

MANEJO DA CONCENTRAÇÃO DE POTÁSSIO NA SOLUÇÃO DO SOLO NO CULTIVO DO LISIANTHUS (*Eustoma grandiflorum*) FERTIRRIGADO EM AMBIENTE PROTEGIDO

O. N. de Sousa Neto¹, S. N. Duarte², R. G. Barbosa³, P. R. F. Sampaio⁴, D. Brandão⁵,
A. B. O. de Sousa⁶

RESUMO: O conhecimento da irrigação e da fertirrigação do lisianthus, fatores de alto impacto na produção e na qualidade das hastes e dos botões florais, têm-se apoiado, geralmente, no empirismo ou em recomendações de outros países. Este trabalho teve como objetivo estabelecer parâmetros para o manejo racional da fertirrigação do lisianthus (var. Casablanca) sob ambiente protegido. Os tratamentos buscaram elevar e manter a concentração de potássio na solução do solo nos níveis: K1 = 50, K2 = 100, K3 = 150, K4 = 200 e K5 = 250 mg dm⁻³. As parcelas foram dispostas no delineamento em blocos completos inteiramente casualizados com quatro repetições, totalizando 20 parcelas experimentais. Durante o ciclo do lisianthus, foi monitorada a solução no solo, medindo-se as concentrações de potássio (K⁺), bem como a condutividade elétrica (CE) da solução, nas profundidades, de 0,15 e 0,30 m, por meio de extratores de solução do solo e de um reflectômetro TDR100 (Campbell Scientific, Logan-Utah) em 50% das parcelas experimentais. O uso de extratores de capsulas porosas associado à TDR e a utilização da equação do balanço de massas possibilitou um manejo satisfatório das concentrações de potássio e da condutividade elétrica da solução do solo no cultivo do lisianthus fertirrigado em ambiente protegido.

PALAVRAS-CHAVES: Fertirrigação, Extratores, Condutividade elétrica.

MANAGEMENT OF POTASSIUM CONCENTRATION IN SOIL SOLUTION IN CROP LISIANTHUS CULTIVATION (*Eustoma grandiflorum*) FERTIRRIGATED IN GREENHOUSE CONDITIONS

¹ Professor Assistente, DCETH/UFERSA - Angicos –Rio Grande do Norte. Email: osvaldo.neto@ufersa.edu.br

² Professor adjunto, Departamento de Engenharia de Biossistemas, Escola Superior de Agricultura ‘Luiz de Queiroz’ – ESALQ/USP, Piracicaba-SP

³ Acadêmico de Engenharia Agrônômica, ESALQ/USP, Piracicaba-SP.

⁴ Doutorando, ESALQ/USP, Piracicaba-SP. Email: prfsampaio@usp.br

⁵ Doutor em Engenharia de Sistemas Agrícolas, ESALQ/USP, Piracicaba-SP. Email: diegobrandao@usp.br

⁶ Professor adjunto, UFCA, Email: alan2b@gmail.com

ABSTRACT: knowledge of irrigation and fertigation of lisianthus, high impact factors in the production and quality of stems and flower buds, have had based it generally on empiricism or recommendations from other countries. The purpose of this study to establish parameters for management of lisianthus fertigation (var. Casablanca) under protected environment. The treatments fetch to raise and maintain potassium concentration in the soil solution at the levels: K1 = 50, K2 = 100, K3 = 150, K4 = 200 and K5 = 250 mg dm⁻³. The plots were arrange in completely randomized block design with four replications, totaling 20 experimental plots. During the lisianthus cycle, the soil solution was monitored measuring potassium (K⁺) concentrations, as well as electrical conductivity (EC) of soil solution, at depths of 0.15 and 0.30 m, by soil solution extractors and a TDR100 (Campbell Scientific, Logan-Utah) reflectometer in 50% of the experimental plots. The use of porous capsule extractors associated with TDR and the use of the mass balance equation allowed satisfactory management of potassium concentrations and electrical conductivity of the soil solution in the fertigated lisianthus culture in protected environment.

