


BIOFORTIFICAÇÃO DE CULTIVARES DE ARROZ IRRIGADO COM DOSES DE LÍTIO VIA PULVERIZAÇÃO FOLIAR

 <https://doi.org/10.56238/arev7n2-103>

Data de submissão: 10/01/2025

Data de publicação: 10/02/2025

Danilo Pereira Ramos

Doutor em Produção Vegetal

Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal do Tocantins (PPGPV) - TO - BRASIL

E-mail: daniloramos05@hotmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-6559-6218>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2232189638926355>

Guillermo Arturo Herrera Chan

Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal do Tocantins (PPGPV) - TO - BRASIL

E-mail: gui.art.her@hotmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-1093-4125>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5143427838356045>

Marilene Alves Ramos Dias

Doutora em Produção Vegetal

Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal do Tocantins (PPGPV) - TO - BRASIL

E-mail: maridiasgpi@hotmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7237-7606>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8226169246443544>

Damiana Beatriz da Silva

Doutora em Tecnologias Química e Biológica

Químico da Universidade Federal do Tocantins (UFT) - TO - BRASIL

E-mail: damisb@uft.edu.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2962-9964>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1988992187665430>

Juliana Barilli

Doutora em Agronomia (Agricultura)

Professora Associada IV do curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Tocantins (UFT) - TO - BRASIL

E-mail: jubarilli@uft.edu.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2724-4254>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6647824142535902>

Danyllo Santos Dias

Mestre em Fitotecnia

Pesquisador na empresa Ímpar Consultoria no Agronegócio Ltda - TO - BRASIL

E-mail: danyllodias@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7966-2901>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3343322864713432>

Rodrigo Robson Cavalcante

Mestre em Produção Vegetal

Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal do Tocantins (PPGPV) -

TO - BRASIL

E-mail: rodrigo88agro@mail.uft.edu.br

Orcid: <http://orcid.org/0000-0002-6657-3675>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8208792632035296>

Rodrigo Ribeiro Fidelis

Doutor em Fitotecnia

Professor Titular do curso de agronomia e do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal

(PPGPV) da Universidade Federal do Tocantins - TO - BRASIL

E-mail: fidelisrr@mail.uft.edu.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-7306-2662>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0616293406832497>

RESUMO

Embora seja um oligoelemento essencial à saúde humana, a ingestão de lítio (Li) é insuficiente em várias regiões do mundo. A biofortificação de arroz com esse elemento é uma técnica que pode contribuir para minimizar a sua deficiência na população. Dessa forma, objetivou-se com esse estudo determinar a influência de doses de Li aplicadas via foliar sobre a biofortificação, as propriedades fisiológicas e a produção de cultivares de arroz irrigado. O delineamento experimental foi em blocos casualizados em arranjo fatorial 5x3, com quatro repetições. Os fatores consistiram em cinco doses de Li (0, 50, 100, 150 e 200 g ha⁻¹) e três cultivares de arroz irrigado (BRS Catiana, BRS Tropical e BRS Pampeira). A aplicação foliar de LiOH·H₂O propicia o aumento do teor de Li nos grãos de quaisquer das cultivares de arroz em estudo. O fornecimento de Li às plantas de arroz não influencia o seu desenvolvimento, rendimento e suas propriedades fisiológicas. Existe variabilidade genética entre as cultivares de arroz quanto ao acúmulo de Li nos grãos.

Palavras-chave: Oryza Sativa L. Hidróxido de Lítio. Adubação Foliar. Composição Alimentar. Qualidade Nutricional.

1 INTRODUÇÃO

O lítio (Li) é um oligoelemento essencial na dieta humana em razão de sua importância para o adequado funcionamento do organismo (Kalinowska et al., 2013; Marshall, 2015). Esse oligoelemento tem sido empregado na prevenção do declínio cognitivo e do suicídio, no tratamento do transtorno bipolar e de alterações comportamentais como psicose, neurose e esquizofrenia (Brown et al., 2018; Schrauzer, 2002).

Emboara as doses de Li empregadas nos tratamentos terapêuticos sejam elevadas, doses muito baixas, em concentrações encontradas naturalmente no meio ambiente, podem promover efeitos benéficos à saúde (Szklarska e Rzymiski, 2018). Nesse sentido, existem evidências de que a insuficiente ingestão de Li pode afetar os sistemas endócrino, cardiovascular, neuromuscular, renal e dermatológico (Kabata-Pendias e Mukherjee, 2007).

Apesar de não ser considerado um elemento essencial para o desenvolvimento e para produção vegetal, o Li é facilmente absorvido pela maioria das plantas (Schrauzer, 2002). O nível de absorção e concentração de Li em seus tecidos é bastante variável e depende da espécie, do genótipo vegetal e de sua concentração no solo (Jiang et al., 2014; Shahzad et al., 2016). Esse elemento pode atuar sobre as plantas de duas formas: efetivar importantes funções metabólicas e estimular o desenvolvimento e produção, quando utilizado em baixas concentrações; ou promover alterações fisiológicas e bioquímicas com efeitos tóxicos que resultam em menor rendimento, quando em altas concentrações (Santos et al., 2019; Silva et al., 2019; Shahzad et al., 2017).

Os grãos de cereais e os vegetais são as principais fontes de Li para a alimentação humana, o quais podem suprir até mais 90% do consumo diário do elemento (Schrauzer, 2002). Sendo assim, espera-se que uma dieta rica nesses alimentos forneça razoável quantidade de Li para a população. Todavia, pelo fato de o Li ter distribuição bastante heterogênea na crosta terrestre, mesmo com dietas à base de cereais e vegetais, a ingestão do elemento pelas populações nas diferentes regiões do mundo é extremamente variável (Schrauzer, 2002). À vista disso, em diversos locais do planeta os níveis de Li no solo e por conseguinte na água e nos alimentos são baixos, o que resulta em ingestão diária do elemento abaixo da recomendação sugerida (Szklarska e Rzymiski, 2018).

Nesse contexto, é necessário adotar medidas que elevem a ingestão de Li a níveis satisfatórios, dentre as quais a biofortificação agrônômica de produtos agrícolas surge como estratégia sustentável, eficiente e de baixo custo (De Valença et al., 2017). Essa técnica proporciona o aumento da concentração de minerais nos tecidos vegetais sem interferir em suas características básicas ou no rendimento das plantas (Andrade et al., 2018). Dentre os métodos de biofortificação agrônômica, a pulverização foliar de minerais, por não depender da translocação da raiz para parte aérea e por evitar

perdas por lixiviação ou por imobilização no solo, tem se mostrado altamente eficiente na biofortificação de diferentes culturas agrícolas (Chan et al., 2021; Puccinelli et al., 2017; Ramos et al., 2019; Santos et al., 2019).

O uso de produtos agrícolas amplamente consumidos pela população é essencial para o êxito em programas de biofortificação. Posto isto, o arroz (*Oryza sativa L.*) ocupa lugar de destaque por ser o segundo cereal mais cultivado no mundo e a principal cultura irrigada do planeta. É, ainda, alimento básico para mais de metade da população mundial (Rao et al., 2017; Reis et al., 2018). Em virtude de sua importância global, essa cultura dispõe de ampla aptidão para ser utilizado em tais programas, nos quais pode servir como veículo na entrega de micronutrientes para o corpo humano e suprir deficiências nutricionais específicas.

