**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Limites de umidade e concentrações de potássio na solução do solo no cultivo
do lisianthus (*Eustoma grandiflorum*) fertirrigado em ambiente protegido**

Osvaldo Nogueira de Sousa Neto

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Ciências. Área de concentração: Engenharia de Sistemas
Agrícolas

**Piracicaba
2017**

Oswaldo Nogueira de Sousa Neto
Engenheiro Agrônomo

**Limites de umidade e concentrações de potássio na solução do solo no cultivo do
lisianthus (*Eustoma grandiflorum*) fertirrigado em ambiente protegido**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **SERGIO NASCIMENTO DUARTE**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Ciências. Área de concentração: Engenharia de Sistemas
Agrícolas

Piracicaba
2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Sousa Neto, Osvaldo Nogueira de

Limites de umidade e concentrações de potássio na solução do solo no cultivo do lisianthus (*Eustoma grandiflorum*) fertirrigado em ambiente protegido / Osvaldo Nogueira de Sousa Neto. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2017.

112 p.

Tese (Doutorado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Irrigação 2. Extratores 3.TDR 4. Solução do Solo 5.Macronutrientes. I.
Título

Aos meus pais, Maria do Milagre Rabelo de Freitas e Antônio Almir Chagas de Freitas, pelos ensinamentos concedidos com muito amor durante toda essa jornada, pelos imensuráveis esforços realizados para que eu pudesse conquistar essa vitória e por me ensinarem que a educação é a maior herança que se pode deixar para um filho.

Aos meus irmãos, Janayna Chagas de Freitas, Jayny Myrelle Chagas de Freitas, Jair José Rabelo de Freitas e Lavinia Rabelo de Freitas e a minha amado sobrinha Ellen Freitas de Oliveira, por estarem sempre presentes em minha vida, sempre me motivando a continuar em busca dessa valiosa conquista.

DEDICO

À minha querida companheira Ana Luíza Lima Ferreira , pela compreensão, dedicação, paciência, carinho, amor, e pela companhia durante este percurso da minha trajetória.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por mais uma conquista e motivação para as batalhas futuras.

Ao programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, pela oportunidade de realização deste curso;

Ao orientador e amigo Prof. Dr. Sérgio Nascimento Duarte que sempre soube ser companheiro e mestre, contribuindo para a minha formação pessoal, profissional e humana.

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

À empresa SAKATA e pelas orientações relacionadas ao cultivo do *lisianthus*;

Aos senhores Flávio Yamaguchi e Isabel Yamaguchi pelas orientações relacionadas ao cultivo do *lisianthus*;

Ao O Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico CNPq, pela concessão da bolsa de doutorado;

A todos os pós-graduandos do programa em Engenharia de Sistemas Agrícolas ESALQ/USP com quem tive o prazer de conviver durante essa jornada acadêmica;

Aos amigos e companheiros de pós-graduação, com quem tive o prazer conviver, João Paulo, Acácio Perboni, Rony Sampaio, José Leôncio, Alan Bernard, Erica Silva, Rafael Dreux, Jeffersson José, Douglas Lucas, Eder Duarte, Irineu Pedro, Geancarlo Takanori, Jéfferson de Oliveira, Conan Salvador, Eusímio Fraga, Fernando Barbosa, Lucas, Hermes Rocha, Alex Nunes, Marcos Amaral, Asdrubal Farias, Maria Alejandra, Everton, Lívia, Luís Carvalho, Luciano Alves, Verena Benício, Laiane, Otávio Neto, André Herman, Marcos Santos, Carvalho, Wagner Woff, Jéfferson Costa, Timóteo Herculino, Arthur Carniato, Luiz Sobenko, Rafael Maschio, Dinara Alves, Isaac Ponciano, Bruno Lena e Marinaldo Ferreira Pinto, obrigado pela amizade, companheirismo;

Aos Alunos de Graduação e amigos, Rodrigo, Thales Galvão e Luiz;

A minhas amigas e companheiras Camélia Henriquez e Lidiane Nunes;

Aos amigos e companheiros e professores Nildo da Silva Dias, Carlos José Gonçalves de Sousa, Everaldo Moreira, Francisco de Assis, José Francisma de Medeiros pela atenção e ensinamentos;

Aos funcionários do Departamento de Engenharia de Biossistemas, Davilmar, Ângela, Beatriz, Paula Leme, Seu Afonso, Luiz, Ezequiel Saretta, Antônio Pires, Marinaldo, Agnaldo Ferraz, Áureo Santana, Juarez Renó, Hélio, Gilmar e Seu Antônio, pela amizade, auxílio nos trabalhos e convivência harmoniosa, e em especial a Paula Bonassa, pela contribuição na realização das análises laboratoriais e companheirismo;

Aos professores Paulo Leonel Libardi, Valdemar Antonio Demétrio, Jarbas Honório de Miranda, José Antônio Frizzzone, Rubens Duarte Coelho, Tarlei Arriel Botrel, Marcelo Alves, Quirijn de Jong Van Lier, Marcos Vinícius Folegatti, Fernando Campus, Mendonça Patrícia Angelica Alves Marques e Peterson Ricardo Fiorio pelos ensinamentos repassados;

A todos aqueles que direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desse trabalho, o meu Muito Obrigado.

SUMÁRIO

RESUMO	6
ABSTRACT	7
LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE TABELAS.....	11
1. INTRODUÇÃO	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1. O MERCADO DE FLORES	15
2.2. A CULTURA DO LISIANTHUS.....	16
2.3. MANEJO DA FERTIRRIGAÇÃO DO LISIANTHUS EM AMBIENTE PROTEGIDO.....	17
2.4. MANEJO DA UMIDADE NO SOLO	17
2.5. MONITORAMENTO DA SOLUÇÃO DO SOLO.....	19
2.6. DINÂMICA DO POTÁSSIO NO SOLO.....	20
3. MATERIAL E MÉTODOS	23
3.1. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	23
3.2. ANÁLISE QUÍMICA E FÍSICA E PREPARO DO SOLO.....	24
3.3. TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	27
3.4. CALIBRAÇÃO E INSTALAÇÃO DO SISTEMA SONDA-TDR.....	29
3.5. MONITORAMENTO MICROCLIMÁTICO DAS CASAS DE VEGETAÇÃO	32
3.6. INSTALAÇÃO E AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO	32
3.7. MANEJO DA IRRIGAÇÃO	34
3.8. MANEJO DA FERTIRRIGAÇÃO	36
3.9. TRANSPLANTIO E CONDUÇÃO DO PRIMEIRO CICLO E DO SEGUNDO CICLO	38
3.10. CARACTERÍSTICAS AVALIADAS	41
3.10.1. Crescimento	41
3.10.2. Colheita e produção.....	41
3.11. MONITORAMENTO DA SOLUÇÃO DO SOLO.....	43
3.12. MONITORAMENTO DA FERTILIDADE DO SOLO	43
3.13. ANÁLISE DO TECIDO VEGETAL	44
3.14. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS	44
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
4.1. CARACTERÍSTICAS METEOROLÓGICAS DO AMBIENTE PROTEGIDO.....	45
4.2. RESULTADOS OBSERVADOS DURANTE O PRIMEIRO CICLO DE CULTIVO DO LISIANTHUS.....	48
4.2.1. Aplicação de fertilizantes e monitoramento da solução do solo.....	53
4.2.2. Variáveis de crescimento	56
4.2.3. Variáveis de produção	64
4.3. RESULTADOS OBSERVADOS DURANTE O SEGUNDO CICLO DE CULTIVO DO LISIANTHUS	67
4.3.1. Aplicação de fertilizantes e monitoramento da solução do solo.....	71
4.3.2. Monitoramento da fertilidade do solo.....	79
4.3.3. Absorção de nutrientes pelas plantas de lisiathus	82
4.3.4. Variáveis de crescimento	85
4.3.5. Variáveis de produção	91
5. CONCLUSÕES	97
REFERÊNCIAS	99
APÊNDICES.....	104

RESUMO

Limites de umidade e concentrações de potássio na solução do solo no cultivo do lisianthus (*Eustoma grandiflorum*) fertirrigado em ambiente protegido

O lisianthus (*Eustoma grandiflorum*) vem despertando grande interesse, pela beleza das cores das flores, firmeza das hastes e durabilidade pós-colheita. No entanto, 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. Este trabalho teve como objetivo estabelecer parâmetros para o manejo racional da fertirrigação do lisianthus (var. Casablanca e var. Excalibur) sob ambiente protegido, por meio da determinação do melhor limite inferior de umidade no solo, associado à determinação da concentração ótima de potássio a ser mantida na solução do solo. A pesquisa foi conduzida em dois ambientes protegidos, localizados na área experimental do Departamento de Engenharia de Biosistemas da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo (ESALQ/USP). Os tratamentos foram constituídos de cinco limites de umidade no solo para início da irrigação ($T_1 = 0,20$, $T_2 = 0,15$, $T_3 = 0,13$, $T_4 = 0,11$ e $T_5 = 0,09 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) e cinco concentrações de potássio na solução do solo ($K_1 = 50$, $K_2 = 100$, $K_3 = 150$, $K_4 = 200$ e $K_5 = 250 \text{ mg dm}^{-3}$). As parcelas foram dispostas no delineamento em blocos completos inteiramente casualizados, arranjados em esquema fatorial de 5×5 (cinco limites de umidade e cinco concentrações de potássio na solução do solo), com quatro repetições, totalizando 100 parcelas experimentais. Durante a fase de crescimento e de produção 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). No primeiro ciclo (ciclo de outono-inverno) foram obtidos turnos de regas médios equivalentes a 6, 10, 12, 12 e 12 dias para limites de umidade do solo iguais a 0,20, 0,15, 0,13, 0,11 e 0,09 $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ respectivamente. Já no segundo ciclo (ciclo de primavera verão) os limites de umidades estudados resultaram em intervalos entre fertirrigações (turnos de rega médios) de aproximadamente 7, 11, 14, 17 e 23 dias. O cultivo do lisianthus sob o limite inferior de umidade do solo igual a 0,20 $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ resultou na aplicação de lâminas de irrigação de até 16% (primeiro ciclo) e 26% (segundo ciclo) superiores em relação às lâminas médias dos demais limites de umidade do solo. Após a obtenção de boa aproximação entre os valores esperados e obtidos das concentrações de potássio (K^+) e da condutividade elétrica da solução do solo (CEs) no início do ciclo, foi possível, por meio do uso de extratores de cápsula porosa e TDR, a manutenção das concentrações de K^+ e CEs em níveis próximos aos estabelecidos pelos tratamentos, garantindo o paralelismo dos perfis ao longo do tempo. A ordem de predominância dos nutrientes nas plantas de lisianthus colhidas no final do segundo ciclo foi $K > N > S > Mg > Ca > P$, para os macros e $Fe > Mn > B > Zn > Cu$ para os micronutrientes, além disso, verificou-se também que, as diferentes concentrações de potássio na solução do solo não resultou em diferenças expressivas nos teores deste nas plantas. As principais características de crescimento e produção da cultura do lisianthus apresentaram resposta linear decrescente em função da redução dos valores de umidade do solo tidos como limites para início da irrigação. O uso de extratores de capsulas porosas associado ao monitoramento da umidade do solo com a 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. Além disso, para todas as variáveis de interesse comercial e de rendimento total, os melhores resultados foram obtidos quando a cultura do lisianthus foi submetida a maiores frequências de fertirrigação. As características de rendimento e de qualidade das hastes florais não foram influenciadas pelas concentrações de potássio na solução do solo.

Palavras-chave: Irrigação; Extratores; TDR; Solução do solo; Macronutrientes

ABSTRACT

Moisture limits and potassium concentrations in soil solution in crop lisianthus (*Eustoma grandiflorum*) fertigated in greenhouse conditions

Lisianthus (*Eustoma grandiflorum*) has had attracting great interest by the beauty of the flowers colors, firmness of stems and post-harvest durability. However, 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, resulting in insufficient or excessive application of water and fertilizer. This study aimed to establish parameters for the appropriated management of lisianthus fertigation (var. Casablanca and var. Excalibur) under protected environment by determining the best soil moisture lower boundary associated with the optimum concentration of potassium which have be maintained in the soil solution. The research was conduct in two greenhouses, located in the experimental area of the Department of Biosystems Engineering from Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", University of São Paulo (ESALQ / USP). The treatments were compose of five soil moisture limits to start fertigation (T1 = 0.20, T2 = 0.15, T3 = 0.13, T4 = 0.11 and T5 = 0.09 cm³ cm⁻³) and five concentrations of potassium in the soil solution (K1 = 50, K2 = 100, K3 = 150, K4 = 200 and K5 = 250 mg dm⁻³). The plots were arrange in completely randomized block design and factorial scheme of 5 x 5 (five moisture limits and five concentrations of potassium in the soil solution), with four repetitions, totaling 100 plots. During the growth and production phases of lisianthus, the soil solution was monitoring by measuring of potassium concentration (K⁺) and electrical conductivity (EC) at 0.15 to 0.30 m of depth through soil solution extractors and TDR100 Reflectometer (Campbell Scientific, Logan, Utah). In the first cycle (autumn-winter), average scheduling irrigation equivalent to 6, 10, 12, 12 and 12 days were obtained for soil moisture limits equal to 0.20, 0.15, 0.13, 0, 11 and 0.09 cm³ cm⁻³ respectively. And the second cycle (summer-spring) the limits of moisture studied resulted in intervals between fertigations (average scheduling irrigation) of approximately 7, 11, 14, 17 and 23 days. Cultivation of lisianthus under the lower soil moisture limit of 0.20 cm³ cm⁻³ resulted in the application of irrigation depth of up to 16% (first cycle) and 26% (second cycle) higher than the average irrigation depth of the others limits of soil moisture. At the beginning of the cycle, after obtaining a good approximation between the expected and observed values of the potassium (K⁺) and the electrical conductivity of the soil solution, it was possible the maintenance of the concentrations of K⁺ and CEs at levels close to those established by the treatments through the use of porous capsule extractors and TDR, guaranteeing the parallelism of the profiles over the time. The nutrients order predominance in the lisianthus plants harvested at the end of the second cycle was K > N > S > Mg > Ca > P, for the macros and Fe > Mn > B > Zn > Cu for micronutrients. It was also observed that, the different concentrations of potassium in the soil solution did not result in significant differences in contents of that nutrient in the plants. The main growth and yield characteristics of the lisianthus crop showed a linear decreasing response as a function of the reduction of the soil moisture values considered as limits for the beginning of irrigation. The use of porous capsules extractors associated with soil moisture monitoring with TDR and the mass balance equation enabled satisfactory management of potassium and electrical conductivity concentrations of the soil solution in the grown crop of lisianthus. Furthermore, the best results were obtain when lisianthus was subject to higher frequencies of fertigation for all variables of commercial interest and total yield. The yield and quality characteristics of the flower stems were not influenced by the potassium concentrations in the soil solution.

Keywords: Irrigation; Extractors; TDR; Soil solution; Macronutrients

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Casas de vegetação nas quais foram conduzidos os dois ciclos da cultura do lisianthus.	23
Figura 2. Detalhe da construção dos canteiros, do sistema de drenagem e da delimitação das parcelas experimentais.	24
Figura 3. Curvas características de retenção de água, no solo em duas profundidades do solo nas parcelas, com destaque para os pontos observados e estimados.	27
Figura 4. Croqui da área experimental, que ocupava duas casas de vegetação.	28
Figura 5. Desenho esquemático de uma parcela experimental.	29
Figura 6. Ensaio realizado em laboratório para a calibração das sondas (A) e relação entre a CE da solução medida com o condutivímetro de bancada e a CE da solução estimada pelo TDR para 25 sondas e dispostas em dois níveis de multiplexação (B).	31
Figura 7. Instalação das sondas-TDR no solo (A) e disposição dos extratores de solução do solo nas parcelas experimentais (B).	31
Figura 8. Instalação dos sensores utilizados na pesquisa (A) e disposição do sistema de aquisição e monitoramento das variáveis microclimáticas no interior das casas de vegetação (B).	32
Figura 9. Componentes do sistema de irrigação por gotejamento das parcelas.	33
Figura 10. Reservatórios utilizados para acondicionamento da solução nutritiva base (A) e para acondicionamento das soluções com diferentes concentrações de KCl (B).	34
Figura 11. Disposição do sistema de monitoramento da umidade do solo e da condutividade elétrica aparente via sondas TDR, no interior da casa de vegetação.	34
Figura 12. Coleta e processamento dos dados de umidade do solo e CETDR (A), painel de válvulas solenoides (B) e computador central responsável pelo controle dos atuadores para automação da irrigação (C).	36
Figura 13. Aplicação de vácuo nos extratores (A) e extração da solução do solo visando o controle da concentração de K^+ (B).	37
Figura 14. Detalhe do transplântio e tratos culturais realizados durante o primeiro ciclo de cultivo do lisianthus, ocupando duas casas de vegetação (dois blocos por casa).	39
Figura 15. Detalhe das atividades realizadas durante o segundo ciclo da cultura do Lisianthus, ocorrido no período primavera-verão.	40
Figura 16. Representação das plantas no ponto de colheita (A) e área útil amostrada na parcela na colheita final (B).	42
Figura 17. Medidas das variáveis de qualidade das hastes e formação dos maços comerciais.	43
Figura 18. Temperaturas máxima, média e mínima registradas no interior dos dois ambientes protegidos ao longo dos dois ciclos da cultura.	45
Figura 19. Histogramas com a distribuição de frequência dos dados de temperatura média diurna e noturna para o primeiro ciclo (A e B) e para o segundo ciclo (C e D).	46
Figura 20. Umidades relativas do ar máxima, média e mínima, registradas no interior dos dois ambientes protegidos ao longo dos dois ciclos da cultura.	47
Figura 21. Radiação solar global registrada no interior dos dois ambientes protegidos ao longo dos dois ciclos da cultura.	48
Figura 22. Conteúdo de água no solo nas diferentes concentrações de potássio na solução para os diferentes limites de umidade: 0,20 (A), 0,15 (B), (C), 0,11 (D) e $0,09 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ (E).	49
Figura 23. Perfis médios do conteúdo volumétrico de água no solo para os diferentes limites de umidade aplicados ao longo do primeiro ciclo de cultivo do lisianthus	50

Figura 24. Consumo hídrico do lisianthus para as diferentes concentrações de potássio na solução dentro dos diferentes limites de umidade no solo; 0,20 (A), 0,15 (B), 0,13 (C), 0,11 (D) e 0,09 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ (E).	52
Figura 25. Consumo hídrico médio do lisianthus para os diferentes limites de umidade no solo no momento da irrigação.....	53
Figura 26. 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 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$	53
Figura 27. Doses acumuladas de macro (A) e micronutrientes (B) aplicadas via fertirrigação para a umidade limite de 0,20 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$	54
Figura 28. 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 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$	56
Figura 29. Ajuste da curva de crescimento em função do tempo de cultivo do lisianthus durante o primeiro ciclo.	58
Figura 30. IAF em função da concentração de potássio na solução do solo (A) e da umidade limite para início da fertirrigação (B).	60
Figura 31. Ajuste de curva de resposta do índice de área foliar (IAF) em função do tempo de cultivo do lisianthus durante o primeiro ciclo.....	61
Figura 32. Massa fresca (A) e seca (B) das plantas de lisianthus em função da umidade limite para início da fertirrigação aos 120 DAT.....	63
Figura 33. Curva de ajuste da resposta da massa fresca (A) e seca (B) das plantas de lisianthus em função do tempo durante o primeiro ciclo de cultivo.....	64
Figura 34. Peso médio do buquê comercial (A), diâmetro da haste (B), rendimento comercial (C) e total (D) em função da umidade limite para início da fertirrigação.	66
Figura 35. Conteúdo de água no solo nas diferentes concentrações de potássio na solução para os diferentes limites de umidade: 0,20 (A), 0,15 (B), (C), 0,11 (D) e 0,09 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ (E).	68
Figura 36. Perfis médios do conteúdo volumétrico de água no solo para os diferentes limites de umidade aplicados ao longo do segundo ciclo de cultivo do lisianthus.	69
Figura 37. Consumo hídrico do lisianthus para as diferentes concentrações de potássio na solução dentro dos diferentes limites de umidade no solo: 0,20 (A), 0,15 (B), 0,13 (C), 0,11 (D) e 0,09 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ (E).	70
Figura 38. Consumo hídrico médio do lisianthus para os diferentes limites de umidade no solo	71
Figura 39. Doses acumuladas de potássio aplicadas via fertirrigação para a correção da concentração de potássio na solução do solo dentro da umidade limite de 0,20 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$	72
Figura 40. Doses acumuladas de macro (A) e micronutrientes (B) aplicadas via fertirrigação para a umidade limite de 0,20 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$	73
Figura 41. Concentração de potássio (K^+) na solução do solo ao longo do ciclo da cultura do lisianthus a 15 (A) e a 30 (B) cm de profundidade para o limite de umidade de 0,20 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$	75
Figura 42. Condutividade elétrica da solução no solo (CEes) ao longo do ciclo da cultura do lisianthus a 15 (A) e a 30 (B) cm de profundidade para o limite de umidade de 0,20 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$	76
Figura 43. Concentrações de macronutrientes e sódio na solução do solo ao longo do ciclo da cultura do lisianthus cultivado sob para o limite de umidade de 0,20 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$	77
Figura 44. Concentrações de micronutrientes na solução do solo ao longo do ciclo da cultura do lisianthus cultivado sob o limite de umidade de 0,20 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$	79
Figura 45. Teores de K trocável (K^+) no solo ao longo do ciclo da cultura do lisianthus a 15 (A) e a 30 (B) cm de profundidade sob o limite de umidade de 0,20 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$	80
Figura 46. Teores de Cálcio (A), magnésio (B), fosforo (C), enxofre (D), sódio (E) e pH em cloreto de cálcio (F) no solo ao longo do ciclo da cultura do Lisianthus cultivado sob o limite de umidade de 0,20 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$	81

Figura 47. Teores de ferro (A), boro (B), cobre (C), zinco (D), manganês (E) e silício (F) no solo ao longo do ciclo da cultura do <i>Lisianthus</i> cultivado sob a umidade limite de $0,20 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$	82
Figura 48. Teores de macronutrientes medidos em plantas de <i>lisianthus</i> para três concentrações de potássio na solução do solo ao longo do ciclo da cultura.	83
Figura 49. Teores de micronutrientes medidos em plantas de <i>lisianthus</i> para três concentrações de potássio na solução do solo ao longo do ciclo da cultura.	85
Figura 50. Altura das plantas aos 50 e 70 DAT em função da umidade limite para início da irrigação.	87
Figura 51. Índice de área foliar para a umidade limite de $0,09 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ em função da concentração de potássio na solução do solo aos 30 DAT (A) e IAF em função da umidade limite para início da fertirrigação aos 50 DAT (B)	89
Figura 52. Massas fresca (A) e seca (B) das plantas de <i>lisianthus</i> aos 50 e 70 DAT em função da umidade limite para o início da irrigação.	91
Figura 53. Número de hastes por buquê (NHB), massa fresca da haste (MFH), rendimento em haste (RH), rendimento em buquês (RB), diâmetro médio da haste (DMH) e comprimento das hastes (CH) em função da umidade limite para início da irrigação.	94
Figura 54. Perfis de conteúdo volumétrico de água no solo e da condutividade elétrica medida pelo TDR durante a aplicação de aproximadamente dois volumes de poros das soluções com diferentes concentrações de potássio; 100 (A), 150 (B), 200 (C) e 250 mg L^{-1} (D).	106
Figura 55. 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 ($\text{vp}=0,185 \text{ m}^3$) para as diferentes concentrações de potássio: 50 (A), 100 (B), 150 (C), 200 (D) e 250 mg L^{-1} (E).	107
Figura 56. 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.	109
Figura 57. Perfis de conteúdo volumétrico de água no solo (A) e de condutividade elétrica da solução do solo medida com o TDR (B) após a aplicação das soluções de fertirrigação com diferentes concentrações de potássio.	110
Figura 58. Relação entre os valores esperados e obtidos para a concentração de potássio (A) e condutividade elétrica da solução do solo (B). Valores corrigidos para a umidade da pasta saturada.	112
Figura 59. Condutividade elétrica em função da concentração de potássio na solução do solo. Valores corrigidos para a umidade da pasta saturada.	112