KEYWORDS: Fertigation, extractors, electrical conductivity.

INTRODUÇÃO

O conhecimento da irrigação e da fertirrigação do lisianthus, fatores de alto impacto na produção e na qualidade das hastes e dos botões florais, têm-se apoiado, geralmente, no empirismo ou em recomendações de outros países, resultando na aplicação de quantidade insuficiente ou excessiva de água e fertilizantes. Estas ações têm resultado em baixo rendimento da cultura, por déficit ou excesso de umidade no solo, desperdício de nutrientes e salinização do solo, fatores estes que vêm a onerar os custos de produção.

O cultivo em ambiente protegido e a utilização da fertirrigação vêm apresentando uma tendência de crescimento mundial, em consequência da existência de um aumento potencial do mercado consumidor. Entretanto, apesar desse crescimento considerável nos últimos anos, ainda são poucas as pesquisas realizadas, envolvendo o emprego da fertirrigação e o uso de ambiente protegido, em relação às alterações que estes fatores podem propiciar no manejo da irrigação e no monitoramento preciso da solução do solo.

A fertirrigação é uma prática que está diretamente relacionada à produtividade e à qualidade do cultivo, sendo de extrema importância a realização de pesquisas que possam

definir recomendações de adubação, principalmente no que diz respeito a sua aplicação via água de irrigação, como por exemplo, no cultivo do lisianthus em ambiente protegido.

A utilização da Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR), associada ao uso de extratores de cápsula porosa, se apresenta como uma importante alternativa para o monitoramento do conteúdo volumétrico de água no solo, da condutividade elétrica e da concentração de íons na solução do solo, o que pode facilitar o manejo da fertirrigação da cultura do lisianthus fertirrigado sob ambiente protegido, permitindo correções pontuais na concentração do potássio (K^+) na solução do solo, o que consiste no objetivo desse trabalho.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foi conduzido um ciclo de cultivo da cultura do lisianthus, durante os meses de junho a setembro em ambiente protegido, localizado em uma área experimental do Departamento de Engenharia de Biosistemas da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo (ESALQ/USP), no município de Piracicaba-SP, situada nas coordenadas geográficas de 22° 42’ de latitude sul e 47° 38’ de longitude oeste, a uma altitude de 546 m. Segundo Sentelhas (1998), o clima da região pela classificação de Koppen é do tipo Cwa, ou seja, tropical úmido com temperaturas do mês mais quente superior a 22 °C e do mês mais frio inferior a 18 °C.

Os tratamentos foram constituídos de cinco concentrações de potássio na solução do solo ($K_1 = 50$, $K_2 = 100$, $K_3 = 150$, $K_4 = 200$ e $K_5 = 250$ mg dm^{-3}), manejados via fertirrigação durante dois ciclos de cultivo com a cultura do lisianthus (*Eustoma grandiflorum*), em ambiente protegido. As parcelas foram dispostas na casa de vegetação em delineamento de blocos inteiramente casualizados, com quatro repetições, totalizando 25 parcelas experimentais.

Foram construídos, no interior de cada casa de vegetação, cinco canteiros para a disposição das parcelas experimentais. Estes canteiros foram construídos com 0,7 m de largura por 0,50 m de profundidade e 15 m de comprimento, espaçados em 0,40 m. O solo utilizado para o preenchimento das parcelas foi coletado na profundidade de 0,30 m da camada agricultável de um perfil classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo (EMBRAPA, 2006), fase arenosa, proveniente do campus da ESALQ e denominado Série “Sertãozinho”.

Para a caracterização química do solo foram coletadas amostras simples em 1/4 do total das parcelas experimentais utilizadas no experimento em duas profundidades de amostragens

(0 - 0,15 m e 0,15 - 0,30 m), visando à composição de amostra composta representativa. As amostras foram identificadas e encaminhadas para o Laboratório de Análise de Fertilidade do Solo do Departamento de Ciência do Solo da ESALQ/USP.