Devido à importância de pesquisas envolvendo a biofortificação de culturas agrícolas com Li, associado a carência de informações sobre o assunto, especialmente em relação a cultura do arroz irrigado, em regiões de clima tropical, objetivou-se com esse estudo determinar a influência de doses de Li aplicadas via foliar sobre a biofortificação, as propriedades fisiológicas e a produção de cultivares de arroz irrigado.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS

O estudo foi conduzido com o uso de vasos plásticos, em área experimental de campo sem proteção ambiental, entre os meses de abril e setembro de 2018, no município de Lagoa da Confusão, Estado de Tocantins, Brasil (10°46'51.0" S, 49°37'01.5" W, 188 m de altitude). O clima da região é tropical com chuvas de verão (Aw) ou savana tropical (Alvares et al., 2013). A temperatura média anual é 27.2°C e a pluviosidade média anual é 1882 mm. Dados relativos à precipitação e temperatura durante o período experimental, coletados nas estações meteorológicas dos municípios de Lagoa da Confusão e Pium, Estado do Tocantins, Brasil, são apresentados na Fig. 1 (INMET 2018).

No cultivo das plantas foi usada uma mistura de solo, substrato (Bioflora®) e areia média (0.5 mm) na proporção de 6:1:1. Esta mistura foi colocada em vasos plásticos com 8 dm³ de volume onde as plantas foram cultivadas. O referido solo foi proveniente da camada de 0 a 20 cm de profundidade de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (Embrapa, 2018). Análises físicas e químicas indicaram que esse solo possuía: textura argilosa (52.5 dag kg⁻¹ de areia, 5.0 dag kg⁻¹ de silte, 42.5 dag kg⁻¹ de argila); pH em CaCl₂ de 5.0; matéria orgânica 3.9 dag kg⁻¹; fósforo (Mehlich⁻¹) 75.9 mg dm⁻³; potássio 206.0 mg dm⁻³; cálcio 8.2 cmolc dm⁻³; magnésio 1.0 cmolc dm⁻³; alumínio 0.0 cmolc

dm^{-3} ; hidrogênio + alumínio $2.0 \text{ cmolc dm}^{-3}$; ferro 51.0 mg dm^{-3} ; lítio 4 mg dm^{-3} e saturação por base 83%.

A adubação de semeadura foi realizada de acordo com as análises físico-químicas do solo, e constituiu em 321.5 mg dm^{-3} do adubo NPK 04-14-08 que forneceu às plantas 13.0, 45.0, 25.5, 35.6, 34.4 e 0.64 mg dm^{-3} de nitrogênio (N), fósforo (P_2O_5), potássio (K_2O), cálcio (Ca), enxofre (S) e zinco (Zn), respectivamente. Além disso, foi realizada adubação com micronutrientes com a aplicação de 12.5 mg dm^{-3} do adubo FTE-BR12 (Península) que forneceu às plantas 1.12, 0.22, 0.10, 0.25, 0.43 e 0.01 mg dm^{-3} de zinco (Zn), boro (B), cobre (Cu), manganês (Mn), ferro (Fe) e molibdênio (Mo), respectivamente.

2.2 INSTALAÇÃO EXPERIMENTAL

Foram semeadas seis sementes de arroz por vaso. Aos 15 dias após a emergência das plantas realizou-se desbaste deixando duas plântulas por vaso, quantidade suficiente para obter-se o total de grãos necessários para as análises e não comprometer o desenvolvimento das plantas por competição. Como adubação de cobertura foram aplicados 55 mg de nitrogênio e $22.5 \text{ mg K}_2\text{O}$ por dm^{-3} de solo, dividido em quatro aplicações entre o início e o final do perfilhamento da cultura. Para tal, utilizou-se os fertilizantes minerais: uéria, sulfato de amônio e cloreto de potássio. Durante a condução do experimento, o solo foi mantido úmido através de irrigações diárias individuais em cada unidade experimental.

2.3 TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental foi em blocos casualizados em arranjo fatorial 5×3 , com quatro repetições. O primeiro fator foi constituído por cinco doses de Li (0, 50, 100, 150 e 200 g ha^{-1}) utilizando como fonte hidróxido de lítio monohidratado ($\text{LiOH} \cdot \text{H}_2\text{O}$ P.A). Já o segundo fator em estudo foi constituído por três cultivares de arroz irrigado (BRS Catiana, BRS Tropical e BRS Pampeira). Foram escolhidas três cultivares de arroz com o propósito de obter-se informações sobre a resposta de diferentes genótipos em relação a aplicação de Li. Estas cultivares foram selecionadas por estarem no grupo das mais cultivadas na região. Cada unidade experimental foi constituída por um vaso com duas plantas espaçados em 1 m entre blocos e 0.35 m dentro dos blocos. Cada bloco foi composto por 15 vasos (todos os tratamentos).

A aplicação das doses de Li foi realizada via foliar, pela manhã (entre 8:00 e 9:00 horas), quando as plantas estavam no estágio de enchimento dos grãos (R_6). Para isso foi utilizando solução padrão de $\text{LiOH} \cdot \text{H}_2\text{O}$ (0.5 mg mL^{-1}). Por exemplo, utilizou-se 1.21 mL da solução por vaso com duas

plantas para o tratamento de 50 g ha^{-1} de Li. Essas doses da solução padrão foram completadas a 50 mL de água e aplicadas uniformemente sobre as plantas de cada unidade experimental. As doses foram convertidas para hectare considerando a população de plantas normalmente empregadas para a cultura do arroz irrigado (1.000.000,00 plantas por hectare), extrapolando as doses por vaso para hectare. Para a aplicação, foi usado pulverizador manual de compressão prévia (STIHL SG 11) com pressão máxima de 2.5 bar (36.26 psi), vazão de 300 mL por minuto e ponta cônica regulável.

2.4 AVALIAÇÕES E AMOSTRAGEM

Para quantificar os índices de clorofila e trocas gasosas, as amostras foram coletadas sete dias após a aplicação de Li. Para determinar os componentes de produção, produtividade e concentração de Li nos grãos de arroz, as amostras foram coletadas no final do ciclo da cultura.

2.4.1 Índice de clorofila

Sete dias após a aplicação de Li, foram realizadas as quantificações indiretas de clorofila com leituras em dez pontos diferentes das folhas bandeira das plantas de cada unidade experimental, medindo-se: índice de clorofila *a* (chl *a* - ICF); índice de clorofila *b* (chl *b* - ICF); e índice de clorofila total (chl total - ICF), usando para tal, um medidor portátil de clorofila (ClorofiLOG; modelo CFL1030), que fornece resultados em unidades adimensionais (ICF-Índice de Clorofila Falker).

2.4.2 Trocas gasosas

As trocas gasosas foram avaliadas sete dias após a aplicação de Li. Tais análises foram realizadas por meio de doze leituras nas folhas bandeira das plantas de cada parcela, medindo-se: concentração interna de CO_2 (C_i - $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); taxa fotosintética (A - $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); condutância estomática (g_s - $\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); transpiração (E - $\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e eficiência no uso da água (EUA - $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$). Para isso, foi empregado um InfraRed Gas Analyzer (IRGA; modelo LCI-SD; ADC BioScientific Ltd.). As leituras foram realizadas entre 8:00 e 11:00 horas, com céu limpo, a fim de manter as condições ambientais homogêneas durante as avaliações.

2.4.3 Avaliação do crescimento e rendimento das plantas

Ao final do ciclo da cultura, as plantas foram colhidas e avaliou-se altura de plantas (cm), número de panículas por vaso, número de grãos por panícula, esterilidade de espiguetas (%), massa de 100 grãos (g) e rendimento de grãos (g vaso^{-1}). Para quantificação da massa de 100 grãos e rendimento de grãos, as amostras foram secas em estufa com circulação forçada de ar (Solab, modelo

SL-102) a 60°C. Os grãos permaneceram na estufa até atingirem peso constante. Em seguida a massa dos grãos foi avaliada em balança de precisão de 0.01 g (Gehaka BK4000).

