium biofortification and its correlations with chemical elements with similar properties (Na, K, Mg, and Sr). BRS Leila lettuce (*L. sativa*) was cultivated in different samples (single and triple) contaminated with lithium carbonate (Li_2CO_3) at concentrations of 150 and 200 mol/L, at different irrigation times. It was concluded that Li correlates with other alkaline and alkaline earth elements, on leaves and roots of LS, and these associations can be developed to seek a more appropriate balance between the benefits and potential risks to health and the environment, converting what would be an environmental contamination into a benefit to the health of the population.

Keywords: *Lactuca sativa*. Lithium. Biofortification.

RESUMEN

Considerando el uso actual del litio, un metal que experimenta un crecimiento exponencial, alcanzando aproximadamente 135.000 toneladas para 2024, debido a su aplicación en la transformación de la matriz energética mediante su uso en baterías, su ubicuidad en equipos de nueva tecnología y el hecho de que solo alrededor del 3% del litio se recicla; considerando que en antiguos vertederos, transformados por poblaciones en las afueras de las ciudades, se establecen huertos comunitarios para cultivar una variedad de vegetales y hortalizas que complementan los ingresos familiares y la dieta diaria; considerando el uso del litio como estabilizador del ánimo, antidepresivo y eficaz contra la conducta violenta y suicida; considerando que el litio se ha utilizado desde la década de 1990 como reductor de la tasa de delincuencia, depresión y drogadicción; la investigación preliminar que se presenta en este artículo se desarrolló para contribuir al conocimiento científico a través de un experimento de laboratorio controlado sobre la biofortificación con litio y sus correlaciones con elementos químicos con propiedades similares (Na, K, Mg, Sr). Se cultivó lechuga BRS Leila (*L. sativa*) en diferentes muestras (simples y triples) contaminadas con carbonato de litio (Li_2CO_3) en concentraciones de 150 y 200 mol/L, con diferentes tiempos de riego. Se concluyó que el litio se correlaciona con otros elementos alcalinos y alcalinotérreos, y que estas asociaciones pueden desarrollarse para lograr un equilibrio más adecuado entre los beneficios y los posibles riesgos para la salud y el medio ambiente, convirtiendo lo que de otro modo sería contaminación ambiental en un beneficio para la salud de la población.

Palabras clave: *Lactuca sativa*. Litio. Biofortificación.

1 INTRODUÇÃO

Em botânica, o termo "sativa" indica que uma planta é cultivada ou domesticada e pelo ser humano. A alface é um vegetal ereto, comestível, da família das margaridas (Asteraceae), nativa do Mediterrâneo à Sibéria e, se adaptou perfeitamente nos trópicos, ocorrem em diferentes variedades, cores e é muito consumida em todas as partes do globo.

Uma espécie bem-sucedida alface é a *Lactuca sativa* (LC), membro da família Compositae de plantas com flores, onde cerca de 27 milhões de hectares são plantadas em todo globo para esta família de vegetais, desenvolvendo-se melhor em pleno sol ou a sombra parcial, em solos organicamente ricos, úmidos e bem drenados. O pH ideal varia de 6 a 6,7. As folhas podem ser colhidas removendo as individualmente (2 a 3 polegadas de comprimento) ou a planta inteira, podendo ser colhida em toco de 70 a sementeira.

A LS é um tipo de alface amplamente consumido no Brasil, tendo em vista a sua facilidade de cultivo, em diversas localidades do Brasil, sobretudo nas periferias de cidades, em muitos locais onde era instalado depósitos de lixo domiciliar, entulhos diversos, sítios estes denominados genericamente lixões, transformados pelas comunidades em hortas, com extensivo cultivo de alface e outros vegetais de pronto consumo das populações. A exemplo a Comunidade de São Torquato, no Espírito Santo ou o bairro de Morro Azul, periferia de São Sebastião, Distrito Federal e muitos outros.

Comuns são as declarações do “*Isso aqui era um lixão antes, era um espaço destinado para o lixo mesmo. As pessoas jogavam lixo aqui. Depois que foi transformado em pequenos canteiros foi que a gente conseguiu dar um basta no lixão.*” (Horta na periferia do DF substitui lixo por verduras e frutas - Agência de Notícias CEUB), ratificando, desta forma, a necessidade de se engendrar pesquisas que venham contribuir o saber científico da ação dos elementos químicos difundidos e presentes nestes sítios e que possivelmente foram incorporados por estas plantas comestíveis e posteriormente incorporadas para aqueles que as utilizam na alimentação cotidiana.

O lítio (Li) é um metal alcalino descoberto em 1817 por Johann August Arfvedson, em estudos da petalita, mineral descoberto e classificado por José Bonifácio de Andrade e Silva, sendo o único brasileiro relacionada a descoberta de um elemento químico. Se trata do terceiro elemento da tabela periódica de Mendeleev, e está localizado na coluna 1A, logo acima do sódio, um elemento com propriedades químicas muito semelhantes e, por sua vez, acima do potássio. Como os outros elementos de seu grupo, o Li possui um único elétron de valência, que é facilmente perdido para formar o cátion Li⁺, o que explica sua baixa eletronegatividade. (Gill, 1989).

Também, na tabela periódica, o Li pode ser ligado diagonalmente ao seu elemento vizinho, o magnésio (Mg). A proximidade dos valores do raio iônico Li (0,76 Angstrom), (0,76 Angstrom), do

Mg (0,72 Angstrom), do Na (1,02 Angstrom) e K(1,038 Angstrom) seguindo as leis das substituições de Goldschmidt/Pauling, seguindo uma sequência de facilidade de substituição, devido as proximidades de tamanhos dos raios iônicos, em sequência Li-Mg-Na-K. Outros pontos importantes dos elementos químicos alcalinos, o que engendra a maior mobilidade e condução de corrente elétrica em solução, seguindo a mesma ordem dos elementos químicos, são a solubilidade, a condutividade, solvatação Ressalta-se que as características intrínsecas do Li o colocam como um dos elementos mais importantes nas épocas atuais da indústria eletrônica, de transmissão de dados, armazenamento de energia e mudança da energia obtida pela combustão para fotovoltaica, sendo um dos componentes mais importantes na transição energética verde, através das baterias de íons de Li (Cruz *et al.*, 2025).

