

## BIOFORTIFICAÇÃO VIA FOLIAR DE DOSES HIDRÓXIDO DE LÍTIUM EM GENÓTIPOS DE CHIA CULTIVADO EM DIFERENTES ÉPOCAS DE PLANTIO

Rodrigo Ribeiro Fidélis<sup>1</sup>, Guillermo Arturo Herrera Chan<sup>2</sup>, Danilo Pereira Ramos<sup>3</sup>, Marilene Alves Ramos Dias<sup>4</sup>, Rodrigo Robson Cavalcante<sup>5</sup>

### RESUMO:

O objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito da adubação via foliar de doses de hidróxido de lítio, no desenvolvimento e produtividade de genótipos de chia em diferentes épocas de plantio no sul do estado do Tocantins. O experimento foi conduzido na Universidade Federal do Tocantins, Campus de Gurupi, no período da safra (ano agrícola 2018/19) e entressafra (2019), em blocos ao acaso, sob esquema fatorial 5x2x2, com quatro repetições. O primeiro fator foi constituído por cinco doses (0, 10, 20, 30 e 40 g ha<sup>-1</sup>), o segundo fator por dois genótipos de chia (um oriundo do Paraguai e outro oriundo da Argentina) e o terceiro fator determinado por duas épocas de plantio (safra e entressafra). A primeira aplicação foi feita aos 70 dias na safra e aos 65 dias na entressafra, já a segunda aos 95 dias na safra e aos 75 dias na entressafra após o transplantio. Foram avaliadas as características altura da planta, altura da haste superior, diâmetro do caule, comprimento do cacho, número de cachos, fotossíntese líquida, transpiração, condutância estomática e, após a colheita aos 145 dias (na safra) e 120 dias (na entressafra), foram avaliados a massa de mil grãos, produtividade de grãos e teor de Li nos grãos e na folha. Os resultados indicam que a aplicação foliar de LiOH promoveu efeitos significativos na morfologia, rendimento, fisiologia e teor de Li na cultura chia. As maiores concentrações de lítio nos grãos foram obtidas com o genótipo oriundo do Paraguai na aplicação de 29,3 g ha<sup>-1</sup> e 23,9 g ha<sup>-1</sup> na época da safra e entressafra, respectivamente. As melhores respostas morfológicas e fisiológicas foram obtidas com o genótipo Paraguai na época da safra.

**Palavras-chave:** Biofortificação agrônômica, aplicação foliar, adubação, crescimento, toxicidade, chia..

### ABSTRACT:

The objective of this work was to evaluate the effect of foliar fertilization with doses of lithium hydroxide on the development and productivity of chia genotypes at different planting times in the south of the state of Tocantins. The experiment was conducted at the Federal University of Tocantins, Gurupi Campus, during the harvest period (agricultural year 2018/19) and off-season (2019), in randomized blocks, under a 5x2x2 factorial scheme, with four replications. The first factor consisted of five doses (0, 10, 20, 30 and 40 g ha<sup>-1</sup>), the second factor consisted of two chia genotypes (one from Paraguay and the other from Argentina) and the third factor was determined by two planting times (harvest and off-season). The first application was made 70 days into the harvest and 65 days into the off-season, while the second was applied 95 days into the harvest and 75 days into the off-season after transplanting. The characteristics of plant height, upper stem height, stem diameter, bunch length, number of bunches, net photosynthesis, transpiration, stomatal conductance and, after harvest at 145 days (in harvest) and 120 days (off-season) were evaluated, the mass of a thousand grains, grain productivity and Li content in the grains and leaf were evaluated. The results indicate that the foliar application of LiOH promoted significant effects on the morphology, yield, physiology and Li content in the chia culture. The highest concentrations of lithium in the grains were obtained with the genotype from Paraguay when applying 29,3 g ha<sup>-1</sup> and 23,9 g ha<sup>-1</sup> during the harvest and off-season, respectively. The best morphological and physiological responses were obtained with the Paraguai genotype at harvest time.

**Keywords:** Agronomic biofortification, leaf application, fertilization, growth, toxicity, chia.

<sup>1</sup> Professor, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal do Tocantins, Campus de Gurupi-UFT, Tocantins, Brasil..

<sup>2</sup> Doutor em Produção Vegetal pela Universidade Federal do Tocantins – UFT, Gurupi, Tocantins, Brasil.

<sup>3</sup> Doutor em Produção Vegetal pela Universidade Federal do Tocantins – UFT, Gurupi, Tocantins, Brasil.

<sup>4</sup> Doutora em Produção Vegetal pela Universidade Federal do Tocantins – UFT, Gurupi, Tocantins, Brasil.

<sup>5</sup> Doutorando em Produção Vegetal pela Universidade Federal do Tocantins – UFT, Gurupi, Tocantins, Brasil.

Contato: [fidelisrr@uft.edu.br](mailto:fidelisrr@uft.edu.br)

## 1. INTRODUÇÃO

O Lítio (Li) é um metal alcalino leve com alta atividade química, considerado micronutriente importante com amplo uso medicinal, tem efeitos benéficos em humanos e animais, destacando seu papel em processos vitais, utilizado principalmente como tratamento para prevenir alguns problemas comportamentais, transtornos do humor, transtorno bipolar, suicídio, homicídio e doenças cardíacas (DELL’OSSO et al., 2016; DINIZ et al., 2013). Embora seja menos comum, o excesso de Li pode ser prejudicial à saúde humana, dependendo da dose em sua fisiologia pode causar uma série de efeitos crônicos colaterais de tremor, náusea, diarreia e ataxia (BARROILHET et al., 2020).

Desta forma, é essencial que a ingestão diária de Li na dieta humana esteja dentro de uma faixa restrita, baseados em estudos nutricionais, a ingestão alimentar recomendada de Li é 1 mg por dia (SCHRAUZER, 2002). Os alimentos de origem animal, grãos, vegetais, e água potável são as fontes mais importantes de Li na dieta humana (FIGUEROA et al., 2013; VOICA, et al., 2020). Porém, a maioria desses itens alimentares pode ter apenas um impacto moderado no suprimento de Li, perante isso é necessário estabelecer estudos sobre o aumento da concentração de Li em alimentos e bebidas por meio da biofortificação (SEIDEL et al., 2020).

Nas últimas décadas a biofortificação agrônômica foi identificada como estratégia viável e amplamente sugerida para aumentar a concentração de nutrientes nas partes comestíveis das plantas, por meio de práticas de fertilização via foliar a qual é comparativamente mais compensadora do que aplicação via solo, conseguindo alcançar a biofortificação no grão de vários elementos (HUSSAIN et al., 2020; STEIN et al., 2010).

O acúmulo de Li nas plantas pode variar em função da espécie ou genótipo vegetal, portanto, a seleção de genótipos com maior capacidade de acúmulo de Li, torna-se também uma estratégia de grande importância, para brindar-lhe a confiabilidade ao produtor enquanto ao bom desempenho agrônômico da biofortificação (ARAL & VECCHIO-SADUS, 2008; RIVERA et al., 2016). Cakmak & Kutman (2018) relataram que a biofortificação do grão com elementos essenciais pode garantir a entrega de minerais às populações-alvo com deficiências nutricionais que vivem em áreas remotas de países em desenvolvimento e subdesenvolvidos.

Apesar do Li não ser considerado um elemento essencial nas plantas, pesquisas tem demonstrado o sucesso da biofortificação deste metal em chia (*Salvia hispanica* L.), milho (*Zea mays*), espinafre (*Spinacia oleracea*), soja (*Glycine max* L.), alface (*Lactuca sativa* L.) e várias espécies de cogumelos (Chan et al., 2021; HAWRYLAK-NOWAK et al., 2012; MAKUS

et al., 2006; SIWULSKI et al., 2019; SANTOS et al., 2019; SILVA et al., 2019).

O Li é conhecido por agir sobre as plantas de três maneiras: em baixas concentrações, aumenta resistência a doenças e estimula o crescimento, em altas concentrações inibe o crescimento e para as plantas de baixa tolerância pode tornar-se tóxico (KAVANAGH et al., 2018; MCSTAY, 1980). Na literatura existe poucas informações o que tem gerado várias controvérsias sobre os efeitos do Li na morfologia e fisiologia das plantas.