2.4.4 Concentração de Li nos grãos e estimativa da ingestão diária de Li

A determinação das concentrações de Li nos grãos (mg kg^{-1}) foi realizada no Laboratório de Pesquisa em Química Ambiental e de Biocombustíveis (LAPEQ) da Universidade Federal do Tocantins, Brasil. Em resumo, após secagem em estufa com circulação forçada de ar (Solab, modelo SL-102) a 60°C, os grãos foram descascados e as amostras de arroz integral foram moídas e homogeneizadas. Em seguida, uma alíquota (aproximadamente 200 mg) foi digerida em solução nitro-perclórica ($\text{HNO}_3\text{-HClO}_4$) (2:1) e mistura catalítica composta por sulfato de sódio anidro (Na_2SO_4) e sulfato de cobre pentahidratado ($\text{CuSO}_4\cdot 5\text{H}_2\text{O}$). O volume do extrato digerido foi completado a 50 mL com água ultrapura.

Os teores de Li nos extratos adquiridos foram mensurados por espectroscopia de emissão atômica com plasma induzido por micro-ondas (MP-AES) (Agilent Technologies, modelo 4210). Para a calibração do instrumento foram utilizados seis padrões (0, 2, 4, 6, 8 e 10 ppm) preparados pela diluição de solução padrão de Li 100 ppm ($\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$, marca Vetec). Logo depois, foi estimada uma curva de calibração com esses padrões (coeficiente de determinação - $R^2 = 0.999$, limite de detecção - $\text{LD} = 0.000374$ e limite de quantificação - $\text{LQ} = 0.001247$). Após a obtenção da concentração de Li no extrato digerido, foram calculadas as concentrações de Li (mg kg^{-1}) na massa das amostras utilizadas.

A estimativa da ingestão diária de Li pelo consumo de grãos de arroz biofortificados foi calculada utilizando a Equação (2), conforme descrito por Ramos et al. (2023) (adaptado):

$$IdLi = CLig * Cda \quad (2)$$

Onde $IdLi$ = ingestão diária estimada de Li por um adulto (mg dia^{-1}), $CLig$ = concentração de Li nos grãos (mg kg^{-1}) e Cda = consumo médio diário de arroz por pessoa no Brasil ($0,146 \text{ kg dia}^{-1}$) (CONAB 2019).

2.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Para o fator cultivar, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) aplicando-se o teste F ($\alpha = 0.05$). Havendo diferenças significativas, as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey ($\alpha = 0.05$). Para o fator dose, os dados foram submetidos à análise de regressão. Os critérios usados na seleção das curvas de regressão foram a significância da equação e de seus coeficientes ($\alpha = 0.05$), maior coeficiente de regressão (R^2) e simplicidade da equação. Para

essas análises, foi utilizando o programa estatístico Sisvar (Ferreira, 2011). As figuras e os gráficos de regressão foram criados usando o software Sigma Plot versão 12.5 (Systat Software, Chicago, IL, USA).

3 RESULTADOS

Houve significância ($p < 0.05$) da interação entre cultivares de arroz e doses de Li, exclusivamente, para a concentração de Li nos grãos. Foi constatado efeito significativo ($p < 0.05$) entre as cultivares de arroz para todas as características avaliadas, exceto para número de panículas por vaso, concentração interna de CO_2 (C_i) e eficiência no uso da água (EUA). O efeito das doses de Li influenciou ($p < 0.05$) apenas a concentração de Li nos grãos (Tabela 1).

Tabela 1. Resumo da análise de variância com os quadrados médios para as características: altura de plantas (AP), número de panículas por vaso (NPV), número de grãos por panícula (NGP), esterilidade de espiguetas (EE), massa de 100 grãos (M100), rendimento de grãos (RG), índice de clorofila a (Chl a), índice de clorofila b (Chl b), índice de clorofila total (Chl total), concentração interna de CO_2 (C_i), assimilação líquida de CO_2 (A), condutância estomática (g_s), transpiração (E), eficiência do uso da água (EUA) e concentração de Li nos grãos (CLig) de três cultivares de arroz irrigado submetidas à aplicação foliar de doses (0, 50, 100, 150 e 200 g/ha) de Li (LiOH·H₂O).

Características	Fonte de variação				Média	CV (%)
	Graus de liberdade					
	Cultivares (S)	Doses (D)	C x D	Residuais		
	2	4	5	42		
AP	904.96**	2.78 ^{ns}	11.17 ^{ns}	12.45	79.67	4.43
NPV	0.35 ^{ns}	19.05 ^{ns}	30.62 ^{ns}	21.58	41.60	11.17
NGP	1693.02*	758.82 ^{ns}	325.16 ^{ns}	332.59	101.28	18.01
EE	3106.23**	164.00 ^{ns}	81.33 ^{ns}	81.03	37.64	23.91
M100	0.03**	0.01 ^{ns}	0.00 ^{ns}	0.00	2.13	3.38
RG	4491.16**	134.94 ^{ns}	130.90 ^{ns}	140.45	51.95	22.81
Chl <i>a</i>	27.31**	3.14 ^{ns}	3.41 ^{ns}	3.76	29.07	6.68
Chl <i>b</i>	8.14**	1.81 ^{ns}	1.20 ^{ns}	1.10	10.08	10.40
Chl <i>t</i>	65.32**	9.64 ^{ns}	7.32 ^{ns}	8.49	39.15	7.44
<i>Ci</i>	578.52 ^{ns}	1111.24 ^{ns}	132.28 ^{ns}	767.98	276.91	10.01
<i>A</i>	29.92**	2.12 ^{ns}	0.59 ^{ns}	1.61	5.95	21.33
<i>g_s</i>	0.01**	0.00 ^{ns}	0.00 ^{ns}	0.00	0.11	21.77
<i>E</i>	20.05**	0.57 ^{ns}	1.92 ^{ns}	2.58	4.92	32.65
<i>EUA</i>	0.15 ^{ns}	0.13 ^{ns}	0.20 ^{ns}	0.16	1.34	30.19
CLig	8.41**	2.62**	0.81**	0.04	3.80	5.86

**Significativo a 1% de probabilidade ($p < 0.01$); *significativo a 5% de probabilidade ($p < 0.05$); ^{ns}não significativo ($p > 0.05$) pelo teste F; CV: Coeficiente de Variação.

3.1 CRESCIMENTO E RENDIMENTO DAS PLANTAS

Para a característica altura de plantas (Figura 2A), a cultivar BRS Tropical apresentou maior média (87 cm), seguida da cultivar BRS Pampeira (77 cm). Já a cultivar BRS Catiana exibiu menor média para essa característica (74 cm). Não houve diferença significativa entre as cultivares de arroz para número de panículas por vaso (Figura 2B). No que se refere a resposta das cultivares de arroz para número de grãos por panícula (Figura 2C), BRS Pampeira expôs média superior (109 grãos por panícula), apesar de não diferir de BRS Catiana, enquanto que BRS Tropical apresentou média inferior (91 grãos por panícula). Quanto à esterilidade das espiguetas (Figura 2D), constatou-se maior porcentagem de espiguetas estéreis para a cultivar BRS Tropical (52%), seguida por BRS Catiana (31%) e BRS Pampeira (30%), apesar das duas últimas não diferirem estatisticamente entre-si.

Para massa de 100 grãos, BRS Catiana exibiu média superior (2.17 gramas), apesar de não diferir de BRS Tropical, com média de 2,13 gramas, enquanto que BRS Pampeira apresentou menor média para essa característica (2.09 gramas) (Figura 2E). Em relação à produtividade de grãos (Figura 2F), não diferindo significativamente entre si, as cultivares BRS Pampeira e BRS Catiana se destacaram com médias superiores (61 e 60 gramas por vaso, respectivamente). Com média de 35 gramas por vaso, BRS Tropical mostrou-se inferior.