Para a determinação da concentração dos íons solúveis, pH e CE (condutividade elétrica) mostrados na Tabela 2, foram confeccionadas pastas na umidade de saturação, das quais foram extraídas as soluções por intermédio de sucção, de acordo com a metodologia proposta por Richards (1954).

As propriedades físicas do solo (Tabela 3) foram analisadas a partir da metodologia descrita pela Embrapa (2009). As frações granulométricas foram determinadas e expressas em proporções de areia grossa, areia fina, silte e argila, pelo método da pipeta, em percentagem; a densidade de partículas do solo (D_p) foi determinada pelo método do balão volumétrico e a densidade do solo (D_s) foi determinada pela relação entre a massa de solo seco a 105 °C e o volume do anel cilíndrico utilizado na amostragem do solo nas parcelas experimentais.

Foi adotado um sistema de irrigação por gotejamento, utilizando tubogotejadores com emissores autocompensantes, anti-sifão e antidrenantes, espaçados em 0,20 m, com 16 mm de diâmetro interno e vazão nominal de 2,20 L h⁻¹ para uma pressão de serviço de 25 mca; estes foram previamente avaliados sob condições normais de operação em laboratório e em campo.

Os valores do conteúdo volumétrico de água no solo foram obtidos pela TDR, por intermédio da equação de Topp et al. (1980). O início da irrigação era determinado com base no conteúdo inferior de água no solo (θ_{inf}) igual a 0,20 cm³ cm⁻³. A lâmina aplicada era calculada com base nos dados de solo da parcela experimental, e ainda do conteúdo superior de água no solo (θ_{sup}) igual a 0,26 cm³ cm⁻³, cujo valor era igual ao conteúdo de água na máxima capacidade de retenção pelo solo, ou capacidade de campo (θ_{cc}). As irrigações e/ou fertirrigações foram realizadas sempre que o conteúdo volumétrico de água no solo atingia os valores correspondentes ao limite de umidade (θ_{inf}) pré-definido para cada tratamento.

Antes do transplântio da cultura e do início do manejo da fertirrigação foi necessário o estabelecimento das concentrações iniciais de potássio na solução do solo em conformidade com os tratamentos previamente estabelecidos. A metodologia que envolveu a aplicação de um volume de solução de fertirrigação com diferentes concentrações de potássio, tendo como referência o volume de poros do solo nas parcelas.

Como fonte de potássio (K⁺), foi utilizado o sal fertilizante KCl purificado, contendo aproximadamente 49,8% de K⁺. Já para a composição da solução estoque de micronutrientes, foram utilizados produtos de elevado índice de pureza, recomendados para usos laboratoriais.

As concentrações de potássio (K^+), sódio (Na^+) e os valores de condutividade elétrica (CE) e pH da solução de fertirrigação podem ser observados na Tabela 4.

Como as concentrações de potássio da solução do solo variavam de acordo com os tratamentos, foi necessário adotar uma metodologia alternativa para manter o suprimento dos demais nutrientes em quantidades iguais para todos os tratamentos ao longo do ciclo da cultura. Para isso, foi adotada a solução nutritiva de Hoagland e Arnon (1950) diluída em 25% em relação a sua concentração original. Com isso, em cada irrigação era realizada também a fertirrigação, mantendo as concentrações dos demais macro e micro elementos comum a todos os tratamentos, com exceção do potássio.

O monitoramento da concentração de potássio e da condutividade elétrica da solução do solo foi realizado com a utilização de extratores de cápsula porosa e por meio das leituras das sondas TDR. No entanto, para a correção da concentração de potássio no momento da realização da fertirrigação, eram utilizados como referência os valores das concentrações de potássio das soluções coletadas a partir dos extratores.