Portanto, estudos sobre aplicação via foliar de Li são necessários para estabelecer novas informações sobre os níveis benéficos e críticos na biofortificação agrônômica das culturas. Objetivou-se com este estudo avaliar o efeito da adubação via foliar de doses de hidróxido de Lítio, no desenvolvimento e produtividade de genótipos de chia cultivados em diferentes épocas de plantio no sul do estado do Tocantins.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

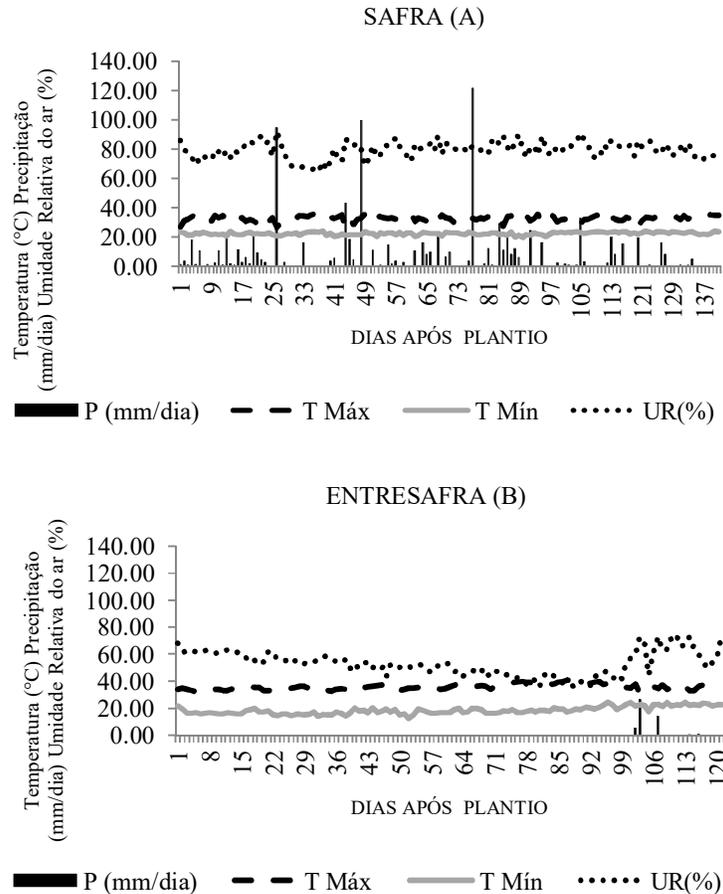
O experimento foi conduzido na área experimental da Universidade Federal do Tocantins (UFT), Campus Universitário de Gurupi, localizado na região sul do estado do

Tocantins, em altitude de 280 m, na localização de 11°43'45" de latitude e 49°04'07" de longitude.

Segundo a classificação de Köppen o clima do Tocantins é do tipo Aw, classificado como úmido (B1), uma vez que apresenta temperatura média anual de 24,9 °C, precipitação média anual de 1850 mm, com concentrações de chuvas no verão e com inverno seco (ROLDÃO & FERREIRA, 2019). Os dados referentes à precipitação, temperatura e umidade relativa no período de condução dos experimentos foram coletados na estação meteorológica do Campus de Gurupi, e são apresentados na Figura 1.

O experimento foi instalado em delineamento de blocos casualizado em esquema de arranjo fatorial 5x2x2, com quatro repetições. O primeiro fator foi constituído por cinco doses de Li (0, 10, 20, 30 e 40 g ha<sup>-1</sup>) utilizando como fonte o hidróxido de lítio (LiOH, sigma-Aldrich, Douque de caixas - RJ), o segundo fator constituído por dois genótipos de chia sendo um oriundo do Paraguai e o outro oriundo da Argentina e o terceiro fator determinado por duas épocas de plantio (safra e entressafra).

**Figura 1.** Variação diária da umidade relativa do ar (%), temperaturas (°C) e precipitação pluvial (mm dia) no período de dezembro de 2018 a abril de 2019 (safra) e no período de junho a outubro de 2019 UFT, Gurupi – TO (Fonte: Estação Meteorológica de Gurupi – TO).



Para uma melhor uniformidade na germinação foram produzidas mudas de chia, em bandejas de poliestireno com 128 células, empregando o substrato comercial Nutrimax®. Durante o período entre a semeadura e o transplante, as bandejas permaneceram no interior de casa de vegetação com cobertura em arco, tendo 20 m de comprimento, 6 de largura, 1,75 m pé-direito. As paredes laterais e frontais são de tela sombrite 50%, o teto coberto com filme plástico de polietileno de 150 micras, sem

controle climático, sendo que as bandejas foram colocadas sobre as bancadas. A água foi fornecida às mudas através de irrigações feitas duas vezes ao dia manualmente, de forma a manter sempre elevado o teor de umidade do substrato. Após 15 dias as mudas foram transferidas para vasos com volume de 8L à campo aberto, colando 4 plântulas por vaso. Aos 20 dias após o transplante foi realizado o desbaste, mantendo-se uma planta por vaso

espaçados em 0,5 m entre blocos e 0,30 m dentro dos blocos.

O solo utilizado foi coletado na camada de 0-20 cm na fazenda Baobá em São Desidério (S 12°34.555' W 46°08, 405'), extremo Oeste da Bahia, classificado com Latossolo vermelho-amarelo distrófico, profundo e de textura argilosa (EMBRAPA, 2013). Para evitar a presença de patógenos prejudiciais o solo foi colocado em sacos de algodão cru com dimensões de 50 x 70 cm (largura e comprimento) e inseridos em autoclave vertical analógica (CS/Primatec) com pedal 300 Litros, válvula de segurança e sistema de regulação de pressão a 120 °C por 2 horas para esterilização do solo por calor úmido.

O resultado da análise físico – química do solo foi: pH em CaCl<sub>2</sub> = 5,2; M.O (%) = 1,4; P (Mel) = 60,1 mg dm<sup>-3</sup>; K = 70 mg dm<sup>-3</sup>; Ca+Mg = 5,4 cmolc dm<sup>-3</sup>; H+Al = 1,5 cmolc dm<sup>-3</sup>; Al = 0,0 cmolc dm<sup>-3</sup>; SB = 2,82 cmolc dm<sup>-3</sup>; V = 60%; 450 g kg<sup>-1</sup> de areia; 100 g kg<sup>-1</sup> de silte e 450 g kg<sup>-1</sup> de argila. A adubação foi realizada de acordo com a análise do solo, aplicando-se 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de superfosfatotriplo (36%) e 60 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na forma de cloreto de potássio (60%), misturados na preparação do solo de forma homogênea. Realizou-se a aplicação de 125 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio (46%) na forma de uréia em cobertura aos 30, 60 e 90 dias após o transplântio. Durante a condução do experimento, o solo foi mantido úmido através

de irrigações diárias individuais em cada unidade experimental.

A cultura mostrou-se sensível a pragas comuns de outras espécies, sendo feita duas aplicações de inseticida aos 65 e 70 dias na safra e uma aplicação aos 75 dias na entressafra após o transplântio para o controle, vaquinha (*Macrodactylus pumilio*) e mosca branca (*Bemisia tabaci*) sendo usado Diflubenzuron - Fenil-uréia (3,6 g i.a. ha<sup>-1</sup>), para o controle de vaquinha, e para o controle de mosca branca Acetamiprid (75 g i.a. ha<sup>-1</sup>).

As concentrações de lítio foram fornecidas em duas vezes via foliar, pela manhã (entre 8:00 e 9:00 horas) sendo a primeira quando as plantas estavam no estágio inicial da emissão dos cachos (antes das plantas florescerem) e a outra metade no início do enchimento do grão. Devido a diferença do ciclo da cultura entre as épocas de plantio, estas aplicações foram executadas aos 70 e 95 dias na safra e aos 65 e 75 dias na entressafra após o transplântio, respectivamente. Para facilitar a aplicação foi preparada uma solução estoque pesando 0,5g (500 mg) de lítio diluída em 2 litros (2000 ml), obtendo solução padrão de LiOH (0,25 mg mL<sup>-1</sup>). Por exemplo, utilizou-se 1,65 mL da solução estoque para o tratamento de 10 g ha<sup>-1</sup> de Li. Estas doses da solução padrão foram completadas a 700 mL de água e aplicada uniformemente sobre as plantas de cada unidade experimental. As doses foram convertidas para hectare considerando a população de 200.000,00

de plantas, exportando as doses por vaso para hectare. Para a aplicação foi usado um pulverizador manual de alta pressão (Guaranyind) com pressão máxima de 2070 KPa (300 PSI), vazão de 1,1 L/min e ponta regulável. Para evitar a ocorrência de deriva, no momento da aplicação, foi instalada ao redor da unidade experimental uma lona plástica com 1.0 m de altura.

As colheitas foram realizadas manualmente aos 145 (safra) e 120 dias (entressafra) após, quando as plantas atingiram 80% de folhas amarelas, ou com coloração escura, seca ou morta (MIRANDA, 2012).