Figura 2. Altura de plantas (A), número de panículas por vaso (B), número de grãos por panícula (C), esterilidade de espiguetas (D), massa de 100 grãos (E) e produtividade de grãos (F) de cultivares de arroz irrigado, independente das doses de Li. Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si (Tukey, $p < 0.05$).

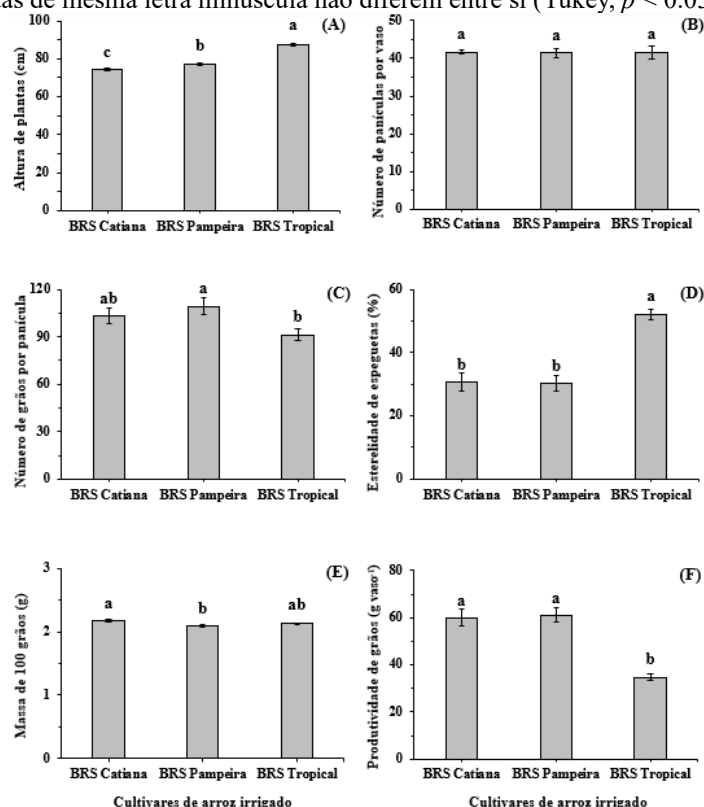


Figura 3. Clorofila *a* (A), clorofila *b* (B) e clorofila total (C) de cultivares de arroz irrigado, independente das doses de Li. Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si (Tukey, $p < 0.05$).

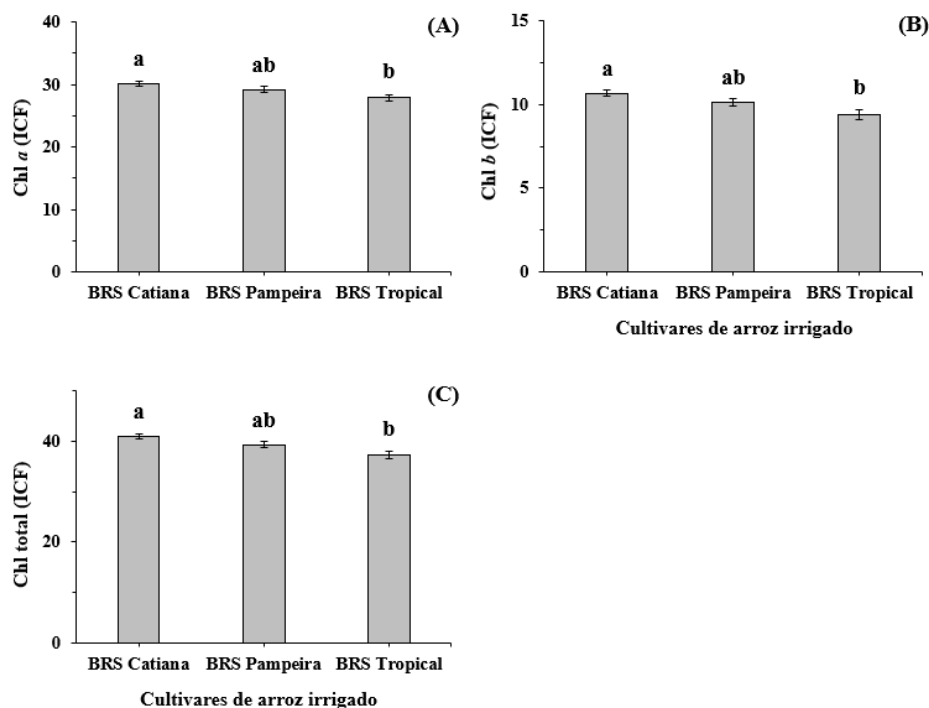
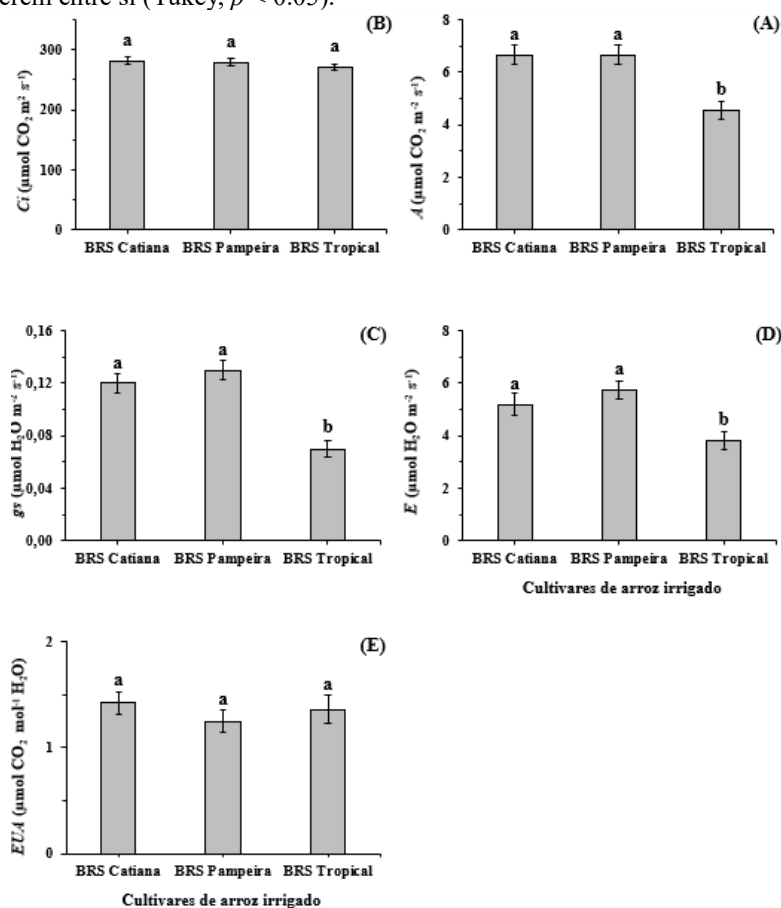


Figura 4. Assimilação líquida de CO_2 (A), concentração interna de CO_2 (B), condutância estomática (C), transpiração (D) e eficiência no uso da água (E) de cultivares de arroz irrigado, independente das doses de Li. Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si (Tukey, $p < 0.05$).



3.2 PIGMENTOS FOTOSSINTÉTICOS E TROCAS GASOSAS

Os pigmentos fotossintéticos chl *a*, chl *b* e chl total apresentaram comportamento semelhantes. A cultivar BRS Catiana exibiu maiores índices desses pigmentos, já BRS Tropical expôs índices inferiores. Com médias intermediárias, BRS Pampeira não diferiu estatisticamente das outras cultivares (Figuras 3A, 3B e 3C). Quando aos indicadores fisiológicos taxa fotossintética, condutância estomática e transpiração, as cultivares BRS Pampeira e BRS Catiana apresentaram médias superiores, no qual distinguíram-se significativamente de BRS Tropical que exibiu média inferior para essas características (Figuras 4A, 4C, 4D).