Além da utilização na indústria eletrônica, o Li é um importante componente associado à lubrificantes. Entre as principais características das graxas de lítio, refere-se sua resistência à água e a facilidade de trabalhar em altas temperaturas (de até 150°C), além disso, possui grau elevado de aderência em superfícies metálicas e oferece um bom desempenho tanto em aplicações de cargas elevadas, quanto de carga baixa. Também pode ser utilizada em processos de alta e baixa velocidade.

O Li é também se emprega em benefícios à saúde humana, estando presente em fármacos, na forma predominante de carbonato de lítio, amplamente empregado para o tratamento de transtornos bipolar, sendo o agente que mais possui evidências terapêuticas de doenças de foro psíquico e redução de suicídios (Cruz *et al.*, 2022).

A World Mine Productions & Reserve informou que, em 2023, as reservas conhecidas de Li eram de 26 milhões de toneladas, com uma produção de cerca de 130 mil toneladas. Em 2024, houve um aumento na produção para cerca de 135 mil toneladas.

O volume de extração e do uso de lítio tem crescido a um ritmo alarmante nos últimos anos, sobretudo para o uso de baterias. De acordo com a World Mine Productions & Reserves, de 2018 a 2023, houve um aumento impressionante de 37% no volume de minério extraído. Espera-se que essa tendência continue, com um aumento projetado de 50% até 2030, com o início de novos empreendimentos minerais e da exploração de depósitos fora do eixo australiano. Esse rápido crescimento na extração é motivo de séria preocupação.

Considerando a produção global e o fato de que apenas 3% a 5% das baterias de lítio são recicladas, estima-se que cerca de 12.800 toneladas retornarão à natureza, com grandes probabilidades de causar problemas ambientais, por contaminação. Este fato afetará todos os países, especialmente os menos desenvolvidos, onde o respeito ao meio ambiente e o tratamento de resíduos eletrônicos não são regulamentados.

Neste ponto é que se relaciona a alface, plantada em hortas em antigos lixões, o elemento Li, proveniente de baterias todos tipos de equipamentos e a saúde humana. O comportamento do lítio na alface é descrito por Shakoor *et al.*, (2023), onde, este elemento químico entra no sistema radicular através do espaço extracelular contínuo das plantas, incluindo as paredes celulares e os espaços intercelulares, e é transportado para as células através da parede celular e pode atingir o tecido vascular e a regiões específicas da parede celular encontrada, na endoderme, concentrando-se no córtex da raiz de por meio da atração transpiratória, em proximidades de concentrações elevadas de Li e posteriormente concentrados nas folhas do vegetal.

Tendo em vista os pontos descritos em epígrafe, se engendrou uma pesquisa de plantio controlado de alface (*LS*), semeada em vasos contendo terra vegetal comercial, cultivada em casa de vegetação, irrigando-se com soluções de carbonado de lítio com diversas concentrações e, em seguida coletando-se e se analisando as folhas e raízes das plantas, com o objetivo de se observar a bioacumulação e substituição do Li relacionando em elementos alcalinos e alcalinos terroso (Na, Mg, K, Sr) e os metais Al, Fe, Mn, augurando que este estudo seja estendido para hortas existentes em locais que anteriormente tenham sido lixões, procurando contribuir desta forma, para que estes resultados venham a contribuir para saúde das populações.

2 METODOLOGIA

O experimento foi realizado, durante a passagem verão/outono, em uma área externa sem do Instituto de Geociências - IGEO da Universidade Federal da Bahia – UFBA, localizado no Campus Ondina, Salvador, em uma área sem acesso às pessoas. O clima local, segundo a Thornthwaite climate classificação é B1r'A, caracterizado como um ambiente úmido, pequena ou nenhuma deficiência hídrica, megatérmico ($EP > 1140\text{mm}$), chuvas de primavera/verão e outono/inverno (SEI, 1997). Durante todo o período do desenvolvimento das plantas, foi medido e controlado a qualidade do ar através do equipamento JLDG JD-3002, anotando-se os valores de CO_2 em torno de 385ppm, TVOC próximos a $0,014 \text{ mg/m}^3$, HCHO $0,0 \text{ mg/m}^3$ e temperatura em torno de $25\text{-}26^\circ\text{C}$. Todos estes dados mantiveram-se relativamente constantes.

O plantio da *LS* foi realizado em substrato de 100% de terra vegetal adubada com esterco de gado. Foi quarteada uma amostra de cerca de 100g e analisada no LePetro UFBA, para determinação dos elementos Li, Ca, Mg, Al, Na e K, além do pH. No laboratório de Plasma do IGEO UFBA foram preparadas as soluções de concentrados de lítio. Utilizou-se 1 litro de água deionizada ultra pura, adicionando-se carbonato de lítio (Li_2CO_3), na razão de 150 mol/L e 200mol/L. O Carbonato de Li

foi adquirido na companhia Êxodo Científica e apresenta no rótulo a seguinte composição Carbonato de lítio PA - PM 73,89 g/mol.

As sementes de *LS*, nomeada do tipo BRS Leila, foram adquiridas na empresa Agrocinco, licenciada pela EMBRAPA. As sementes foram selecionadas visualmente e plantadas em vasilhames de plástico incolor de 2L, preenchidos com 1,5 kg de substrato cada, perfuradas na face inferior. A cultura de *LS* ficou disposta em ambiente natural, em uma casa de vegetação cobertura de plástico de transparente, o que proporcionou o cultivo e crescimento das plantas à exposição indireta dos raios solares, recebendo a umidade natural, sendo, entretanto, abrigadas do gotejas direto das chuvas e da ação do vento. O experimento durou cerca de 70 dias corridos.