Para a estimativa dos valores de condutividade elétrica da pasta saturada e das concentrações de íons mediante a solução extraída pelas cápsulas porosas, foi feita uma correção para umidade da pasta. As quantidades de cloreto de potássio aplicadas foram calculadas para que a solução do solo recuperasse as concentrações de potássio estabelecidas inicialmente pelos tratamentos ($K_1=50$, $K_1=100$, $K_3=150$, $K_4=200$ e $K_5=250$ $mg\ dm^{-3}$), de acordo o princípio do balanço de massa expresso pela equação 2.

$$K_A = \frac{K_F VP \theta_{CC} - K_{EE} VP \theta_A}{V_{CC}} \quad \text{Equação 2}$$

Em que:

K_A - Concentração de potássio da solução de fertirrigação a ser aplicada, $mg\ L^{-1}$;

K_F - concentração final de potássio na capacidade de campo, $mg\ L^{-1}$;

K_{EE} - Concentração atual de potássio na solução do solo

VP - Volume de solo contido na parcela, L;

θ_{CC} - Umidade do solo na máxima capacidade de retenção, $cm^3\ cm^{-3}$;

θ_A - Umidade atual do solo, $cm^3\ cm^{-3}$; e

V_{CC} - Volume necessário para que o solo atinja a máxima capacidade de retenção, L;

O monitoramento da solução do solo foi realizado ao longo do ciclo da cultura por meio de medidas de condutividade elétrica (CEsol) estimadas juntamente com o conteúdo

volumétrico de água no solo, com o auxílio da técnica da TDR. Além do monitoramento da solução do solo com a sonda TDR foram realizadas, também, coletas de solução do solo com o auxílio de extratores de capsula porosa. Analisou-se as concentrações de potássio (K^+) por fotometria de emissão de chama, expressas em $mg L^{-1}$, e a condutividade elétrica (CE) por meio de um condutivímetro de bancada com compensação automática de temperatura.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 pode-se verificar a evolução da concentração de potássio e condutividade elétrica da solução do solo na solução drenada em função da aplicação do volume de solução correspondente ao número de volume de poros do solo da parcela experimental. Pôde-se verificar que, com a aplicação do volume de solução correspondente a aproximadamente duas vezes o volume de poros do solo da parcela, tanto a condutividade elétrica quanto a concentração de potássio na solução drenada ficaram abaixo dos valores de concentração da solução de fertirrigação (Figura 1).

Os valores de CE e K^+ foram corrigidos para a umidade da pasta saturada, utilizando e correlacionados com os valores de CE e K^+ das soluções aplicadas para o estabelecimento das concentrações de potássio na solução do solo das parcelas experimentais (Figura 2). Como observado na Figura 2A, as concentrações de potássio na solução do solo ficaram bem distantes das concentrações desejadas. No entanto, com o intuito de não comprometer a aeração das raízes das plantas referentes ao primeiro ciclo, visto que estas já se encontravam na metade do ciclo e no início da fase de crescimento acelerado, optou-se por realizar as correções das concentrações de potássio paulatinamente durante a aplicação das demais fertirrigações. Com isso, foram aplicadas doses incrementais a cada fertirrigação, de forma a elevar a concentração de potássio da solução do solo até aquelas previamente estabelecidas para os tratamentos.

Nas Figuras 3 A e B são mostrados os perfis relativos às concentrações de potássio e os respectivos valores de condutividade elétrica da solução do solo coletados a partir de extratores instalados a 0,15 cm de profundidade. Verifica-se que, como consequência da aplicação das doses incrementais de potássio com o objetivo de elevar as concentrações para aquelas estabelecidas pelos tratamentos, houve aumento, tanto da concentração de potássio quanto da condutividade elétrica da solução do solo (valores corrigidos para umidade da pasta saturada) ao longo do ciclo da cultura. Os incrementos da concentração de potássio e da CE

foram mais acentuados para os tratamentos que proporcionaram a aplicação de maiores doses de K^+ (150, 200 e 250 mg L^{-1}).