3.3 CONCENTRAÇÃO DE LI NOS GRÃOS

Diferente do ocorrido em produtividade de grãos, pigmentos fotossintéticos e trocas gasosas, a cultivar BRS Tropical ostentou maior concentração de Li nos grãos, seguida de BRS Catiana e BRS Pampeira, respectivamente. A aplicação foliar de Li proporcionou acúmulo eficiente do elemento nos grãos em todas as cultivares de arroz. Para BRS Catiana e BRS Pampeira, houve aumento linear da concentração de Li nos grãos de arroz em função do aumento das doses aplicadas nas plantas. Já para BRS Tropical verificou-se resposta quadrática, com aumento da concentração de Li nos grãos de arroz até a dose 102 g ha⁻¹. A partir daí, observou-se decréscimo na concentração do elemento nos grãos com o aumento da dose aplicada (Figura 5).

Figura 5. Concentração de Li nos grãos de três cultivares arroz irrigado em função da aplicação de doses de Li. Os segmentos de linha vertical representam a média \pm SE dos dados.

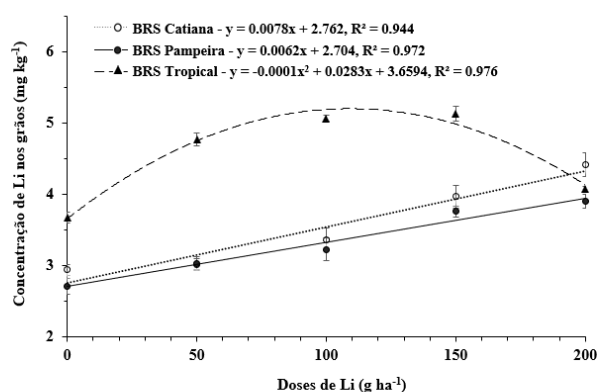


Figura 5. Concentração de Li nos grãos de três cultivares arroz irrigado em função da aplicação de doses de Li. Os segmentos de linha vertical representam a média \pm SE dos dados.

Com a suplementação de Li, a concentração do elemento nos grãos aumentou em média 1.41, 1.44 e 1.50 vezes para BRS Tropical, BRS Pampeira e BRS Catiana, respectivamente, ao se comparar a concentração do elemento nos grãos na dose que promoveu maior acúmulo com o tratamento controle. A concentração de Li nos grãos alcançou média de 3.90, 4.42 e 5.20 mg kg⁻¹ para as cultivares

BRS Pampeira, BRS Catiana e BRS Tropical, respectivamente, na dose máxima para BRS Catiana e BRS Pampeira e na dose de 102 g ha⁻¹ para BRS Tropical. Foi observado que a diferença no acúmulo de Li nos grãos depende das cultivares de arroz, que por sua vez, depende das doses de Li aplicadas.

4 DISCUSSÃO

4.1 CRESCIMENTO E RENDIMENTO DAS PLANTAS

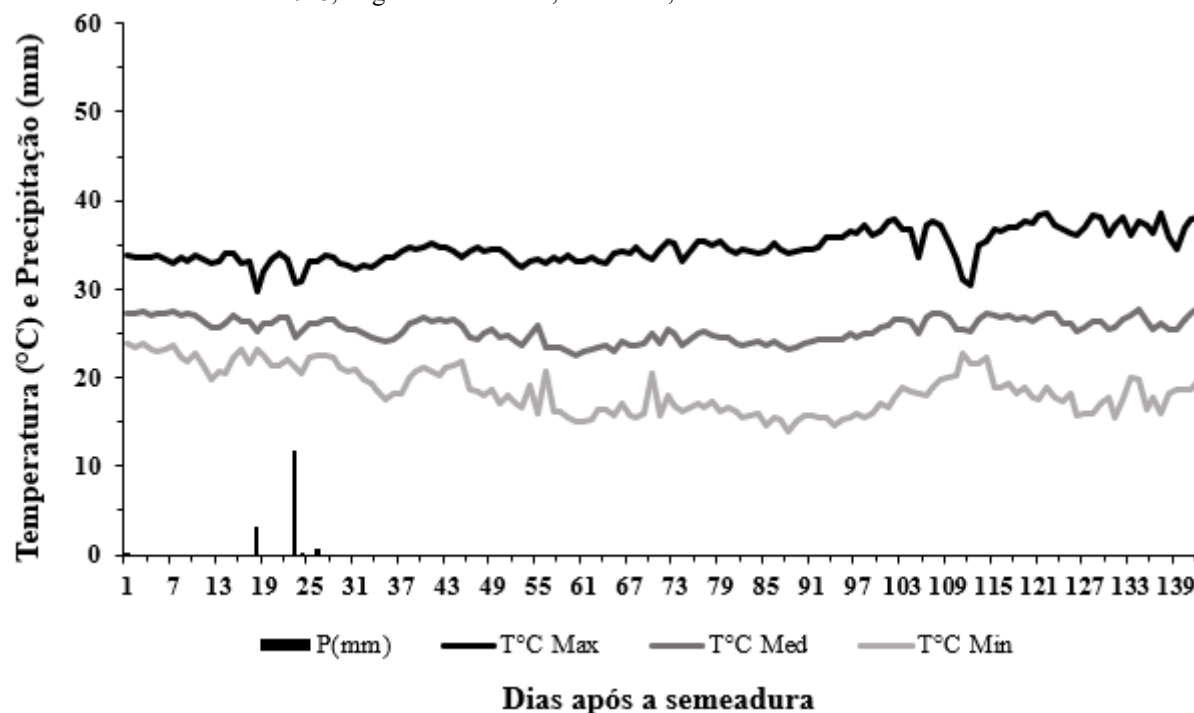
A diferença entre as cultivares de arroz para a maioria das características avaliadas se deve, provavelmente, a atributos genéticos intrínsecos de cada cultivar. Para altura de plantas, houve amplitude de 13 cm entre a cultivar que apresentou maior (BRS Tropical) e menor porte (BRS Catiana) (Figura 2A). As alturas de planta das cultivares em estudo foram ligeiramente inferiores às descritas pelos seus obtentores, não existindo, nesse caso, risco de acamamento.

Quanto ao número de grãos por panícula, a cultivar BRS Pampeira apresentou maior média, enquanto BRS Tropical, menor. BRS Catiana foi intermediária (Figura 2C). De acordo com SOSBAI (2018) fatores ambientais e particularidades genéticas regulam essa característica, o que pode explicar a variação entre as cultivares nesse estudo. No cultivo de arroz, o baixo perfilhamento das plantas resulta em menor número de panículas por área, que por sua vez pode refletir em menor rendimento de grãos. Nesse caso, maior número de grãos por panículas é essencial para compensar as perdas decorrente do baixo perfilhamento.

Um dos fatores que mais afetam o rendimento de grãos na cultura do arroz é a esterilidade de espiguetas. Fatores ambientais, principalmente extremos de temperatura (inferior a 17°C e superior a 35°C) no período de floração, e genéticos podem influenciar fortemente essa característica (SOSBAI, 2018). Da mesma forma ocorrida em altura de plantas, BRS Tropical exibiu maior porcentagem de espiguetas estéreis. Já BRS Catiana e BRS Pampeira não diferiram reciprocamente (Figura 2D). Como a esterilidade das espiguetas tem elevada correlação negativa com o rendimento de grãos (Terra et al., 2015), o comportamento distinto apresentado pelas cultivares pode ser explorado em programas de melhoramento genético para a seleção de plantas de arroz mais produtivas.