Foram instalados os seguintes experimentos amostrais: i) Planta singular (1 indivíduo) alocada individualmente em vaso; ii) Plantas múltiplas (3 indivíduos), alocadas em um vaso e, iii) Plantas branco de referência.

Semanalmente realizou-se a irrigação os indivíduos amostras (Planta Singular e Planta múltiplas), triplicando o procedimento e utilizando-se as duas concentrações de soluções de carbonato de lítio (Li_2CO_3). As amostras Planta branco foram irrigadas com água deionizada ultrapura. Cerca do septuagésimo dia, as plantas estavam desenvolvidas, atingindo a fase adulta, com a individualização raízes/caule e folhas e tamanho médio da de 10cm, a partir da raiz. O processo da colheita foi realizado três amostragens quinzenais e seis amostragens semanais.

Foram colhidas folhas com raízes, lavadas com água deionizada ultra pura, de forma individual, e substituição da água usada. Cada indivíduo foi pesado, medido e separado folha e raiz, embaladas em sacos herméticos etiquetados e congeladas. As amostras congeladas foram liofilizadas no equipamento L108, marca Liobras, durante o período de 24 horas. Em seguida foram individualmente pulverizadas em shatterbox e encaminhada para preparação para análise química.

Para a digestão de cada amostra utilizou-se 1g da amostra pulverizada, colocada em Becker de teflon. A abertura foi feita utilizando-se 5ml de ácido nítrico concentrado de P.A. 65%. A digestão se processou em chapa aquecedora analógica, a 90°C, em capela laboratorial, por quatro horas, sendo homogeneizadas a cada hora.

Após retirada da chapa e esfriados por cerca de 1 hora em ambiente da capela, foram adicionados em cada Becker-amostra 1ml de peróxido de hidrogênio 30% e deixados para processar a digestão por um período de 2 horas em chapa aquecedora, processando-se a homogeneização da amostra a cada hora, utilizando-se bastão de vidro. Após o resfriamento, as amostras preparadas para análises foram transferidas para tubos de 15ml, transparentes e avolumadas com água deionizada ultrapura.

As amostras foram analisadas no ICP-OES marca Thermoscientific modelo iCAP PRO do Laboratório de Plasma do Instituto de Geociências da UFBA, utilizando-se gás argônio ultrapuro. Foram analisados os seguintes elementos químicos Li, Na, K, Sr, Mg, Al, Fe, Mn Co e Zn, cujas médias estão expressas na tabela 1.

3 RESULTADOS

As análises do substrato de plantio da LS apresentam os resultados pH de 6.0 e o conteúdo completamente ausente de Li inferior a 25mg/Kg. Foram encontrados teor de Na da ordem de $0,09\text{cmol/dm}^3$, K da ordem de $0,15\text{ cmol/dm}^3$ Mg da ordem de $0,36\text{cmol/dm}^3$, Ca da ordem de $1,23\text{cmol/dm}^3$ e Al $<0,031\text{cmol/dm}^3$. Estes elementos químicos foram analisados seguindo-se os ST of Water and Waster, 2005. E a partir do cálculo de capacidade trocável de cátions e se encontram biodisponíveis para a planta em desenvolvimento.

Os resultados das análises químicas das amostras de folhas e raízes do experimento de cultivo de LS regada com carbonato de lítio (Li_2CO_3), em diversas razões são apresentadas da Tabela 1 (resultados analíticos in anexos Crelier, inédito). A figura 1 (A,B,C,D,E,F,G,H,I) apresentam os histogramas dos elementos químicos Li, Na, K, Mg, Ca, Sr, Al, Fe e Mn reciprocamente, também são traçados os erros calculados dos valores das médias analíticas. A figura 2 apresenta os diagramas *block-plots* dos resultados das médias das análises dos elementos Li (A), Na (B), K (C), Mg (D), Ca (E), Sr (F), Al (G), Fe (H) e Mn (I). A figura 3 apresenta os diagramas binários dos resultados das médias das análises dos elementos Li (A), K (B), Mg (C), Ca (D), Sr (E), Al (F), Fe (G) e Mn (H) em relação aos teores de Na.

A Tabela 2 apresenta os valores calculados mínimos, média, mediana, desvio padrão e máxima dos valores obtidos dos elementos Li, Na, K, Mg, Ca, Sr, Al, Fe, Mn das amostras de LS cultivadas. Observa-se que as análises dos elementos Li, Na, Mg, Ca, Sr, Fe e Mn apresentam baixa dispersão dos pontos, em torno da média, o que não acontece para o elemento K e para o Al no conjunto raízes 150 Li_2CO_3 30 dias.

4 DISCUSSÕES

O conjunto de histogramas dos elementos químicos analisados, apresentados na figura 1 permite observar que o efeito importante da rega com carbonato de lítio Li_2CO_3 e suas diferentes concentrações (200 mol/L e 150 mol/L). A comparação das amostras regadas com água ultra pura com as amostras regadas com as diferentes concentrações, mesmo em períodos de rega diferentes, onde as espécies de referências (Branco) apresentam teores dos elementos Li, Na, K, Mg, Ca, Sr, Al, Fe, Mn

muito baixos ou não detectado, exceção do Na, que apresentam valores baixos, no entanto, comprovando a absorção pelas plantas referências.

Observando-se o conjunto de histogramas da figura 1 (A,B,C,D,E,F,G,H,I) observa-se o efeito da solução Li_2CO_3 200 mol/L sobre o Li_2CO_3 150 mol/L. A solução de maior concentração permitiu a maior adsorção dos elementos Li, Na, K, Mg, Ca e Sr sendo menos importante para os elementos Al, Fe e Mn.