As características avaliadas foram:

- Altura de plantas (AP, cm) - obtida medindo-se o comprimento entre o colo das plantas até a extremidade mais alta dos cachos, utilizando-se uma trena graduada em cm;
- Altura da haste superior (AHS, cm) - obtida medindo-se o comprimento entre o colo das plantas até a extremidade mais alta da última haste, utilizando-se uma trena graduada em cm;
- Diâmetro do caule (DC, mm) - obtida medindo-se a parte central da planta, utilizando paquímetro digital (MTX) 150mm/6" de metal aço inox;
- Comprimento do cacho (CC, cm) - obtida medindo-se o cacho principal, utilizando-se uma régua graduada em cm;
- Número de cachos (NC) - determinado através da contagem direta nas plantas amostradas;

-Produtividade (PD, g) - após a debulha dos cachos os grãos foram colocados em sacos de papel medindo 7 x 11 cm (comprimento x largura) e inseridos em estufa com circulação forçada de ar (Solab, modelo SL-102) a 60 °C até atingirem peso constante. Posteriormente as amostras foram pesadas em balança de precisão de 0,01 g (Gehaka BK4000);

-Massa de mil grãos (MMG, g) - determinada após o processo de secagem, através da contagem de mil grãos com ajuda de uma pinça histológica de ponta Fina (10 cm), pesados posteriormente em balança de precisão de 0,01 g (Gehaka BK4000);

-Teor de Li (TLG mg kg<sup>-1</sup>) – após o processo de secagem em estufa com circulação forçada de ar (Solab, modelo SL-102) a 60 °C, as amostras de grãos e folhas foram finamente trituradas separadamente com auxílio de um pilão com socador amassador, de acordo com a metodologia descrita por Falco et al. (2017). A coleta da amostra homogênea de solo para determinar o teor de Li foi realizada conforme EMBRAPA (1997). Em seguida os materiais foram submetidos a digestão por via úmida utilizando ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), ácido perclórico (HClO<sub>4</sub>) e mistura catalítica, composta por sulfato de sódio anidro (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) e sulfato de cobre pentahidratado (CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O). Nos estratos adquiridos foi determinado o teor de Li, de acordo com a metodologia descrita por Malavolta et al. (1997). A leitura foi realizada em fotômetro de chama

Quimis (Q398M2), utilizando uma solução padrão diluída a 10% (v/v) para realizar a calibração do aparelho, com faixa de medição em análises clínicas para lítio (Li) de 0,0 a 1,5 mmol/L. Para facilitar a medição o digerido foi diluído na proporção de uma parte para cinco de água deionizada (5 ml + 25 ml) e transferido para um recipiente de 50 ml antes de efetuar a leitura.

A determinação por fotômetro de chama do teor natural de Li no solo, apresentou o seguinte resultado: Li 23,0 mg kg<sup>-1</sup>.

As trocas gasosas foram medidas em folhas completamente expandidas, localizada na parte intermediária da planta, no período das 8:00 às 11:00 h da manhã em dia ensolarado. A taxa de fotossíntese líquida (A) ( $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), condutância estomática (GS) ( $\text{mol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) e transpiração (E) ( $\text{mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) foram determinadas utilizando-se equipamento de sistema aberto de fotossíntese com analisador de CO<sub>2</sub> e vapor d'água por radiação infravermelha (Infra Red Gas Analyser – IRGA, modelo LCiSD, da ADC System, UK).

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância utilizando-se o teste F, adotando-se 1 e 5% de probabilidade. Depois foram submetidos à análise de regressão, avaliando a significância dos betas e dos coeficientes de determinação utilizando o programa Sisvar versão 5.6 (FERREIRA, 2011). Os gráficos das regressões foram plotados

utilizando o programa estatístico SigmaPlot versão 14.0®.

### 3. RESULTADOS

A análise de variância (Tabela 03) detectou significância da interação cultivares vs tratamentos para as características severidade de ferrugem asiática nas avaliações 1 e 2, número de nós e produtividade de grãos, evidenciando a dependência dos fatores, sendo, portanto, necessário se fazer o desdobramento. Observou-se também significância do fator cultivar para as características avaliação doença 1, avaliação doença 2, estande final, altura de planta, inserção de primeira vagem, número de vagens por planta, número de nós, número de grãos e produtividade de grãos, evidenciando diferença genética entre os cultivares avaliadas. Quanto ao fator tratamentos, foi verificado diferença significativa para avaliação da doença 1 e 2 e altura de planta, evidenciando diferença das formas de controle entre os tratamentos estudados.

**Tabela 1.** Resumo da análise de variância das características altura da planta (AP), altura da haste superior (AHS), diâmetro do caule (DC), comprimento do cacho (CC), produtividade de grãos (PG), número de cachos (NC), massa de mil grão (MMG), teor de lítio no grão (TLiG), teor de Li nas folhas (TLiF), fotossíntese líquida (A), condutância estomática (GS) e transpiração (E) da *Salvia hispanica* L, cultivadas no sul do estado do Tocantins em função de duas espécies (Argentina e Paraguai), cinco doses (0, 10, 20, 30 e 40 g ha<sup>-1</sup>) de hidróxido de lítio e duas épocas de plantio (safra e entressafra).

Quadrado médio							
F.V.	GL	AP	AHS	DM	CC	PD	MMG
Genótipo (G)	3	1296,60*	414,05**	011**	14,45*	818,04**	0,031**
Dose (D)	1	2,32 <sup>ns</sup>	43,23 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	3,70**	110,57**	0,37 <sup>ns</sup>
Época (EP)	4	95082,5**	96605,0**	91,91**	259,20**	12042,2**	0,004**
G x D	1	2,55 <sup>ns</sup>	46,83 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	2,91 <sup>ns</sup>	125,35 <sup>ns</sup>	0,61 <sup>ns</sup>
G x EP	1	9,80 <sup>ns</sup>	1,80 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,45 <sup>ns</sup>	10,44**	0,004**
D x EP	4	1,36 <sup>ns</sup>	13,22 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	4,92 <sup>ns</sup>	243,65 <sup>ns</sup>	0,36 <sup>ns</sup>
D x E x EP	4	0,55 <sup>ns</sup>	48,89 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	4,60 <sup>ns</sup>	35,56 <sup>ns</sup>	0,002 <sup>ns</sup>
Erro	57	48,16	24,32	1,33	2,97	78,04	0,03
Media		104,25	84,82	7,73	14,85	43,89	1,49
C.V.		6,66	5,81	14,9	11,61	20,13	14,01

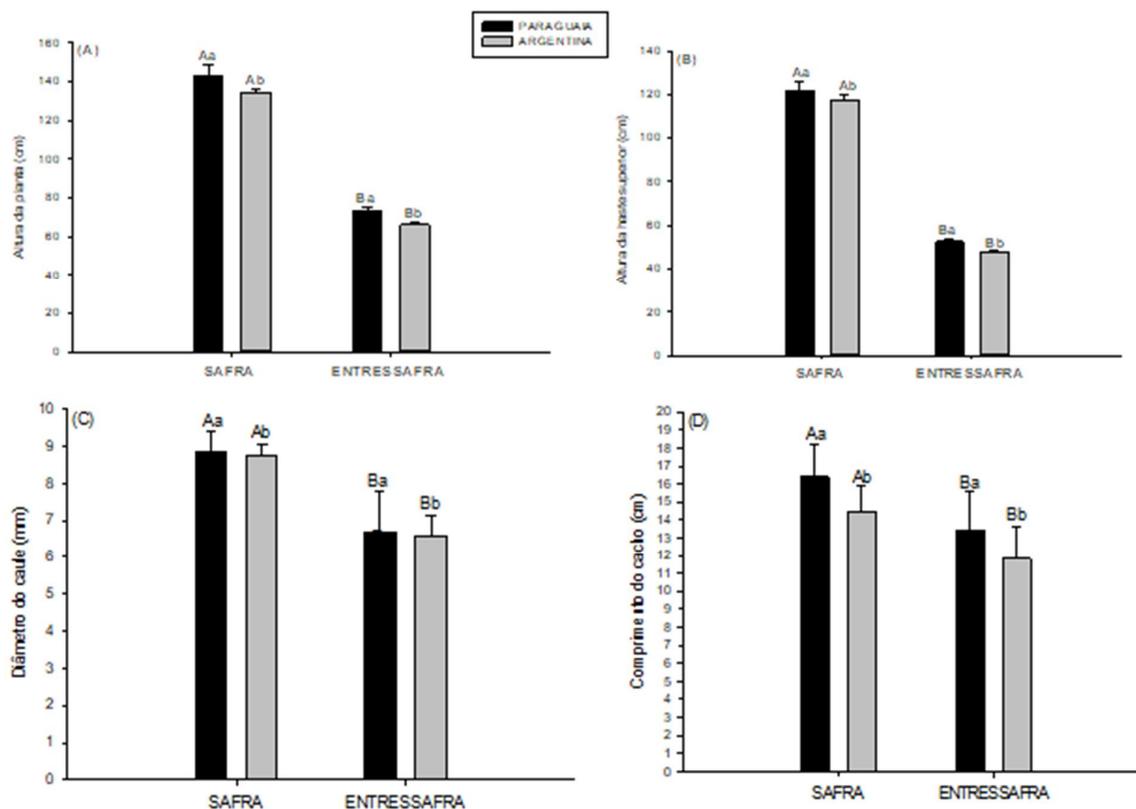
Quadrado médio							
F.V.	GL	NC	TLiG	TiLF	A	GS	E
Genótipo (G)	3	32,51*	1934,5**	0,10 <sup>ns</sup>	51,55**	0,055**	25,67**
Dose (D)	1	51,58**	28,85**	0,08 <sup>ns</sup>	28,27**	0,021**	28,10**
Época (EP)	4	6534,11**	12,78*	0,11 <sup>ns</sup>	350,37**	0,114**	97,42**
G x D	1	16,20 <sup>ns</sup>	35,07**	0,571 <sup>ns</sup>	6,14 <sup>ns</sup>	0,002 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>ns</sup>
G x EP	1	2,11 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	22,40 <sup>ns</sup>	0,0001 <sup>ns</sup>	1,50 <sup>ns</sup>
D x EP	4	27,92**	11,49**	0,05 <sup>ns</sup>	7,19 <sup>ns</sup>	0,003 <sup>ns</sup>	0,61 <sup>ns</sup>
D x E x EP	4	18,80*	19,87**	0,07 <sup>ns</sup>	8,08**	0,022**	6,23**
Erro	57	6,89	1,9	12,12	10,06	0,003	1,11
Media		23,51	14,45	20,57	10,59	0,2	5,57
C.V.		11,17	9,56	11,39	29,93	28,13	18,86