A elevada taxa de espiguetas estéreis (acima de 30%) para todas as cultivares, certamente, se deve aos extremos de temperaturas citados por SOSBAI (2018) observados durante o período de floração da cultura (Figura 1).

Figura 1. Precipitação pluviométrica e temperaturas máxima, média e mínima durante o cultivo de arroz irrigado entre os meses de abril a setembro de 2018, Lagoa da Confusão, Tocantins, Brasil.



A variabilidade existente entre as cultivares para massa de 100 grãos (Figura 2E) deve estar ligada a atributos genéticos próprios de cada genótipo. Em plantas de arroz, o tamanho da casca, a densidade do grão e o desenvolvimento da cariopse, que está relacionado à translocação de carboidratos, são aspectos varietais que controlam essa característica (Boldieri et al., 2010; Dalchiavon et al., 2012). Grãos mais pesados associado às demais características produtivas refletem em maior rendimento de grãos por unidade de área.

O fato de BRS Catiana e BRS Tropical apresentarem maior massa de 100 grãos se deve, possivelmente, a condição daquela possuir menor número de grãos por panícula (Figura 2C) e essa possuir, além de menor número de grãos por panícula, maior porcentagem de espiguetas estéreis (Figura 2D). Nesses casos, pôde ter ocorrido distribuição de fotoassimilados para menor quantidade de grãos, o que resultou em maior massa.

O rendimento de grãos foi influenciado significativamente pelas cultivares de arroz (Figura 2F). Essa disparidade entre as cultivares se deve, certamente, a fatores genéticos e condições ambientais, os quais interferem nas propriedades agrônômicas da cultura. Conforme Freitas et al. (2007), a produtividade de grãos na cultura do arroz, por ser uma característica quantitativa, controlada por grande número de genes, é definida pela interação de seus componentes: número de panículas por unidade de área, número de grãos por panícula, índice de fertilidade das espiguetas e peso de grãos. Diante disso, nesse estudo, as cultivares BRS Pampeira e BRS Catiana apresentam menor índice de

esterilidade de espiguetas e maior número de grãos por panícula e massa de 100 grãos, respectivamente, o que resultou em maiores produtividades de grãos dessas cultivares. Por outro lado, a cultivar menos produtiva (BRS Tropical) ostentou maior índice de esterilidade de espiguetas e menor número de grãos por panícula, fato que comprometeu o seu rendimento de grãos.

4.2 PIGMENTOS FOTOSSINTÉTICOS E TROCAS GASOSAS

Os pigmentos fotossintéticos e as trocas gasosas também tiveram relação com o rendimento de grãos. Assim, as cultivares BRS Catiana e BRS Pampeira, que foram mais produtivas, obtiveram maiores índices de clorofila (Figuras 3A, 3B e 3C) e, da mesma forma, médias superiores para os indicadores fisiológicos taxa fotossintética, condutância estomática e transpiração (Figuras 4A, 4C, 4D).

Já é bem definido que as moléculas de clorofila são essenciais para o processo fotossintético, no qual são responsáveis pela coleta e conversão de energia luminosa em energia bioquímica e pelo transporte de elétrons dentro dos centros de reação (Tanaka e Tanaka, 2006). Segundo Ramesh et al. (2002), o conteúdo de clorofila na folha é o melhor indicador de atividade fotossintética em plantas de arroz. Esses autores demonstraram em suas pesquisas que o rendimento de grãos na cultura do arroz depende do teor de clorofila nas folhas, fato que ratifica os resultados do presente estudo.

De acordo com Ambavaram et al. (2014), a taxa fotossintética é o principal componente de rendimento das plantas de modo que mais de 90 % da biomassa vegetal provém de produtos fotossintéticos. Em síntese, nesse processo, os vegetais utilizam energia da luz solar para produzir energia bioquímica, a qual serve para a conversão de dióxido de carbono atmosférico (CO_2) em carbono orgânico ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$), que é base para o desenvolvimento e produção vegetal (Evans, 2013). Perante ao exposto, é possível concluir que os maiores índices de clorofila e de taxa fotossintética foram os principais responsáveis pelo maior rendimento de grãos das cultivares BRS Catiana e BRS Pampeira.

Nesse contexto, a condutância estomática e a transpiração estão diretamente associadas à taxa fotossintética. Segundo Lawson e Vialet-Chabrand (2019), movimento estomático controla a captação de CO_2 utilizado na fotossíntese e a perda de água por meio da transpiração, logo, essa atividade tem papel essencial na produtividade das plantas, o que valida os resultados apresentados nesse estudo.

O fato da aplicação de Li não ter provocado efeito sobre o crescimento, o rendimento, os pigmentos fotossintéticos e as trocas gasosas das cultivares de arroz deve estar relacionado ao fato de as doses utilizadas nesse estudo não terem sido suficientes para influenciar tais características e, aliado

a isso, devido a capacidade diferenciada de espécies e genótipos vegetais comportar-se quando cultivados na presença de Li (Jiang et al., 2014; Shahzad et al., 2016).

Santos et al. (2019) e Silva et al. (2019) estudando o efeito da aplicação de sulfato de lítio (Li_2SO_4) e hidróxido de lítio (LiOH) em plantas de soja e alface, respectivamente, com doses que variaram de 100 a 1.200 vezes superiores à maior empregada no presente estudo, observaram efeitos significativos para a maioria das características, os quais foram desde benéficos, nas menores doses, à tóxicos, nas maiores. Há ainda a hipótese de que o Li é absorvido e acumulado com maior eficiência por eudicotiledôneas que monocotiledôneas. Quanto a isso, Hawrylak-Nowak et al. (2012) constataram em seus estudos que, em mesmas condições, plantas de girassol acumularam o elemento nas folhas cerca de cinco vezes mais que plantas de milho. Dias et al. (2021) e Chan et al. (2021), avaliando a resposta de plantas eudicotiledôneas: feijão-caupi e de chia, respectivamente, à aplicação de Li, na mesma região, observaram efeitos significativos das doses (0, 10, 20, 30 e 40 g ha⁻¹) sobre várias características, mesmo tais doses de Li sendo cinco vezes menores que as avaliadas no presente ensaio.

Além dos fatores supracitados, o momento da aplicação de Li (enchimento de grãos) certamente contribuiu para que o elemento não influenciasse os atributos agrônômicos e fisiológicos das cultivares de arroz em estudo, uma vez que no momento da aplicação, as plantas já estavam em fase de conclusão do seu ciclo, na qual, supostamente, não foi mais possível a atuação do Li sobre tais características.

4.3 CONCENTRAÇÃO DE LI NOS GRÃOS E ESTIMATIVA DA INGESTÃO DIÁRIA DE LI

Na figura 5, para concentração de Li nos grãos, observou-se efeito oposto do ocorrido em produtividade de grãos em relação ao fator cultivar. A causa da cultivar menos produtiva (BRS Tropical) ostentar maior concentração de Li nos grãos deve estar relacionada ao fracionamento das mesmas doses do elemento aplicadas nas plantas em uma menor massa de grãos produzida por essa cultivar. Já as cultivares com maior rendimento diluíram as doses de Li aplicadas em uma maior massa de grão, no qual resultou em menor concentração do elemento. Essa situação pode estar relacionada, ainda, a particularidades genéticas de cada cultivar. Dias et al. (2021) estudando a biofortificação agrônômica de feijão-caupi com Li também constataram variação significativa entre três cultivares para o conteúdo do elemento nos grãos.

Ainda na figura 5, verificou-se o aumento da concentração de Li nos grãos de arroz conforme o aumento das doses do elemento aplicada nas plantas, exceto para a cultivar BRS Tropical, que teve aumento na concentração de Li nos grãos até a dose 102 g ha⁻¹ seguida de queda. Conforme Qiao et

al. (2018) a adaptação ou tolerância das plantas a esse elemento confere a elas capacidade específica de acumular quantidades variadas de Li em diferentes órgãos vegetais.