Em relação ao período de rega de Li_2CO_3 150 mol/L, as folhas regadas pelo período de 15 dias apresentam mais variadas concentrações em relação as folhas regadas pelo período de 30 dias para os elementos Li, Na, K, Mg, Ca e Sr. Os elementos Al, Fe e Mn não apresentam variações importantes. Observa-se valores mais elevados do que a média dos de Al e Fe e que estaria relacionado à algum tipo de contaminação das raízes das espécies analisadas.

Tabela 1 – Média das análises químicas das folhas e raízes de LS. (resultados in anexos Crelier, inédito).

	Li_2CO_3	Li	Na	K	Mg	Ca	Sr	Al	Fe	Mn
	mol/L	ppm								
7folha	200,00	0,047	2,66	21,77	1,37	2,50	0,25	0,44	0,13	0,04
folha	200,00	0,040	3,30	26,07	1,80	3,11	0,28	0,11	0,06	0,05
10 folha	200,00	0,036	4,76	38,37	2,10	4,43	0,45	0,17	0,11	0,07
9folha	150,00	0,035	3,27	31,55	1,46	3,24	0,31	0,20	0,08	0,03
9folha	150,00	0,035	3,27	31,55	1,46	3,24	0,31	0,20	0,08	0,03
15 folha	150,00	0,032	6,17	45,84	7,09	16,15	1,80	0,23	0,13	0,22
16 folha	150,00	0,031	5,78	48,88	3,20	7,90	0,66	0,14	0,09	0,06
21 folha	150,00	0,023	5,37	47,00	3,43	6,42	0,99	0,21	0,13	0,06
22folha	150,00	0,018	6,04	49,58	6,07	13,96	2,68	0,22	0,12	0,19
32folha	150,00	0,018	4,92	29,51	2,38	6,99	1,43	0,47	0,12	0,05
34folha	150,00	0,021	7,30	47,96	7,72	18,66	3,75	1,65	0,44	0,25
49folha	150,00	0,032	7,11	31,00	3,37	8,68	0,85	0,56	0,21	0,06
50 folhas	150,00	0,042	7,37	40,39	3,99	10,20	0,93	0,95	0,26	0,11
51 folha	150,00	0,031	7,12	28,37	2,62	12,76	0,70	0,38	0,12	0,05
66folha	150,00	0,032	6,00	38,27	3,62	9,73	0,95	0,45	0,15	0,07
68folha	150,00	0,038	7,22	43,74	3,26	9,40	0,99	1,02	0,26	0,04
31 raiz	150,00	0,028	5,43	17,52	2,30	3,92	1,52	3,80	1,22	0,04
33raiz	150,00	0,025	6,55	18,21	1,70	4,99	1,65	7,56	1,74	0,09
67raiz	150,00	0,037	4,07	10,53	1,48	3,02	0,75	2,28	0,70	0,02
raiz 30	150,00	0,051	3,67	9,89	1,54	2,79	0,62	6,43	1,51	0,03
Raiz branco	150,00	0,000	0,94	0,01	0,01	0,01	0,02	0,04	0,01	0,00
Folha branco	150,00	0,000	0,80	0,01	0,00	0,02	0,00	0,02	0,01	0,00
			Planta regada 200 mol/L de Li_2CO_3							
			Planta regada 150 mol/L de Li_2CO_3 15 dias							
			Planta regada 150 mol/L de Li_2CO_3 15 dias							

	Raiz regada com 150 mol/L de Li_2CO_3 15 dias
	Raiz regada com 150 mol/L de Li_2CO_3 30 dias

Fonte: Autores, 2025

O conjunto de diagramas box plot apresentados na figura 2, permite observar comportamentos semelhantes para os elementos Li, Na e K possuem comportamentos próximos para as amostras de folhas regadas com 200 mol/L Li_2CO_3 e das raízes regadas com 150 mol/L e 30 dias. Por outro lado, as folhas regadas com 150 mol/L Li_2CO_3 durante 15 dias possuem absorções similares destes elementos.