C.V.: Coeficiente de variação \*\* significativo, ao nível de 1% de probabilidade (P<0,001); \*: significativo ao nível de 5% de probabilidade (0,01 ≤ p < 0,05); ns: não significativo pelo teste F.

Comparando os genótipos de chia dentro de cada época de plantio, observa-se que, as plantas do genótipo Paraguai apresentaram maior altura (Figura 2A), haste superior (Figura 2B), diâmetro do caule (Figura 2C) e comprimento do cacho (Figura 2D). Mostrando superioridade do genótipo Paraguai de aproximadamente 6,4 (AP), 3,5 (AHS), 1,4 (DM) e 11,6% (CC) dentro da safra quando comparado com o genótipo Argentina. Já na entressafra observa-se superioridade aproximadamente de 10,1 (AP), 9,2 (AHS), 1,2 (DM) e 11,9% (CC), quando comparados com a média geral do genótipo Argentina.

Porém, comparando as mesmas características dos genótipos de chia entre as épocas de plantio (safra e entressafra), observa-se para o genótipo Paraguai superioridade na safra, com aumento cerca de 48,7 (AP), 56,9 (AHS), 24,6 (DM) e 18,3% (CC), quando comparados com as médias da entressafra. Enquanto para o genótipo Argentina observa-se superioridade também na safra, com aumento cerca de 50,8 (AP), 59,4 (AHS), 24,5 (DM) e 18,6% (CC) quando comparados com as médias da entressafra (Figura 2).

**Figura 2.** Altura da planta, altura da haste superior, diâmetro do caule e comprimento do cacho de plantas de chia em função de dois Genótipos (Paraguai e Argentina) e duas épocas de plantio (safra e entressafra). Médias seguidas de mesma letra minúscula dentro de cada época, e maiúscula, comparando os genótipos de chia entre as épocas, não diferem entre si pelo teste Tukey ( $p \leq 0,05$ ).



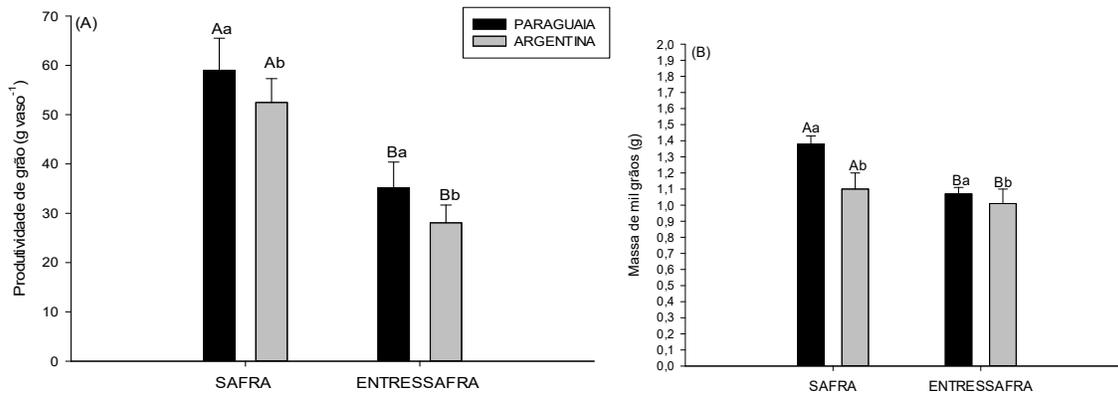
Dentro das épocas de plantio as plantas do genótipo Paraguai apresentaram também maior produtividade (Figura 3A) e massa de mil grãos (Figura 3B). Observa-se acréscimo na safra de 11,2 (PD) e 20,3% (MMG), enquanto na entressafra de 20,2 (PD) e 6,6 % (MMG), ambos quando comparados com a média geral do genótipo Argentina. Analisando as épocas de plantio constata-se superioridade para ambos genótipos na safra quando comparado as médias da entressafra sendo este acréscimo de 40,4 (PD) e 22,5% (MMG) para o genótipo Paraguai e de 46,5 (PD) e 9,1% (MMG) para o genótipo Argentina (Figura 3).

Apesar do lítio (Li) não pertencer aos principais elementos de nutrição das plantas, há evidências relatadas sobre efeitos positivos e negativos no desenvolvimento, portanto, a essencialidade em diferentes espécies, cultivares ou genótipos, ainda é controversa, uma vez que existem alguns estudos que demonstram que dependendo da dose de Li aplicada o efeito pode ser benéfico ou prejudicial para o crescimento e produtividade das plantas (ANTONKIEWICZ et al., 2017; FRANZARING et al., 2016; RZYMSKI et al., 2017). Embora a natureza e mecanismos dos efeitos positivos do Li não seja clara, comumente são vistos que níveis baixos tem efeitos benéficos em diferentes espécies de

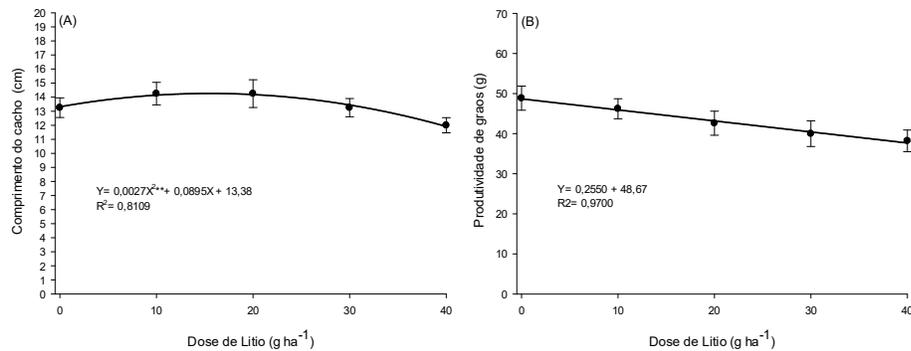
plantas cultivadas sobre estres deste metal (KALINOWSKA et al., 2013; SHAHZAD et al., 2017). Chan et al. (2021) observaram resultados positivos e promissores no comprimento e massa de mil grãos nas menores concentrações de LiOH aplicadas via foliar na cultura da chia. Bakhat et al. (2019) relataram também que a menor concentração de Li ( $20 \text{ mg kg}^{-1}$ ) apresentou máxima biomassa e peso seco máximo durante as três épocas de colheita em plantas de espinafre.