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Caracterização química do Latossolo Vermelho-Amarelo utilizado no experimento.....	25
Tabela 2. Caracterização química da solução da pasta saturada do Latossolo Vermelho-Amarelo utilizado no experimento	25
Tabela 3. Caracterização físico-hídrica do Latossolo Vermelho-Amarelo utilizado no experimento	26
Tabela 4. Valores dos parâmetros de ajuste do modelo de van Genuchten (1980) para as duas curvas de retenção de água no solo.	26
Tabela 5. Quantitativo total da aplicação de fertilizantes via fertirrigação para um período de 120 dias de cultivo da cultura do lisianthus	55
Tabela 6. Resumo da análise de variância (ANAVA) e médias para altura das plantas ao longo do primeiro ciclo de cultivo do Lisiantus.	57
Tabela 7. Resumo da análise de variância (ANAVA) e médias do índice de área foliar (IAF) medido ao longo do primeiro ciclo de cultivo do Lisiantus.	59
Tabela 8. Resumo da análise de variância (ANAVA) e testes de médias para massa fresca e seca das plantas medidas ao longo do primeiro ciclo de cultivo do lisianthus.	62
Tabela 9. Resumo da análise de variância (ANAVA) e médias dos tratamentos para as características comerciais, PMB (peso médio do buquê comercial), DMH (diâmetro médio da haste), RC (rendimento comercial) e RT (rendimento total).....	65
Tabela 10. Doses totais de fertilizantes aplicadas via fertirrigação para um período de 70 dias de cultivo da cultura do lisianthus	74
Tabela 11. Resumo da análise de variância (ANAVA) e do teste de médias para altura das plantas ao longo do segundo ciclo de cultivo do Lisiantus.	86
Tabela 12. Resumo da análise de variância (ANAVA) e médias para o índice de área foliar (IAF) medido ao longo do segundo ciclo de cultivo do lisianthus.	88
Tabela 13. Resumo da análise de variância (ANAVA) e do teste de médias para massas fresca e seca das plantas medidas ao longo do segundo ciclo de cultivo do Lisiantus.	90
Tabela 14. Resumo da análise de variância (ANAVA) e do teste de médias dos tratamentos para as características comerciais, PBC (peso médio do buquê comercial), NHC (número de hastes comerciais por buquê), PMHC (peso médio da haste comercial), RC (rendimento comercial) e NBC (número de buquês comerciáveis por unidade de área).	92
Tabela 15. Resumo da análise de variância (ANAVA) e do teste de médias dos tratamentos para MFH (massa fresca da haste), NHB (número de hastes comerciais por buquê), RC (rendimento total), NBC (número de buquês por unidade de área), DMH (diâmetro médio da haste) e CH (comprimento da haste).	93
Tabela 16. Concentração média de fertilizantes e características das soluções de fertirrigação.	105
Tabela 17. Doses de fertilizantes aplicadas para estabelecimento das concentrações de potássio na solução do solo.	108
Tabela 18. Concentração média de fertilizantes e características da solução de fertirrigação.	110
Tabela 19. Doses de fertilizantes para estabelecimento das concentrações de potássio na solução do solo.	111

1. INTRODUÇÃO

Embora com grande potencial de produção e de mercado no Brasil, o lisianthus (*Eustoma grandiflorum*) é uma cultura pouco estudada em condições de clima tropical, diferentemente do que acontece em outros países. Com sua recente introdução no mercado nacional de plantas ornamentais, convive-se com dificuldades no seu cultivo, inerentes à escassez de informações técnicas e científicas sobre sua produção e manejo.

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, permitindo correções pontuais na concentração do potássio (K^+) na solução do solo. Baseado nisso, este trabalho tem como objetivo avaliar o efeito de limites de umidade no solo, associados a diferentes concentrações de potássio na solução do solo, sobre as características de crescimento, acúmulo de nutrientes, produção e qualidade de hastes e botões florais em dois ciclos da cultura do lisianthus, fertirrigado e sob ambiente protegido.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. O mercado de flores

No Brasil, a profissionalização e o dinamismo comercial da floricultura são fenômenos relativamente recentes. No entanto, a atividade já contabiliza números extremamente significativos. Nos últimos cinco anos o setor ornamental tem obtido um crescimento bastante aceitável, considerando que a verba de marketing e propaganda é muito baixa, e nula quando se trata de promover o setor como um todo (IBRAFLOR, 2016).

O Brasil conta, atualmente, com cerca de 8 mil produtores de flores e plantas ornamentais. Juntos, eles cultivam mais de 350 espécies com cerca de três mil variedades. Sendo assim, o mercado de flores é uma importante engrenagem na economia brasileira, responsável por 215.818 empregos diretos, 78.485 (36,37%) relativos à produção, 8.410 (3,9%) relacionados à distribuição, 120.574 (55,87%) no varejo e 8.349 (3,8%) em outras funções, a maior parte como apoio. Em nível de consumidor, o faturamento foi de R\$ 6 bilhões (em 2015) enquanto que no ano anterior (2014) atingiu-se R\$ 5,7 bilhões, sendo que as perspectivas para 2016 são de um crescimento de 6 a 8%, (IBRAFLOR, 2016).

A partir da década de 60, a floricultura no Brasil, que inclui flores e plantas ornamentais, vem gradualmente crescendo como atividade econômica. Essa ascensão do setor é destacada pela participação competitiva no mercado internacional, com a exportação crescente de produtos de floricultura na ordem de 19,43; 23,50; 25,75; 29,63; 35,28; 42,44; 31,14; 28,68; 20,70 e 26,01 milhões de dólares, de 2003 a 2012, respectivamente (IBRAFLOR, 2013).

No caso das flores e folhagens de corte, a evolução acompanha o crescimento global do mercado interno no período, influenciado por melhores indicadores econômicos de emprego, ocupação e renda, que agregaram parcelas mais amplas da população ao mercado de consumo dessas mercadorias. Além desses fenômenos, contribuíram também: o aumento da capilaridade distributiva propiciada pela decisiva entrada dos supermercados nesta cadeia produtiva e melhorias globais na produção, no comércio e na distribuição atacadista de flores e plantas ornamentais em todo o país (OCESP, 2015).

O mercado nacional de flores e folhagens de corte é concentrado majoritariamente na região Sudeste, que obteve participação percentual relativa de 83,02% em 2013. A ela se seguiram, pela ordem decrescente de importância: Nordeste (9,92%), Sul (2,90%), Norte (2,62%) e Centro-Oeste (1,54%). Já no que diz respeito ao cenário internacional, a categoria flores e botões cortados para buques ainda é a que possui maior participação no comércio. Essa categoria

saíu de US\$ 3,908 bilhões, em 1999, para US\$ 9,563 bilhões, em 2013. Uma evolução de 144,7%. Novamente, a evolução dos processos logísticos justifica esse avanço (OCESP, 2015).

2.2. A cultura do lisianthus

O lisianthus (*Eustoma grandiflorum*) foi introduzido no mercado americano no início da década de 80, despertando grande interesse nos consumidores, principalmente pela beleza que as cores garantem às suas flores, assim como por sua durabilidade pós-colheita (BACKES et al., 2005). É uma planta ornamental da família das Gentianaceas, originária da América do Norte, sendo cultivada como flor-de-corte ou em vasos.

Esta espécie começou a se destacar no Brasil na década de 90, apresentando grande potencial econômico de lucro por unidade de área (CAMARGO et al., 2004). Trata-se de uma planta herbácea bienal, porém cultivada como anual, de hastes eretas, variando de 50 a 70 cm de altura, muito firmes, com folhagem e florescimento ornamentais. Hankins (2004) afirma que os floristas têm preferido o lisianthus para arranjos decorativos, devido à durabilidade das flores e ao comprimento e firmeza das hastes.

Apesar da expressiva produção mundial, o lisianthus é uma espécie pouco pesquisada no Brasil, principalmente quanto às condições ideais de cultivo, seja em solo ou em substrato. Mesmo com carência de informações técnicas sobre o cultivo, há produtores de lisianthus em vários estados brasileiros; os quais se concentram principalmente em São Paulo e em Minas Gerais (BACKES et al., 2008).

O lisianthus é nativo da região que engloba os estados americanos do Texas, do Arizona, e do Colorado, e o México. Apesar de ser natural de áreas desérticas, não chega a ser uma planta xerófita. Em seu habitat nativo, o lisianthus é encontrado ao longo dos rios e em áreas baixas, onde existe maior disponibilidade de água no solo. No período de escassez de umidade do solo, o mecanismo de ajuste ao déficit hídrico dos lisianthus nativos baseia-se na emissão de longas raízes no solo, para buscar água a maiores profundidades. Por esta razão, um manejo adequado do substrato e da irrigação, proporcionando condições adequadas de desenvolvimento do sistema radicular, é a chave para produzi-lo com alta produtividade (GRUSZYNSKI, 2007).

2.3. Manejo da fertirrigação do lisianthus em ambiente protegido

Dentre as tecnologias que podem ser empregadas no cultivo do lisianthus, a fertirrigação, associada ao cultivo em ambiente protegido, surge como uma alternativa que pode significar o aumento da produção da cultura de forma sustentável, com menor grau de risco possível. A técnica combina o suprimento da demanda hídrica da cultura, associado à aplicação de nutrientes via água de irrigação.

Blanco e Folegatti (2002) relatam que, para se realizar o manejo da fertirrigação de forma eficiente, é necessário um equilíbrio entre a quantidade de nutrientes e a quantidade de água a ser aplicada, durante cada fase do ciclo da cultura, o que determina a concentração de fertilizantes na água de irrigação; por sua vez, esta concentração deve ser suficiente para proporcionar a absorção dos nutrientes nas quantidades requeridas pelas plantas, sem causar o acúmulo de fertilizantes no solo, o que poderia resultar em salinização e, consequentemente, na redução da produtividade.

O manejo da fertirrigação vem sendo realizado pelos produtores, na maioria das vezes, por meio de quantidades preestabelecidas de fertilizantes, parceladas de acordo com a marcha de absorção da cultura, e raramente existe monitoramento da concentração de íons na solução do solo e do estado nutricional da planta (PAPADOPOULOS, 1999). Neste aspecto, seria mais viável racionalizar o manejo da fertirrigação por meio da determinação da condutividade elétrica e/ou da concentração parcial de íons na solução do solo. Caso a condutividade elétrica da solução do solo apresente valores inferiores ao máximo tolerado pela cultura, sem decréscimo no rendimento relativo, e superiores ao mínimo necessário para sua nutrição, a salinização estará controlada (BURGUENÓ, 1996).

2.4. Manejo da umidade no solo

Assim como no cultivo de outras espécies, um dos fatores mais importantes relacionado à exigência das plantas de lisianthus é a necessidade hídrica. Com a irrigação, consegue-se fornecer água às plantas de acordo com a sua necessidade; mas a questão é quando e quanto de água aplicar para se obter melhor produtividade e qualidade (LIMA, 2013).

No Brasil, mais especificamente no Estado de São Paulo, os produtores tem relatado dificuldades relacionadas à falta de critérios no que diz respeito ao manejo da irrigação na cultura do lisianthus. Não se encontram, na literatura, recomendações claras e objetivas referentes a valores ideais de umidade do solo ou do substrato para esta cultura, muito menos no que se

refere a valores de umidade crítica para o cultivo do *lisianthus* fertirrigado em ambiente protegido. Além do mais, tais informações devem ser determinadas para condições específicas, pois podem ser afetadas por vários fatores como o clima, o solo, a cultivar e o sistema de irrigação adotado (PRIETO et al., 1999).

A umidade crítica no solo corresponde a um conteúdo de água no solo que determina o momento da irrigação, e também permite o cálculo da lâmina a ser reposta. A determinação da umidade no solo é feita diretamente por amostragem ou indiretamente por meio de tensiômetros ou sensores. Para a maioria das culturas, o potencial crítico da água no solo não deve ser inferior a -300 kPa, sendo que os potenciais ótimos para as mesmas são geralmente maiores que -80 kPa (ALBUQUERQUE; DURÃES, 2008).

Levando-se em consideração a atividade agrícola comercial, Brito et al. (2009) consideram a faixa de potencial mátrico de interesse, variando de 0 a -100 kPa, o que propicia apreciável densidade de fluxo da solução no solo para a maioria dos solos cultivados. Wang et al. (2007a, b) sugerem valores de 50 kPa como tensão-limite de água no solo para a programação da irrigação do tomateiro e 25 kPa para a cultura da batata, ambos irrigados por gotejamento, com tratamentos variando de 10 a 55 kPa, controlados por meio de tensiômetros instalados a 20 cm de profundidade. Shock et al. (2000), estudando níveis que variaram de 10 a 70 kPa para a cebola irrigada por gotejamento, sugerem manter níveis de tensão de água no solo entre 10 e 20 kPa. Já Rivera-Hernández et al. (2010), estudando diferentes tensões limites, variando de 5 a 80 kPa, combinadas com diferentes níveis de fertilização fosfática na cultura do milho irrigado, recomendam manter como tensão limite o valor de 30 kPa.

O tensiômetro é um excelente instrumento de campo para o monitoramento da água no solo durante o ciclo da cultura, visando o controle da irrigação ou a realização do balanço de água no solo (Reichardt, 1990). Moraes et al. (2006) consideram que, para a faixa de potencial mátrico de 0 a -85 kPa, o tensiômetro conserva suas características originais, tornando-se um instrumento bastante simples e de custo relativamente baixo, quando comparado com outros instrumentos de medição indireta do potencial mátrico, como sondas capacitivas, TDRs, ou sondas de nêutrons. De acordo com Albuquerque e Durães (2008), tensiômetros dotados de sensores são muito úteis para determinar indiretamente o conteúdo de água no solo, desde que a curva de retenção para o solo em questão esteja disponível. Com isso, torna-se possível o acompanhamento da umidade do solo em tempo real, por intermédio de sistemas de aquisição de dados integrados a sistemas de controle e automação das operações de fertirrigação.

2.5. Monitoramento da solução do solo

O monitoramento das propriedades químicas da solução do solo, no que diz respeito ao equilíbrio e à disponibilidade dos elementos essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas em cultivos fertirrigados, possibilita intervenções durante o ciclo da cultura no sentido de se obter melhor rendimento, qualidade do produto final, economia de fertilizantes e preservação da qualidade do solo.

Diverso estudo tem mostrado a versatilidade e a praticidade do uso de extratores de cápsulas de cerâmica instalados na zona de atividade radicular, no que se refere ao acompanhamento da concentração iônica da solução do solo, em determinações frequentes durante o ciclo da cultura. Silva et al., (2013) afirmam que a utilização do método da medição da condutividade elétrica da solução obtida com extratores é bastante eficiente, devido a sua facilidade, versatilidade e praticidade, desde que sejam conhecidas a umidade da pasta de saturação e a umidade do solo no momento da extração.

Souza (2006) afirma que o uso de extratores é bastante popular entre os pesquisadores por apresentar resultados precisos a um custo relativamente baixo. No entanto, o mesmo autor relata que, para medidas *in situ*, o acondicionamento de extratores reduz a precisão dos resultados, alterando o local em estudo (importante nos casos de medidas repetidas em pequenas áreas) e limitando a obtenção de resultados em curto espaço de tempo.

Para medidas precisas de umidade do solo e condutividade elétrica em campo, existe uma tendência atual de se utilizar a técnica da TDR (Reflectometria no Domínio do Tempo). A técnica também vem se consolidando como importante ferramenta para o monitoramento da solução do solo e da sua composição iônica, conforme relatado por Souza e Folegatti (2010). Dentre os íons monitorados, pode-se destacar o potássio (SANTANA et al., 2007) e o nitrato (SANTOS et al., 2009).

Persson & Uvo (2003) relatam que, devido a relação existente entre a condutividade elétrica aparente do solo (CEa) e a condutividade elétrica da solução do solo (CEw) e entre a CEw e a concentração iônica (Ci), é possível usar a TDR para monitorar a distribuição de água e de solutos iônicos no solo, no entanto, para se determinar a CEw e a Ci de forma indireta, são necessários modelos que relacionam θ , CEa e CEw (Rhoades et al., 1976; Rhoades et al., 1989; Mualen & Friedman, 1991; Heimovaara et al., 1995; Vogeler et al., 1996). Utilizando esses modelos de ajustes, Vogeler et al. (1996) afirmam que a maioria dos estudos mostraram a possibilidade de se relacionar a CEw estimada com Ci de um íon predominante na solução do solo, havendo no entanto a necessidade de calibração dos diferentes modelos para essa finalidade.

Silva (2013), estudando o efeito da salinidade por excesso de aplicação de fertilizantes e diferentes relações entre nitrogênio e potássio no manejo da fertirrigação da cultura da roseira em ambiente protegido, verificou resultados satisfatórios no controle da salinidade e no manejo da fertirrigação com base na concentração de potássio (K^+) e de nitrato (NO_3^-) utilizando sondas TDR.

As vantagens inerentes da técnica TDR, como a boa precisão, o fato do método não ser destrutivo, a não utilização de radiação ionizante, a possibilidade de automação e de acoplamento a dispositivos multiplicadores de leituras, e a pouca influência da textura, da densidade e da salinidade do solo, são justificativas fortes para uma maior adoção desta técnica em substituição a outros métodos (SOUZA et al., 2006).

2.6. Dinâmica do potássio no solo

O conhecimento da nutrição e da recomendação das adubações para o *lisianthus* no Brasil têm-se apoiado, geralmente, no empirismo ou em recomendações de outros países, resultando em aplicações de quantidades insuficientes ou excessivas de fertilizantes, acarretando em uma nutrição desbalanceada (NELL et al., 1997).

Depois do nitrogênio, o potássio é o elemento requerido em maiores quantidades pelas espécies de plantas cultivadas (NACHTIGALL; RAIJ, 2005). Mais especificamente, está associado ao controle da abertura e de fechamento dos estômatos, a maior translocação de carboidratos produzidos nas folhas para outros órgãos da planta, a maior eficiência enzimática e a melhoria da qualidade comercial da planta (SILVA et al., 2003).

O suprimento de potássio às raízes ocorre basicamente pelos mecanismos de fluxo de massa e de difusão. De acordo com Novais et al. (2007) o mecanismo interceptação radicular, contribui com menos de 5% da demanda de potássio pelas plantas, considerando o pequeno volume de solo explorado pelo sistema radicular da maioria das espécies de ciclo curto.

A difusão de potássio no solo em direção às raízes é afetada por fatores relacionados com o solo e com a planta. Dos fatores do solo destaca-se o conteúdo volumétrico de água e a concentração de potássio na solução do solo. Zeng & Brown (2000) verificaram que a umidade do solo influenciou fortemente a mobilidade do K^+ , tendo constatado incremento significativo do coeficiente de difusão e do fator de impedância, atribuindo isso ao fato de que, muitos dos poros do solo são preenchidos com água, o que resulta em uma maior continuidade da fase líquida e na redução da tortuosidade do caminho da difusão. Para Oliveira et al. (2004), a influência da água do solo nos mecanismos de transporte do K^+ foi maior em solos que

continham maiores concentrações de K^+ em solução, tendo o fluxo de massa crescido em importância no caso de solos mais secos. Já Costa et al. (2009) relatam que, apesar da aplicação de elevadas doses de potássio, ainda se constatou forte influência dos níveis de umidade no fluxo difusivo em solos de texturas distintas.

O aumento do teor de água no solo, que pode ser conseguido com o aumento da frequência de irrigação, favorece a absorção de potássio, pois contribui para o seu transporte até as raízes pelos diferentes mecanismos. Zeng & Brown (2000) constataram redução na absorção de potássio e menor crescimento de plantas de milho (*Zea mays* L.), submetidos a regime intermitente de disponibilidade de umidade no solo, em comparação com plantas submetidas a regime de umidade constante. Os autores atribuem a redução do fornecimento de K^+ do solo ao aumento da fixação e a redução da mobilidade do íon, o que, consequentemente, promove menor eficiência no uso de fertilizantes contendo K^+ , quando aplicados em solo submetido a ciclos intermitentes, do que no caso do solo com umidade constante.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização e caracterização da área experimental

Os dois ciclos de cultivo da cultura do lisianthus foram conduzidos em ambiente protegido, localizado em uma área experimental do Departamento de Engenharia de Biossistemas 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.

As parcelas experimentais foram alocadas em duas casas de vegetação (Figura 1), com cobertura de polietileno de baixa densidade (PEBD) com 0,15 mm de espessura, tratada contra a ação de raios ultravioletas e em formato tipo arco, com 6,40 m de largura e 17,5 m de comprimento. As paredes laterais e frontais são confeccionadas com telas sombrite, com 50% de atenuação da radiação e rodapé de 0,30 m em concreto armado.

Figura 1. Casas de vegetação nas quais foram conduzidos os dois ciclos da cultura do lisianthus.

Foram construídos, no interior de cada casa de vegetação, cinco canteiros para a disposição das unidades experimentais (Figura 2). 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. Cada canteiro foi dotado de um sistema de drenagem composto por: lona plástica para impermeabilização, tubo dreno corrugado de 0,065 m de diâmetro interno, camada de 0,10 m de brita nº 1 e manta geotêxtil (BIDIM OP-30), usada com o intuito evitar perdas de partículas de

solo das parcelas e o entupimento do sistema de drenagem. O sistema de drenagem foi conectado a um reservatório construído com o intuito de armazenar e gerenciar o efluente proveniente de eventuais aplicações de lâminas para a lixiviação do excesso de sais, e que consistiu em um item importante para o manejo adequado da fertirrigação em ambiente protegido.

Figura 2. Detalhe da construção dos canteiros, do sistema de drenagem e da delimitação das parcelas experimentais.

3.2. Análise química e física e preparo do solo

O solo utilizado na presente pesquisa 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”. Após o preenchimento das parcelas experimentais, foi estabelecido um período de pousio de 20 dias, realizando-se irrigações frequentes, com o intuito de obter acomodação das partículas do solo e condição estável, para a posterior determinação das características físico-hídricas e químicas do solo. Objetivou-se também redução do banco de sementes de plantas daninhas, por meio da realização de sucessivas capinas, antes da implantação da cultura.