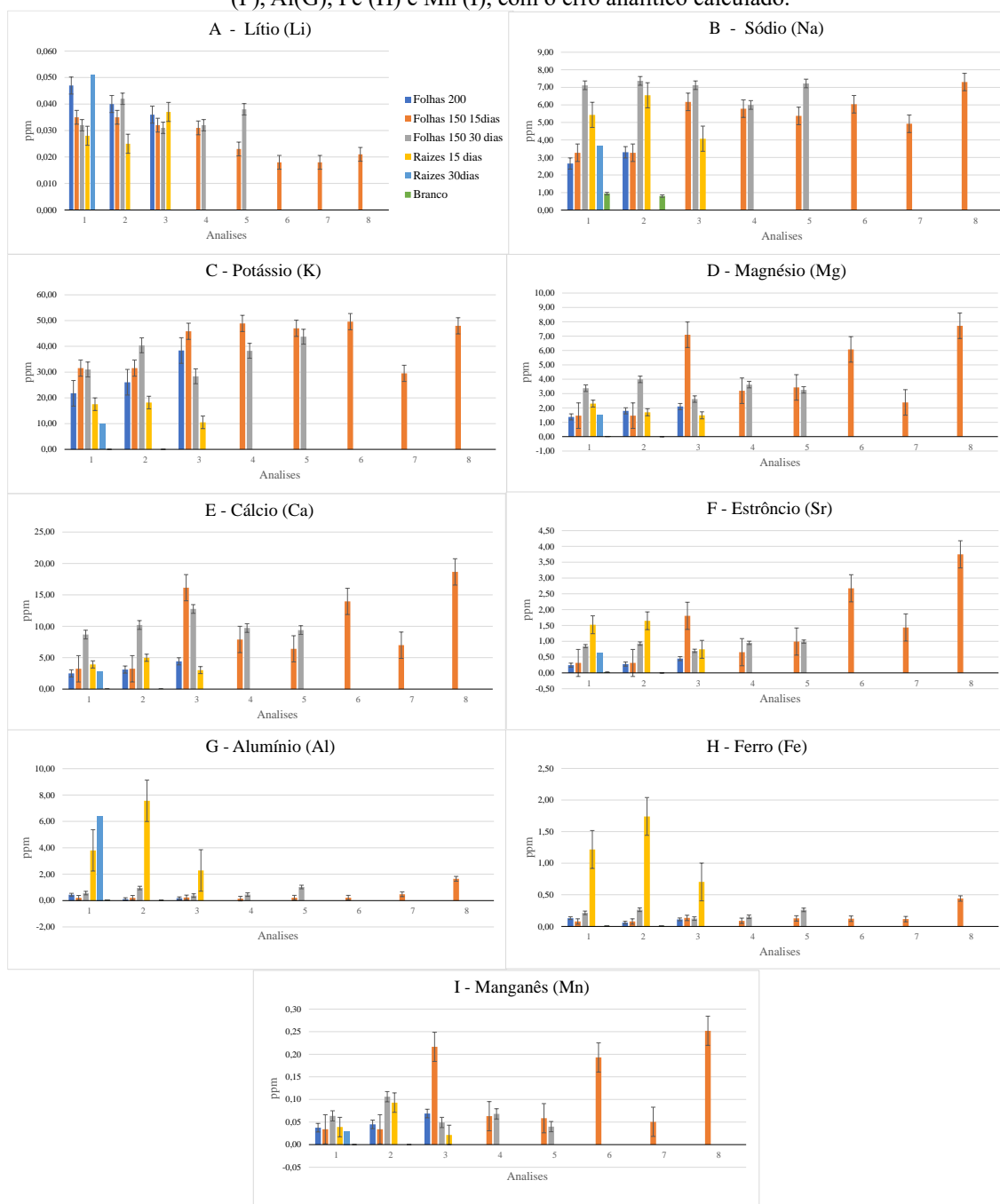
Tabela 2 – Valores calculados mínimos, média, mediana, desvio padrão e máxima dos valores obtidos dos elementos Li, Na, K, Mg, Ca, Sr, Al, Fe, Mn das amostras de LS cultivadas.

Folhas 200mol/L Li_2CO_3	Li	Na	K	Mg	Ca	Sr	Al	Fe	Mn
									0,00
Mínimo	0,04	2,66	21,77	1,37	2,50	0,25	0,11	0,06	0,04
Média	0,04	3,37	27,19	1,70	3,17	0,30	0,17	0,09	0,05
Mediana	0,04	3,30	26,07	1,80	3,11	0,28	0,17	0,11	0,05
Desvio padrão	0,00	0,88	7,04	0,30	0,80	0,09	0,14	0,03	0,01
Máxima	0,05	4,76	38,37	2,10	4,43	0,45	0,44	0,13	0,07
Folhas 150mol/L Li_2CO_3 15 dias									
Mínimo	0,02	3,27	29,51	1,46	3,24	0,31	0,14	0,08	0,03
Média	0,02	4,88	39,63	2,83	6,50	0,74	0,24	0,11	0,06
Mediana	0,03	5,58	46,42	3,31	7,44	1,21	0,21	0,12	0,06
Desvio padrão	0,01	1,32	8,31	2,35	5,53	1,14	0,47	0,11	0,09
Máxima	0,04	7,30	49,58	7,72	18,66	3,75	1,65	0,44	0,25
Folhas 150mol/L Li_2CO_3 30 dias									
Mínimo	0,03	6,00	28,37	2,62	8,68	0,70	0,38	0,12	0,04
Média	0,03	6,92	35,40	3,31	9,98	0,87	0,57	0,19	0,06
Mediana	0,03	7,12	38,27	3,37	9,73	0,93	0,56	0,21	0,06
Desvio padrão	0,00	0,49	5,78	0,45	1,39	0,10	0,27	0,06	0,02
Máxima	0,04	7,37	43,74	3,99	12,76	0,99	1,02	0,26	0,11
Raízes 150mol/L Li_2CO_3 15 dias									
Mínimo	0,03	4,07	10,53	1,48	3,02	0,75	2,28	0,70	0,02
Média	0,03	5,15	14,49	1,77	3,82	1,15	3,60	1,06	0,04
Mediana	0,03	5,43	17,52	1,70	3,92	1,52	3,80	1,22	0,04
Desvio padrão	0,01	1,01	3,47	0,35	0,80	0,40	2,22	0,42	0,03
Máxima	0,04	6,55	18,21	2,30	4,99	1,65	7,56	1,74	0,09
Raízes 150mol/L Li_2CO_3 30 dias									
Mínimo	0,05	3,67	9,89	1,54	2,79	0,62	6,43	1,51	0,03
Média	0,05	3,67	9,89	1,54	2,79	0,62	6,43	1,51	0,03
Mediana	0,05	3,67	9,89	1,54	2,79	0,62	6,43	1,51	0,03
Desvio padrão	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Máxima	0,05	3,67	9,89	1,54	2,79	0,62	6,43	1,51	0,03

Branco									
Mínimo	0,00	0,80	0,01	0,00	0,01	0,00	0,02	0,01	0,00
Média	0,00	0,86	0,01	0,00	0,02	0,00	0,03	0,01	0,00
Mediana	0,00	0,87	0,01	0,01	0,02	0,01	0,03	0,01	0,00
Desvio padrão	0,00	0,07	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00
Máxima	0,00	0,94	0,01	0,01	0,02	0,02	0,04	0,01	0,00