Como mencionado anteriormente, não foi possível estabelecer as concentrações de potássio conforme determinadas pelos tratamentos, inicialmente, na ocasião da aplicação de aproximadamente 2 volumes de poros de solução aos 55 DAT; com isso, as doses de potássio foram determinadas sempre com o objetivo de elevar a concentração de potássio na solução do solo para aquelas estabelecidas pelos tratamentos, o que é possível perceber na Figura 4. Para todas as concentrações, os perfis apresentaram tendência expressivamente crescente até por volta dos 90 DAT, mostrando que no início do manejo foram aplicadas as maiores doses. É possível verificar, ainda na Figura 4, que os perfis, apesar de crescentes, se mantiveram paralelos até os 120 DAT (final do ciclo) e que a maior dose total aplicada foi de 1272,61 kg ha^{-1} , a qual se refere ao tratamento com concentração de potássio na solução igual a 250 mg L^{-1} , sendo esta superior em 66,57, 61,53, 45,91 e 29,46% em relação aos tratamentos com concentrações de potássio iguais a 50, 100, 150 e 200 mg L^{-1} respectivamente.

Com relação aos demais macro e os micronutrientes, as concentrações de potássio, bem como os limites de umidades do solo estudados, não proporcionaram discrepâncias significativas nas doses aplicadas via fertirrigação. Na Figura 5A, as doses acumuladas de N, Ca, Mg, S e P foram incrementais com o avançar do ciclo da cultura e dependentes das lâminas de irrigação aplicadas, o que resultou na aplicação de 199,12, 151,68, 60,79, 47,58 e 29,38 kg ha^{-1} destes nutrientes respectivamente, considerando uma população de aproximadamente 640.000 plantas ha^{-1} . Com relação aos micronutrientes (Figura 5B), foi observado comportamento semelhante, sendo que, os microelementos mais expressivos na solução de fertirrigação foram o Fe, Mn e o B, o que resultou nas doses totais equivalentes a 970,88, 473,94 e 391,09 g ha^{-1} . Já para os demais micronutrientes, ao final do primeiro ciclo foram aplicados 49,77, 16,95 e 10,94 g ha^{-1} de Zn, Cu e Mo respectivamente.

Vale salientar que as diferenças entre as doses totais de macro e micronutrientes provocadas pelas concentrações de potássio e pelos limites de umidade foram relativamente mínimas, o que é evidenciado pelos valores de desvio padrão mostrados em forma de barras de desvios em relação às médias nas Figuras 5A e B.

CONCLUSÕES

- O uso de extratores de cápsula porosa associado ao monitoramento da umidade do solo com a TDR, e a utilização da equação do balanço de massas possibilitaram manejo

satisfatório das concentrações de potássio e da condutividade elétrica da solução do solo ao longo do ciclo de cultivo da cultura do lisianthus, fertirrigado em ambiente protegido;

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP, pela concessão do auxílio financeiro necessário para realização do projeto de pesquisa;

REFERÊNCIAS

- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.
- EMBRAPA. **Manual de análise química dos solos, plantas e fertilizantes**. 2.ed. Brasília, 2009. 627p.
- HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. I. The water culture method for growing plants without soils. **Circular. California Agricultural Experiment Station**, v. 347, n. 2, 1950.
- RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: US Department of Agriculture, 1954. 160p.. USDA Agricultural Handbook, 60.
- SENTELHAS, P.C. **Estimativa diária da evapotranspiração de referência com dados de estação meteorológica convencional e automática**. 1998. 97p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.
- TOPP, G. C.; DAVIS, J. L.; ANNAN, A. P. Electromagnetic determination of soil water content: Measurements in coaxial transmission lines. **Water Resources Research**, Washington, v. 16, n. 3, p. 574-582, 1980.

Tabela 1. Caracterização química do Latossolo Vermelho-Amarelo utilizado no experimento.

Camadas	pH	M.O.	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al	SB	CTC	V
	CaCl ₂	g.dm ⁻³	mg dm ⁻³		-----mmolc dm ⁻³ -----					%
0 - 0.15 m	5.6	14	6	0.8	17	9	20	26.8	46.8	57
0.15 - 0.30 m	5.6	15	6	0.9	16	9	20	25.9	45.9	56
Camadas		B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na	Si		
		-----mg dm ⁻³ -----								mg kg ⁻¹
0-0.15 m		0.18	0.6	19	26.5	0.8	8	8		

0.15 - 0.30 m 0.17 0.8 18 26.7 0.9 8 8

pH em CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹; matéria orgânica (M.O.), fósforo (P), enxofre (S), potássio (K), cálcio (Ca²⁺) e magnésio (Mg²⁺), acidez potencial (H+Al), Soma de bases trocáveis (SB), Capacidade de troca de cátions (CTC), Saturação da por bases (V), Boro (B), cobre (Cu), zinco (Zn), manganês (Mn) e ferro (Fe), Sódio (Na), Silício (Si).