Para a caracterização química do solo foram coletadas amostras simples em 1/4 do total das parcelas experimentais utilizadas no experimento, visando à composição de amostra composta representativa. As amostras foram coletadas com o auxílio de um trado de rosca, considerando duas profundidades de amostragens (0 - 0,15 m e 0,15 - 0,30 m). As amostras

foram identificadas e encaminhadas para o Laboratório de Análise de Fertilidade do Solo do Departamento de Ciência do Solo da ESALQ/USP.

Foram determinados os teores de fósforo (P), potássio (K^+), cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) pela resina de troca catiônica; a acidez potencial (H+Al) foi determinada pela solução tampão SMP, sendo estes quatro últimos expressos em ($mmol_c\ dm^{-3}$). Os demais elementos foram determinados seguindo a metodologia descrita pela Embrapa (2009) e Raij (2001). A partir destes, foram calculados a capacidade de troca catiônica (CTC a pH 7,00) e a soma de bases (SB), expressas também em ($mmol_c\ dm^{-3}$), e a saturação por bases (V) será expressa em % (Tabela 1).

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).

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).

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

pH	CE	NO ₃ ⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	Na ⁺
(pasta)	dS m ⁻¹	-----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⁺).

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 (Dp) foi determinada pelo método do balão volumétrico e a densidade do solo (Ds) 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.

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

Transcorrido um período de vinte dias com as parcelas sob irrigações frequentes, foram coletadas seis amostras indeformadas e representativas de duas camadas (0 – 0,15 e 0,15 – 0,30 m) do solo nas parcelas. As amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Análise de Água e Física do solo do Departamento de Engenharia de Biosistemas da ESALQ, onde foram preparadas para a obtenção das curvas de retenção de água no solo, que foram adotadas no manejo da irrigação da cultura (Figura 3). Estas foram obtidas com auxílio de uma mesa de tensão para a determinação dos pontos de baixa tensão e de uma câmara de Richards para os pontos de alta tensão. O ajuste da curva de retenção foi realizado pelo modelo de van Genuchten (1980) como mostra a Equação 1, sendo os parâmetros da equação (Tabela 4) determinados com a utilização do software RETC versão 6.02.

$$\theta = \theta_r + \frac{(\theta_s + \theta_r)}{\left[1 + (\alpha|\psi|)^n\right]^m} \quad \text{Equação 1}$$

em que:

θ - Conteúdo volumétrico de água no solo (cm³ cm⁻³);

θ_r - Conteúdo residual de água no solo (cm³ cm⁻³);

θ_s - Conteúdo de água no solo saturado (cm³ cm⁻³);

m e n - Parâmetros de ajuste do modelo, adimensionais;

α - Parametro de ajuste (kPa⁻¹);

ψ - Tensão (kPa).

Tabela 4. Valores dos parâmetros de ajuste do modelo de van Genuchten (1980) para as duas curvas de retenção de água no solo.

Camada (m)	θ_r (cm ³ cm ⁻³)	θ_s (cm ³ cm ⁻³)	n -	m -	α (kPa ⁻¹)
0 - 0.15	0.088	0.501	1.821	0.451	0.380
0.15 - 0.30	0.094	0.493	1.959	0.490	0.310

Figura 3. Curvas características de retenção de água, no solo em duas profundidades do solo nas parcelas, com destaque para os pontos observados e estimados.

3.3. Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos foram constituídos de cinco limites de umidade no solo para início da irrigação ($T1 = 0,20$, $T2 = 0,15$, $T3 = 0,13$, $T4 = 0,11$ e $T5 = 0,09 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) e cinco concentrações de potássio na solução do solo ($K1 = 50$, $K2 = 100$, $K3 = 150$, $K4 = 200$ e $K5 = 250 \text{ mg dm}^{-3}$), manejados via fertirrigação durante dois ciclos de cultivo com a cultura do lisianthus (*Eustoma grandiflorum*), em ambiente protegido.

A partir da Equação 1 e dos parâmetros de ajuste mostrados na Tabela 4, verifica-se que os limites de umidade estudados correspondem aproximadamente às tensões limites iguais a 12, 25, 40, 70 e $>100 \text{ kPa}$.

As parcelas foram dispostas na casa de vegetação em delineamento de blocos inteiramente casualizados, arranjados em um esquema fatorial de 5×5 (cinco limites de umidade e cinco concentrações de potássio na solução do solo), com quatro repetições, totalizando 100 parcelas experimentais (Figura 4).

Figura 4. Croqui da área experimental, que ocupava duas casas de vegetação.

As parcelas experimentais foram delimitadas e impermeabilizadas com folhas de PVC de 0,2 mm de espessura, sendo construídas com 0,65 m de largura, 1,45 m de comprimento e 0,4 m de profundidade, em relação ao nível do solo do ambiente protegido (Figura 5). As parcelas foram preenchidas com material de solo externo, de modo a obter características físicas homogêneas, tais como volume de solo por parcela, forma e disposição espacial da parcela.

Figura 5. Desenho esquemático de uma parcela experimental.

3.4. Calibração e instalação do sistema sonda-TDR

O sistema sonda-TDR foi montado de forma a permitir o monitoramento em tempo real do conteúdo volumétrico de água no solo (θ) e da CESol (Condutividade elétrica da solução do solo) em 25 pontos. O sistema foi composto por um reflectômetro TDR100 (Campbell Scientific, Logan-Utah), com capacidade de leitura ampliada por meio de 4 multiplexadores, cada um com capacidade para conexão de 8 sondas. Todo o sistema era acionado por um Datalogger CR10X da “Campbell Scientific”, o qual também realizava o armazenamento dos dados.

As sondas utilizadas nesta pesquisa foram reutilizadas a partir de pesquisas anteriores. Estas foram confeccionadas com três hastes, sendo adotado o procedimento descrito por Souza et al. (2006). Os materiais utilizados para construção de cada sonda foram:

- ✓ cabo coaxial RFM-KMP, RG-58, 50 Ω , comprimento 3,3 m;
- ✓ conector BNC rosqueável;
- ✓ haste de aço inoxidável, AISI 304, diâmetro 3 mm;
- ✓ resina epóxi Epoxiglass; e
- ✓ catalisador Epoxiglass.

O cabo coaxial foi cortado no comprimento de 3,30 m e, em uma das extremidades, instalou-se o conector BNC. Na outra extremidade, foram soldadas as hastes de aço inox, utilizando uma liga de estanho (Sn/Pb 50/40) da seguinte forma: uma no condutor central do cabo coaxial (haste de 235 mm) e duas na malha metálica do cabo coaxial (haste de 240 mm).

Para fixar adequadamente a solda, foi necessário lixar as extremidades das hastes de aço inox e aplicar uma solução de ácido fosfórico 1% para que houvesse maior adesão da solda. Em

uma estrutura de madeira com um molde de silicone acomodaram-se as hastes e os cabos da sonda previamente soldados. Este molde, com capacidade para acomodar 10 sondas de cada vez, serviu para que as hastes da sonda permanecessem espaçadas 1,5 cm entre si e com 20 cm da haste para fora do bloco de resina.

Em seguida, foi adicionada a resina epóxi, na proporção de 20 g de catalisador para cada 100 g de resina. Após secagem completa da resina, em torno de 6 horas após a mistura, esta formou um bloco resistente que promoveu a sustentação do esqueleto da sonda, assim como serviu de marco para o início do monitoramento do pulso eletromagnético pela TDR100. Neste trabalho foram confeccionadas um total de 128 sondas.

Com as sondas já prontas, realizou-se um teste individual em cada uma, com objetivo de detectar possíveis falhas na confecção. Este teste consistiu em avaliar com um multímetro se havia isolamento entre a haste central (alma de aço) e as hastes laterais (malha). As sondas que apresentaram defeitos foram descartadas e substituídas.

A calibração das sondas para a estimativa da condutividade elétrica foi realizada em laboratório (Figura 6). Nesta etapa, o sistema sonda-TDR-multiplexadores foi gerenciado pelo software PCTDR versão 2.08, o qual permitiu a obtenção de algumas variáveis importantes para programação do sistema, tais como o comprimento do cabo, da sonda, o offset da sonda, e etc. Para a determinação do K_p , ou constante das sondas, foram preparadas, em reservatórios com capacidade para 11 L, seis soluções com concentrações de K^+ (potássio) crescentes, por meio da solubilização de KCl (cloreto de potássio) em água destilada (Figura 6A). As quantidades de KCl foram estabelecidas de forma a obter soluções com concentração final de K^+ igual a 0, 50, 100, 150, 200 e 250 mg L⁻¹ cada. Após a obtenção da relação entre a concentração de KCl e a condutividade elétrica das soluções, obtida por condutivímetro de bancada, foi realizada a obtenção da constante (K_p) de um total de 25 sondas, sendo estas acopladas em 4 multiplexadores, dispostas em dois níveis de multiplexação (Figura 6B).

Figura 6. Ensaio realizado em laboratório para a calibração das sondas (A) e relação entre a CE da solução medida com o condutivímetro de bancada e a CE da solução estimada pelo TDR para 25 sondas e dispostas em dois níveis de multiplexação (B).

O PCTDR foi configurado ajustando o K_p médio (constante de cada sonda) para cada multiplexador, a fim de tornar possível a determinação do K_p real, que consiste no coeficiente angular ($K_p = \alpha$) da reta oriunda da regressão entre os valores de CE nas soluções obtidas com as concentrações crescentes de potássio, mediante a adição de doses de KCl, e estimados pela TDR.

Visando obter leituras representativas em duas profundidades na parcela (0,15 e 0,30 m), foram instaladas duas sondas por parcela na posição horizontal, próximas aos extratores de solução no solo (Figura 7).

Figura 7. Instalação das sondas-TDR no solo (A) e disposição dos extratores de solução do solo nas parcelas experimentais (B).

Durante a condução da cultura em campo foi monitorada a solução no solo com o auxílio do sistema sonda-TDR, aferindo-se a condutividade elétrica (CE_a), a umidade volumétrica (θ) e estimando-se a condutividade elétrica da solução do solo (CE_w) por meio do modelo de Rhoads, Raats e Prather (1976). Os dados coletados com a sonda TDR foram monitorados

simultaneamente com os dados coletados por meio de extratores de solução providos de cápsula porosa, instalados na parte central da parcela (Figura 7), proporcionando assim a realização de uma calibração por meio da correlação entre os dados coletados com a TDR e os dados coletados com os extratores.

3.5. Monitoramento microclimático das casas de vegetação

Com o intuito de acompanhar e caracterizar as condições microclimáticas do local da pesquisa, coletaram-se dados de temperatura e umidade relativa do ar por meio de um sensor Vaisala (HMP45C-L12 - Campbell Sci.), e monitorou-se também a radiação solar global (LI200X, Licor) (Figura 8A). Esses sensores foram interligados a um armazenador de dados, tipo CR23 da “Campbell Scientific”, sendo programado para a realização de leituras em intervalos de 30 segundos, sendo armazenadas as médias referentes a um período de 15 minutos (Figura 8B).

Figura 8. Instalação dos sensores utilizados na pesquisa (A) e disposição do sistema de aquisição e monitoramento das variáveis microclimáticas no interior das casas de vegetação (B).

3.6. Instalação e avaliação do sistema de irrigação

Foi adotado um sistema de irrigação por gotejamento (Figura 9), utilizando tubogotejadores com emissores autocompensantes, anti-sifão e antidrenantes, espaçados em 0,20 m, com 16 mm de diâmetro interno e vazão nominal de $2,20 \text{ L h}^{-1}$ para uma pressão de serviço de 25 mca; estes foram previamente avaliados sob condições normais de operação em laboratório e em campo.

Considerando que o *lisianthus* foi cultivado em espaçamento reduzido e que a planta é sensível à falta de umidade do solo durante a fase de estabelecimento do sistema radicular, foram utilizados três tubogotejadores de 1,4 m de comprimento e espaçados em 0,20 m, com o objetivo de umedecer toda a área superficial da parcela. Os tubogotejadores foram abastecidos por

microtubos com 5,0 mm de diâmetro interno. Estes foram conectados a um painel individual para cada ambiente protegido, no qual foi montado o sistema de atuadores (válvulas solenoides) responsáveis pela automação do sistema.

Figura 9. Componentes do sistema de irrigação por gotejamento das parcelas.

Todo o sistema de irrigação e fertirrigação foi composto basicamente pelos seguintes componentes: um tanque reservatório para o abastecimento de água com capacidade de 5000 L; dois tanques reservatórios com capacidade para 500 L cada, sendo um para estoque de solução de fertilizante A, utilizado para a diluição de nitrato de cálcio ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) e nitrato de amônio (NH_4NO_3), e outro para solução de fertilizantes B, utilizado para a diluição de sulfato de magnésio (MgSO_4), MAP ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$) e uma solução concentrada que continha os micronutrientes (Figura 10A); cinco tanques reservatórios para acondicionamento das soluções com as respectivas concentrações de potássio (Figura 10B); filtro de disco de 200 mesh, conjunto de registros, manômetros e válvulas solenoides.

Figura 10. Reservatórios utilizados para acondicionamento da solução nutritiva base (A) e para acondicionamento das soluções com diferentes concentrações de KCl (B).

3.7. Manejo da irrigação

Para o manejo da irrigação foram adotadas as leituras do TDR. Devido à dimensão do experimento, foi necessária a implantação de um sistema de coleta automatizada (Figura 11) para a obtenção de leituras em tempo real do conteúdo volumétrico de água no solo e da condutividade elétrica aparente (CE_{TDR}). Este sistema, já descrito anteriormente, foi instalado no interior de umas das casas de vegetação e serviu de base para o manejo da irrigação de todo o experimento, permitindo com mais facilidade e agilidade indicar o momento em que a irrigação de determinado tratamento deveria ser efetuada.

Figura 11. Disposição do sistema de monitoramento da umidade do solo e da condutividade elétrica aparente via sondas TDR, no interior da casa de vegetação.

Os valores do conteúdo volumétrico de água no solo foram obtidos pela TDR, por intermédio da equação de Topp et al. (1980). Para cada tratamento, o início da irrigação era determinado com base no conteúdo inferior de água no solo (θ_{inf}).

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}), cujo valor era igual ao conteúdo de água na

máxima capacidade de retenção pelo solo, ou capacidade de campo (θ_{cc}). Portanto, o tempo de irrigação na parcela experimental foi calculado conforme a Equação 2.

$$t = \frac{(\theta_{sup} - \theta_{inf}) Z A}{N q E_a} \quad \text{Equação 2}$$

Em que:

t - Tempo de irrigação, h;

θ_{sup} - Conteúdo superior de água no solo, a base de volume, $m^3 m^{-3}$;

θ_{inf} - Conteúdo inferior de água no solo, a base de volume, $m^3 m^{-3}$;

Z - Profundidade efetiva do sistema radicular, mm;

A - Área superficial da parcela, m^2 ;

q - Vazão média de cada emissor, $L h^{-1}$;

E_a - Eficiência de aplicação, decimal;

N - Número de emissores.

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. Com isso, a quantidade de água aplicada era calculada considerando o intervalo de umidade do solo correspondente da umidade limite até a umidade máxima retida pela matriz do solo, considerando a profundidade efetiva do sistema radicular de 0,3 m, a área superficial da parcela equivalente a 0,94 m^2 e eficiência de aplicação igual a 95%.

Diariamente os dados referentes ao conteúdo de água no solo e a CE_{TDR} eram coletados, processados em planilha eletrônica (Figura 12A), e quando era necessária a realização da irrigação, estas eram utilizados para alimentar o sistema de controle de atuadores. As irrigações foram controladas por um sistema denominado Módulo para Controle de Atuadores (MCA), desenvolvido por Camargo (2012), o qual foi empregado na automação do controle das válvulas solenoides e do conjunto motobomba (Figura 12B), acoplado a um computador central que continha um aplicativo que permitia determinar automaticamente os tempos correspondentes à lâmina de irrigação a ser aplicada em cada parcela (Figura 12C).

Figura 12. Coleta e processamento dos dados de umidade do solo e CE_{TDR} (A), painel de válvulas solenoides (B) e computador central responsável pelo controle dos atuadores para automação da irrigação (C).

3.8. Manejo da fertirrigação

Antes do transplântio da cultura e do início do manejo da fertirrigação, durante os dois ciclos de cultivo do lisianthus, 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, encontra-se detalhada nos apêndices A e B.

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 coleta da solução do solo, a aplicação do vácuo nos extratores era feita com o auxílio de uma bomba de vácuo (Figura 13A), a qual permitia aplicar uma sucção interna de

aproximadamente 76 kPa. Para a coleta da solução, era utilizada uma seringa acoplada a um tubo de silicone flexível (Figura 13B). Em seguida, as amostras de solução eram acondicionadas em recipientes hermeticamente fechados e transportados para o Laboratório de Qualidade de Água do Departamento de Engenharia de Biosistemas da ESALQ/USP, onde eram efetuadas as análises da solução do solo, sendo a determinação de potássio feita por fotometria de emissão de chamas. Logo após a aplicação do vácuo, era verificada a umidade do solo por meio da sonda TDR.

Figura 13. Aplicação de vácuo nos extratores (A) e extração da solução do solo visando o controle da concentração de K^+ (B).

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, conforme a equação 3.

$$C_{estimada}^{cp} = \frac{C_{cp} \cdot U_{cp}}{U_s} \quad \text{Equação 3}$$

em que,

$C_{estimada}^{cp}$ - condutividade elétrica ou concentração de íons no extrato de saturação, estimada a partir dos valores medidos na solução do solo, obtida com extrator de cápsula, $dS\ m^{-1}$;

C_{cp} - condutividade elétrica ou concentração de íons na solução do solo, obtida com extrator de cápsula porosa, $dS\ m^{-1}$;

U_{cp} - umidade do solo no momento em que se dá o vácuo no extrator de cápsula porosa, $g\ g^{-1}$; e

U_s - umidade do solo na pasta saturada, $g\ g^{-1}$.

As quantidades de cloreto de potássio aplicadas foram calculadas para que a solução do solo recuperasse as concentrações de potássio estabelecidas inicialmente pelos tratamentos ($K1=50$, $K1=100$, $K3=150$, $K4=200$ e $K5=250\ mg\ dm^{-3}$), de acordo o princípio do balanço de massa expresso pela equação 4.

$$K_A = \frac{K_F VP \theta_{CC} - K_{EE} VP \theta_A}{V_{CC}} \quad \text{Equação 4}$$

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, cm³ cm⁻³;

θ_A - Umidade atual do solo, cm³ cm⁻³; e

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

3.9. Transplântio e condução do primeiro ciclo e do segundo ciclo

A cultura utilizada foi o lisianthus (*Eustoma grandiflorum*), var. Casablanca do grupo White. Para a escolha dessa variedade foram seguidas as recomendações de especialistas em produção de lisianthus da empresa SAKATA, visto que essa cultivar foi a mais recomendada para o plantio no período correspondente ao outono-inverno. As plantas adultas pertencentes a essa cultivar apresentam-se com cerca de 0,70 m de altura, ciclo de 120 dias, possuem flores brancas dobradas, com diâmetro variando de 6 a 8 cm, hastes firmes e capazes de suportar o dobro do seu peso.

As mudas foram adquiridas em um viveiro idôneo especializado na produção e fornecimento de mudas certificadas de lisianthus para todo o país, localizado no município de Atibaia, distante 137 km do local de realização do experimento. O transplântio das mudas de lisianthus para os canteiros foi realizado no dia 30 de maio de 2015, quando as mudas apresentavam dois pares de folhas definitivas (Figura 14). A densidade populacional foi de 64 plantas por m² (0,125 x 0,125 m), o que resultou em 60 plantas por parcela; estas foram espaçadas com o auxílio de uma tela agrícola para tutoramento de plantas (Figura 14).

Ao longo do primeiro ciclo foram realizadas três operações de capinas manuais (Figura 14). Estas foram concentradas nos primeiros 60 dias após o transplântio, em virtude do crescimento inicial lento, e baixo poder de competitividade da cultura do lisianthus em relação às plantas espontâneas; com isso, as plantas foram mantidas livres de competição por água, luz e nutrientes devido a remoção quase que completa de todas as plantas invasoras.

O controle fitossanitário (Figura 14) foi realizado de forma preventiva e seguiu as orientações presentes no material, com recomendações práticas detalhadas pelo fornecedor das mudas de lisianthus. Para o controle de pragas, os principais inseticidas utilizados foram:

ACTARA 250WG, CERTERO e EVIDENCE. Como medidas preventivas para o controle de doenças fúngicas, foram realizadas aplicações com CERCOBIM e AMISTAR, sendo as aplicações realizadas de acordo com as fases da cultura. Como as casas de vegetação apresentaram histórico de incidência de ácaros em cultivos anteriores com a cultura da roseira, também foram realizados monitoramentos periódicos e aplicações preventivas com o produto VERTIMEC.

Figura 14. Detalhe do transplantio e tratos culturais realizados durante o primeiro ciclo de cultivo do lisianthus, ocupando duas casas de vegetação (dois blocos por casa).

Após a colheita das plantas do primeiro ciclo de cultivo, as casas de vegetação foram limpas e preparadas para o segundo ciclo (Figura 15). Após a retirada dos restos vegetais, as parcelas foram cobertas com plástico mulching dupla face e, em seguida, foi realizada a operação

que buscou o estabelecimento das concentrações de potássio da solução do solo planejadas. Esta operação consistiu na aplicação de um volume de solução correspondente a 1,5 vezes o volume de poros do solo, para cada tratamento.

O segundo ciclo de cultivo da cultura do lisianthus foi realizado no período compreendido entre novembro e fevereiro, período este correspondente à primavera-verão. Para esse período foi recomendado o cultivo da variedade Excalibur, do mesmo grupo Pure White utilizado durante o primeiro ciclo. Essa variedade é recomendada para o cultivo em estação com temperaturas mais elevadas e ainda apresenta características de crescimento e produção semelhantes à variedade Casablanca. Nesse período, as plantas apresentaram crescimento acelerado em relação ao primeiro ciclo, sendo que a colheita foi realizada aos 70 dias após o transplântio. Durante este período foram realizadas todas as ações necessárias à produção da cultura do lisianthus na estação primavera-verão (Figura 15).

Figura 15. Detalhe das atividades realizadas durante o segundo ciclo da cultura do Lisianthus, ocorrido no período primavera-verão.

3.10. Características avaliadas

3.10.1. Crescimento

Ao longo dos dois ciclos de cultivo foram avaliadas as principais características relacionadas ao crescimento da cultura do lisianthus, quais sejam: altura de planta, número de pares de folhas, índice de área foliar (IAF) e massa fresca e seca da parte aérea. No primeiro ciclo, realizado durante o período outono-inverno, as plantas foram coletadas aos 30, 60, 90, 110 e 120 DAT (dias após o transplante). Já no segundo ciclo, realizado durante o período primavera-verão, as coletas foram realizadas aos 30, 50 e 70 DAT.