A constatação de acúmulo de Li nos grãos de arroz mesmo no tratamento controle deve estar relacionada a fração de Li existente no solo (4 mg dm^{-3}). Segundo Robinson et al. (2018), o conteúdo desse elemento no solo pode variar de < 1 a 200 mg kg^{-1} . Apesar da concentração de Li nos alimentos estar relacionada, principalmente, com o conteúdo do elemento no solo (Schrauzer, 2002), a seleção de cultivares de plantas com maior capacidade de absorção e acúmulo de Li nas partes comestíveis é essencial para o sucesso de programas de biofortificação com o elemento.

O principal resultado almejado em programas de biofortificação é o aumento da concentração de microelementos nas partes comestíveis dos vegetais sem prejudicar a sua produtividade (Andrade et al., 2018). Posto isto, os resultados obtidos nesse estudo demonstram que além promover o aumento da concentração do elemento nos grãos, a aplicação foliar de Li não prejudicou o crescimento, o rendimento, os pigmentos fotossintéticos e as trocas gasosas das plantas de todas as cultivares avaliadas, o que demonstra que a aplicação foliar de Li é uma estratégia eficiente com possibilidade de utilização em programas de biofortificação com o elemento na cultura do arroz. Esse acontecimento é positivo, pois, foi possível aumentar o conteúdo de Li nos grãos de arroz sem efeitos negativos do elemento sobre as plantas.

A ingestão de Li vem sendo empregada com resultados positivos no tratamento da instabilidade de humor e na redução de índices de agressão. Além disso, recentemente foi proposto que diversos alimentos sejam enriquecidos com o elemento para suprir a sua carência nutricional na população (Goldstein e Mascitelli, 2016). Sendo assim, considerando os resultados obtidos nesse trabalho, aliado a importância do arroz para a segurança alimentar da população mundial, a aplicação foliar de Li pode representar uma valiosa técnica para biofortificação dos grãos dessa cultura, a qual pode contribuir para o aumento da ingestão do elemento pelas pessoas e para prevenção de enfermidades.

Considerando que a recomendação de ingestão diária mínima de Li para adultos saudáveis, de 70 kg , é de 1 mg (Marshall, 2015) e que, no Brasil, o consumo médio per capita de arroz é de $0,146 \text{ kg dia}^{-1}$ (CONAB, 2019), com base na Equação (2), constata-se que o consumo de grãos de arroz biofortificado com Li, quando utilizado as doses que proporcionaram maior acúmulo do elemento em cada cultivar, pode satisfazer 57, 65 e 76% da ingestão diária mínima recomendada do elemento para as cultivares BRS Pampeira, BRS Catiana e BRS Tropical, respectivamente.

A biofortificação de culturas alimentares com Li vem sendo cada vez mais estudada em diversas regiões do mundo, no entanto, até o momento nenhum alimento biofortificado com o elemento foi comercializado (Rzymiski et al., 2017). Sendo assim, os resultados apresentados nesse

estudo podem contribuir para o desenvolvimento desses alimentos enriquecidos, os quais são capazes de promover a melhoria da saúde e bem-estar da população. Para tal, pesquisas adicionais abrangendo combinações de fontes, de doses e de formas de aplicação de Li, além da inclusão de um maior número de variedades de arroz, são imprescindíveis.

5 CONCLUSÃO

A aplicação foliar de $\text{LiOH} \cdot \text{H}_2\text{O}$ propicia o aumento do conteúdo de Li nos grãos das três cultivares de arroz em estudo. O fornecimento de Li às plantas de arroz não influencia o seu crescimento, rendimento e suas propriedades fisiológicas. Existe variabilidade genética entre as cultivares de arroz quanto ao acúmulo de Li nos grãos. Além disso, o consumo de grãos de arroz biofortificados com Li, quando utilizado as doses que proporcionaram maior acúmulo do elemento por cultivar, pode suprir até 76% da ingestão diária mínima recomendada do elemento. Mesmo sendo realizado em apenas um período, mas sob condições homogêneas e com rigoroso controle fitossanitário, este estudo fornece subsídios para a escolha estratégica de doses de Li e de cultivares de arroz irrigado adequadas para serem utilizadas em possíveis programas de biofortificação com o elemento, o que é relevante para a pesquisa e pode contribuir para reduzir sua deficiência em regiões naturalmente pobres em Li.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Simone Mota Fernandes Ramos pelo apoio neste estudo.

REFERÊNCIAS

- Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Gonçalves, J.L.M., Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22, 711-728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- Ambavaram, M.M.R., Basu, S., Krishnan, A., Ramegowda, V., Batlang, U., Rahman, L., Baisakh, N., Pereira, A. (2014). Coordinated regulation of photosynthesis in rice increases yield and tolerance to environmental stress. *Nature Communications*, 31, 5302. <https://doi.org/10.1038/ncomms6302>.
- Andrade, F.R., da Silva, G.N., Guimarães, K.C., Barreto, H.B.F., de Souza, K.R.D., Guilherme, L.R.G., Faquim, V., dos Reis, A.R. (2018). Selenium protects rice plants from water deficit stress. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 164, 562-570. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.08.022>.
- Boldieri, F.M., Cazetta, D.A., Fornasieri Filho, D. (2010). Adubação nitrogenada em cultivares de arroz de terras altas. *Revista Ceres*, 57, 421-428. <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2010000300020>.
- Brown, E.E., Gerretsen, P., Pollock, B., Graff-Guerrero, A. (2018). Psychiatric benefits of lithium in water supplies may be due to protection from the neurotoxicity of lead exposure. *Medical Hypotheses*, 115, 94-102. <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2018.04.005>.
- Chan, G.A.H., Santos, G.R., Dias, M.A.R., Silva, D.B., Ramos, D.P., Rodrigues, L.U., Barilli, J., Fernandes, P.S.M., Mendez, D.F.S., Ferrari, J.M., Silva, D.V., Mascena Júnior, N.R., Leal, T.H.V., Fidelis, R.R. (2021). Chia biofortification with lithium sources and doses applied by foliar fertilization. *American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences*, 75, 121-137. https://asrjetsjournal.org/index.php/American_Scientific_Journal/article/view/6551.
- CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento) (2019). Perspectivas para a agropecuária safra 2019/2020. *Perspectivas para a agropecuária*, 7, 1-100. Disponível: <https://www.conab.gov.br/perspectivas-para-a-agropecuaria> [10 February 2020].
- Dalchiavon, F.C., Passos e Carvalho, M. de., Coletti Junior, A., Caione, G., Silva, A.F. da., Andreotti, M. (2012). Correlação linear entre componentes da produção e produtividade do arroz de terras altas em sistema plantio direto. *Semina: Ciências Agrárias*, 33, 1629-1642. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33n5p1629>.
- da Silva, R.R., Faria, A.J.G., Alexandrino, G.D.C., Ribeiro, E.A., Santos, A.C.M., Deusdara, T.T., Nascimento, I.R., Nascimento, V.L. (2019). Enrichment of lithium in lettuce plants through agronomic biofortification. *Journal of Plant Nutrition*, 42, 2102-2113. <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1648671>.
- dos Santos, A.C.M., Marques, K.R., Rodrigues, L.U., Faria, A.J.G., Nascimento, V.L., Fidelis, R.R. (2019). Biofortification of soybean grains with foliar application of Li sources. *Journal of Plant Nutrition*, 42, 2522-2531. <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1659339>.

De Valença, A.W., Bake, A., Brouwer, I.D., Giller, K.E. (2017). Agronomic biofortification of crops to fight hidden hunger in sub-Saharan Africa. *Global Food Security*, 12, 8-14. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2016.12.001>.