A aplicação de LiOH via foliar influenciou positivamente o comprimento do cacho dos genótipos de chia (Figura 4A). Observa-se até a dose  $16,6 \text{ g ha}^{-1}$  acréscimo de aproximadamente 7,01 %, porém, posteriormente constata-se redução no comprimento do cacho à medida que se aumenta a dose de LiOH via foliar, sendo máxima na dose de  $40 \text{ g ha}^{-1}$  com redução de 17,4 % em relação ao tratamento controle. Por outro lado, o aumento das doses de LiOH aplicadas via foliar influenciou negativamente mostrando redução linear na produtividade do grão (Figura 4B), sendo também máxima na dose de  $40 \text{ g ha}^{-1}$  com redução de 21,8 % em relação ao tratamento controle.

**Figura 3.** Produtividade do grão e massa de mil grãos de plantas de chia em função de duas espécies (Paraguai e Argentina) e duas épocas de plantio (safra e entressafra). Médias seguidas de mesma letra minúscula dentro de cada época, e maiúscula, comparando os genótipos de chia entre as safras, não diferem entre si pelo teste Tukey ( $p \leq 0,05$ ).



**Figura 4.** Comprimento do cacho e produtividade do grão de plantas de chia em função de duas épocas de plantio (safra e entressafra) e dois Genótipos de chia (Paraguai e Argentina).



Neste estudo doses de LiOH aplicadas via adubação foliar em doses variando de 7,09 a 29,32 g ha<sup>-1</sup> teve efeito positivo sobre as características comprimento do cacho, número de cachos e teor de Li no grão nas plantas de chia independentemente do genótipo e da época de plantio (Figura 4A e 5).

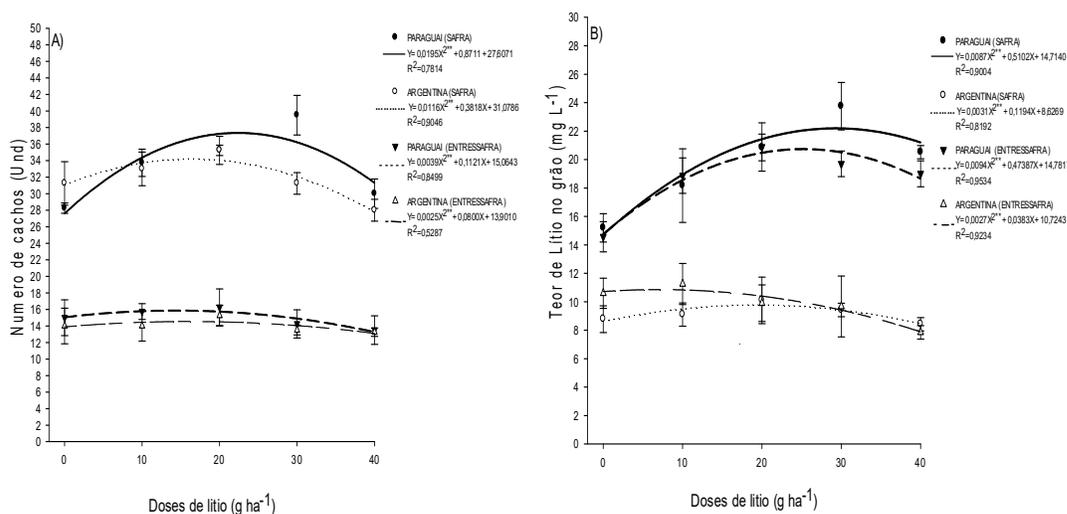
Entre as características específicas importantes do papel morfológico e fisiológico

do Li encontramos na literatura sua capacidade de regular a biossíntese, acúmulo de alcaloides, processos enzimáticos e sua participação no metabolismo de compostos de nitrogênio e ácidos nucléicos, o que faz especular que o Li pode ter algumas funções importantes no crescimento e desenvolvimento das plantas (KASHIN, 2019; SOBOLEV et al., 2019).

Doses de LiOH aplicadas via foliar nas plantas do genótipo Paraguai apresentaram aumento no número de cachos de aproximadamente 28,5% até a dose de 22,3 g ha<sup>-1</sup> na safra e de 8,2% até a dose de 14,4 g ha<sup>-1</sup> na entressafra, enquanto que, para as plantas do genótipo Argentina observou-se aumento de 11,3% até a dose de 16,4 g ha<sup>-1</sup> na safra e aumento de 7,7% até a dose de 14,2 g ha<sup>-1</sup> na

entressafra, quando comparados ao tratamento controle (Figura 5A). Os resultados indicam superioridade no número de cachos em todas as doses de LiOH aplicadas nos genótipos de chia cultivados na época da safra quando comparados aos genótipos cultivados na época da entressafra.

**Figura 5.** Número de cachos e produtividade de grão de plantas de chia em função de duas épocas de plantio (safra e entressafra) e dois Genótipos (Paraguai e Argentina).



A aplicação via foliar de LiOH resultou em aumento significativamente do teor de Li nos grãos dos genótipos de chia em ambas épocas de plantio (Figura 5B). Para o genótipo Paraguai na época da safra observa-se acréscimo da concentração até a dose de 29,3 g ha<sup>-1</sup>, proporcionando teor máximo de 37,1 mg kg<sup>-1</sup>, e na época da entressafra, houve acréscimo da

concentração do elemento até a dose 23,9 g ha<sup>-1</sup> proporcionando teor máximo de 31,5 mg kg<sup>-1</sup>. Enquanto o genótipo Argentina na época da safra apresentou acréscimo da concentração de Li até a dose de 19,2 g ha<sup>-1</sup>, proporcionando teor máximo de 12,1 mg kg<sup>-1</sup>, e na época da entressafra, acréscimo da concentração do elemento até a dose 7,1 g ha<sup>-1</sup> proporcionando

teor máximo de 11,1 mg kg<sup>-1</sup>. Demonstrando assim a biofortificação através da adubação foliar, com aumentos nos grãos aproximadamente de 36,1 e 15,0% na safra e 30,1 e 9,0% na entressafra para os genótipos Paraguai e Argentina, respectivamente, em relação ao tratamento controle. Os resultados indicam claramente quanto ao teor de lítio no grão superioridade do genótipo Paraguai na época da safra e entressafra quando comparado ao teor de Li do genótipo Argentina em todas as doses de LiOH aplicadas.

Para a característica condutância estomática, de acordo com as derivações das equações de regressão quadrática constata-se que doses de LiOH aplicadas via foliar na época da safra, nas plantas do genótipo Paraguai promoveram acréscimo de 22,6% até a dose de 23,6 g ha<sup>-1</sup> e para as plantas do genótipo argentina de 56,6% até a dose 16,8 g ha<sup>-1</sup>. Enquanto na entressafra houve acréscimo na condutância de 29,2% até a dose de 18,3 g ha<sup>-1</sup> para as plantas do genótipo Paraguai, e de 59,2% até a dose 23,4 g ha<sup>-1</sup> para as plantas do genótipo Argentina, ambos quando comparados ao tratamento controle (Figura 6A).

De acordo com Silva et al. (2019) os efeitos do Li em plantas superiores ainda não são claros, uma vez que diversos fatores experimentais e genéticos estão envolvidos na captação e translocação deste elemento nas plantas. Por outro lado, a tolerância ao Li