Em cada coleta, foram amostradas duas plantas por parcela, sendo estas representativas do padrão médio determinado por avaliação visual em cada parcela experimental. As plantas foram cortadas na base da haste (junto ao solo) com auxílio de uma tesoura de poda; logo em seguida eram identificadas e encaminhadas ao laboratório de física do solo e análise de água, no qual se procedia com a mensuração das características de crescimento com auxílio de régua graduada, balança digital de precisão e integrador de área foliar da marca LICOR.

Após a realização das medidas de altura das hastes, a massa fresca das mesmas foi determinada utilizando-se uma balança semi-analítica (Precisão 0,01g) e, logo em seguida, as hastes foram acondicionadas em sacos de papel e postas para secar em estufa de circulação forçada de ar, com temperatura de 60°C (± 1), até atingirem peso constante.

O índice de área foliar (IAF) foi determinado durante as colheitas nos dois ciclos. Os valores de área foliar (cm²) de cada planta foram divididos pela área ocupada por cada planta conforme a equação 5.

$$IAF = \frac{AF}{Ap} \quad \text{Equação 5}$$

em que:

IAF - Índice de Área Foliar, adimensional;

AF - Área foliar da planta, cm²; e

Ap - Área útil explorada pela planta, cm².

3.10.2. Colheita e produção

O critério adotado para a colheita das hastes florais do lisianthus foi baseado em recomendações de um produtor especializado na cultura. As hastes foram colhidas quando

apresentaram pelo menos dois botões florais abertos e quando pelo menos 60% das plantas em cada parcela experimental apresentavam esse padrão de desenvolvimento (Figura 16A). Para avaliação das características de produção foram colhidas ao todo um total de 24 plantas por parcela, deixando uma fileira de bordadura em cada lado do retângulo representativo da área colhida, como é mostrado na Figura 16B.

Figura 16. Representação das plantas no ponto de colheita (A) e área útil amostrada na parcela na colheita final (B).

Após a colheita, as hastes foram aglomeradas em feixes, etiquetadas e encaminhadas para o laboratório de qualidade de água e física do solo para a avaliação das características de produção e rendimento comercial. Do total das hastes colhidas em cada parcela, foram amostradas 3 hastes para a verificação do comprimento total da haste, diâmetro médio das hastes, número de pares de folhas, massa fresca e diâmetro médio dos botões florais (Figura 17A). O comprimento da haste foi medido entre o ponto de corte até a base do último botão, por meio de uma régua graduada em milímetros. O diâmetro das hastes foi determinado a partir de três medições, em pontos equidistantes ao longo do comprimento da haste, utilizando-se um paquímetro digital graduado em milímetros.

O restante das hastes foram utilizadas para a confecção dos maços ou buquês comerciais, sendo estas padronizadas para o comprimento de 60 cm. Para a formação dos maços (buquês) foi adotado o critério disponibilizado pela cooperativa Veiling Holambra. Os maços de lisianthus foram formados com, no mínimo 8 hastes e com peso mínimo de 500 gramas (Figura 17B). Nos casos em que as 8 hastes não foram suficientes para formar um buquê comercial, foram adicionadas mais hastes até atingir o peso mínimo exigido para a comercialização.

Figura 17. Medidas das variáveis de qualidade das hastes e formação dos maços comerciais.

Após a realização das medidas das hastes e dos botões florais, a massa fresca dos mesmos foi determinada utilizando-se uma balança semi-analítica (Precisão 0,01g) e, logo em seguida, foram acondicionados em sacos de papel e postos para secar em estufa de circulação forçada de ar, com temperatura de 60°C (± 1), até atingirem peso constante.

3.11. Monitoramento da solução do solo

O monitoramento da solução do solo foi realizado ao longo dos dois ciclos 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. Sempre que era atingida a umidade limite para início da irrigação para cada tratamento, realizava-se o procedimento para a coleta da solução do solo, mediante a aplicação do vácuo e coleta após um período de 12 horas. Em seguida, procedia-se a análises laboratoriais necessárias para determinação da concentração de potássio e condutividade elétrica da solução extraída. Para tal, 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.

3.12. Monitoramento da fertilidade do solo

O monitoramento da fertilidade do solo fertirrigado foi realizado por intermédio da quantificação dos teores trocáveis de potássio (K^+), juntamente com o restante dos macro e microelementos, em amostras de solo coletadas nas parcelas que foram submetidas às cinco concentrações de potássio na solução do solo, e sujeitas às maiores frequências de fertirrigação

(maior valor de umidade limite igual a $0,20 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$), ao longo do segundo ciclo de cultivo do *lisianthus*. Ao todo, foram realizadas cinco coletas de solo em intervalos de aproximadamente 15 dias, com auxílio de um amostrador tipo sonda, que permitiu coletar solo nas profundidades de 0,15 e 0,30 m. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, identificadas e encaminhadas para o laboratório de Análise de Fertilidade do Solo do Departamento de Ciência do Solo da ESALQ.

3.13. Análise do tecido vegetal

As plantas utilizadas para avaliação das características de crescimento do *lisianthus* durante o segundo ciclo foram processadas e preparadas para a determinação dos teores de potássio, bem como do restante dos macros e dos microelementos da massa seca do material vegetal. Antes do material vegetal ser submetido à secagem em estufa, procedeu-se a uma lavagem com água para a eliminação de resíduos de defensivos e poeira, eventualmente existentes. Após secagem e pesagem da fitomassa seca, foram selecionadas plantas cultivadas sob os tratamentos correspondentes a três concentrações de potássio na solução do solo (50, 150 e 250 mg L^{-1}) e sujeitas a umidade limite igual a $0,20 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. As amostras foram trituradas, identificadas e encaminhadas ao Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas da ESALQ/USP, para a determinação da concentração de macro e micronutrientes, de acordo com a metodologia modificada de Malavolta, Vitti e Oliveira (1997).

3.14. Análise estatística dos dados

Os dados foram submetidos às pressuposições básicas para adequação ao modelo de análise de variância (ANOVA) por meio da aplicação dos testes de Shapiro-Wilk para verificação de normalidade da distribuição dos resíduos, e de Bartlett para homogeneidade de variâncias. Os parâmetros avaliados foram analisados estatisticamente por meio de análise de variância, desdobrando-se as análises sempre que a interação foi significativa. Os fatores quantitativos, relativos e às concentrações de potássio da solução do solo e os limites de umidade foram analisados pela aplicação do estudo de regressão polinomial (linear e/ou quadrática), enquanto que os demais tratamentos, resultantes das combinações entre os dois fatores (concentrações de potássio e limites de umidade) foram analisados pela aplicação de teste de média, com base no teste de Scott Knott, em nível de 5% de probabilidade. Todo o procedimento estatístico foi realizado no ambiente R, versão 3.01.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Características meteorológicas do ambiente protegido

As variações das temperaturas média, máxima e mínima registradas nos dois ciclos de cultivo e nos dois ambientes protegidos são mostradas pela Figura 18. Durante todo o período, a diferença média da temperatura diária entre os dois ambientes ficou em torno de 0,40 °C, o que garante que as condições para a realização da pesquisa foram homogêneas, apesar da utilização de duas casas de vegetação para a disposição das parcelas experimentais.

No primeiro ciclo, período compreendido entre maio e setembro de 2015, a temperatura máxima variou de 17,80 a 40,44 °C, a média variou entre 14,15 e 27,58 °C e a mínima entre 7,04 e 20,32 °C. No segundo ciclo, realizado entre os meses de novembro de 2015 e fevereiro de 2016, observaram-se temperaturas máximas variando entre 26,01 e 43,13 °C; as médias variaram de 21,42 a 29,73 °C e as mínimas de 14,81 a 23,07 °C. Nesse sentido, pode-se constatar que as plantas de *lasiathus* foram submetidas a amplitudes térmicas diárias de até 33,4 °C durante o primeiro ciclo e de até 28,32 °C durante o segundo ciclo. As temperaturas médias diárias do ar, fora dos ambientes protegidos, variaram de 15,25 a 27,82 °C no primeiro ciclo e de 23,59 a 29,58 °C no segundo ciclo.

Analisando-se o perfil da temperatura mínima do ar ao longo dos dois ciclos de cultivo (Figura 18), fica evidente a tendência de aumento dos valores de um ciclo para o outro. Enquanto no primeiro ciclo 76,38% dos dias apresentaram temperaturas mínimas inferiores a 15 °C, no segundo ciclo, 66,25% dos dias apresentaram mínimas diárias com valores superiores a 20 °C.

Figura 18. Temperaturas máxima, média e mínima registradas no interior dos dois ambientes protegidos ao longo dos dois ciclos da cultura.

No que diz respeito à variação da temperatura média horária nos períodos diurno e noturno durante o primeiro ciclo de cultivo (junho a setembro de 2015), observou-se que aproximadamente 17,77% dos valores registrados ficaram dentro da faixa de temperatura diurna considerada ideal para o desenvolvimento da cultura (20 a 25 °C), 21,19% ficaram abaixo dos 18 °C e 36,86% ficaram acima de 28 °C (Figura 19A). Quanto à temperatura noturna, 28,41% dos valores ficaram acima de 18 °C e com valores mais frequentes de temperatura em torno de 17 °C (Figura 19B).

Figura 19. Histogramas com a distribuição de frequência dos dados de temperatura média diurna e noturna para o primeiro ciclo (A e B) e para o segundo ciclo (C e D).

Durante o segundo ciclo (de novembro de 2015 a fevereiro de 2016), 22,36% dos valores de temperatura registrados durante o período diurno ficaram entre 20 e 25 °C e 62,88% ficaram acima 28 °C, sendo registrados valores superiores a 40 °C (0,96%) no interior dos ambientes protegidos (Figura 19C). Quanto ao período noturno, 98,02% dos valores de temperatura registrados foram superiores a 18° C, com valores mais frequentes em torno de 22 °C (Figura 19D).

Os valores de umidade relativa do ar registrados nos dois ambientes protegidos foram semelhantes. No primeiro ciclo, a umidade relativa média diária variou de 51,32 a 98,09%, com

58,05% dos dias apresentando valores de umidade relativa média superior a 75%. No segundo ciclo, a umidade relativa média diária variou de 63,92 a 96,78%, com 58,78% dos dias apresentando valores de umidade relativa médias superiores a 75% (Figura 20). No que diz respeito às condições externas, a umidade relativa média diária variou de 59,70 a 100% no primeiro ciclo e de 76,44 a 100% no segundo ciclo.

Figura 20. Umidades relativas do ar máxima, média e mínima, registradas no interior dos dois ambientes protegidos ao longo dos dois ciclos da cultura.

Os valores diários de radiação solar global dentro das casas de vegetação variaram de 1,19 a 20,43 MJ m⁻² dia⁻¹, com uma amplitude de 19,24 MJ m⁻² dia⁻¹ no primeiro ciclo, sendo que os maiores valores foram encontrados nos últimos dias antes da colheita e que antecederam o equinócio de 23 de setembro. Já a sequência de valores inferiores 5,0 MJ m⁻² dia⁻¹ foram registrados no início da fase de aceleração do crescimento (30 DAT), logo após o solstício de 22 de junho (Figura 21).

Durante o segundo ciclo os valores variaram de 1,17 a 19,34 MJ m⁻² d⁻¹, com amplitude máxima de 18,17 MJ m⁻² dia⁻¹, sendo que os menores valores de radiação solar global foram registrados nos primeiros 30 DAT (Figura 21), o que coincidiu com o período de permanência da malha de sombreamento do tipo sombrite com 50% de atenuação da radiação solar; este procedimento é recomendado para o cultivo do lisianthus em épocas de elevados índices de insolação.

Figura 21. Radiação solar global registrada no interior dos dois ambientes protegidos ao longo dos dois ciclos da cultura.

Os dois ciclos de cultivo ocorreram em períodos com tendências predominantemente crescentes para os valores de radiação solar global externa. Ao longo do primeiro ciclo, os valores diários de radiação global dentro do ambiente protegido chegaram a atingir 60,94% dos valores externos registrados pelo posto meteorológico da ESALQ/USP, ou seja, em média, 39,06% da radiação total não atingiu o dossel da cultura, sendo esta refletida ou absorvida pela cobertura.

Vale destacar, na Figura 21, que as diferenças entre os valores diários de radiação, obtidos nos dois ambientes protegidos, atingiram valores médios de $2,26 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, o que pode ser atribuído, principalmente, ao acúmulo de poeira sobre a cobertura de um dos ambientes, como consequência do atraso de 60 dias na instalação do filme plástico em relação ao outro ambiente protegido. No segundo ciclo, devido a instalação do sombrite, a radiação global incidente sobre a cultura correspondeu em média a 20,62% da radiação externa nos primeiros 30 DAT, subindo para 52,67% após a retirada da malha de sombreamento.

Levando-se em consideração as variáveis microclimáticas estudadas no interior dos ambientes protegidos, fica evidente as diferenças entre as duas épocas em que foi cultivado a cultura do lisianthus, diferenças essas bastante relevantes quando se compara os registros de temperatura noturna e mínima diária entre as duas épocas. Como consequência, verificou-se na presente pesquisa o encurtamento de aproximadamente 50 dias do segundo ciclo quando comparado com o primeiro.

Além da clara correlação positiva entre a elevação das temperaturas mínimas diária e noturnas e o encurtamento do ciclo da cultura, pode-se associar também, a diferença entre o fotoperíodo nas duas épocas.

4.2. Resultados observados durante o primeiro ciclo de cultivo do Lisianthus

Na Figura 22 são mostrados os perfis de conteúdo volumétrico de água no solo para as diferentes concentrações de potássio nas respectivas umidades limites 0,20 (A), 0,15 (B), 0,13 (C), 0,11 (D) e 0,09 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ (E). Pode-se observar que as concentrações de potássio proporcionaram perfis diferentes de conteúdo de água no solo; no entanto, estas seguiram a mesma tendência ao longo do ciclo da cultura e apresentaram a mesma frequência de fertirrigação.

Figura 22. Conteúdo de água no solo nas diferentes concentrações de potássio na solução para os diferentes limites de umidade: 0,20 (A), 0,15 (B), (C), 0,11 (D) e 0,09 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ (E).

Assim, foi possível constatar que a frequência de fertirrigação foi dependente apenas do conteúdo limite de água no solo para início da irrigação e que, as aplicações incrementais de potássio na solução do solo, não proporcionaram alterações drásticas nos perfis de umidade do solo, o que reflete em uniformidade no regime de demanda de água pelas plantas de lisianthus.

Na Figura 23 são mostrados os perfis médios de conteúdo volumétrico da solução no solo registrados ao longo do primeiro ciclo da cultura para cada limite de umidade estudado. Estes possibilitam constatar diferenças na frequência média de fertirrigação entre as umidades limites, sendo que, foram realizadas fertirrigações a cada 6, 10 e 12 dias, quando se adotou os limites de umidade de 0,20, 0,15 e 0,13 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ respectivamente.

Os tratamentos com limites de umidade do solo superior a 0,11 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ não apresentaram diferenças na frequência de fertirrigação em relação ao tratamento com limite de umidade de 0,13 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, mostrando que, para o solo em questão, valores de conteúdo de água inferiores a 0,13 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ resultam em baixos valores de potencial mátrico.

Em todos os casos o solo atingiu níveis de umidade inferiores aos correspondentes aos limites impostos pelos tratamentos, em consequência dos atrasos ocorridos nas operações de fertirrigação. Ao se analisar em particular o tratamento correspondente ao limite de umidade de 0,20 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, a partir dos 70 DAT, a frequência de fertirrigação aumenta e o intervalo entre as fertirrigações cai para três dias como consequência da maior demanda hídrica da cultura que se encontrava na fase de crescimento acelerado e início da fase reprodutiva, quando se compara com a fase inicial.

Figura 23. Perfis médios do conteúdo volumétrico de água no solo para os diferentes limites de umidade aplicados ao longo do primeiro ciclo de cultivo do lisianthus

Os perfis mostrados nas Figuras 22 e 23 permitem destacar a importância do monitoramento contínuo do conteúdo de água no solo, associado à determinação do momento certo para a realização da fertirrigação da cultura do lisianthus cultivado em ambiente protegido.

Nesse sentido, Mounzer et al. (2006) afirmam que a coleta frequente de dados é essencial para a compreensão da dinâmica da água do contínuo solo-planta-atmosfera e que o monitoramento da umidade do solo é essencial para se estimar as necessidades de água da planta e para o agendamento eficiente da irrigação.

Na Figura 24 são mostrados os perfis que representam as lâminas de irrigação acumuladas para os tratamentos, com diferentes concentrações de potássio dentro dos limites de umidade estudados: 0,20 (A), 0,15 (B), 0,13 (C), 0,11 (D) e 0,09 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ (E). Em todos os casos, as diferentes concentrações de potássio manejadas na solução do solo não proporcionaram diferenças expressivas no que diz respeito ao consumo hídrico da cultura do lisianthus durante o primeiro ciclo de cultivo.

Figura 24. Consumo hídrico do lisianthus para as diferentes concentrações de potássio na solução dentro dos diferentes limites de umidade no solo; 0,20 (A), 0,15 (B), 0,13 (C), 0,11 (D) e 0,09 cm³ cm⁻³ (E).

Já no que se refere a comparação do consumo hídrico das plantas de lisianthus submetidas aos limites de umidade (Figura 25), verificou-se maior consumo hídrico (maior lâmina total de irrigação aplicada) para os tratamentos com limites de umidade de 0,20 cm³ cm⁻³, sendo que estes apresentaram valores médios superiores em 9,70, 14,73, 17,20 e 23,33% em relação aos demais limites de umidade estudados.

Figura 25. Consumo hídrico médio do lisianthus para os diferentes limites de umidade no solo no momento da irrigação.

4.2.1. Aplicação de fertilizantes e monitoramento da solução do solo

O valor quantitativo das massas de fertilizantes aplicados para o suprimento dos macro e micronutrientes às plantas de lisianthus fertirrigadas, sob diferentes concentrações de potássio na solução do solo e diferentes limites de umidade, durante o primeiro ciclo de cultivo (120) dias se encontram na Tabela 5. Na Figura 26 pode-se observar as doses de potássio acumuladas, aplicadas via fertirrigação, ao longo do ciclo do lisianthus quando cultivado sob o maior limite de umidade ($0,20 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$). Foi dada ênfase a este limite de umidade pelo fato de que as plantas cultivadas sob maiores frequência de fertirrigação, foram também submetidas às maiores lâminas e doses totais de fertilizantes e consequentemente de K^+ (Tabela 5).

Figura 26. Doses acumuladas de potássio aplicadas via fertirrigação para a elevação da concentração de potássio na solução do solo, dentro da umidade limite de $0,20 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$.

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 26. 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 26, 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 $1272,61 \text{ kg ha}^{-1}$, 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 27A, 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 $29,38 \text{ kg ha}^{-1}$ destes nutrientes respectivamente, considerando uma população de aproximadamente 640.000 plantas ha^{-1} . Com relação aos micronutrientes (Figura 27B), 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 $391,09 \text{ g ha}^{-1}$. Já para os demais micronutrientes, ao final do primeiro ciclo foram aplicados 49,77, 16,95 e $10,94 \text{ g ha}^{-1}$ de Zn, Cu e Mo respectivamente.

Figura 27. Doses acumuladas de macro (A) e micronutrientes (B) aplicadas via fertirrigação para a umidade limite de $0,20 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$.

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 27A e B.

Tabela 5. Quantitativo total da aplicação de fertilizantes via fertirrigação para um período de 120 dias de cultivo da cultura do lisianthus

θ limite (cm ³ cm ⁻³)	K ⁺ (mg L ⁻¹)	Lâmina (mm)	NO ₃ NH ₄	Ca(NO ₃) ₂ +4H ₂ O	NH ₄ H ₂ PO ₄	MgSO ₄ ·7H ₂ O	KCl	FeEDTA (kg ha ⁻¹)	H ₃ BO ₃	CuSO ₄ ·5H ₂ O	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄	MnSO ₄	ZnSO ₄ ·7H ₂ O
0,20	50	364.50	228.47	816.36	114.71	540.61	854.23	7.46	2.29	0.07	0.02	1.56	0.24
	100	339.32	212.68	759.97	106.79	503.26	982.96	6.95	2.13	0.06	0.02	1.45	0.23
	150	358.43	224.67	802.78	112.80	531.61	1382.17	7.34	2.25	0.07	0.02	1.53	0.24
	200	348.62	218.51	780.79	109.72	517.05	1802.62	7.14	2.19	0.06	0.02	1.49	0.23
	250	371.42	232.80	831.86	116.89	550.87	2555.46	7.61	2.33	0.07	0.02	1.59	0.25
	Média	356.46	223.43	798.35	112.18	528.68	1515.49	7.30	2.24	0.07	0.02	1.53	0.24
0,15	50	295.29	185.08	661.34	92.93	437.95	532.93	6.05	1.85	0.05	0.02	1.26	0.20
	100	334.59	209.72	749.37	105.30	496.24	1005.94	6.85	2.10	0.06	0.02	1.43	0.22
	150	270.18	169.34	605.10	85.03	400.71	1305.97	5.53	1.70	0.05	0.01	1.16	0.18
	200	288.16	180.61	645.37	90.69	427.37	1469.13	5.90	1.81	0.05	0.02	1.23	0.19
	250	331.45	207.75	742.32	104.31	491.58	1941.90	6.79	2.08	0.06	0.02	1.42	0.22
	Média	303.93	190.50	680.70	95.65	450.77	1251.18	6.22	1.91	0.06	0.02	1.30	0.20
0,13	50	285.37	178.87	639.13	89.81	423.24	434.35	5.84	1.79	0.05	0.02	1.22	0.19
	100	282.13	176.83	631.86	88.79	418.42	640.34	5.78	1.77	0.05	0.02	1.21	0.19
	150	284.28	178.18	636.68	89.46	421.62	1207.14	5.82	1.78	0.05	0.02	1.22	0.19
	200	270.41	169.49	605.62	85.10	401.05	1292.74	5.54	1.70	0.05	0.01	1.16	0.18
	250	244.36	153.16	547.28	76.90	362.41	2015.90	5.00	1.53	0.05	0.01	1.05	0.16
	Média	273.31	171.31	612.11	86.01	405.35	1118.09	5.60	1.72	0.05	0.01	1.17	0.18
0,11	50	297.26	186.32	665.75	93.55	440.87	318.67	6.09	1.87	0.06	0.02	1.27	0.20
	100	295.22	185.04	661.18	92.91	437.84	625.26	6.05	1.85	0.05	0.02	1.26	0.20
	150	281.50	176.44	630.44	88.59	417.49	773.89	5.76	1.77	0.05	0.01	1.21	0.19
	200	311.05	194.96	696.64	97.89	461.32	883.92	6.37	1.95	0.06	0.02	1.33	0.21
	250	290.59	182.13	650.80	91.45	430.97	997.08	5.95	1.82	0.05	0.02	1.24	0.19
	Média	295.12	184.98	660.96	92.88	437.70	719.76	6.04	1.85	0.05	0.02	1.26	0.20
0,09	50	332.89	208.65	745.55	104.76	493.71	327.44	6.82	2.09	0.06	0.02	1.43	0.22
	100	312.73	196.01	700.39	98.42	463.81	661.99	6.40	1.96	0.06	0.02	1.34	0.21
	150	325.69	204.13	729.42	102.50	483.03	975.82	6.67	2.04	0.06	0.02	1.39	0.22
	200	293.47	183.94	657.26	92.36	435.25	1081.85	6.01	1.84	0.05	0.02	1.26	0.20
	250	344.54	215.95	771.65	108.43	511.00	1433.59	7.06	2.16	0.06	0.02	1.48	0.23
	Média	321.86	201.74	720.85	101.29	477.36	896.14	6.59	2.02	0.06	0.02	1.38	0.21

Nas Figuras 28 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 $mg\ L^{-1}$).