Dias, M.A.R., Chan, G.A.H., Ramos, D.P., Santos, M.M., Guarda, P.M., Guarda, E.A., Peluzio, J.M., Alves, M.V.G., Fernandes, P.S.M, Silva, D.V., Méndez, D.F.S., Aguiar, M.R.C., Oliveira, W.T.M., Fidelis, R.R. (2021). Agronomic biofortification in caupi beans with lithium. *American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences*, 78, 200-215. https://asrjetsjournal.org/index.php/American_Scientific_Journal/article/view/6751.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) (2018). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos* (5. ed.). Brasília, Brasil: Embrapa. <https://www.embrapa.br/solos/sibcs>.

Evans, J.R. (2013). Improving Photosynthesis. *Plant Physiology*, 162, 1780-1793. <https://doi.org/10.1104/pp.113.219006>.

Ferreira, D.F. (2011). SISVAR: A computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, 35, 1039-1042. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>.

Freitas, J.G., Cantarella, H., Salmon, M.V., Malavolta, V.M.A., Castro, L.H.S.M., Gallo, P.B., Azzini, L.E. (2007). Produtividade de cultivares de arroz irrigado resultante da aplicação de doses de nitrogênio. *Bragantia*, 66, 317-325. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052007000200016>.

Goldstein, M.R., Mascitelli, L. (2016). Is violence in part a lithium deficiency state? *Med Hypotheses*, 89, 40-42. <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2016.02.002>.

Hawrylak-Nowak, B., Kalinowska, M., Szymańska, M. (2012). A study on selected physiological parameters of plants grown under lithium supplementation. *Biological Trace Element Research*, 149, 425-430. <https://doi.org/10.1007/s12011-012-9435-4>.

INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), 2018. Meteorological Database for Teaching and Research – BDMEP [Online]. Available: <https://bdmep.inmet.gov.br> [22 December 2018].

Jiang, L., Wang, L., Mu, S.Y., Tian, C.Y. (2014). Apocynum venetum: A newly found lithium accumulator. *Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 209, 285-289. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2014.03.007>.

Kabata-Pendias, A., Mukherjee, A.B. (2007). *Trace elements from soil to human*. 1st edn. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-32714-1>.

Kalinowska, M., Hawrylak-Nowak, B., Szymańska, M. (2013). The Influence of two lithium forms on the growth, L-ascorbic acid content and lithium accumulation in lettuce plants. *Biological trace element research*, 152, 251-257. <https://doi.org/10.1007/s12011-013-9606-y>.

Lawson, T., Vialet-Chabrand, S. (2019). Speedy stomata, photosynthesis and plantwater use efficiency. *New Phytologist*, 221, 93-98. <https://doi.org/10.1111/nph.15330>.

- Marshall, T.M. (2015). Lithium as a nutrient. *Journal of the American Physicians and Surgeons*, 20, 104-109. <https://www.jpands.org/vol20no4/marshall.pdf>.
- Puccinelli, M., Malorgio, F., Pezzarossa, B. (2017). *Selenium enrichment of horticultural crops. Molecules*, 22, 933. <https://doi.org/10.3390/molecules22060933>.
- Qiao, L., Tanveer, M., Wang, L., Tian, C. (2018). Subcellular distribution and chemical forms of lithium in Li-accumulator *Apocynum venetum*. *Plant physiology and biochemistry*, 32, 341-344. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.09.022>.
- Ramesh, K., Chandrasekaran, B., Balasubramanian, T.N., Bangarusamy, U., Sivasamy, R., Sankaran, N. (2002). Chlorophyll dynamics in rice (*Oryza sativa*) before and after flowering based on SPAD (chlorophyll) meter monitoring and its relation with grain yield. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 188, 102-105. <https://doi.org/10.1046/j.1439-037X.2002.00532.x>.
- Ramos, D.P., Chan, G.A.H., Dias, M.A.R., Silva, D.V., Sousa, P.L.R., Mascena Júnior, N.R., Leal, T.H.V., de Oliveira, W.T.M., Dias, D.S., Cavallini, G.S., Nascimento, V.L., Fidelis, R.R. (2023). Effect of foliar application with selenium on biofortification and physiological attributes of irrigated rice cultivars. *Journal of Food Composition and Analysis*. 123, 105534. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2023.105534>.
- Ramos, D.P., Tavares, T.C.O., Sousa, S.A., Nascimento, V.L., Martinez, R.A.S., Chagas Junior, A.F., Fidelis, R.R. (2019). Agronomic biofortification of cowpea with selenium by foliar fertilization: effect of doses in three cultivars. *Journal of Plant Nutrition*, 43, 538-547. <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1685096>.
- Rao, A.N., Wani, S.P, Ramesha, M.S, Ladha, J.K. (2017). Rice Production Systems. In: Chauhan, B.S., Jabran, K., Mahajan, G. (eds), *Rice Production Worldwide* (pp. 185-205). Springer International Publishing. New York. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-47516-5>.
- Reis, H.P.G., Barcelos, J.P.Q., Furlani Junior, E., Santos, E.F., Silva, V.M., Moraes, M.F., Putti, F.F., Reis, A.R. (2018). Agronomic biofortification of upland rice with selenium and nitrogen and its relation to grain quality. *Journal of Cereal Science*, 79, 508-515. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2018.01.004>.
- Robinson, B.H., Yalamanchali, R., Reiser, R., Dickinson, N.M. (2018). Lithium as an emerging environmental contaminant: mobility in the soil-plant system. *Chemosphere*, 197, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.01.012>.
- Rzymiski, P., Niedzielski, P., Siwulski, M., Mleczek, M., Budzynska, S., Gasecka, M., Poniedziałek, B. (2017). Lithium biofortification of medicinal mushrooms *Agrocybe cylindracea* and *Hericium erinaceus*. *Journal of Food Science and Technology*, 54, 2387-2393. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2679-4>.
- Schrauzer, G.N. (2002). Lithium: occurrence, dietary intakes, nutritional essentiality. *Journal of the American College of Nutrition*, 21, 14-21. <https://doi.org/10.1080/07315724.2002.10719188>.

Shahzad, B., Mughal, M.N., Tanveer, M., Gupta, D., Abbas, G. (2017). Is lithium biologically an important or toxic element to living organisms? An overview. *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 103-115. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7898-0>.

Shahzad, B., Tanveer, M., Hassan, W., Shah, A.N., Anjum, S.A., Cheema, S.A., Ali, I. (2016). Lithium toxicity in plants: reasons, mechanisms and remediation possibilities—a review. *Plant Physiol Biochem*, 107, 104-115. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.05.034>.

Sociedade Sul - Brasileira de Arroz Irrigado - SOSBAI (2018). XXXII Reunião Técnica da Cultura do Arroz Irrigado. *Recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil* (p. 209). Farroupilha, Brasil. Disponível: <https://irga.rs.gov.br/upload/arquivos/201812/06085952-recomendacoes-tecnicas-sosbai.pdf> [10 February 2020].

Szklarska, D., Rzymski, P. (2018). Is Lithium a Micronutrient? From Biological Activity and Epidemiological Observation to Food Fortification. *Biological Trace Element Research*. 189, 18-27. <https://doi.org/10.1007/s12011-018-1455-2>.

Tanaka, A., Tanaka, R. (2006). Chlorophyll metabolism. *Current Opinion in Plant Biology*, 9, 248-255. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2006.03.011>.

Terra, T.G.R., Leal, T.C.A. de B., Rangel, P.H.N., De Oliveira, A.B. (2015). Características de tolerância à seca em genótipos de uma coleção nuclear de arroz de terras altas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 50, 788-796. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015000900007>.