Tabela 2. Caracterização química da solução da pasta saturada do Latossolo Vermelho-Amarelo utilizado no experimento.

pH (pasta)	CE dS m ⁻¹	NO ₃ ⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	Na ⁺
		-----mmolc L ⁻¹ -----					
6,04	0,38	1,38	0,18	0,69	0,42	0,39	0,76

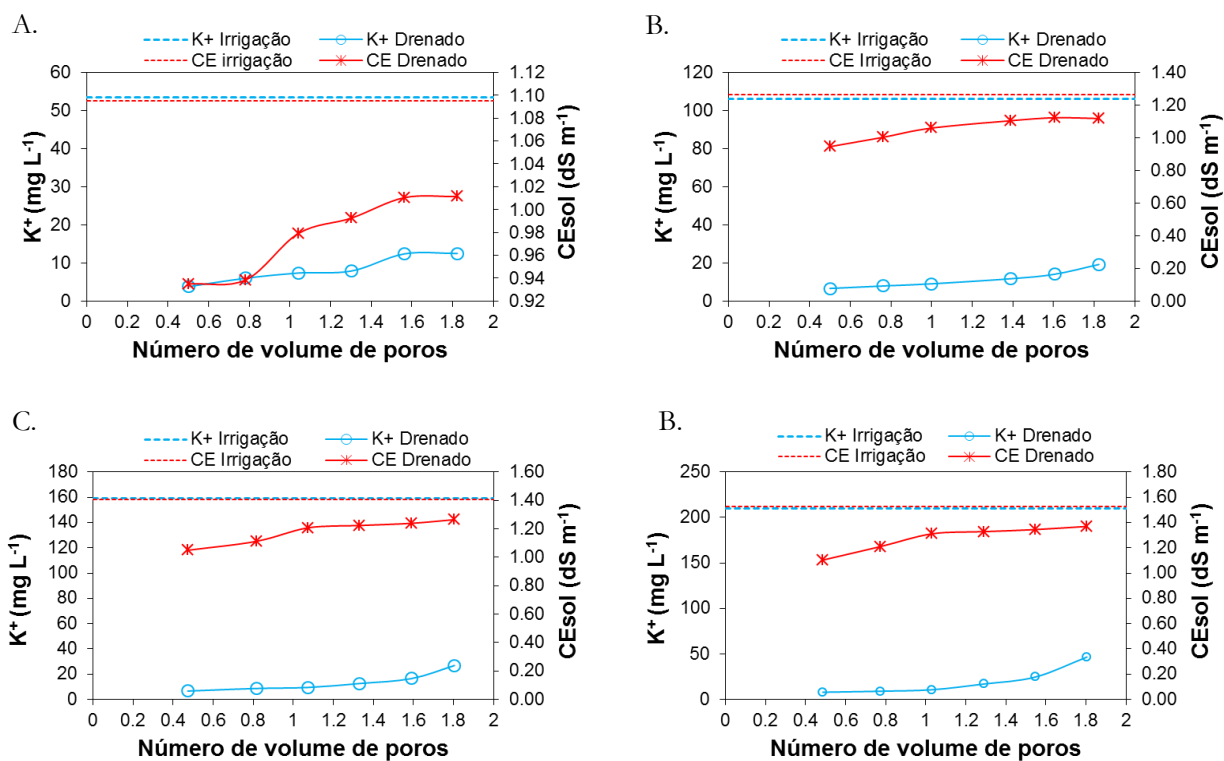
Potencial hidrogênionico determinado em água (pH), condutividade elétrica da solução (CE), nitrato (NO₃⁻), potássio (K), cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), sulfato (SO₄²⁻) e sódio (Na⁺).