Figura 28. 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 $0,20\ cm^3\ cm^{-3}$.

4.2.2. Variáveis de crescimento

Realizada a análise de variância e o teste de médias apresentados na Tabela 6, verifica-se que a altura das plantas de lisianthus não foi influenciada pelos tratamentos aplicados, visto que as diferenças encontradas aos 60 DAT não podem ser explicadas pelos tratamentos devido ao recente estabelecimento destes nas unidades experimentais.

Tabela 6. Resumo da análise de variância (ANAVA) e médias para altura das plantas ao longo do primeiro ciclo de cultivo do *Lisiantus*.

FV	G.L	Altura de planta				
		30 DAT	60 DAT	90 DAT	110 DAT	125 DAT
Bloco	3	14.92 **	16.38 **	145.17 **	94.41 **	85,43*
K	4	0.16 NS	9.21 *	20.51 NS	5.82 NS	15,80 ^{NS}
Linear	1	0.03 NS	12.83 *	3.92 NS	16.24 NS	43,04 ^{NS}
Quadrático	1	0.32 NS	0.22 NS	13.72 NS	1.88 NS	1,91 ^{NS}
Lim. Umidade	4	0.46 NS	2.47 NS	3.36 NS	5.52 NS	38,09 ^{NS}
K vs Lim. Umidade	16	0.76 NS	5.62 NS	12.12 NS	4.03 NS	15,45 ^{NS}
Tratamentos	24	0.61	5.75 *	19.39 NS	4.58 NS	19,28 ^{NS}
Erro	72	0.57 NS	3.14	20.07	6.33	24,32
Total	99					
C.V (%)		10.70	6.96	8.02	3.06	5,45
Tratamentos	K (mg L ⁻¹)	Lim. Umidade (cm ³ cm ⁻³)	Médias (cm)			
1	50	0,20	6.75 A	26.83 A	58.00 A	82.75 A
2	50	0,15	7.75 A	25.67 A	56.25 A	83.25 A
3	50	0,13	7.25 A	24.50 B	55.00 A	84.00 A
4	50	0,11	7.06 A	27.17 A	54.75 A	81.50 A
5	50	0,09	6.75 A	27.17 A	55.50 A	83.50 A
6	100	0,20	7.13 A	24.83 B	56.00 A	81.50 A
7	100	0,15	6.69 A	24.50 B	56.00 A	80.50 A
8	100	0,13	7.36 A	26.17 A	54.00 A	82.00 A
9	100	0,11	6.31 A	23.33 B	52.00 A	81.00 A
10	100	0,09	7.63 A	25.50 A	59.25 A	84.50 A
11	150	0,20	6.44 A	25.33 A	57.25 A	82.25 A
12	150	0,15	7.13 A	25.50 A	54.25 A	80.75 A
13	150	0,13	7.31 A	26.83 A	59.75 A	82.75 A
14	150	0,11	7.56 A	25.67 A	56.00 A	81.50 A
15	150	0,09	7.00 A	27.00 A	55.25 A	83.50 A
16	200	0,20	6.44 A	23.67 B	52.25 A	81.75 A
17	200	0,15	7.13 A	25.67 A	55.75 A	82.50 A
18	200	0,13	7.19 A	26.50 A	56.75 A	81.50 A
19	200	0,11	7.38 A	27.00 A	55.75 A	81.75 A
20	200	0,09	6.69 A	24.17 B	51.75 A	81.75 A
21	250	0,20	7.50 A	25.67 A	58.50 A	82.75 A
22	250	0,15	7.00 A	23.50 B	55.50 A	81.25 A
23	250	0,13	6.96 A	25.00 B	55.50 A	80.50 A
24	250	0,11	7.63 A	25.67 A	60.50 A	82.25 A
25	250	0,09	6.94 A	23.83 B	55.50 A	81.25 A

*** significativo a 1 e a 5% de probabilidade e NS não significativo

Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de scott knott a 5% de probabilidade

Para todas as combinações entre concentrações de potássio na solução do solo e limites de umidade para o início da fertirrigação, a variável altura das plantas seguiu o mesmo comportamento ao longo do ciclo da cultura, ajustando-se satisfatoriamente ao modelo polinomial cúbico (Figura 35). Além disso, em todas as coletas, não foi possível detectar efeito

significativo dos fatores (limites de umidade e concentração de potássio) sobre a variável altura das plantas.

Ainda na Figura 29, pode-se observar que a partir dos 60 DAT as plantas de *lisianthus* apresentaram ritmo de crescimento acelerado até os 110 DAT, período de início da abertura dos botões florais e, ao final do primeiro ciclo, as plantas atingiram altura média que variou de 86,67 a 94,61 cm. As condições de cultivo e o manejo de fertirrigação adotado, proporcionaram plantas com comprimentos de haste bastante satisfatórios e semelhantes aos valores encontrados por Camargo et al. (2004); estes autores, estudando a absorção de nutrientes pelo *lisianthus* do grupo Echo cultivado em solo em condições protegidas, obtiveram, aos 120 dias, plantas com comprimentos de hastes em torno de 90,5 cm.

Figura 29. Ajuste da curva de crescimento em função do tempo de cultivo do *lisianthus* durante o primeiro ciclo.

Na Tabela 7 se encontra detalhada a análise de variância e as comparações de médias referentes à variável índice de área foliar (IAF). De forma análoga ao resultado apresentado na análise da variável altura das plantas, os valores obtidos aos 60 DAT não podem ser explicados pelos tratamentos aplicados, visto ao recente estabelecimento destes. Aos 110 DAT, pode-se observar resultados importantes, visto que os maiores valores de IAF foram encontrados nas combinações entre as maiores concentrações de potássio na solução do solo e maior valor de umidade limite de água no solo (maior frequência de fertirrigação) (Figura 30).

Aos 110 DAT, foi possível constatar efeito significativo ($p < 0,05$) das diferentes concentrações de potássio na solução do solo e dos limites de umidade no solo. Quanto ao efeito das concentrações de potássio na solução do solo (Figura 30A), verificou-se ajuste polinomial quadrático ($p < 0,05$) para o IAF estudado na umidade limite de $0,20 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, sendo o máximo valor de IAF encontrado quando a concentração de potássio (valor corrigido para a umidade da pasta de saturação) foi de $76,43 \text{ mg L}^{-1}$, reduzindo a partir desse valor.

Tabela 7. Resumo da análise de variância (ANAVA) e médias do índice de área foliar (IAF) medido ao longo do primeiro ciclo de cultivo do Lisiantus.

FV	G.L	IAF								
		30 DAT		60 DAT		90 DAT		110 DAT		
Bloco	3	0,008	NS	0,022	NS	1,580	*	1,210	NS	
K	4	0,002	NS	0,350	**	0,130	NS	4,430	**	
Linear	1	0,004	NS	0,320	*	0,320	NS	11,060	**	
Quadrático	1	0,001	NS	0,250	*	0,080	NS	3,080	*	
Lim. Umidade	4	0,001	NS	0,030	NS	0,160	NS	2,990	*	
Linear	1	0,00	NS	0,03	NS	0,00	NS	11,87	**	
Quadrático	1	0,00	NS	0,04	NS	0,33	NS	0,04	NS	
K vs Lim. Umidade	16	0,005	NS	0,150	**	0,680	NS	2,190	*	
Tratamentos	24	0,040	NS	0,160	**	0,500	NS	2,690	**	
Erro	72	0,006		0,040		0,510		1,010		
Total	99									
C.V (%)		20.62		11.00		19.32		19.22		
Tratamentos	K (mg L ⁻¹)	Umidade limite (cm ³ cm ⁻³)	Médias							
			30 DAT		60 DAT		90 DAT		110 DAT	
1	50	0,20	0,42	A	1,86	B	4,28	A	6,31	A
2	50	0,15	0,39	A	2,20	A	2,99	A	5,65	A
3	50	0,13	0,32	A	1,77	B	3,66	A	5,67	A
4	50	0,11	0,36	A	2,04	B	3,56	A	5,37	A
5	50	0,09	0,35	A	2,01	B	3,88	A	4,95	B
6	100	0,20	0,32	A	1,98	B	3,56	A	6,92	A
7	100	0,15	0,37	A	1,97	B	3,62	A	4,90	B
8	100	0,13	0,36	A	2,00	B	3,87	A	4,81	B
9	100	0,11	0,36	A	1,89	B	3,43	A	4,30	B
10	100	0,09	0,39	A	2,33	A	3,41	A	5,70	A
11	150	0,20	0,39	A	2,18	A	3,52	A	6,24	A
12	150	0,15	0,38	A	1,79	B	3,14	A	6,26	A
13	150	0,13	0,38	A	2,20	A	3,63	A	5,22	A
14	150	0,11	0,39	A	2,08	A	3,90	A	5,43	A
15	150	0,09	0,42	A	2,52	A	4,28	A	5,62	A
16	200	0,20	0,35	A	1,87	B	3,27	A	5,27	A
17	200	0,15	0,44	A	1,91	B	4,50	A	4,90	B
18	200	0,13	0,41	A	1,85	B	3,62	A	4,47	B
19	200	0,11	0,39	A	1,85	B	3,68	A	6,31	A
20	200	0,09	0,33	A	1,58	B	3,61	A	3,98	B
21	250	0,20	0,42	A	1,91	B	4,22	A	4,55	B
22	250	0,15	0,34	A	1,83	B	3,51	A	4,90	B
23	250	0,13	0,35	A	2,09	A	3,91	A	5,76	A
24	250	0,11	0,38	A	1,86	B	3,72	A	3,77	B
25	250	0,09	0,41	A	1,75	B	3,62	A	3,93	B

**, * significativo a 1 e a 5% de probabilidade e NS não significativo

Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade

Quando analisado em função dos limites de umidade aos 110 DAT (Figura 30B), verificou-se que os valores médios de índice de área foliar (IAF) decresceram linearmente ($p < 0,01$) à medida que decresceram os valores de umidade limite. Pode-se observar também que

as plantas de lisianthus submetidas ao limite inferior igual a $0,20 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ e, consequentemente, maior frequência de fertirrigação, apresentaram maiores valores de IAF ($p < 0,05$) em comparação com as plantas submetidas a maiores variações de umidade do solo e, consequentemente, menor frequência de fertirrigação. Dessa maneira, foi observada a redução nos valores de IAF na ordem de 9,19, 11,48, 14,02 e 17,48% para as umidades limites de 0,15, 0,13, 0,11 e $0,09 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, respectivamente, em relação a umidade de $0,20 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$.

Lima (2013), estudando diferentes fatores de depleção de água no solo e doses de nitrogênio na cultura da roseira fertirrigada, em condições de solo e ambiente semelhantes ao apresentado na presente pesquisa, verificou que o aumento do intervalo entre irrigações resultou em decréscimo do IAF, fato que corrobora com os resultados obtidos para a cultura do lisianthus.

Figura 30. IAF em função da concentração de potássio na solução do solo (A) e da umidade limite para início da fertirrigação (B).

Com relação a redução do IAF em função do aumento da concentração de potássio na solução, pode-se destacar duas possíveis explicações: a primeira refere-se ao aumento da condutividade elétrica da solução do solo em função do aumento da concentração de KCl, sal utilizado como fonte de potássio e caracterizado por apresentar elevado índice salino, além do íon acompanhante, o cloreto (Cl), potencialmente tóxico para uma grande quantidade de espécies ornamentais. De acordo com Marschner (1997), a alta salinidade de alguns fertilizantes, principalmente o KCl, compromete a absorção de água e nutrientes em consequência da diminuição do potencial osmótico nas proximidades da rizosfera.

Mesmo não se tendo observado sintomas clássicos do efeito da salinidade nas plantas de lisianthus, tais como, amarelecimento do limbo foliar e necrose das bordas das folhas, pode-se justificar a redução do IAF e, consequentemente, da superfície foliar, pela busca da planta em

reduzir as perdas de água como estratégia para se adequar à condição de estresse osmótico provocado pelo aumento da condutividade elétrica da solução do solo.

A segunda explicação possível pode estar relacionada ao fato de que, com a maior concentração de potássio disponível para a planta, esta pode se tornar mais eficiente nos processos fotossintéticos, não necessitando de uma grande superfície foliar, o que acarretaria na maior eficiência no uso da água. Katsoulas et al. (2006) relatam que, elevados valores de área foliar, grande o suficiente para ser capaz de transferir o excesso de energia sensível em calor latente através da transpiração foliar, em combinação com um sistema radicular bem desenvolvido, que foi corretamente irrigada e abastecido com quantidades adequadas de água, ajudaria a manter a alta taxa de transpiração foliar.

O comportamento da variável IAF (índice de área foliar) em função do tempo transcorrido após o transplantio da cultura, ajustou-se satisfatoriamente ao modelo de regressão linear para todas as combinações dos tratamentos estudados (Figura 31). Aos 110 DAT foram obtidos valores de IAF variando de 3,77 a 6,92. Além da considerada massa foliar apresentada pelas plantas de *lisianthus* nas condições estudadas, o comportamento linear crescente do IAF apresentado pela variedade utilizada se deve ao fato de que, mesmo após o início da emissão dos botões florais, as plantas continuaram a emitir ramos laterais, proporcionando incremento na área foliar da planta.

Figura 31. Ajuste de curva de resposta do índice de área foliar (IAF) em função do tempo de cultivo do *lisianthus* durante o primeiro ciclo.

Na Tabela 8 pode-se verificar de forma detalhada a análise de variância e os testes de médias para as variáveis, massa fresca e seca das plantas avaliadas ao longo do primeiro ciclo de cultivo do *lisianthus*. Verificou-se diferenças significativas ($p < 0,05$) aos 110 DAT, visto que, por meio da comparação das médias, pode-se afirmar que houve efeito positivo das maiores concentrações de potássio na solução solo e dos maiores conteúdos limite de água no solo (maior

frequência de fertirrigação). No entanto, na ocasião da colheita final das plantas, realizada aos 120 DAT, verifica-se maior destaque para o efeito significativo ($p < 0,05$) dos limites de umidade sobre a massa fresca das plantas, não sendo constatado o mesmo efeito sobre a massa seca das mesmas.

Tabela 8. Resumo da análise de variância (ANAVA) e testes de médias para massa fresca e seca das plantas medidas ao longo do primeiro ciclo de cultivo do *lisianthus*.

FV	G.L	Massa fresca						Massa seca					
		30 DAT	60 DAT	90 DAT	110 DAT	120 DAT	30 DAT	60 DAT	90 DAT	110 DAT	120 DAT		
Bloco	3	0,66 NS	0,22 NS	255,95 *	632,70 *	1980,32**	0,03 *	0,00 NS	5,33 *	27,59 **	24,70**		
K	4	0,16 NS	49,88 **	11,62 NS	840,87 **	111,37 ^{NS}	0,01 NS	0,57 **	0,37 NS	18,72 **	1,41 ^{NS}		
Linear	1	0,26 NS	132,29 **	7,64 NS	1714,87 **	51,03 ^{NS}	0,03 NS	1,46 **	0,30 NS	34,61 **	0,32 ^{NS}		
Quadrático	1	0,04 NS	23,72 *	0,18 NS	30,78 NS	5,62 ^{NS}	0,01 NS	0,04 NS	0,66 NS	0,40 NS	0,00 ^{NS}		
Lim. Umidade	4	0,11 NS	16,04 *	32,72 NS	526,17 NS	377,42*	0,00 NS	0,05 NS	0,60 NS	5,35 NS	3,10 ^{NS}		
Linear	1	0,06 NS	1,13 NS	28,57 NS	1610,91 **	1477,68**	0,00 NS	0,64 NS	0,02 NS	18,25 NS	11,73*		
Quadrático	1	0,00 NS	58,88 **	74,47 NS	288,59 NS	2,07 ^{NS}	0,00 NS	0,07 NS	1,02 NS	1,59 NS	0,37 ^{NS}		
K vs Lim. Umidade	16	0,48 NS	15,69 **	106,92 NS	529,31 **	142,23 ^{NS}	0,01 NS	0,15 **	2,53 NS	13,74 **	2,32 ^{NS}		
Tratamentos	24	0,36 NS	21,45 **	78,67 NS	580,71 **	176,28 ^{NS}	0,08 NS	0,20 **	1,84 NS	13,17 **	2,30 ^{NS}		
Erro	72	0,31	4,37	77,47	212,06	106,32	0,01	0,05	1,60	4,86	2,08		
Total	99												
C.V (%)		22.11	12.93	22.06	19.54	12,47	20.37	13.73	23.60	19.44	13,01		
Trat	K (mg L ⁻¹)	Lim. Umid (cm ³ cm ⁻³)	Médias (g)										
			30 DAT	60 DAT	90 DAT	110 DAT	120 DAT	30 DAT	60 DAT	90 DAT	110 DAT	120 DAT	
1	50	0,20	2,80 A	18,80 A	46,43 A	86,99 A	97,15 A	0,60 A	1,79 A	6,38 A	13,23 A	2,12 A	A
2	50	0,15	2,58 A	17,68 A	34,68 A	76,50 A	82,78 B	0,58 A	1,70 A	4,87 A	11,79 A	1,37 A	A
3	50	0,13	2,03 A	14,78 B	38,94 A	72,60 B	86,20 A	0,46 A	1,59 A	5,35 A	10,69 B	1,31 A	A
4	50	0,11	2,52 A	19,27 A	38,37 A	86,30 A	82,21 B	0,55 A	1,88 A	5,24 A	13,14 A	1,16 A	A
5	50	0,09	2,41 A	18,81 A	41,27 A	76,05 A	74,82B	0,54 A	1,93 A	5,54 A	12,28 A	9,99 A	A
6	100	0,20	2,11 A	17,81 A	38,99 A	94,67 A	80,68 B	0,50 A	1,65 A	5,24 A	13,62 A	0,42 A	A
7	100	0,15	2,58 A	17,48 A	37,67 A	70,56 B	93,16 A	0,47 A	1,72 A	5,17 A	11,21 B	2,01 A	A
8	100	0,13	2,51 A	16,92 A	44,00 A	61,96 B	85,59 A	0,48 A	1,72 A	6,22 A	9,63 B	1,26 A	A
9	100	0,11	2,05 A	15,77 B	35,30 A	65,27 B	87,54 A	0,48 A	1,62 A	4,50 A	10,04 B	1,39 A	A
10	100	0,09	2,90 A	20,12 A	37,21 A	86,72 A	85,33 A	0,55 A	1,80 A	5,20 A	12,84 A	1,18 A	A
11	150	0,20	2,23 A	18,86 A	41,52 A	87,61 A	90,04 A	0,50 A	1,78 A	5,48 A	11,75 A	1,65 A	A
12	150	0,15	2,53 A	15,19 B	32,40 A	86,23 A	80,14 B	0,51 A	1,51 B	4,00 A	13,52 A	0,51 A	A
13	150	0,13	2,67 A	18,04 A	37,67 A	78,64 A	90,48 A	0,59 A	1,69 A	5,30 A	12,51 A	2,08 A	A
14	150	0,11	2,68 A	17,45 A	43,23 A	72,77 B	75,14 B	0,54 A	1,85 A	6,25 A	10,44 B	9,98 A	A
15	150	0,09	2,92 A	22,44 A	48,55 A	80,74 A	73,21 B	0,48 A	2,12 A	6,79 A	12,75 A	9,79 A	A
16	200	0,20	2,33 A	16,95 A	34,76 A	69,84 B	92,15 A	0,42 A	1,21 B	4,57 A	9,92 B	1,55 A	A
17	200	0,15	3,16 A	16,05 B	48,95 A	65,39 B	93,55 A	0,53 A	1,64 A	6,48 A	10,03 B	2,28 A	A
18	200	0,13	2,77 A	15,26 B	38,26 A	58,30 B	81,01 B	0,53 A	1,61 A	4,97 A	9,11 B	0,81 A	A
19	200	0,11	2,66 A	15,52 B	41,21 A	83,87 A	75,79 B	0,51 A	1,44 B	5,71 A	12,52 A	0,36 A	A
20	200	0,09	2,08 A	12,77 B	36,83 A	51,90 B	87,12 A	0,48 A	1,21 B	4,78 A	7,97 B	1,92 A	A
21	250	0,20	2,89 A	16,78 A	47,44 A	78,21 A	88,76 A	0,60 A	1,72 A	6,02 A	12,64 A	1,78 A	A
22	250	0,15	2,28 A	11,94 B	37,59 A	62,02 B	72,74 B	0,52 A	1,18 B	4,89 A	9,25 B	9,75 A	A
23	250	0,13	2,31 A	17,01 A	39,66 A	93,02 A	82,03 B	0,48 A	1,60 A	5,37 A	14,69 A	0,71 A	A
24	250	0,11	2,65 A	15,12 B	40,02 A	59,80 B	90,83 A	0,55 A	1,61 B	5,23 A	9,33 B	2,11 A	A
25	250	0,09	2,69 A	13,93 B	36,46 A	57,13 B	77,50 B	0,48 A	1,34 B	4,82 A	8,72 B	0,28 A	A

**, * significativo a 1 e a 5% de probabilidade e ^{NS} não significativo

Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de scott knott a 5% de probabilidade

Ao final do primeiro ciclo, ficou evidenciado o efeito dos limites de umidade sobre as variáveis, massa fresca e seca das plantas de lisianthus no qual foi observada resposta linear significativa ($p < 0,05$) para essas variáveis em função dos valores de umidade do solo tido como limites para início da irrigação. Na Figura 32 verifica-se claramente o destaque das plantas submetidas à umidade limite de $0,20 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ em relação aos demais tratamentos. Para as médias de massa fresca (Figura 32A), registradas imediatamente após a colheita final, as plantas submetidas à maior frequência de fertirrigação apresentaram valores médios significativamente superiores na ordem de 6,33; 6,79; 9,81 e 12,77% em relação às plantas submetidas às umidades limite de 0,15, 0,13, 0,11 e $0,09 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, respectivamente.

Mesmo não apresentando diferenças significativas entre os limites de umidade para a variável massa seca (Figura 32B), esta apresentou redução linear com a redução dos valores de umidade do solo, tendo apresentado maiores valores médios de massa seca as plantas submetidas a maior umidade limite para início da fertirrigação. Farias (2006) obteve maior produção de matéria seca para o crisântemo submetido às tensões de 20 e 50 kPa e, conseqüentemente, maiores conteúdos médios de água no solo.