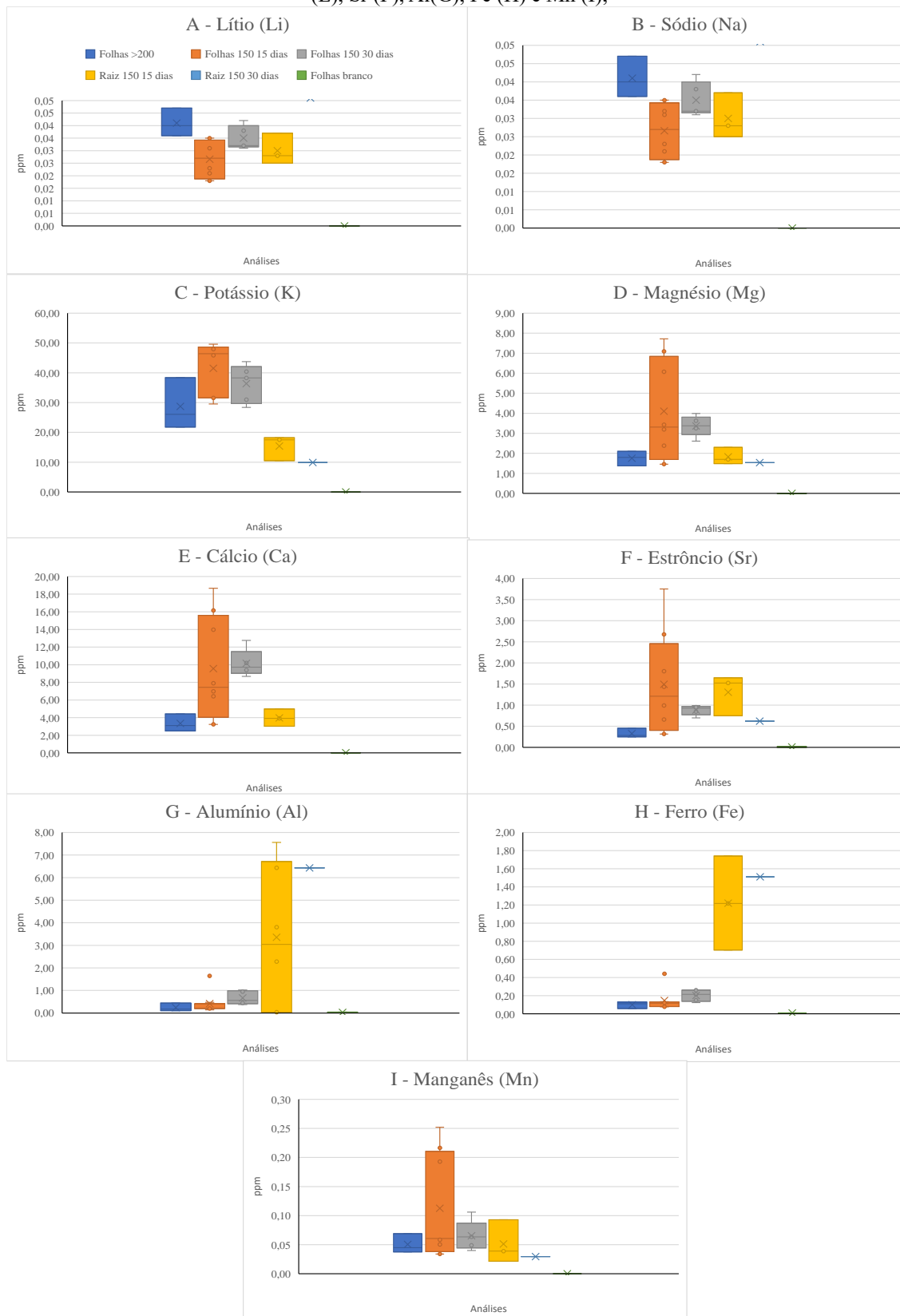
Fonte: Autores, 2025

Figura 1 – Histogramas dos resultados das médias das análises dos elementos Li (A), Na (B), K (C), Mg (D), Ca (E), Sr (F), Al (G), Fe (H) e Mn (I), com o erro analítico calculado.