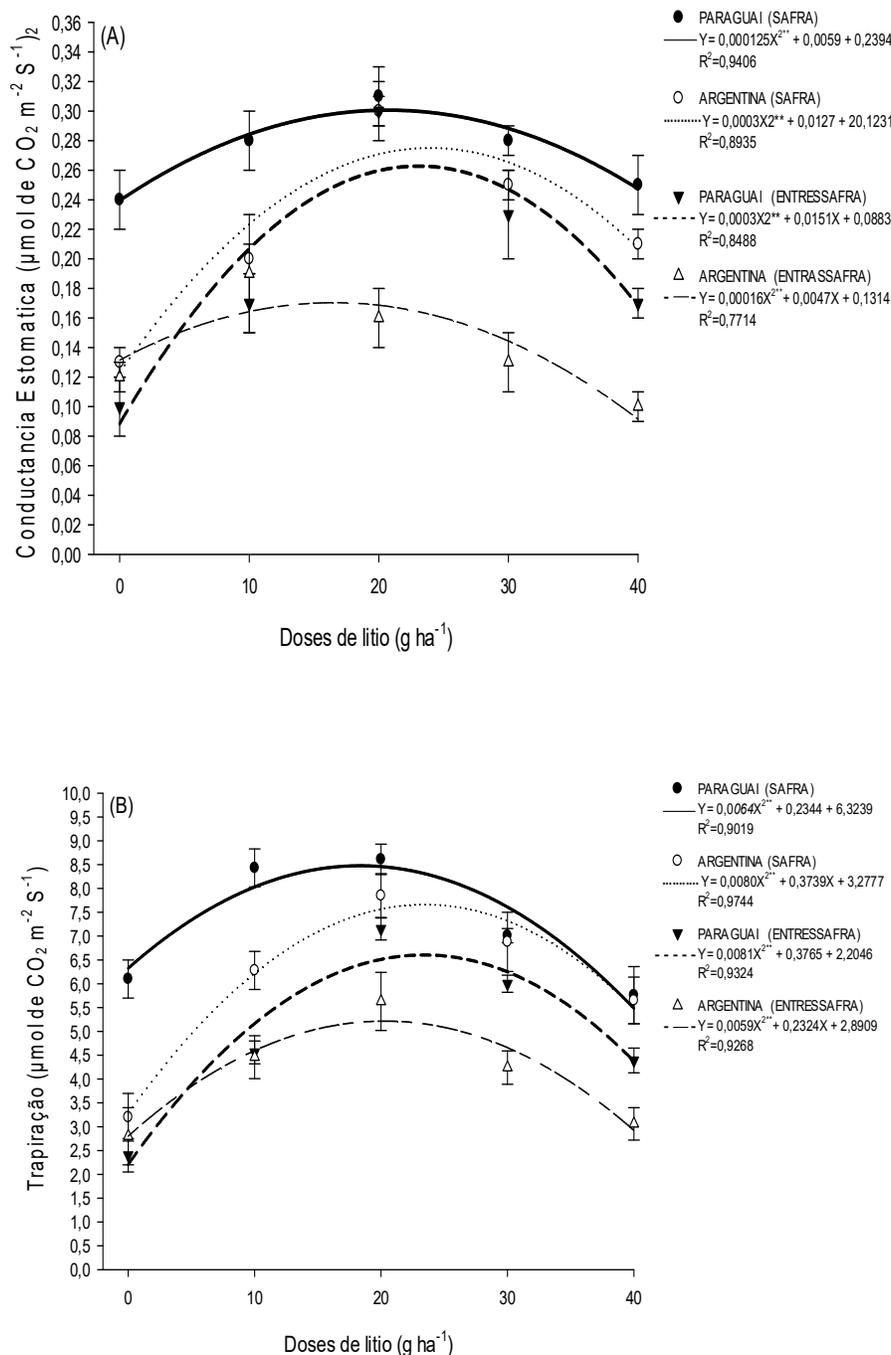
depende da concentração de Li, tempo de exposição, espécie e condições de crescimento (DUFF et al., 2014).

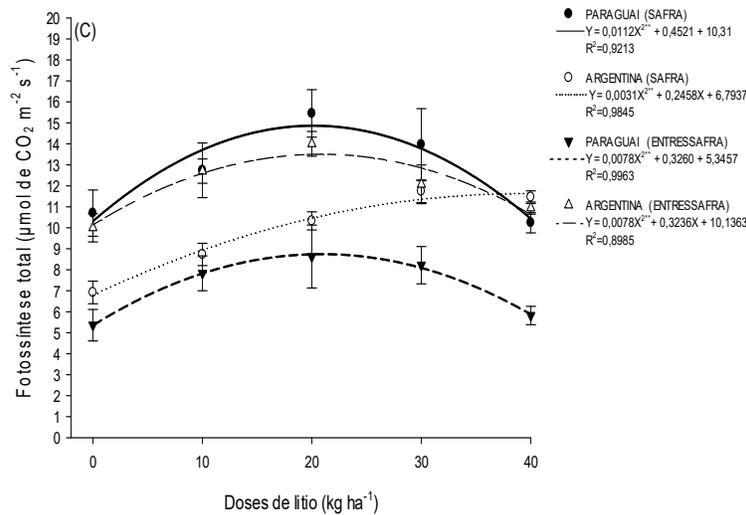
Alguns dados da literatura sobre o teor de Li nas plantas indicam que o seu nível pode variar 0,1 - 2680 mg / kg de matéria seca, porém, a quantidade de Li absorvido pelas plantas depende da sua abundância no solo, tipo de espécie, características biológicas, estágio da planta, capacidade de troca catiônica e sua composição bioquímica (ROBINSON et al., 2018; SOBOLEV et al., 2019).

Por outro lado, Minerais aplicados via foliar podem entrar nas folhas das plantas através da cutícula, poros aquosos, estômatos ou ectodesmatos e após a absorção na folha através da epiderme, os minerais se movem para os tecidos vasculares vias simplásticas ou apoplásticas (HUSSAIN et al., 2020). No entanto, o mecanismo exato por trás da absorção e acúmulo de Li nas partes comestíveis das plantas é desconhecido, porém, pode-se especular que Li tem propriedades físico-químicas semelhantes à Na, K ou Ca e, portanto, também pode ser absorvido por meio de simplastos, usando diferentes transportadores de cátions de baixa afinidade (LCT) ou transportadores de potássio de alta afinidade (HKT) localizados nas membranas plasmáticas auxiliando na captação e transporte de Li (SHAHZAD et al., 2016; SHKOLNIK, 1984; TANVEER et al., 2019). Koutrotsios et al.

(2020) relataram que vários transportadores de metais, agentes redutores e proteínas de armazenamento especializadas estão envolvidos na absorção, translocação, redistribuição e sequestro de elementos minerais nas plantas.

**Figura 6.** Condutância estomática e transpiração de plantas de chia em função de duas épocas de plantio (safra e entressafra) e dois Genótipos (Paraguai e Argentina).





Para transpiração as plantas do genótipo Paraguai na época da safra mostraram acréscimo de 66,6% até a dose de 25,1 g ha<sup>-1</sup> e para as plantas do genótipo Argentina acréscimo de 36,8% até a dose 14,5 g ha<sup>-1</sup>, enquanto na entressafra houve acréscimo de 66,4% até a dose de 23,2 g ha<sup>-1</sup> e de 50,2% até a dose 19,6 g ha<sup>-1</sup> para as plantas do genótipo Paraguai e Argentina, respectivamente, quando comparados ao tratamento controle (Figura 6B).

Para fotossíntese líquida na época da safra as plantas do genótipo Paraguai apresentaram acréscimo de 30,8% até a dose de 20,2 g ha<sup>-1</sup> e para as plantas do genótipo Argentina acréscimo de 39,8% até a dose 39,5 g ha<sup>-1</sup>, enquanto as plantas cultivadas na época da entressafra houve acréscimo de 37,9 % até a dose de 20,9 g ha<sup>-1</sup> e de 28.6% até a dose 20,7 g ha<sup>-1</sup> para as plantas dos genótipos Paraguai e Argentina, respectivamente, quando

comparados ao tratamento controle (Figura 6C). Porém, observa-se maior condutância estomática, transpiração e fotossíntese líquida nas plantas do genótipo Paraguai cultivadas na época da safra na aplicação de 20 g ha<sup>-1</sup> de LiOH quando comparado as médias obtidas na época da entressafra e médias obtidas no genótipo Argentina (Figura 6).

Neste estudo baixas doses LiOH aplicada via foliar também influenciaram positivamente a fotossíntese, transpiração e condutância estomática dos genótipos Argentina e Paraguai. Na literatura são poucas as informações sobre o papel do Li nos processos bioquímicos e fisiológicos nas plantas, porém, o Li é conhecido por ter efeitos consideráveis na regulação estomática e oscilação da transpiração (BROGARH & JOHNSSO, 1974). O aumento na transpiração promove aumento na condutância estomática das plantas favorecendo

uma maior difusão de CO<sub>2</sub> através dos estômatos aumentando assim a atividade fotossintética nas plantas (FLEXAS et al. 2012; WEHR et al., 2017).

De acordo com Sobolev et al. (2019) baixas doses de Li nas plantas, aumenta a atividade fotoquímica de cloroplastos, ativa os processos enzimáticos, regula a biossíntese e aumenta a intensidade de respiração nas plantas. Além disso, exposição ao Li também pode interagir com proteínas e modular vários processos bioquímicos, ou seja, Li pode interagir com o trifosfato de inositol (BAKHAT et al., 2019; MARTINEZ et al., 2018). Faria et al. (2018) avaliando cultivares de alface observou que para as características: fotossíntese, condutância estomática e transpiração houve aumento significativo quando as plantas foram expostas a concentrações de Li variando de 20-37g ha<sup>-1</sup>, no entanto, quando foram submetidas a dose acima de 64 g ha<sup>-1</sup>, tiveram redução significativa em todas as características fisiológicas avaliadas. Jiang et al. (2014) relataram também redução expressiva na fotossíntese líquida e condutância estomática de plantas silvestres (*Apocynum venetum*) quando submetidas a doses elevadas de Li (400 mg dm<sup>-3</sup>).

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação foliar de hidróxido de lítio resultou em aumento na concentração de Li nos

grãos em ambos genótipos de chia resultando em sua biofortificação.