Tabela 3. Caracterização físico-hídrica do Latossolo Vermelho-Amarelo utilizado no experimento.

Camada (m)	Granulometria (%)			Densidade (g cm ⁻³)		Porosidade (%)			Classe Textural
	Areia	Silte	Argila	Solo	Partículas	Micro	Macro	Total	
0 - 0,15 m	73	8,0	19	1,29	2,66	27,51	22,59	0,501	Franco Arenoso
0,15 - 0,30 m	74,5	8,6	17	1,32	2,60	29,43	19,87	0,493	Franco Arenoso

Tabela 4. Características das soluções de fertirrigação após a diluição dos fertilizantes.

Solução	K1	K2	K3	K4	K5
	mg L ⁻¹				
K ⁺ (mg L ⁻¹)	62,450	115,167	168,375	218,750	268,500
Na ⁺ (mg L ⁻¹)	84,650	88,767	90,575	90,400	85,950
CE (dS m ⁻¹)	1,095	1,265	1,404	1,529	1,641
pH	7,065	7,26	7,1125	7,09	7,1875



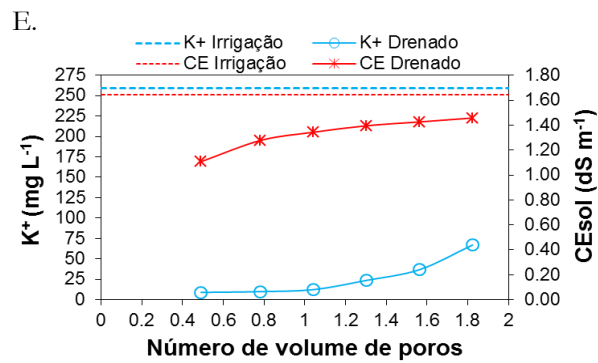


Figura 1. Concentração de potássio (K^+) e condutividade elétrica (CEsol) da solução drenada em função da aplicação da solução de fertirrigação correspondente ao número de volumes de poros do solo na parcela ($vp=0,185\text{ m}^3$) para as diferentes concentrações de potássio: 50 (A), 100 (B), 150 (C), 200 (D) e 250 mg L^{-1} (E).

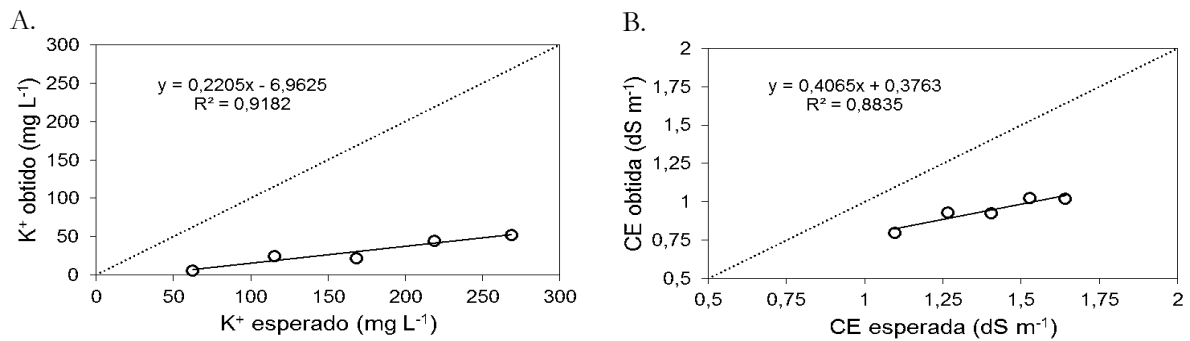


Figura 2. Concentração de potássio (A) e condutividade elétrica da solução do solo (B), medidos após a aplicação de aproximadamente dois volumes de poros das soluções correspondentes às concentrações de potássio estabelecidas pelos tratamentos. Valores corrigidos para a umidade da pasta saturada.