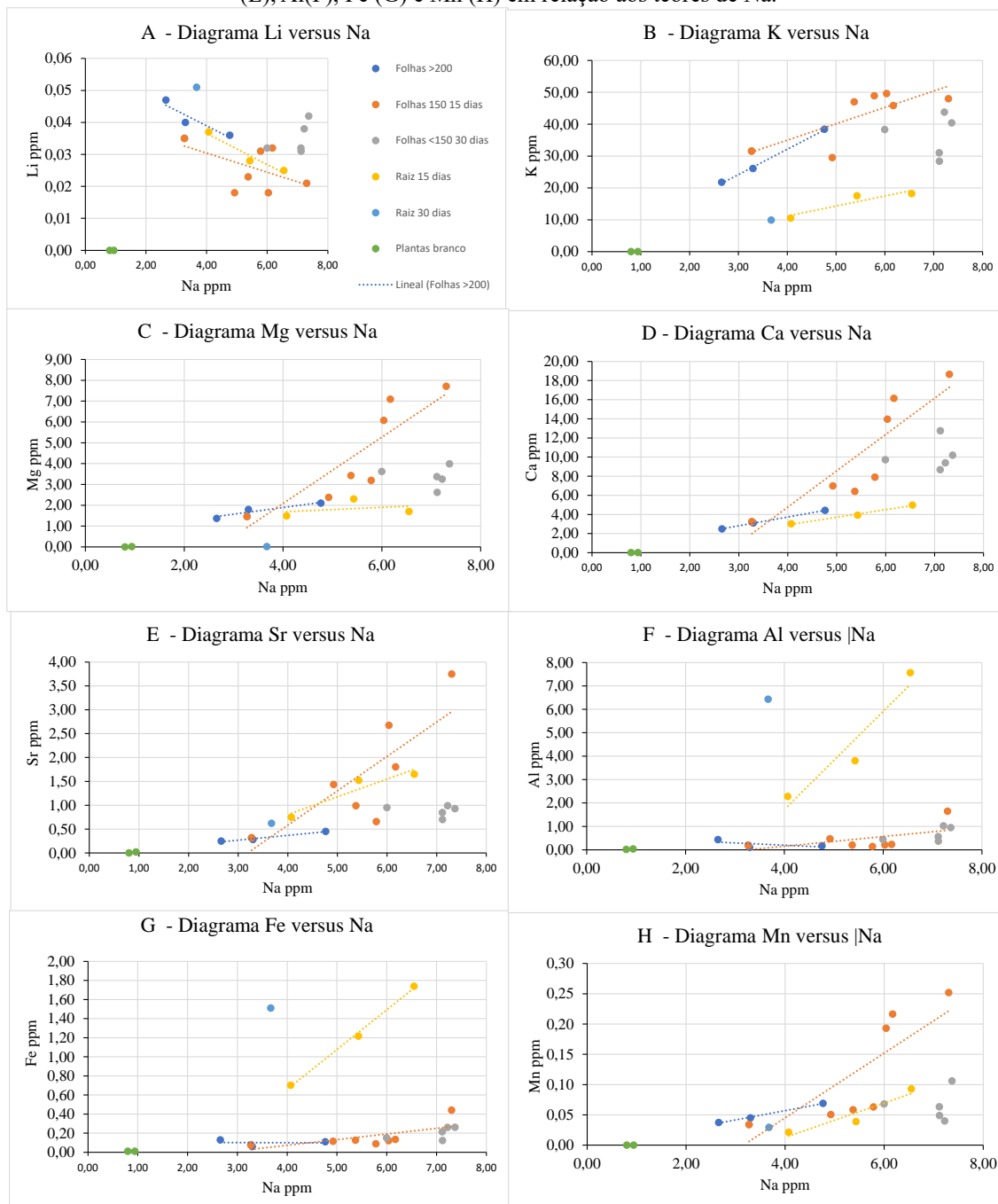
Fonte: Autores, 2025

Figura 2 – Diagramas *bloc-plots* dos resultados das médias das análises dos elementos Li (A), Na (B), K (C), Mg (D), Ca (E), Sr (F), Al (G), Fe (H) e Mn (I),



Fonte: Autores, 2025

Figura 3 – Diagramas binários dos resultados das médias das análises dos elementos Li (A), K (B), Mg (C), Ca (D), Sr (E), Al(F), Fe (G) e Mn (H) em relação aos teores de Na.



Fonte: Autores, 2025

Os elementos alcalinos terrosos Ca e Sr apresentam maiores variações de absorção para as folhas regadas 150 mol/L Li_2CO_3 durante 15 dias. Os elementos metálicos Al e Fe apresentam grandes variações nas raízes regadas por 15 dias e o Mn apresenta maior variação para as amostras de folhas regadas por 150 mol/L Li_2CO_3 durante 15 dia.

A exceção do Li, o elemento Na é o que apresenta maior mobilidade geoquímica (Gill,1989), tendo em vista o seu potencial químico. Em todas as amostras do experimento com LC o Na está

presente, mesmo nas plantas regadas unicamente com água pura. Por este motivo, optou-se por eleger este elemento químico com referência e observar os comportamentos dos demais elementos analisados, ou sejam Li, K, Mg, Ca, Sr, Al, Fe e Mn em relação ao Na (Figura 3 - A,B,C,D,E,F,G,H) reciprocamente.

O Li (Figura 3 A), apresenta o comportamento do Li em relação ao Na, constata-se que a maneira do crescimento do Na existe o decréscimo do Li. Este elemento mais enriquecido na espécimes de folhas regadas com mol/L Li_2CO_3 , decaem progressivamente em relação as folhas regadas com 150 mol/L Li_2CO_3 15 dias e em seguida para as raízes. Nas amostras de folhas regadas 150 mol/L Li_2CO_3 30 dias, o Li se comporta em tendência inferior aos demais, no entanto, internamente no conjunto, as variações de teores analisados não apresentam correlações expressivas em relação ao Na. Não existe correlação entre Li e Na nas amostras Branco.

Os elementos K, Mg, Ca e Sr, cujas correlações com o elemento Na são apresentadas nas figuras 3 - B,C,D e E apresentam correlação positiva, iniciando nas amostras representantes das raízes e crescendo para as folhas regadas em 200 mol/L Li_2CO_3 em seguida folhas regadas com 150 mol/L Li_2CO_3 . Urge salientar que os valores de K e Sr tendem a ser muito próximos, pouco dispersos, entretanto apresenta tênue correlação com Na.

As relações dos metais Al, Fe e Mn em correlação com o Na, mostrados nas figuras 3 – G,H e I, observa-se a não existência de correlação entre estes elementos nas amostras. Os valores anômalos de destes elementos, sobretudo nas amostras de raízes, caracterizam contaminação com o substrato e a impregnação nas amostras, onde o resíduo não foi completamente retirado, nas etapas de preparação analítica.

O comportamento do Li nas amostras de LS cultivadas e analisadas, segue o que foi citado por Shakoore *et al.*, 2023. Os nutrientes ricos neste elemento químico enriquecem a partir das raízes, enriquecendo em direção as folhas, não sendo importante as variações de teores em soluções nutrientes. Segundo Singh *et al.*, 2019, em pesquisas mapeando a distribuição de elementos Li e dos processos distribuição deste elemento em tecidos vegetais, comprovaram que a difusão nas folhas das plantas ocorre através de suas nervuras (ou seja, feixes de tecido vascular) e mais próximos ao ponto inicial dos teores da solução nutriente rica em Li, ratificando desta forma a relação dos teores maiores encontrados no experimento LS com a solução 200 mol/L Li_2CO_3 .