As maiores concentrações de lítio nos grãos foram obtidas com o genótipo Paraguai na aplicação de 29,3 g ha<sup>-1</sup> e 23,9 g ha<sup>-1</sup> de LiOH na época da safra e entressafra, respectivamente.

As melhores respostas na altura, haste superior, comprimento do cacho, número de cachos, produtividade, massa de mil grãos, teor de lítio no grão, transpiração e condutância estomática foram obtidas na época da safra.

A aplicação via foliar de 40 kg ha<sup>-1</sup> de hidróxido de lítio provocou redução do desenvolvimento e produtividade nos genótipos de chia cultivados na época da safra e entressafra.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTONKIEWICZ, J.; JASIEWICZ, C.; KONCEWICZ-BARAN, M.; BĄCZEK-KWINTA, R. Determination of lithium bioretention by maize under hydroponic conditions. **Archives of environmental protection**, v. 43, n. 4, p. 94-104, 2017. DOI 10.1515/aep-2017-0036.

ARAL, H.; VECCHIO-SADUS, A. Toxicity of lithium to humans and the environment a literature review. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 70, n. 3, p. 349-356, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2008.02.026>.

BAKHAT, H. F.; RASUL, K.; FAROOQ, A. B. U.; ZIA, Z.; FAHAD, S.; ABBAS, S.; HAMMAD, H. M. Growth and physiological response of spinach to various lithium concentrations in soil. **Environmental Science**

and **Pollution Research**, v. 124, n. 1 p. 1-9, 2019. DOI: 10.1007/s11356-019-06877-2.

BARROILHET, Sergio A.; GHAEMI, S. NASSIR. When and how to use Lithium. **Acta Psychiatrica Scandinavica**, v. 142, n. 1, p. 161-172, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1111/acps.13202>.

BROGARDH, T.; JOHNSON, A. Effects of lithium on stomatal regulation. **Zeitschrift für Naturforschung C**, v. 29, n. 5-6, p. 298-300, 1974. DOI: <https://doi.org/10.1515/znc-1974-5-622>.

CAKMAK, I.; KUTMAN, U. Á. Agronomic biofortification of cereals with zinc: a review. **European Journal of Soil Science**, v. 69, n. 1, p. 172-180, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1111/ejss.12437>.

CHAN, G. A. H.; FIDELIS, R. R.; DE OLIVEIRA TAVARES, T. C.; LOPES, M. B. S.; MARQUES, K. R.; RAUBER, W. A. Adubação nitrogenada em plantas medicinais de *Salvia hispanica* L. (chia) em Gurupi, Tocantins, Brasil. **Revista Cubana de Plantas Medicinales**, v. 25, n. 1, p. 1-14 2020. Disponível em: <http://revplantasmedicinales.sld.cu/index.php/pla/article/view/703/425>.

CHAN, G. A. H.; SANTOS G. R.; DIAS, M. A. R.; SILVA, D. B.; RAMOS D. P., RODRIGUES L. U.; BARILLI J.; MOREIRAC P. S.; MENDEZC, D. F. S.; FERRARI, J. M.; SILVA, D. V.; MASCENA, N. R.; LEAL, T. H. V.; FIDELIS R. R. Chia Biofortification with Lithium Sources Applied by Foliar Fertilization. **American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences (ASRJETS)**, v. 1, n.1, 2021.

DELL'OSSO, L.; DEL GRANDE, C.; GESI, C.; CARMASSI, C.; MUSETTI, L. A new look at an old drug: neuroprotective effects and therapeutic potentials of lithium salts. **Neuropsychiatric disease and treatment**, v.

12, n. 1, p. 1687-1703, 2016. DOI: 10.2147/NDT.S106479.

DINIZ, B. S.; MACHADO-VIEIRA, R.; FORLENZA, O. V. Lithium and neuroprotection: translational evidence and implications for the treatment of neuropsychiatric disorders. **Neuropsychiatric disease and treatment**, v. 9, n. 1, p. 493, 2013. DOI: 10.2147/NDT.S33086.

DUFF, M. C.; KUHNE, W. W.; HALVERSON, N. V.; CHANG, C. S.; KITAMURA, E.; HAWTHORN, L.; MARTINEZ, N. E.; STAFFORDA, C.; MILLIKENA, C. E.; CALDWELL, E. F.; STIEVE-CALDWELL, E. mRNA Transcript abundance during plant growth and the influence of Li<sup>+</sup> exposure. **Plant Science**, v. 229, n.1, p. 262-279, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2014.10.004>.

EMBRAPA. Centro nacional de pesquisa em solo. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3ª ed. Brasília: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2013, 353p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análises de solo**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997.

FALCO, B.; INCERTI, G.; BOCHICCHIO, R.; PHILLIPS, T. D.; Amato, M.; Lanzotti, V. Metabolomic analysis of *Salvia hispanica* seeds using NMR spectroscopy and multivariate data analysis. **Industrial crops and products**, v. 99, n. 1, p. 86-96, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.01.019>.

FARIA, A. J. G. **Biofortificação com lítio em plantas de alface via adubação foliar**. Dissertação (Mestrado em produção vegetal) – Faculdade de agronomia, universidade federal do Tocantins, Gurupi, p. 46-51, 2018. Disponível em: <http://umbu.uft.edu.br/handle/11612/1113>.

FERREIRA, D. F. Sisvar: um sistema de análise estatística computador. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FIGUEROA, L. T.; RAZMILLIC, B.; ZUMEATA, O.; ARANDA, G. N.; BARTON, S. A.; SCHULL, W. J.; YOUNG, A. H.; KAMIYA, Y. M.; HOSKINS, J. A.; ILGREN, E. B. Environmental lithium exposure in the north of Chile—II. Natural food sources. **Biological trace element research**, v. 151, n. 1, p. 122-131, 2013. DOI: 10.1007/s12011-012-9543-1.

FLEXAS, J.; BARBOUR, M. M., BRENDEL, O.; CABRERA, H. M.; CARRIQUÍ, M.; ESPEJO, A. D. Mesophyll diffusion conductance to CO<sub>2</sub>: An unappreciated central player in photosynthesis. **Plant Science**, v.193, n.1, p.70–84, 2012. DOI: 10.1016/j.plantsci.2012.05.009.

FRANZARING, J.; SCHLOSSER, S.; DAMSOHN, W.; FANGMEIER, A. Regional differences in plant levels and investigations on the phytotoxicity of lithium. **Environmental pollution**, v. 216, n. 2, p. 858–865, 2016. DOI:10.1016/j.envpol.2016.06.059.

HAWRYLAK-NOWAK, B.; KALINOWSKA M.; SZYMAŃSKA M. A study on selected physiological parameters of plants grown under lithium supplementation. **Biological Trace Element Research**, v. 149, n. 3, p. 425–430. 2012. DOI: 10.1007/s12011-012-9435-4.

HUSSAIN, S.; UMAR, A.; AMIR, M.; AON, M. Biofortification of Cereals through Foliar Application of Minerals. **Vitamins and Minerals Biofortification of Edible Plants**, v.1, n.1, p. 191-221, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781119511144.ch9>.

JIANG, L.; WANG, L.; MU, S. Y.; TIAN, C. Y. *Apocynum venetum*: A newly found lithium accumulator. **Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants**, v.

209, n. 5-6, p. 285-289, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.flora.2014.03.007>.

KALINOWSKA, M.; HAWRYLAK-NOWAK, B.; SZYMAŃSKA, B. The influence of two lithium forms on the growth, L-Ascorbic acid content and lithium accumulation in lettuce plants. **Biological trace element research**, v. 152, n. 2, p. 251–257, 2013. DOI: 10.1007/s12011-013-9606-y.

KASHIN, V. K. Lithium in Soils and Plants of Western Transbaikalia. **Eurasian Soil Science**, v. 52, n. 4, p. 359-369, 2019. DOI: 10.1134/S1064229319040094.

KAVANAGH, L.; KEOHANE, J.; CABELLOS, G. G. “Induced Plant Accumulation of Lithium”. **Geosciences**, v. 8, n. 2, p. 56–73, 2018. DOI: 10.3390/geosciences8020056.

KOUTROTSIOS, G.; DANEZIS, G.; GEORGIU, C.; ZERVAKIS, G. I. Elemental Content in Pleurotus ostreatus and Cyclocybe cylindracea Mushrooms: Correlations with Concentrations in Cultivation Substrates and Effects on the Production Process. **Molecules**, v. 25, n. 9, p. 2179, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules25092179>.

MAKUS, D. J.; ZIBILSKE, L.; LESTER, G. Effect of light intensity, soil type, and lithium addition on spinach and mustard greens leaf constituents. **Subtropical Plant Science**, v. 58, n. 1, p. 35–41, 2006. DOI: <https://pubag.nal.usda.gov/catalog/57340>.