Figura 32. Massa fresca (A) e seca (B) das plantas de lisianthus em função da umidade limite para início da fertirrigação aos 120 DAT

Todos os valores médios de massa fresca das plantas foram considerados viáveis do ponto de vista comercial, visto que, para atender as exigências mínimas de mercado, é necessário que o buquê seja formado por no mínimo oito hastes e que apresente no mínimo 500 g de massa fresca. Como pode ser observado na Figura 38A, até mesmo as plantas submetidas às menores umidades limite produziram massa fresca suficiente para formar buquês com o número mínimo de hastes que atendem aos padrões comerciais.

Alves (2012), estudando produção e pós-colheita de variedades de lisianthus em ambiente protegido em período semelhante ao que foi conduzido o primeiro ciclo do presente estudo, obteve valores médios de massa fresca da ordem de 84,5, 73,6 e 55 g para as variedades BOLERO, BOREALIS E ECHO respectivamente, tendo estas apresentado duração de ciclo semelhante ao que foi encontrado nesta pesquisa. Já Backes et al., (2007), estudando diferentes soluções nutritivas no cultivo hidropônico do lisianthus de corte, obtiveram valores médios de massa fresca da parte aérea variando de 105,28 a 138,96 g.

Esses resultados reforçam a importância do manejo da fertirrigação no que diz respeito ao conteúdo limite de água no solo e consequentemente, à frequência de fertirrigação adotada na garantia da produção e da qualidade das hastes florais da cultura do lisianthus.

O acúmulo de massa fresca e seca ao longo do tempo (Figura 33) seguiu o comportamento da variável altura das plantas, ajustando-se satisfatoriamente aos modelos polinomiais de terceiro grau, modelos estes bastante utilizados na literatura para expressar o crescimento de um grande número de culturas.

Analisando a Figura 33B, verifica-se que as plantas de lisianthus apresentaram ritmo crescente de acúmulo de massa seca a partir dos 42 DAT até os 92 DAT. A partir dos 92 DAT as plantas entraram na fase de ritmo de crescimento decrescente, coincidindo com o período de desenvolvimento final dos botões florais apicais e início da abertura do botão lateral.

Figura 33. Curva de ajuste da resposta da massa fresca (A) e seca (B) das plantas de lisianthus em função do tempo durante o primeiro ciclo de cultivo.

4.2.3. Variáveis de produção

Na Tabela 9 estão detalhadas as análises de variâncias para as principais variáveis de rendimento total e de interesse comercial. Pode-se constatar a obtenção de resultados médios satisfatórios para as características de interesse comercial em comparação com outros produtores e com os dados encontrados na literatura para o cultivo do lisianthus. No entanto, verifica-se, por intermédio da análise estatística dos dados, que o manejo da concentração de potássio na solução do solo não influenciou de forma significativa as variáveis de produção e de qualidade das hastes de lisianthus.

Tabela 9. Resumo da análise de variância (ANAVA) e médias dos tratamentos para as características comerciais, PMB (peso médio do buquê comercial), DMH (diâmetro médio da haste), RC (rendimento comercial) e RT (rendimento total).

FV	G.L	Quadrado médio								
		PMB		DMH		RC		RT		
Bloco	3	2979,78	NS	2,48	**	0,43	NS	9,77	**	
K	4	1229,09	NS	0,17	NS	2,15	NS	0,35	NS	
Linear	1	1485,88	NS	0,23	NS	0,88	NS	0,21	NS	
Quadrático	1	2560,11	NS	0,01	NS	0,06	NS	0,02	NS	
Lim. Umidade	4	10927,24	*	0,11	NS	2,03	NS	1,15	NS	
Linear	1	41939,24	**	0,38	NS	3,15	*	4,37	**	
Quadrático	1	1011,34	NS	0,01	NS	0,45	NS	0,01	NS	
K vs Lim. Umidade	16	4425,12	NS	0,21	NS	0,34	NS	0,79	NS	
Tratamentos	24	6421,53	NS	0,14	NS	0,53	NS	0,78	NS	
Erro	72	4832,44		0,14		0,45		0,56		
Total	99									
C.V (%)		10,36		6,33		13,78		12,47		
Trat	K (ml L ⁻¹)	Um. Limite (cm ³ cm ⁻³)	Médias							
			(g)		(mm)		----- (kg m ⁻²) -----			
1	50	0,20	664,3	A	6,33	A	5,315	A	6,22	A
2	50	0,15	679,3	A	5,84	A	5,435	A	5,30	B
3	50	0,13	611,5	B	6,04	A	4,893	A	5,52	A
4	50	0,11	600,1	B	5,87	A	4,803	A	5,26	B
5	50	0,09	587,4	B	5,85	A	4,700	A	4,79	B
6	100	0,20	588,7	B	5,84	A	4,710	A	5,17	B
7	100	0,15	626,1	A	6,33	A	5,008	A	5,96	A
8	100	0,13	565,3	B	6,13	A	4,525	A	5,48	A
9	100	0,11	571,7	B	6,29	A	4,575	A	5,60	A
10	100	0,09	631,2	A	5,94	A	5,050	A	5,46	A
11	150	0,20	665,6	A	6,15	A	5,328	A	5,76	A
12	150	0,15	642,0	A	5,88	A	5,485	A	5,13	B
13	150	0,13	672,9	A	6,04	A	5,383	A	5,79	A
14	150	0,11	645,8	A	5,59	A	5,165	A	4,81	B
15	150	0,09	597,3	B	5,65	A	4,560	A	4,69	B
16	200	0,20	647,5	A	5,98	A	4,905	A	5,90	A
17	200	0,15	614,7	B	6,21	A	4,915	A	5,99	A
18	200	0,13	580,6	B	5,76	A	4,425	A	5,18	B
19	200	0,11	570,9	B	5,80	A	4,565	A	4,85	B
20	200	0,09	553,2	B	5,95	A	4,425	A	5,58	A
21	250	0,20	657,4	A	6,00	A	5,258	A	5,68	A
22	250	0,15	560,7	B	5,52	A	4,488	A	4,66	B
23	250	0,13	652,5	A	5,91	A	5,220	A	5,25	B
24	250	0,11	586,6	B	6,18	A	4,580	A	5,81	A
25	250	0,09	562,7	B	5,86	A	4,255	A	4,96	B

**, * significativo a 1 e a 5% de probabilidade e ^{NS} não significativo

Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de scott knott a 5% de probabilidade

Por outro lado, observa-se efeito significativo ($p < 0,05$) e isolado dos limites de umidade no solo para início da fertirrigação, o qual afetou de forma significativa o peso médio do buquê comercial (PMB) e que o peso destes reduziu linearmente ($p < 0,01$) com a redução dos valores de umidade do solo. Como se pode observar na Figura 34A, o peso médio do buquê comercial, formado por no mínimo oito hastes de 60 cm de comprimento e com pelo menos dois botões florais abertos, variou de 586,34 a 644,71 g.

Ao final do primeiro ciclo de cultivo obteve-se, em sua totalidade, como resultado do manejo da fertirrigação na cultura do lisianthus em ambiente protegido, hastes e buquês que atenderam aos padrões de qualidade mínima exigidos pelo mercado da floricultura de corte. Os buquês formados a partir de hastes florais das plantas submetidas às umidades limite superiores a $0,13 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ apresentaram pesos médios superiores em relação aos buquês resultantes das plantas submetidas às umidades de $0,11$ e $0,09 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ao longo do ciclo.

Figura 34. Peso médio do buquê comercial (A), diâmetro da haste (B), rendimento comercial e total (C) em função da umidade limite para início da irrigação.

Ainda na Figura 34, pode-se constatar que, mesmo não apresentando diferenças estatisticamente significativas, tanto o diâmetro médio da haste (DMH) quanto o rendimento em

produção de buques apresentaram ajuste linear significativo ($p < 0,05$) em função do conteúdo limite de água no solo, sendo observado redução nos valores médios destas variáveis acompanhou a redução dos valores de umidade do solo tidos como limites para início da irrigação.

O tratamento com umidade limite de $0,20 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ proporcionou maiores valores médios para o peso médio dos buquês comerciáveis (A), diâmetro médio das hastes (B), rendimento em hastes comerciáveis (C) e rendimento total (B), o que reforça a suposição de que a cultura do lisianthus, apesar de ser originária de regiões com características de deserto, responde satisfatoriamente a menores intervalos de umidade no solo (maior umidade limite) e, conseqüentemente, maior frequência de fertirrigação, o que garante maior produção e qualidade das hastes florais.

Lima (2013) concluiu que menores níveis de depleção de água no solo proporcionam maior produção da roseira e que, o estresse hídrico, mesmo que seja uma condição temporária a qual a planta está sujeita afeta negativamente a qualidade das hastes de rosas fertirrigadas em ambiente protegido. Já Oliveira (2012) afirma que os parâmetros qualitativos das hastes florais da roseira não foram influenciados negativamente pelo aumento da tensão de água no solo; no entanto, o autor concluiu que a produtividade da roseira decresceu com aplicação de tensões superiores a 15 kPa (menores valores de umidade no solo).

4.3. Resultados observados durante o segundo ciclo de cultivo do lisianthus

Na Figura 35 são mostrados os perfis do conteúdo de solução no solo representativos das diferentes concentrações de potássio, dentro de cada umidade limite respectivamente 0,20 (A), 0,15 (B), 0,13 (C), 0,11 (D) e $0,09 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ (E). Verifica-se que as concentrações de potássio na solução do solo não influenciaram a frequência de irrigação, sendo esta influenciada apenas pelo conteúdo limite de água no solo.

Figura 35. Conteúdo de água no solo nas diferentes concentrações de potássio na solução para os diferentes limites de umidade: 0,20 (A), 0,15 (B), (C), 0,11 (D) e 0,09 cm³ cm⁻³ (E).

Pode-se constatar concordância entre os perfis dentro de cada umidade limite e verificar-se que as diferenças entre os perfis podem ser justificadas pelas características heterogêneas do ambiente radicular da cultura, mesmo em condições extremamente controladas. Com isso, os perfis apresentados pelas diferentes concentrações de potássio na solução do solo foram agrupados dentro de cada fator umidade limite para início da fertirrigação, como pode ser visualizado na Figura 36. Nesta figura torna-se claro o comportamento da demanda hídrica da cultura ao longo do ciclo de cultivo, em função de cada umidade limite aplicada. Analisando um período total de 70 dias de cultivo, verifica-se as diferenças entre as frequências de fertirrigação

resultantes dos conteúdos limites de água no solo, e em função da fase de desenvolvimento da cultura.

Os tratamentos com umidades limite iguais a 0,20, 0,15, 0,13, 0,11 e 0,09 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ resultaram em intervalos médios entre fertirrigações (turno de rega médio) de aproximadamente 7, 11, 14, 17 e 23 dias respectivamente, para as condições em que foi realizado o segundo ciclo. Oliveira (2012), estudando as tensões de 15, 30, 45, 60 e 120 kPa, obteve turnos de rega equivalentes a 1, 3, 4, 4, 5 e 5 dias para a cultura da roseira.

Figura 36. Perfis médios do conteúdo volumétrico de água no solo para os diferentes limites de umidade aplicados ao longo do segundo ciclo de cultivo do lisianthus.

Assim como no primeiro ciclo, os perfis que relacionam a variação do conteúdo volumétrico de água com o tempo mostram de forma clara o ritmo de consumo de água pela cultura de acordo com as fases do desenvolvimento; além disso, permite a identificação do exato momento em que deve ser realizada a fertirrigação, bem como a quantificação da lâmina a ser aplicada.

A utilização da técnica TDR acoplada ao sistema de aquisição de dados (datalogger), além de possibilitar a obtenção de dados mediante a exposição da cultura do lisianthus a níveis críticos de umidade no solo, níveis estes que, não seria possível o registro de dados com a utilização de tensiômetros, permitiu o registro das variações instantâneas da umidade do solo. Polak e Wallach (2001) reforçam que o monitoramento preciso e contínuo das variações do conteúdo de água no solo em laboratório, em casa de vegetação e no campo são meios essenciais de investigar o consumo de água pelas plantas e fornecer bases para o manejo da irrigação mais eficiente.

Visando ilustrar a demanda hídrica do lisianthus cultivado sob o efeito de diferentes concentrações de potássio na solução do solo, e sob diferentes limites de umidade para início da fertirrigação, foram elaborados os perfis que representam as lâminas acumuladas em função do ciclo da cultura em dias. Na Figura 37 pode-se verificar os comportamentos dos perfis de lâminas

acumuladas das plantas submetidas às cinco concentrações de potássio (50, 100, 150, 200 e 250 mg L⁻¹), dentro de cada limite de umidade do solo estudado, 0,20 (A), 0,15 (B), 0,13 (C), 0,11 (D) e 0,09 cm³ cm⁻³ (E). Em todos os casos, a cultura do lisianthus expressou maior demanda hídrica a partir dos 40 dias após o transplântio. O mesmo comportamento foi observado pelas plantas submetidas às diferentes concentrações de potássio.

Figura 37. Consumo hídrico do lisianthus para as diferentes concentrações de potássio na solução dentro dos diferentes limites de umidade no solo: 0,20 (A), 0,15 (B), 0,13 (C), 0,11 (D) e 0,09 cm³ cm⁻³ (E).

As concentrações de potássio não influenciaram o número de fertirrigações dentro de cada limite de umidade estudado, sendo realizadas sete fertirrigações nas parcelas submetidas à $0,20 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ como limite inferior de umidade do solo e três nas parcelas submetidas aos limites de $0,15$, $0,13$ e $0,11 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, tendo estes, se diferenciado no momento da realização da primeira fertirrigação, aos 36, 40 e 45 DAT respectivamente. Já nas parcelas submetidas à umidade de $0,09 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ como limite inferior (Figura 37E), foram realizadas apenas duas fertirrigações, sendo a primeira aos 48 DAT.

O consumo hídrico acumulado para os diferentes limites de umidade do solo, considerando o valor médio entre as lâminas correspondentes às concentrações de potássio, pode ser analisado na Figura 38, na qual pode ser verificado que, as maiores lâminas acumuladas ao longo do ciclo foram aplicadas nas parcelas onde as plantas foram submetidas ao limite de umidade de $0,20 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, resultando na lâmina total de $210,95 \text{ mm}$, o que corresponde a um valor 26% superior a média das lâminas correspondentes aos limites de umidade de $0,15$, $0,13$, $0,11$ e $0,09 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. Como em cada operação de irrigação era realizada também a fertirrigação, a aplicação de uma maior lâmina de resultou também na aplicação de maior massa de fertilizantes, como pode ser observado na Tabela 10.

Figura 38. Consumo hídrico médio do lisianthus para os diferentes limites de umidade no solo

4.3.1. Aplicação de fertilizantes e monitoramento da solução do solo

Na Tabela 10 observa-se as doses totais de fertilizantes aplicados via fertirrigação durante o segundo ciclo do lisianthus. Como relatado anteriormente, as maiores doses foram proporcionais às maiores lâminas aplicadas. Os perfis que representam as doses acumuladas de potássio aplicado via fertirrigação (Figura 39) foram crescentes e apresentaram comportamento

uniforme ao longo do segundo ciclo do lisianthus. Os tratamentos com concentrações de potássio na solução igual a 50 e 100 mg L⁻¹ resultaram na aplicação de 140,03 e 163,53 kg ha⁻¹ de K⁺, enquanto que nos tratamentos 150 e 200 mg L⁻¹ foram aplicados 460,40 e 434,07 kg ha⁻¹, respectivamente. Esses dois grupos apresentaram perfis de doses acumuladas praticamente coincidentes, o que resultou em doses totais de K⁺ praticamente iguais. Já no caso em que buscava-se manter a concentração de potássio na solução do solo em torno de 250 mg L⁻¹, aplicou-se ao final do ciclo uma dose total (690,21 kg ha⁻¹) significativamente superior em relação aos demais tratamentos.

Figura 39. Doses acumuladas de potássio aplicadas via fertirrigação para a correção da concentração de potássio na solução do solo dentro da unidade limite de 0,20 cm³ cm⁻³.

No que se refere ao consumo acumulado dos outros macro (Figura 40A) e micronutrientes (Figura 40B), foram aplicadas doses semelhantes quando comparados os tratamentos com diferentes concentrações de potássio na solução do solo dentro do limite inferior de umidade igual a 0,20 cm³ cm⁻³. No caso dos macronutrientes, ao final do segundo ciclo, foram aplicados via fertirrigação em média 94,84, 72,25, 28,96, 22,66 e 13,99 kg ha⁻¹ de N, Ca, S, Mg e P respectivamente. Com relação aos micronutrientes, foram aplicados em média 462,47, 225,39, 186,29, 23,70, 8,07 e 5,21 g ha⁻¹ de Fe, Mn, B, Zn, Cu e Mo respectivamente.

Figura 40. Doses acumuladas de macro (A) e micronutrientes (B) aplicadas via fertirrigação para a umidade limite de 0,20 cm³ cm⁻³.

As doses de macro e microelementos aplicadas se mostraram adequadas para a condição em que a cultura foi submetida durante o segundo ciclo, sendo que não foram verificados sintomas de deficiência e sinais de toxicidade e, possivelmente, não houve comprometimento do ciclo de desenvolvimento das plantas em todos os tratamentos estudados.

Tabela 10. Doses totais de fertilizantes aplicadas via fertirrigação para um período de 70 dias de cultivo da cultura do lisianthus

Umidade limite (cm ³ cm ⁻³)	K ⁺ (mg L ⁻¹)	Lâmina (mm)	NO ₃ NH ₄	Ca(NO ₃) ₂ +4H ₂ O	NH ₄ H ₂ PO ₄	MgSO ₄ ·7H ₂ O	KCl	FeEDTA	H ₃ BO ₃	CuSO ₄ ·5H ₂ O	(NH ₄) ₆ Mo7O ₂₄	MnSO ₄	ZnSO ₄ ·7H ₂ O
			(kg ha ⁻¹)					(g ha ⁻¹)					
0.20	50	197,38	98,21	350,91	49,31	232,38	281,19	3208,65	983,43	29,17	8,33	670,90	104,18
	100	199,68	98,92	353,47	49,67	234,07	328,39	3232,09	990,62	29,38	8,40	675,80	104,94
	150	222,88	118,34	422,87	59,42	280,03	924,51	3866,66	1185,11	35,15	10,04	808,48	125,54
	200	200,43	94,73	338,50	47,56	224,16	871,63	3095,15	948,64	28,14	8,04	647,17	100,49
	250	234,37	121,93	435,69	61,22	288,52	1385,96	3983,87	1221,03	36,22	10,35	832,99	129,35
	Média	210,95	106,43	380,29	53,44	251,83	758,34	3477,28	1065,76	31,61	9,03	727,07	112,90
0.15	50	140,00	61,44	219,53	30,85	145,37	174,65	2007,30	615,22	18,25	5,21	419,71	65,17
	100	160,37	70,76	252,84	35,53	167,43	254,31	2311,87	708,57	21,02	6,00	483,39	75,06
	150	148,69	68,59	245,09	34,44	162,30	348,95	2241,08	686,88	20,37	5,82	468,59	72,76
	200	136,02	66,22	236,62	33,25	156,69	315,52	2163,61	663,13	19,67	5,62	452,39	70,25
	250	137,60	83,40	297,99	41,87	197,33	1482,04	2724,78	835,13	24,77	7,08	569,73	88,47
	Média	144,54	70,08	250,41	35,19	165,83	515,09	2289,73	701,79	20,82	5,95	478,76	74,34
0.13	50	156,66	74,76	267,14	37,54	176,90	227,23	1617,67	495,80	14,71	4,20	338,24	52,52
	100	168,47	80,09	286,17	40,21	189,51	267,43	2616,69	802,00	23,79	6,80	547,13	84,96
	150	166,03	81,71	291,97	41,03	193,35	485,08	2669,75	818,26	24,27	6,93	558,22	86,68
	200	161,45	75,54	269,92	37,93	178,75	534,97	2468,13	756,47	22,44	6,41	516,06	80,13
	250	155,80	71,13	254,17	35,72	168,32	287,16	2324,11	712,32	21,13	6,04	485,95	75,46
	Média	161,68	76,65	273,88	38,48	181,36	360,38	2339,27	716,97	21,27	6,08	489,12	75,95
0.11	50	165,28	82,49	294,76	41,42	195,19	119,75	2695,20	826,06	24,50	7,00	563,54	87,51
	100	166,40	84,07	300,40	42,21	198,93	346,72	2746,83	841,89	24,97	7,13	574,34	89,18
	150	170,15	84,95	303,54	42,65	201,01	532,86	2775,51	850,67	25,23	7,21	580,33	90,11
	200	177,79	93,90	335,52	47,15	222,18	739,73	3067,91	940,29	27,89	7,97	641,47	99,61
	250	184,34	92,70	331,25	46,55	219,36	766,27	3028,92	928,35	27,54	7,87	633,32	98,34
	Média	172,79	87,62	313,09	44,00	207,34	501,07	2862,87	877,45	26,03	7,44	598,60	92,95
0.09	50	140,89	50,37	179,99	25,29	119,19	50,37	1645,77	504,42	14,96	4,27	344,12	53,43
	100	146,58	68,67	245,36	34,48	162,48	226,00	2243,53	687,63	20,40	5,83	469,10	72,84
	150	142,30	69,89	249,75	35,09	165,39	312,86	2283,65	699,92	20,76	5,93	477,49	74,14
	200	136,24	59,41	212,28	29,83	140,57	363,53	1941,00	594,90	17,65	5,04	405,85	63,02
	250	159,24	69,21	247,31	34,75	163,77	552,30	2261,36	693,09	20,56	5,87	472,83	73,42
	Média	145,05	63,51	226,94	31,89	150,28	301,01	2075,06	635,99	18,86	5,39	433,88	67,37

Nas Figuras 41 e 42 são mostrados os perfis de concentrações de potássio na solução no solo (K^+) e de condutividade elétrica (CEes) obtidos a partir de extratores de cápsulas porosas instalados a 15 e 30 cm de profundidade durante a realização do segundo ciclo da cultura do lisianthus. Pode-se observar na Figura 41 que as concentrações de K^+ foram mantidas relativamente estáveis em relação a concentração inicial de cada tratamento, e garantindo-se o paralelismo entre os perfis ao longo de todo o ciclo da cultura.

Destaca-se o desempenho satisfatório do manejo das concentrações de K^+ na solução do solo com a utilização dos extratores de cápsulas porosas associadas ao monitoramento da umidade do solo com o sistema TDR e com a utilização da equação do balanço de massa (Equação 4) para o cálculo das doses de reposição das concentrações de potássio na solução do solo. Tavares (2005), estudando a cultura do pepino fertirrigada em substrato composto por fibra de coco constatou viabilidade do uso de extratores de solução do solo para o monitoramento da concentração de potássio na solução do substrato. Silva Júnior et al. (2010) e Oliveira et al. (2011) também chegaram a conclusão de que o uso de extratores de solução do solo apresenta-se como alternativa viável para o monitoramento iônico durante o ciclo da cultura.

Figura 41. Concentração de potássio (K^+) na solução do solo ao longo do ciclo da cultura do lisianthus a 15 (A) e a 30 (B) cm de profundidade para o limite de umidade de $0,20 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$.