A similaridade do comportamento dos elementos Mg, K, Ca e Sr e a evolução do Li em relação a estes elementos, pode ser entendida pelas semelhanças em seus raios iônicos e a fraca coordenação. Existe a substituição eficaz destes elementos durante todo experimento, o que é denotada pelas fortes correlações, entretanto não se deve esquecer a possibilidade de contaminações induzidas por produtos

em inclusões e em cavidades ou vazios estruturais, durante a fase de absorção dos metais, como explica Shazat *et al.*, 2016.

Embora não seja um mineral essencial para as plantas, o Li afeta o crescimento e o metabolismo de certas plantas, causando lesões necróticas (Kavanagh *et al.*, 2018). Durante o experimento de plantio e rega do LC, não foi observado esta anomalia.

5 CONCLUSÕES

Desenvolver experimentos que reúnam aspectos da geoquímica analítica e experimental e relacioná-las com a biologia, necessita sempre o aprimoramento da metodologia, principalmente no que se refere os cuidados com a escolha das sementes, o desenvolvimento das plantas, o substrato utilizado, o local onde será desenvolvido o experimento e a escolha do contaminante que será utilizado. No experimento descrito neste artigo, se tonou evidente a necessidade de repetição do experimento, a partir do desenvolvimento metodológico engendrado e a necessidade de se utilizar não apenas o contaminante Li_2CO_3 , mas incluir outras soluções, a exemplo LiCl ou Li_2SO_4 . Outro ponto muito importante na preparação das soluções é observar a confiabilidade dos teores presentes nos rótulos destas soluções. A maior contribuição desta pesquisa foi o desenvolvimento da metodologia, seguindo-se o rigor científico, que contribuirá para futuras avaliações desenvolvidas nesta pesquisa sobre a bioacumulação do Li em alface e balizar os fatores que influenciam neste processo.

Os resultados obtidos nesta pesquisa, apesar das condições restritas específicas, ratificam a necessidade do desenvolvimento de ações governamentais nas proximidades de lixões, onde a população local aproveita os sítios anteriormente ocupados por todo tipo de resíduos, inclusive e-lixo, que são fonte de Li, presente nas baterias, que foram descartadas. O experimento provou que em locais onde não exista a presença de Li, este não estão presentes nas folhas e nas raízes.

Por outro lado, o Li presente em soluções carreadas a partir de áreas onde as baterias foram descartadas, facilmente passam a ser compostos, principalmente na forma de carbonatos, em sítios com pH em torno de 6, como é o caso dos lixões, desenvolvendo soluções contaminantes.

Como ficou evidenciado nesta pesquisa, o Li possui um comportamento correlacionado com os demais elementos alcalinos e alcalinos terrosos e estas associações podem ser desenvolvidas no sentido de se buscar por um equilíbrio mais adequado entre os benefícios e os possíveis riscos à saúde e ao ambiente.

Finalizando, Shakoar *et al.*, (2023) concluíram que o lítio apresenta impacto positivo significativo à saúde humana se consumido em concentrações corretas, outrossim, aspectos negativos estão presentes quando existem concentrações, ausentes ou muito elevadas na alimentação E com a

máxima de Paracelso, médico suíço, pai da toxicologia: a diferença entre o remédio e o veneno é a dose.

AGRADECIMENTOS

Artigo desenvolvido na lista de projetos CNPq 472088/2006-8, CAPES 88887.886678/2023-00.
Bolsa Fabesb Pedido Nº 1336/2024 - Cota 2024

REFERÊNCIAS

- Crelier, P.,M. (inédito) Investigação da bioacumulação de lítio em alface (*Lactuca sativa*) sob cultivo em substrato com carbonato de lítio. Dissertação de Mestrado. Pospetro.
- Cruz, M.J.M.V, Crelier, P.M., Gonçalves, M.V.P, Otero, O.,M.,F. 2025. About the applications of the Lithium element. Revista **DELOS**, Curitiba, v.18, n.63, p. 01-23. DOI: 10.55905/rdelosv18.n63-052.
- Cruz, M. J. M.; Neves, M. O. T.; Otero, O. M. F.; Gonçalves, M. V. P.; Pena, L. C. S. Complexidade do lítio geogênico. 2022. **Cadernos de Geociências**, v. 15. DOI: <https://doi.org/10.9771/geocad.v15i0.52065>
- Gill, R. 1989. Chemical fundamentals of Geology. Unwin Hyman, London. 291pp.
- Kavanagh,L., Keohana,J., Cabellos,G.G., Loyde.A., Cleary,J. 2018. Induced Plant Accumulation of Lithium *Geosciences* 8(2), 56; <https://doi.org/10.3390/geosciences8020056>
- SEI. Superintendência De Estudos Econômicos E Sociais Da Bahia. 1997 Disponível em: https://www.sei.ba.gov.br/site/geoambientais/mapas/pdf/tipologia_climatica_segundo_koppen_2014.pdf. Acesso em janeiro de 2025
- Shakoor, N; Adeel, M.; Ahmad, M.A.; Huaain, M.; Azeem, I.; Zain, P.; Li, Y.; Xu,M.; Rui,Y. 2023. Environment-relevant concentrations of lithium influence soybean development via metabolic reprogramming. *Journal of Hazardous Materials* 441 (2023) 129898. doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.129898
- Shazat,B., Tanveer,M., Hassan,W., Shah,A.N, Anjun,S.A, Ali,I. 2016 Lithium toxicity in plants: Reasons, mechanisms and remediation possibilities – A review.
- Plant Physiology and Biochemistry* Volume 107, October 2016, Pages 104-115
<https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.05.034>
- Singh,V. K, Tripathi,.L., Mao, R.E., Russo, R.E., Zorba,V. 2019 Elemental Mapping of Lithium Diffusion in Doped Plant Leaves Using Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS).*Applied Spectroscopy*. Sage Journal, vol.73.issue 4. <https://doi.org/10.1177/0003702819830394>