MARTINEZ, N. E.; SHARP, J. L.; JOHNSON, T. E.; KUHNE, W. W.; STAFFORD, C. T.; DUFF, M. C. Reflectance-Based Vegetation Index Assessment of Four Plant Species Exposed to Lithium Chloride. **Sensors**, v. 18, n. 9, p. 2750, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/s18092750>.

MCSTAY, N. G.; ROGERS, H. H.; ANDERSON, C. E. Effects of lithium on *Phaseolus vulgaris* L. **Science of the Total**

**Environment**, v. 16, n. 2, p. 185-191, 1980.  
DOI: [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(80\)90023-6](https://doi.org/10.1016/0048-9697(80)90023-6).

MIRANDA, F. **Guia Técnica para el Manejo del Cultivo de Chia (*Salvia hispánica* L.) en Nicaragua**. Sébaco: Central de Cooperativas de Servicios Múltiples Exportación e Importación Del Norte (Cecoopsemein RL.), 2012. 14p.  
Disponível em:  
[http://cecoopsemein.com/Manual\\_de\\_produccion\\_de\\_CHIA\\_SALVIA\\_HISPANICA.pdf](http://cecoopsemein.com/Manual_de_produccion_de_CHIA_SALVIA_HISPANICA.pdf).

RIVERA, A. P. T.; VARGAS, I. J. P.; RÍOS, A. E. M.; BEEBE, S.; RIVERA, R. T. Rendimiento, estabilidad fenotípica y contenido de micronutrientes de fríjol biofortificado en el Caribe seco colombiano. Corpoica. **Ciencia y Tecnología Agropecuaria**, v. 17, n. 3, p. 309-329, 2016. Disponível em:  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=449946663001>.

ROBINSON, B. H.; YALAMANHALI, R.; REISER, R.; DICKINSON, N. M. Lithium as an emerging environmental contaminant: Mobility in the soil-plant system. **Chemosphere**, v. 197, n. 1, p. 1-6, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.01.012>.

ROLDÃO, F. A.; FERREIRA, O. V. Climatologia do Estado do Tocantins-Brasil. **Caderno de Geografia**, v. 29, n. 59, p. 1161-1181, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5752/P.2318-2962.2019v29n59p1161>.

RZYMSKI P.; NIEDZIELSKI P.; SIWULSKI M.; MLECZEK M.; BUDZYŃSKA S.; GAŚECKA M.; PONIEDZIAŁEK B. Lithium biofortification of medicinal mushrooms *Agrocybe cylindracea* and *Hericium erinaceus*. **Journal of food science and technology**, v. 54, n. 8, p. 2387-2393, 2017. DOI: [10.1007/s13197-017-2679-4](https://doi.org/10.1007/s13197-017-2679-4).

SANTOS, A. C. M.; MARQUES, K. R.; RODRIGUES, L. U.; FARIÁ, A. J. G.; NASCIMENTO, V. L.; FIDÉLIS R. R.

Biofortification of soybean grains with foliar application of Li sources. **Journal of Plant Nutrition**, v. 42, n. 19, p. 1532-4087, 2019. DOI: [10.1080/01904167.2019.1659339](https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1659339).

SEIDEL, U.; JANS, K.; HOMMEN, N.; IPHARRAGUERRE, I. R.; LÜERSEN, K.; BIRNINGER, M.; RIMBACH, G. Lithium Content of 160 Beverages and Its Impact on Lithium Status in *Drosophila melanogaster*. **Foods**, v. 9, n. 6, p. 795, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods9060795>.

SHAHZAD, B.; MUGHAL, M. N.; TANVEER, M.; GUPTA, D.; ABBAS, G. Is lithium biologically an important or toxic element to living organisms? An overview. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 1, p. 103-115, 2017. DOI: [DOI:10.1007/s11356-016-7898-0](https://doi.org/10.1007/s11356-016-7898-0).

SCHRAUZER, G. N. Lithium: Occurrence, dietary intakes, nutritional essentiality. **Journal of the American College of Nutrition**, v. 21, n. 1, p. 14-21, 2002. DOI: [10.1080/07315724.2002.10719188](https://doi.org/10.1080/07315724.2002.10719188).

SHAHZAD, B.; TANVEER, M.; HASSAN, W.; SHAH, A. N.; ANJUM, S. A.; SARDAR ALAM CHEEMA, S. A.; ALI, I. Lithium toxicity in plants: Reasons, mechanisms and remediation possibilities e a review. **Plant physiology and biochemistry**, v. 107, n. 1, p. 104-115, 2016. DOI: [10.1016/j.plaphy.2016.05.034](https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.05.034).

SHKOLNIK, M. Y. A. Trace elements in plants. Elsevier, **Amsterdam**, 1984, p 463.  
Disponível em:  
<https://www.elsevier.com/books/trace-elements-in-plants/shkolnik/978-0-444-42320-7>.

SILVA R. R.; FARIÁ A. J. G.; ALEXANDRINO, G. C.; RIBEIRO E. A.; SANTOS, A. C. M.; DEUSDARA, T. T. Enrichment of lithium in lettuce plants through agronomic biofortification. **Journal of Plant**

**Nutrition**, v. 32, n. 17, p. 2102-2113, 2019.  
DOI: 10.1080/01904167.2019.1648671.

SILVA, T. R. B.; MELO, S. C.;  
NASCIMENTO, A. B., AMBROSANO, L.;  
BORDIN, J. C.; ALVES, C. Z.; SECCO, D.;  
SANTOS, R. F.; GONÇALVES-JR, A. C.;  
SILVA, G. D. Tiago Roque Benetoli et al.  
Response of chia (*Salvia hispanica*) to sowing  
times and phosphorus rates over two crop  
cycles. **Heliyon**, v. 6, n. 9, p. e05051, 2020.  
DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05051>.

SIWULSKI, M.; RZYMSKI, P.; BUDKA, A.;  
KALAČ, P.; BUDZYŃSKA, S.;  
DAWIDOWICZ, L.; HAJDUK, E.; KOZAK  
L.; BUDZULAK, J. SOBIERALSKI, K.;  
NIEDZIELSKI, P. The effect of different  
substrates on the growth of six cultivated  
mushroom species and composition of macro  
and trace elements in their fruiting bodies.

**European Food Research and Technology**, v.  
245, n. 2, p. 419-431, 2019. DOI:  
<https://doi.org/10.1007/s00217-018-3174-5>.

SOBOLEV, O. I.; GUTYJ, B. V.;  
DARMOHRAY, L. M.; SOBOLIEVA, S. V.;  
IVANINA, V. V.; KUZMENKO, O. A.;  
KARKACH P. M.; FESENKO V. F.;  
BILKEVYCH V. V.; MASHKIN Y. O.;  
TROFYMCHUK A. M.; STAVETSKA R. V.;  
TKACHENKO S. V.; BABENKO O. I.;  
KLOPENKO N. I.; CHERNYUK S. V.

Lithium in the natural environment and its  
migration in the trophic chain. **Ukrainian  
Journal of Ecology**, v. 9, n. 2, p. 195-203,  
2019. Disponível em:  
<http://rep.btsau.edu.ua/handle/BNAU/2489>.

STEIN, A. J. Global impacts of human mineral  
malnutrition. **Plant and soil**, v. 335, n. 1-2, p.  
133-154, 2010. DOI: 10.1007/s11104-009-  
0228-2.

TANVEER, M.; HASANUZZAMAN, M.;  
WANG, L. Lithium in Environment and  
Potential Targets to Reduce Lithium Toxicity in  
Plants. **Journal of Plant Growth Regulation**,

v. 38, n. 4, p. 1574-1586, 2019. Disponível em:  
<https://pubag.nal.usda.gov/catalog/6763117>.

VOICA, C.; ROBA, C.; IORDACHE, A. M.  
Lithium Levels in Food from the Romanian  
Market by Inductively Coupled Plasma–Mass  
Spectrometry (ICP-MS): A Pilot Study.  
**Analytical Letters**, v. 1, n.1, p. 1-13, 2020.

DOI:

<https://doi.org/10.1080/00032719.2020.1748642>.

WEHR, R.; COMMANE, R.; MUNGER, W.  
J.; MCMANUS, B. J.; NELSON, D. D.;  
ZAHNISER, M. S. Dynamics of canopy  
stomatal conductance, transpiration, and  
evaporation in a temperate deciduous forest,  
validated by carbonyl sulfide uptake.

**Biogeosciences**, v. 14, n. 1, p. 389–401, 2017.  
DOI: 10.5194/bg-14-389-2017.