Foi utilizado como fonte de K^+ o fertilizante KCl, que possui correlação linear positiva entre a concentração ($mg L^{-1}$) e a condutividade elétrica da solução de fertirrigação. Como consequência, a condutividade elétrica da solução do solo (CEes) foi diretamente influenciada pela concentração de potássio estabelecida pelos tratamentos. De acordo com Lima (2009), existe relação direta entre a concentração de íons aplicados no solo e a concentração desses íons na solução do solo coletada utilizando extratores providos de cápsulas porosas. Oliveira et al. (2011)

utilizaram extratores providos de cápsulas porosas para a determinação da condutividade elétrica da solução do solo e da concentração de potássio em dois tipos de solos; os autores destacaram a possibilidade de se estimar a CEes com precisão satisfatória a partir da solução coletada com extratores.

Como pode ser observado na Figura 42, os perfis de condutividade elétrica da solução do solo foram mantidos praticamente paralelos e praticamente estáveis ao longo do ciclo do lisianthus nas duas profundidades amostradas (15 e 30 cm). Medeiros (2007), manejando a fertirrigação da cultura do pepino utilizando solo franco arenoso, verificou que perfis de condutividade elétrica da solução apresentaram-se aproximadamente paralelos e horizontais, havendo um pequeno cruzamento apenas no final do ciclo, assim como foi verificado na presente pesquisa.

Figura 42. Condutividade elétrica da solução no solo (CEes) ao longo do ciclo da cultura do lisianthus a 15 (A) e 30 (B) cm de profundidade para o limite de umidade de $0,20 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$.

A solução de fertirrigação foi composta, além das concentrações crescentes de potássio que foram manejadas de acordos com os tratamentos, por macro e micronutrientes balanceados de acordo com a solução de Hoagland e Arnon (1950), diluída em 25% da solução original. Nas Figuras 43 e 44 encontram-se as representações dos teores de macro, micronutrientes e sódio na solução do solo, registradas ao longo do ciclo da cultura. Podem-se verificar valores médios de concentrações próximos quando se compara os tratamentos aplicados, resultado este bastante satisfatório, visto que o intuito da presente pesquisa foi variar apenas as concentrações de potássio na solução do solo e a umidade.

Em média, as concentrações de cálcio na solução do solo variaram de 93,41 a $153,19 \text{ mg L}^{-1}$, sendo o menor valor encontrado aos 45 DAT, coincidindo com a fase de

crescimento acelerado e com o início da emissão dos primeiro botões. Ainda na Figura 43, observa-se que, com exceção do potássio, a ordem de predominância de macronutrientes na solução do solo nas condições estudadas foi $\text{Ca} > \text{S} > \text{Mg} > \text{P}$. A concentração de sódio na solução do solo variou de 86,54 a 111,06 mg L^{-1} .

Figura 43. Concentrações de macronutrientes e sódio na solução do solo ao longo do ciclo da cultura do lisianthus cultivado sob para o limite de umidade de $0,20 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$.

Assim, como ficou determinado para os macronutrientes, a solução de micronutriente que foi utilizada para a fertirrigação da cultura do lisianthus também foi balanceada a partir da diluição da solução de Hoagland e Arnon (1950) em 25% da sua concentração original, e foi aplicada em todas as operações de fertirrigação durante o ciclo da cultura. Na Figura 44 pode ser observada a variação das concentrações de micronutrientes na solução do solo. Pode-se constatar comportamentos semelhantes entre os tratamentos (concentrações de potássio na solução do solo) no que se refere ao efeito sobre a concentração dos micronutrientes na solução do solo ao longo do período de cultivo. No entanto, merece destaque a variação da concentração dos dois micronutrientes mais exigidos pela cultura do lisianthus de acordo com Camargo et al. (2004), quais sejam, o ferro (Fe) e o boro (B).

As concentrações de potássio na solução não afetaram de forma expressiva a concentração de ferro na solução do solo (Figura 44A); no entanto, em todos os tratamentos foram constatadas variações na concentração de ferro com o avançar do crescimento e desenvolvimento do lisianthus, com valores médios variando de 90,34 a 169,37 $\mu\text{g L}^{-1}$. A concentração de ferro na solução apresentou um comportamento decrescente até os 40 DAT, quando atingiu seu valor mínimo, passando a apresentar comportamento crescente a partir dessa data. A concentração mínima de ferro na solução do solo coincide exatamente com o início da fase de crescimento mais ativo e com a transição para a fase reprodutiva, ou seja, com o período de maior exigência nutricional da cultura.

Por outro lado, as concentrações de boro na solução do solo mantiveram-se praticamente estáveis ao longo do ciclo (Figura 44B); no entanto, foi constatada diferença expressiva do tratamento que foi manejado com a menor concentração de potássio na solução do solo (50 mg L^{-1}) em relação aos demais tratamentos, o que parece destacar uma possível interação entre a variação da concentração de boro como resultado da variação de potássio na solução do solo. Pode-se ainda verificar que a relação entre a concentração entre os micronutrientes na solução do solo segue a seguinte ordem de grandeza; $\text{Fe} > \text{B} > \text{Zn} > \text{Mn} > \text{Cu} > \text{Mo}$.

Ao longo do segundo ciclo de cultivo não foi verificado qualquer sintoma por parte da cultura do lisianthus, no que se refere a deficiência nutricional ou sinais de toxicidade. Lao et al. (2004) relatam que os níveis de nutrientes da solução do solo devem ser conhecidos para se estabelecer aproximação apropriada ao manejo dos nutrientes. Com base nisso, pode-se destacar que o manejo da concentração de íons da solução do solo com o auxílio de extratores de capsulas porosas constitui-se em uma ferramenta de grande importância para a garantia do suprimento nutricional da cultura do lisianthus fertirrigado em ambiente protegido.

Figura 44. Concentrações de micronutrientes na solução do solo ao longo do ciclo da cultura do lisianthus cultivado sob o limite de umidade de $0,20 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$.

4.3.2. Monitoramento da fertilidade do solo

Na Figura 45 são mostrados perfis resultantes da determinação do conteúdo de potássio em amostras de solo coletadas aos 1, 30, 50 e 70 DAT. Observa-se, a partir dos perfis, que o manejo da concentração de potássio na solução do solo refletiu nos teores de potássio trocáveis

no solo em amostras coletadas a 15 e 30 cm ao longo do ciclo do lisianthus. Nas amostras de solo coletadas a 15 cm, os perfis que representam a variação do teor de potássio ao longo do ciclo da cultura mantiveram-se paralelos durante todo o período, tendo estes apresentado leve incremento no teor de potássio nas amostras coletadas aos 50 DAT. Na profundidade de 30 cm, os perfis apresentaram comportamentos semelhantes; contudo, foi observado um leve cruzamento dos perfis por volta dos 50 DAT.

Figura 45. Teores de K trocável (K^+) no solo ao longo do ciclo da cultura do lisianthus a 15 (A) e a 30 (B) cm de profundidade sob o limite de umidade de $0,20 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$.

No que diz respeito aos demais elementos no solo (macro e micronutrientes), verifica-se semelhanças nos comportamentos dos perfis ao longo do tempo para os tratamentos aplicados (Figuras 46 e 47). Isto evidencia que, a qualidade do manejo da fertirrigação permite manter as relações iônicas favoráveis ao desenvolvimento da cultura, tanto na solução quanto na fase sólida do solo. Vale salientar o destaque na variação da concentração do Ca^{2+} , Mg^{2+} , P, S e Na, nas amostras coletadas aos 50 DAT. Esta variação brusca, observada em todos os perfis dos respectivos elementos, pode ser explicada pela realização da amostragem de solo momentos depois da operação de fertirrigação, no qual, pode-se constatar que não ocorreu tempo necessário para que a solução do se redistribuísse ao longo das camadas e estabelecesse o equilíbrio com a fase sólida do solo.

Figura 46. Teores de cálcio (A), magnésio (B), fósforo (C), enxofre (D), sódio (E) e pH em cloreto de cálcio (F) no solo ao longo do ciclo da cultura do *Lisianthus* cultivado sob o limite de umidade de $0,20 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$.

Com relação à variação do conteúdo dos micronutrientes no solo em função do tempo de cultivo do *lisianthus* (Figura 57), foram observados também, resultados satisfatórios quanto à comparação entre os teores observados no solo. Os tratamentos com diferentes concentrações de potássio manejados na solução do solo não promoveram diferenças significativas nos teores de cada micronutriente. Pode-se, ainda, verificar que os teores de B, Cu e Zn foram mantidos estáveis em relação aos níveis iniciais. No entanto, foi observado comportamento diferenciado

para o Fe e o Mn em relação aos demais micronutrientes, tendo estes elementos, apresentado um comportamento decrescente ao longo do ciclo do lisianthus.

Figura 47. Teores de ferro (A), boro (B), cobre (C), zinco (D), manganês (E) e silício (F) no solo ao longo do ciclo da cultura do Lisianthus cultivado sob a umidade limite de 0,20 cm³ cm⁻³.

4.3.3. Absorção de nutrientes pelas plantas de lisiathus

Nas Figuras 48 e 49 são mostrados os perfis que representam os teores de macro e micro elementos na matéria seca de plantas de lisianthus submetidas a três concentrações de potássio ($K_1=50$, $K_3=150$ e $K_5=250$ mg L⁻¹) na solução do solo ao longo do ciclo de cultivo. No caso do teor de potássio, verificou-se leve aumento deste elemento na matéria seca em decorrência do aumento de sua concentração na solução do solo.

Figura 48. Teores de macronutrientes medidos em plantas de lisianthus para três concentrações de potássio na solução do solo ao longo do ciclo da cultura.

De uma forma geral, os teores de K, P, Ca, Mg e S encontrados na parte aérea do lisianthus sob manejo da concentração de potássio na solução do solo foram superiores aos teores encontrados por Camargo et al. (2004); já no caso do nitrogênio os teores encontrados não diferiram dos mesmos autores. Já Beckes et al. (2008), estudando diferentes soluções nutritivas no cultivo do lisianthus em sistema hidropônico NFT, verificaram teores de macro e micronutrientes semelhantes ao verificado na presente pesquisa. Esses resultados podem ser justificados pelo fato de que, no manejo da fertirrigação com base no monitoramento da concentração de íons ou da condutividade elétrica da solução do solo, a disponibilidade se aproxima da condição de cultivo em sistemas hidropônicos, no qual a solução nutritiva é renovada quando a sua concentração iônica decrescer em relação aos níveis ótimos para a cultura.

Figura 49. Teores de micronutrientes medidos em plantas de lisianthus para três concentrações de potássio na solução do solo ao longo do ciclo da cultura.

4.3.4. Variáveis de crescimento

Na Tabela 11 pode-se verificar o resumo da análise de variância e do teste de médias para a variável altura de planta ao longo do ciclo da cultura. Verifica-se efeito significativo dos limites de umidade no solo para esta variável a partir dos 50 DAT e que os maiores valores de

altura foram obtidos nas plantas submetidas à umidade limite de $0,20 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, enquanto que os menores valores foram observados para valores de umidades limites inferiores a $0,15 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ (Figura 50).

Tabela 11. Resumo da análise de variância (ANAVA) e do teste de médias para altura das plantas ao longo do segundo ciclo de cultivo do *Lisiantus*.

FV	G,L	Altura						
		30 DAT		50 DAT		70 DAT		
Bloco	3	11,99	*	13,82	NS	50,10	NS	
K	4	1,12	NS	9,20	NS	13,97	NS	
Linear	1	1,60	NS	22,81	NS	7,09	NS	
Quadrático	1	0,71	NS	5,11	NS	20,80	NS	
Lim, Umidade	4	0,47	NS	42,28	**	418,47	**	
Linear	1	0,46	NS	99,88	**	1833,833	**	
Quadrático	1	0,17	NS	6,89	NS	2,43	NS	
K vs Lim, Umidade	16	2,28	NS	14,94	NS	15,04	NS	
Tratamentos	24	1,79	NS	11,27	NS	92,60	**	
erro	72	3,39		11,27		22,08		
Total	99							
C,V (%)		11,74		6,45		6,32		
Tratamentos	K (mg L ⁻¹)	Lim, Umid (cm ³ cm ⁻³)	Médias (cm)					
1	50	0,20	16,71	A	53,69	A	85,33	A
2	50	0,15	15,88	A	52,04	A	74,04	B
3	50	0,13	14,64	A	52,71	A	77,29	A
4	50	0,11	15,19	A	49,84	A	71,54	B
5	50	0,09	17,00	A	49,79	A	67,84	B
6	100	0,20	15,19	A	53,59	A	80,67	A
7	100	0,15	15,88	A	52,13	A	76,75	A
8	100	0,13	15,94	A	52,55	A	75,04	B
9	100	0,11	14,50	A	51,36	A	72,92	B
10	100	0,09	16,38	A	49,68	A	66,04	B
11	150	0,20	16,19	A	53,99	A	80,00	A
12	150	0,15	15,19	A	45,45	A	74,79	B
13	150	0,13	15,81	A	53,45	A	75,67	A
14	150	0,11	16,69	A	53,39	A	73,71	B
15	150	0,09	15,69	A	50,35	A	68,50	B
16	200	0,20	16,14	A	53,66	A	81,21	A
17	200	0,15	16,09	A	52,63	A	73,83	B
18	200	0,13	15,94	A	52,54	A	69,67	B
19	200	0,11	15,76	A	54,44	A	72,58	B
20	200	0,09	14,88	A	49,95	A	67,88	B
21	250	0,20	14,89	A	53,71	A	81,50	A
22	250	0,15	16,15	A	55,59	A	76,08	A
23	250	0,13	15,38	A	53,09	A	72,25	B
24	250	0,11	15,49	A	52,49	A	74,46	B
25	250	0,09	14,81	A	49,68	A	70,17	B

**, * significativo a 1 e a 5% de probabilidade e NS não significativo

Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade

Aos 50 e 70 dias após o transplântio, a altura das plantas decresceu linearmente ($p < 0,01$) em função da redução dos valores de umidade limite para início da irrigação. Aos 70 DAT, a altura média das plantas fertirrigadas sob a umidade limite de $0,20 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ foi em média 6,95, 9,73, 12,51 e 15,50% superior aos valores médios de altura apresentados pelas plantas submetidas aos demais valores de umidade limite. Mesmo apresentando efeito significativo dos limites de umidade no solo sobre a altura das plantas de lisianthus cultivadas no período de novembro a fevereiro (segundo ciclo), as plantas atingiram alturas que permitiram a obtenção de hastes com comprimento que atendem aos padrões comerciais considerados adequados, pois Kameoka (1998) obteve, para a cultivar Echo, hastes de 70 a 80 cm na mesma região estudada. No entanto, a altura média das plantas obtida neste período foi significativamente inferior quando comparada com a altura das plantas cultivadas durante o período de junho a setembro (primeiro ciclo).

Figura 50. Altura das plantas aos 50 e 70 DAT em função da umidade limite para início da irrigação.

Pode-se verificar na Tabela 12 que, tanto a concentração de potássio na solução do solo quanto o conteúdo limite de solução no solo, influenciam de forma significativa o índice de área foliar da cultura do lisianthus. Aos 30 DAT o IAF se ajustou ao modelo polinomial de segundo grau quando submetido a diferentes concentrações de potássio na solução do solo, tendo o ponto de máximo para concentrações entre 100 e 150 mg L^{-1} (Figura 51A). Já aos 50 DAT, os valores de IAF decresceram linearmente ($p < 0,01$) em função da redução dos valores de umidade limite do solo, evidenciando o efeito da frequência de irrigação sobre o desempenho dessa variável (Figura 51B).

Tabela 12. Resumo da análise de variância (ANAVA) e médias para o índice de área foliar (IAF) medido ao longo do segundo ciclo de cultivo do lisianthus.

FV	G.L	IAF				
		30 DAT		50 DAT		
Bloco	3	0,130	**	0,06	NS	
K	4	0,020	**	0,17	**	
Linear	1	0,020	*	0,38	**	
Quadrático	1	0,010	*	0,04	NS	
Lim. Umidade	4	0,030	**	0,63	**	
Linear	1	0,08	**	1,76	**	
Quadrático	1	0,01	NS	0,11	NS	
K vs Lim. Umidade	16	0,020	**	0,20	**	
Tratamentos	24	0,030	**	0,26	**	
Erro	72	0,002		0,03		
Total	99					
C.V (%)		7.79		9.71		
Tratamentos	K (mg L ⁻¹)	Lim. Umid (cm ³ cm ⁻³)	Médias			
1	50	0,20	0,82	A	2,28	A
2	50	0,15	0,68	B	1,50	D
3	50	0,13	0,72	B	1,89	C
4	50	0,11	0,72	B	1,48	D
5	50	0,09	0,60	C	1,51	D
6	100	0,20	0,69	B	2,17	B
7	100	0,15	0,73	B	1,60	D
8	100	0,13	0,74	B	1,69	D
9	100	0,11	0,62	C	1,76	C
10	100	0,09	0,81	A	1,80	C
11	150	0,20	0,86	A	2,11	B
12	150	0,15	0,60	C	2,11	B
13	150	0,13	0,80	A	1,89	C
14	150	0,11	0,81	A	2,02	B
15	150	0,09	0,71	B	1,62	D
16	200	0,20	0,70	B	1,65	D
17	200	0,15	0,70	B	1,61	D
18	200	0,13	0,63	C	2,19	B
19	200	0,11	0,71	B	1,83	C
20	200	0,09	0,59	C	1,86	C
21	250	0,20	0,70	B	2,43	A
22	250	0,15	0,74	B	1,90	C
23	250	0,13	0,83	A	1,99	B
24	250	0,11	0,60	C	1,62	D
25	250	0,09	0,55	C	1,76	C

***, * significativo a 1 e a 5% de probabilidade e ^{NS} não significativo

Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de scott knott a 5% de probabilidade.

Figura 51. Índice de área foliar para a umidade limite de 0,09 cm³ cm⁻³ em função da concentração de potássio na solução do solo aos 30 DAT (A) e IAF em função da umidade limite para início da fertirrigação aos 50 DAT (B)

As variáveis, massa fresca e seca, foram influenciadas de forma significativa pelas umidades limites para início da fertirrigação a partir dos 50 dias transcorridos do transplantio da cultura (Tabela 17). Conforme mostrado na Tabela 13, foram observados maiores valores médios da massa fresca e seca para plantas submetidas a maiores frequências de fertirrigação (maior umidade limite) enquanto que os menores valores foram verificados para plantas submetidas a umidades interiores a 0,11 cm³ cm⁻³.

Tabela 13. Resumo da análise de variância (ANAVA) e do teste de médias para massas fresca e seca das plantas medidas ao longo do segundo ciclo de cultivo do *Lisiantus*.

FV	G.L	Massa fresca						Massa seca						
		30 DAT		50 DATA		70 DAT		30 DAT		50 DAT		70 DAT		
Bloco	3	2.81	**	39.93	**	45.33	NS	0.06	**	1.11	**	1.78	NS	
K	4	0.53	NS	22.05	*	13.64	NS	0.01	NS	0.30	*	0.36	NS	
Linear	1	0.00	NS	54.13	**	25.66	NS	0.01	NS	0.61	*	0.91	NS	
Quadrático	1	1.82	NS	7.64	NS	15.65	NS	0.01	NS	0.04	NS	0.20	NS	
Lim. Umidade	4	0.17	NS	137.47	**	1285.23	**	0.00	NS	1.48	**	21.63	**	
Linear	1	0,21	NS	535,12	**	4946,11	**	0,00	NS	5,82	**	85,36	**	
Quadrático	1	0,09	NS	3,13	NS	54,38	NS	0,00	NS	0,07	NS	0,08	NS	
K vs Lim. Umidade	16	0.26	NS	5.73	NS	24.69	NS	0.00	NS	0.09	NS	0.59	NS	
Tratamentos	24	0.29	NS	30.41	**	232.94	**	0.00	NS	0.36	**	4.06	**	
Erro	72	0.40	NS	7.18		36.01		0.01		0.10		0.81		
Total	99													
C.V.(%)		14.80		12.57		14.09		15.41		12.49		14.06		
Trat	K (mg L ⁻¹)	Lim. Umid (cm ³ cm ⁻³)	Médias											
			(g)											
1	50	0,20	4.39	A	22.96	A	58.14	A	0.51	A	2.75	A	8.59	A
2	50	0,15	3.85	A	21.25	B	41.75	C	0.44	A	2.48	B	6.28	B
3	50	0,13	4.27	A	21.00	B	47.86	B	0.47	A	2.53	B	7.09	A
4	50	0,11	4.35	A	19.70	B	39.56	C	0.46	A	2.30	B	6.03	B
5	50	0,09	4.17	A	16.39	C	32.84	D	0.45	A	2.21	B	5.33	C
6	100	0,20	4.13	A	23.55	A	54.95	A	0.45	A	2.70	A	8.21	A
7	100	0,15	4.51	A	20.52	B	44.94	B	0.47	A	2.47	B	6.59	B
8	100	0,13	4.35	A	20.76	B	38.50	C	0.47	A	2.40	B	5.67	C
9	100	0,11	4.09	A	18.53	C	40.37	C	0.44	A	2.15	B	6.13	B
10	100	0,09	4.53	A	17.14	C	31.64	D	0.51	A	2.16	B	5.27	C
11	150	0,20	4.45	A	26.36	A	50.25	B	0.51	A	3.06	A	7.43	A
12	150	0,15	4.28	A	21.57	B	45.81	B	0.48	A	2.65	A	6.85	A
13	150	0,13	4.27	A	21.44	B	43.90	C	0.44	A	2.52	B	6.52	B
14	150	0,11	5.05	A	23.52	A	41.92	C	0.54	A	2.89	A	6.37	B
15	150	0,09	4.35	A	18.77	C	30.87	D	0.45	A	2.23	B	5.06	C
16	200	0,20	4.66	A	26.72	A	54.31	A	0.49	A	3.07	A	7.89	A
17	200	0,15	4.53	A	22.00	B	43.06	C	0.46	A	2.75	A	6.67	B
18	200	0,13	4.41	A	21.16	B	42.93	C	0.46	A	2.51	B	6.44	B
19	200	0,11	4.37	A	21.20	B	37.36	C	0.45	A	2.45	B	5.56	C
20	200	0,09	4.40	A	18.66	C	32.65	D	0.47	A	2.25	B	5.21	C
21	250	0,20	4.59	A	26.15	A	52.88	A	0.46	A	3.05	A	7.88	A
22	250	0,15	3.96	A	24.66	A	46.62	B	0.42	A	3.03	A	7.03	A
23	250	0,13	4.16	A	21.45	B	41.23	C	0.43	A	2.54	B	5.99	B
24	250	0,11	4.07	A	18.64	C	38.30	C	0.45	A	2.30	B	5.75	C
25	250	0,09	3.76	A	18.79	C	32.21	D	0.39	A	2.16	B	5.01	C

**, * significativo a 1 e a 5% de probabilidade e ^{NS} não significativo

Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de scott knott a 5% de probabilidade

Os valores médios de massa fresca e seca das plantas de *lisianthus* cultivadas durante o segundo ciclo decresceram linearmente ($p < 0,01$) com a redução do conteúdo de água no solo, como pode ser observado na Figura 52. Aos 70 DAT os valores médios de massa fresca das plantas variaram de 54,10 a 32,04 g, resultando em um decréscimo de massa fresca na ordem de

41% das plantas fertirrigadas sob a umidade limite de $0,09 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ em relação às plantas com maior disponibilidade de água no solo ($0,20 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$).