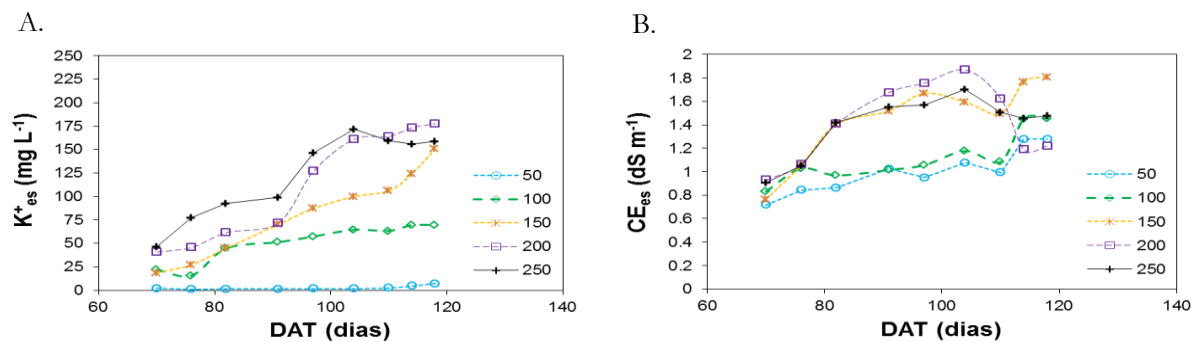


Figura 3. Variação da concentração de potássio (A) e da condutividade elétrica da solução do solo (B), ao longo do primeiro ciclo do lisianthus, cultivado sob conteúdo limite de umidade no solo de $0,20\text{ cm}^3\text{ cm}^{-3}$.

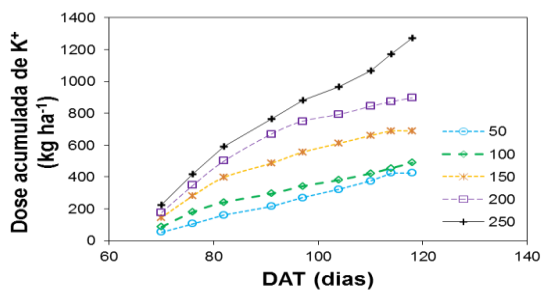


Figura 4. Doses acumuladas de potássio aplicadas via fertirrigação para a elevação da concentração de potássio na solução do solo, dentro da umidade limite de $0,20 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$.

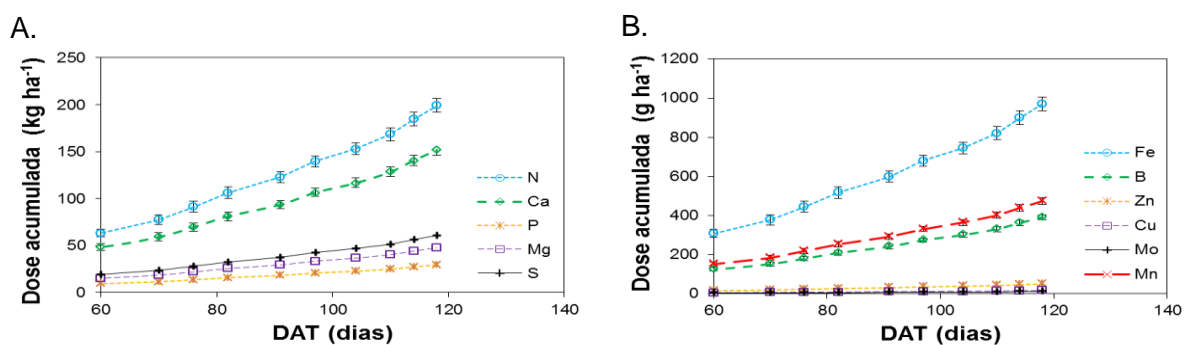


Figura 5. Doses acumuladas de macro (A) e micronutrientes (B) aplicadas via fertirrigação para a umidade limite de $0,20 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$.