Figura 52. Massas fresca (A) e seca (B) das plantas de lisianthus aos 50 e 70 DAT em função da umidade limite para o início da irrigação.

Almeida et al. (2016), avaliando o desenvolvimento da cultura do lisianthus em diferentes malhas de transmissão de luz em ambiente protegido nas condições de Piracicaba, obtiveram plantas com massa fresca das hastes variando de 41,30 a 60,62 g.

4.3.5. Variáveis de produção

Nas Tabelas 14 e 15 estão detalhadas as análises de variância para as variáveis de rendimentos totais e de interesse comercial referente ao segundo ciclo da cultura do lisianthus. Pode-se verificar que apenas as umidades limites para início da fertirrigação afetaram de forma significativa as características quantitativas e qualitativas da produção da cultura do lisianthus nas condições estudadas.

As principais variáveis de interesse comercial e de rendimento total apresentaram resposta linear significativa ($p < 0,01$) em função da redução dos valores de umidade limite, onde os melhores resultados foram obtidos quando a cultura do lisianthus foi submetida a maiores frequências de fertirrigação (Figura 53), o que evidencia a necessidade do manejo racional da umidade do solo quando se pretende obter hastes de qualidade e rendimento satisfatório nas condições estudadas.

Tabela 14. Resumo da análise de variância (ANAVA) e do teste de médias dos tratamentos para as características comerciais, PBC (peso médio do buquê comercial), NHC (número de hastes comerciais por buquê), PMHC (peso médio da haste comercial), RC (rendimento comercial) e NBC (número de buquês comerciáveis por unidade de área).

FV	G.L	Quadrado médio										
		PBC		NHC		PMHC		RC		NBC		
Bloco	3	217,16	NS	16,33	**	60,55	**	0,25	**	0,99	**	
K	4	30,42	NS	3,71	NS	15,55	NS	0,06	NS	0,25	NS	
Linear	1	5,35	NS	3,12	NS	9,89	NS	0,04	NS	0,16	NS	
Quadrático	1	40,43	NS	4,43	NS	22,34	NS	0,09	NS	0,36	NS	
Lim. Umidade	4	225,86	*	121,16	**	511,09	**	2,80	**	8,38	**	
Linear	1	784,27	**	428,56	**	1956,33	**	7,99	**	32,11	**	
Quadrático	1	42,44	NS	45,07	**	59,52	**	0,23	**	0,97	**	
K vs Lim. Umidade	16	121,95	NS	1,85	NS	5,40	NS	0,02	NS	0,08	NS	
Tratamentos	24	124,01	NS	22,04	**	91,37	**	0,37	**	1,49	**	
Erro	72	85,97		1,98		6,59		0,02		0,10		
Total	99											
C.V (%)		1.79		8.82		7.73		7.75		7.72		
Trat	K (mg L ⁻¹)	Lim. Umid (cm ³ cm ⁻³)	Medias									
			(g)		-		(g)		(kg m ⁻²)		-	
1	50	0,20	514,75	A	12,75	D	40,41	A	2,59	A	5,17	A
	50	0,15	516,26	A	14,75	C	35,06	B	2,25	B	4,49	B
3	50	0,13	513,67	A	15,00	C	34,31	B	2,20	B	4,39	B
4	50	0,11	522,94	A	17,25	B	31,14	C	2,00	C	3,99	C
5	50	0,09	511,38	A	19,75	A	26,12	D	1,67	D	3,34	E
6	100	0,20	515,80	A	13,00	D	39,88	A	2,55	A	5,11	A
7	100	0,15	517,36	A	15,75	C	32,93	B	2,11	B	4,21	C
8	100	0,13	522,12	A	15,50	C	33,72	B	2,16	B	4,32	B
9	100	0,11	514,57	A	17,25	B	30,06	C	1,93	C	3,85	C
10	100	0,09	511,02	A	20,75	A	25,03	D	1,60	D	3,21	E
11	150	0,20	517,47	A	13,00	D	39,99	A	2,56	A	5,12	A
12	150	0,15	527,12	A	15,25	C	34,73	B	2,22	B	4,45	B
13	150	0,13	518,03	A	15,25	C	34,16	B	2,19	B	4,37	B
14	150	0,11	515,59	A	16,50	B	31,60	C	2,02	C	4,04	C
15	150	0,09	516,18	A	19,25	A	27,12	D	1,74	D	3,47	E
16	200	0,20	529,56	A	13,75	D	38,79	A	2,48	A	4,97	A
17	200	0,15	513,03	A	15,00	C	34,30	B	2,20	B	4,39	B
18	200	0,13	520,35	A	16,75	B	31,25	C	2,00	C	4,00	C
19	200	0,11	506,96	A	15,75	C	32,38	C	2,07	C	4,15	C
20	200	0,09	511,10	A	20,25	A	25,44	D	1,63	D	3,26	E
21	250	0,20	527,31	A	12,75	D	41,43	A	2,65	A	5,30	A
22	250	0,15	513,06	A	13,50	D	38,05	A	2,43	A	4,87	A
23	250	0,13	517,96	A	15,00	C	34,79	B	2,23	B	4,45	B
24	250	0,11	512,45	A	17,25	B	29,79	C	1,91	C	3,81	C
25	250	0,09	512,25	A	18,25	B	28,28	D	1,81	D	3,62	E

*** significativo a 1 e a 5% de probabilidade e ^{NS} não significativo

Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade

Tabela 15. Resumo da análise de variância (ANAVA) e do teste de médias dos tratamentos para MFH (massa fresca da haste), NHB (número de hastes comerciais por buquê), RC (rendimento total), NBC (número de buquês por unidade de área), DMH (diâmetro médio da haste) e CH (comprimento da haste).

FV	G.L	Quadrado médio												
		MFH		NHB		RT		NB		DMH		CH		
Bloco	3	45,33	NS	5,37	NS	0,18	NS	0,74	NS	0,62	**	50,10	NS	
K	4	13,64	NS	1,03	NS	0,06	NS	0,22	NS	0,06	NS	13,97	NS	
Linear	1	25,66	NS	1,38	NS	0,10	NS	0,42	NS	0,11	NS	7,09	NS	
Quadrático	1	15,65	NS	1,27	NS	0,06	NS	0,25	NS	0,01	NS	20,80	NS	
Lim. Umidade	4	1285,23	**	111,82	**	5,26	**	21,04	**	2,16	**	481,47	**	
Linear	1	4946,11	**	403,27	**	20,26	**	76,75	**	8,57	**	1833,83	**	
Quadrático	1	54,35	NS	34,62	**	0,22	NS	1,46	NS	0,03	NS	2,43	NS	
K vs Lim. Umidade	16	24,69	NS	1,70	NS	0,10	NS	0,40	NS	0,06	NS	15,04	NS	
Tratamentos	24	232,94	**	19,94	**	0,95	**	3,81	**	0,40	**	92,60	**	
Erro	72	36,01		2,96		0,14		0,58		0,08		22,08		
Total	99													
C,V (%)		14,09		14,00		14,10		14,09		6,06		6.32		
Trat	K (mg L ⁻¹)	Lim, Umid (cm ³ cm ⁻³)	Médias											
			(g)		-		(kg m ⁻²)		-		(mm)		(cm)	
1	50	0,20	58,14	A	8,71	D	3,72	A	7,44	A	5,28	A	85,33	A
2	50	0,15	41,75	C	12,03	C	2,67	C	5,34	C	4,69	B	74,04	B
3	50	0,13	47,86	B	10,48	D	3,06	B	6,13	B	4,98	A	77,29	A
4	50	0,11	39,56	C	12,96	B	2,53	C	5,06	C	4,54	B	71,54	B
5	50	0,09	32,84	D	15,38	A	2,10	D	4,20	D	4,24	B	67,84	B
6	100	0,20	54,95	A	9,29	D	3,52	A	7,03	A	5,33	A	80,67	A
7	100	0,15	44,94	B	11,16	C	2,88	B	5,75	B	4,86	A	76,75	A
8	100	0,13	38,50	C	13,24	B	2,46	C	4,93	C	4,53	B	75,04	B
9	100	0,11	40,37	C	12,85	B	2,58	C	5,17	C	4,61	B	72,92	B
10	100	0,09	31,64	D	15,89	A	2,02	D	4,05	D	4,33	B	66,04	B
11	150	0,20	50,25	B	10,00	D	3,22	B	6,43	B	5,18	A	80,00	A
12	150	0,15	45,81	B	11,04	C	2,93	B	5,87	B	4,84	A	74,79	B
13	150	0,13	43,90	C	11,48	C	2,81	C	5,62	C	4,68	B	75,67	A
14	150	0,11	41,92	C	12,33	C	2,68	C	5,37	C	4,65	B	73,71	B
15	150	0,09	30,87	D	16,54	A	1,98	D	3,95	D	4,30	B	68,50	B
16	200	0,20	54,31	A	9,32	D	3,48	A	6,95	A	5,18	A	81,21	A
17	200	0,15	43,06	C	11,91	C	2,76	C	5,51	C	4,71	B	73,83	B
18	200	0,13	42,93	C	11,84	C	2,75	C	5,50	C	4,72	B	69,67	B
19	200	0,11	37,36	C	13,41	B	2,39	C	4,78	C	4,47	B	72,58	B
20	200	0,09	32,65	D	15,67	A	2,09	D	4,18	D	4,37	B	67,88	B
21	250	0,20	52,88	A	9,67	D	3,38	A	6,77	A	5,00	A	81,50	A
22	250	0,15	46,62	B	10,78	C	2,98	B	5,97	B	4,93	A	76,08	A
23	250	0,13	41,23	C	12,31	C	2,64	C	5,28	C	4,61	B	72,25	B
24	250	0,11	38,30	C	13,34	B	2,45	C	4,90	C	4,39	B	74,46	B
25	250	0,09	32,21	D	15,66	A	2,06	D	4,12	D	4,31	B	70,17	B

**, * significativo a 1 e a 5% de probabilidade e NS não significativo

Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de scott knott a 5% de probabilidade

Figura 53. Número de hastes por buquê (NHB), massa fresca da haste (MFH), rendimento em haste (RH), rendimento em buquês (RB), diâmetro médio da haste (DMH) e comprimento das hastes (CH) em função da umidade limite para início da irrigação.

Levando-se em consideração que após a colheita as plantas foram padronizadas para formar hastes com padrão de tamanho comercial de 60 cm, pôde-se constatar efeitos significativos dos limites de umidade, ao passo que, foi necessário para a formação do buquê, um número significativamente menor de hastes provenientes das plantas fertirrigadas com sob a umidade limite de 0,20 cm³ cm⁻³ em relação às plantas fertirrigadas com umidades limites a partir de 0,15 cm³ cm⁻³. O número menor de hastes para a formação de um buquê comercial com no

mínimo 500 g foi consequência da massa fresca média das hastes comerciais provenientes do tratamento com umidade limite de $0,20 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, que se apresentou superior em 17,44, 20,81, 27,57 e 40,62% à massa média das hastes oriundas das umidades limites de 0,15, 0,13, 0,11 e $0,09 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ respectivamente.

Além da maior massa média, as plantas fertirrigadas com umidade de $0,20 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ proporcionaram a obtenção de hastes com diâmetro médio de até 7,7; 9,3; 12,69 e 16,94% superior em relação aos demais tratamentos, considerando as umidades decrescentes até $0,09 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. O diâmetro médio das hastes associado à maior massa média, assim como o comprimento total das hastes, por possibilitarem a padronização das mesmas para a formação do buquê comercial, resultaram para a umidade no solo de $0,20 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ um rendimento comercial de $2,56 \text{ kg m}^{-2}$, sendo este 12,68, 18,43, 27,05 e 44,20% superior aos rendimentos apresentados quando foram adotados os limites inferiores de umidade de 0,15, 0,13, 0,11 e $0,09 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ para o início da fertirrigação, respectivamente.

Realizando-se uma análise comparativa entre os dois ciclos de cultivo, sendo o primeiro compreendido entre o início de junho até o final de setembro (outono-inverno), e o segundo realizado entre novembro e o início de fevereiro (primavera-verão), ficou caracterizado como diferenças marcantes as condições microclimáticas em que a cultura do *lisianthus* foi submetida. A elevação das temperaturas mínimas bem como das temperaturas noturnas, associadas ao fotoperíodo maior.

Sob as condições microclimáticas das casas de vegetação durante o primeiro ciclo a variedade Casa Blanca completou seu ciclo aos 120 dias (ciclo de outono-inverno) e apresentou rendimento comercial (massa de hastes comerciais produzidas por unidade de área) igual a $5,10 \text{ kg m}^{-2}$. Já no segundo ciclo (ciclo de primavera-verão), a variedade Excalibur completou seu ciclo aos 70 dias após o transplântio e apresentou rendimento comercial igual a $2,56 \text{ kg m}^{-2}$ nas condições em que foi realizada a pesquisa.

5. CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos pela pesquisa, foi possível concluir que:

- Apesar de ser uma cultura originária de ambiente com características desérticas, o lisianthus cultivado em ambiente protegido responde satisfatoriamente bem à manutenção da umidade do solo em níveis elevados;
- A cultura do lisianthus fertirrigada sob limite inferior de umidade igual a $0,20 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ apresentou as melhores características de crescimento e produção em termos qualitativos e quantitativos;
- Condições de estresse hídrico, mesmo quando temporários, afetam negativamente a produção e a qualidade das hastes florais do lisianthus.
- As características de rendimento e de qualidade das hastes florais da cultura do lisianthus fertirrigada em ambiente protegido não foram influenciadas pelas concentrações de potássio na solução do solo estudadas;
- 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;
- O monitoramento contínuo do conteúdo de água no solo com a TDR possibilitou precisão no cálculo da lâmina de irrigação e na determinação do momento certo para início da fertirrigação da cultura do lisianthus em ambiente protegido.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, P.E.P.; DURÃES, F.O.M. **Uso e manejo da irrigação**. Brasília: Embrapa, 2008. 528 p.
- ALMEIDA, J. M.; CALABONI, C.; RODRIGUES, P. H. V. Lisianthus cultivation using differentiated light transmission nets. **Ornamental Horticulture**, v.22, n.2, p.143-146, 2016.
- ALVES, Camila **Magalhães Lampeiras. Produção e pós-colheita de lisianthus cultivado em ambiente protegido**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2012. 50f.
- BACKES, F. A. A. L.; BARBOSA, J. G.; BACKES, R. L.; RIBEIRO, J. M. O.; MORITA, R. M. Produção de lisianthus (*Eustoma grandiflorum* Shinn.) em vaso sob diferentes densidades de plantas. **Acta Sci. Agron.** Maringá, v. 27, n. 2, p. 237-241, April/June, 2005.
- BACKES, F. A. A. L.; BARBOSA, J. G.; BACKES, R. L.; RIBEIRO, J. M. O.; FINGER, F. L.; BARBOSA, M. S. Cultivo de lisianto para flor-de-corte sob diferentes tipos de poda. **Bioscience Jornal**, Uberlândia, v.24, n.3, p. 60-65, 2008.
- BACKES, F. A. A. L.; BARBOSA, J. G.; CECON, P. R.; GROSSI, J. A. S.; BACKES, R. L.; FINGER, F. L. Cultivo hidropônico de lisianto para flor de corte em sistema de fluxo laminar. **Pesquisa agropecuária brasileira**. Brasília, v.42, n.11, p.1561-1566, nov. 2007.
- BLANCO, F.F.; FOLEGATTI, M.V. Manejo da água e nutrientes para o pepino em ambiente protegido sob fertirrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 251-255, 2002.
- BRITO, A. S.; PAULO LEONEL LIBARDI, P. L.; MOTA, J. C. A.; MORAES, S. O. Desempenho do tensiômetro com diferentes sistemas de leitura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, n.1, p.17-24, 2009.
- BURGUEÑO, H. **La fertirrigación en cultivos hortícolas con acolchado plástico**. Culiacán: BURSAR, 1996. v.1, 45p.
- CAMARGO, A.P. **Desenvolvimento de um controlador de irrigação para áreas experimentais**. 2012. 110p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012
- CAMARGO, M.S.; SHIMIZU, L.K.; SAITO, M.A.; KAMEOKA, C.H.; MELLO, S.C.; CARMELLO, Q.A.C. Crescimento e absorção de nutrientes pelo lisianthus (*Eustoma grandiflorum*) cultivado em solo. **Horticultura Brasileira**, v.22, p.143-146, 2004.
- COSTA, J. P. V.; BARROS, N. F. de; BASTOS, A. L. and ALBUQUERQUE, A. W. de. **Fluxo difusivo de potássio em solos sob diferentes níveis de umidade e de compactação**. Revista brasileira engenharia agrícola ambiental. [online]. 2009, vol.13, n.1, pp. 56-62.
- 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.

FARIAS, M. F. de. **Manejo da irrigação na cultura do crisântemo (*Dendranthema grandiflorum* Ramat Kitamura) de corte cultivado em ambiente protegido**. 2006. x, 93 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista - Faculdade de Ciências Agrônômicas, 2006.

GRUSZYNSKI, C. **Informações básicas para cultivo Comercial do Lisianthus ou Eustoma para corte**. Gramado, RS, 2007. Acesso em 25 de setembro de 2013.

HANKINS, A. **Lisianthus (*Eustoma grandiflorum*), a new species for the cut flower market**, 2004. Disponível: <<http://www.ext.vt.edu/news/periodicals/commhort/2002-01-03.html>>. Acesso em: 23 fev. 2013.

HEIMOVAARA, T. J., FOCKE, A. G., BOUTEN, W., VERSTRANTEN, J. M. Assessing temporal variations in soil water composition with time domain reflectometry. **Soil Science Society of America Journal**, v.59, p.689-698, 1995.

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.

INSTITUTO BRASILEIRO DE FLORICULTURA - IBRAFLOR. Mercado Interno 12.2014. Holambra, SP: IBRAFLOR, 2015. Disponível em: <<http://www.ibraflor.com/publicacoes/vw.php?cod=234>>. Acesso em: setembro de 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE FLORICULTURA. Números do setor: Gargalos da floricultura. Campinas: IBRAFLOR, 2013. Disponível em: <http://www.ibraflor.com/ns_mer_interno.php>. Acesso em: 30 de fev. 2013.

KAMEOKA, C. H. **Manejo da cultura do lisianthus (*Eustoma grandiflorum*)**. (Relatório final de residência agrônoma) Piracicaba: ESALQ, 1998. 54p.

KATSOULAS, N.; KITTAS, C.; DIMOKAS, G.; LYKAS, Ch. Effect of irrigation frequency on rose flower production and quality. **Biosystems Engineering**, v.93, n.2, p.237-244, 2006.

LAO, M. T.; JIMÉNEZ, S.; EYMAR, E.; FERNÁNDEZ, E. J. Nutrient levels of the solution obtained by means of suction cups in intensive tomato cultivation. **Phyton**, v.4, p.29-37, 2004.

LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo: EDUSP, 2005. 335 p.

LIMA, C. J. G. de S. **Calibração e manejo de extratores de cápsulas porosas e transdutores de pressão para monitoramento de íons na fertirrigação**. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009. 109p.

LIMA, C. J. G. S. **Manejo da fertirrigação no cultivo da roseira em ambiente protegido**. 2013. 168p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

MALAVOLTA E; VITTI G.C; OLIVEIRA S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2 ed. Piracicaba: POTAFOS (Associação brasileira de pesquisa da potassa e do fosfato), 1997. 317p.

MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. San Diego: Academic Press, 2 ed., 1997.

MEDEIROS, P. R. F. **Manejo da fertirrigação em ambiente protegido visando o controle da salinidade para a cultura do pepino enxertado**. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2007. 82p.

MORAES, N.B.; MEDEIROS, J.F.; LEVIEN, S.L.A. & OLIVEIRA, A.M.S. Avaliação de cápsulas de cerâmica de instrumentos de medida de tensão usados em tensiômetros. **R. Bras. Eng. Agríc. Amb.**, 10:58-63, 2006

MOUNZER O.; MENDOZA R. H., ABRISQUETA J. M., RUIZ-SÁNCHEZ M. C.; VERA J. Radio de influencia, calibración y aplicación de los sensores FDR de medida de la humedad. **Revista Internacional de Agua y Riego**, v.26, p. 40-43, 2006

MUALEN, Y.; FRIEDMAN, S.P. Theoretical prediction of electrical conductivity in saturated and unsaturated soil. **Water Resources Research**, Washington, v.27, n.10, p.2771-2777, 1991.

NACHTIGALL, G.R.; RAIJ, B. van. Análise e interpretação do potássio no solo. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T.L. (Ed.). **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa de Potássio e do Fósforo, 2005. cap. 5, p.93-118.

NELL, T.A.; BARRET, J.E.; LEONARD, R.T. Production factor affecting post production quality of flowering potted plants. **HortScience**, v. 32, p. 817-819, 1997.

NOVAIS, R. F.; Alvarez, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, 1017 p

OCESP . **Mapeamento e Quantificação da Cadeia de Flores e Plantas Ornamentais do Brasil** / [coordenação e organização Marcos Fava Neves; Mairun Junqueira Alves Pinto]. – São Paulo: OCESP, 2015.

OLIVEIRA, E.C. **Irrigação da roseira cultivada em sistema de produção integrada: viabilidade técnica e econômica**. 2012. 186p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal de Lavras, 2012.

OLIVEIRA, F. A.; MEDEIROS, J. F.; DUARTE, S. N.; SILVA JÚNIOR, M. J.; CAMPELO, C. M. Calibração de extratores providos de cápsula porosa para monitoramento da salinidade e da concentração de íons. **Engenharia Agrícola**, v.31, p.520-528, 2011

OLIVEIRA, R.H.; ROSOLEM, C.A. & TRIGUEIRO, R.M. Importância do fluxo de massa e difusão no suprimento de potássio ao algodoeiro como variável de água e potássio no solo. **R. Bras. Ci. Solo**, 28:439-445, 2004.

PAPADOPOULOS, I. Fertirrigação: situação atual e perspectivas para o futuro. In: FOLEGATTI, M.V. (Ed.) **Fertirrigação: citrus, flores, hortaliças**. Guaíba: Agropecuária, 1999. p.11-84.

PERSSON, M.; UVO, C.B. Estimating soil solution electrical conductivity from time domain reflectometry measurements using neural networks. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v.273, n.1-4, p.249-256, 2003.

POLAK, A.; WALLACH, R. Analysis of soil moisture variations in an irrigated orchard root zone. **Plant and Soil**, v. 233, n. 2, p. 145-159, 2001.

PRIETO, M. H.; LÓPEZ, J.; BALLESTEROS, R. Influence of irrigation system and strategy of the agronomic and quality parameters of the processing tomatoes in Extremadura. **Acta Horticulturae**, Leuven, v. 487, p. 575-579, 1999.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas Instituto Agrônômico, 2001. 285p

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. Editora Manole LTDA. São Paulo, Brasil. 188 p, 1990.

RHOADES, J. D.; RAATS, P. A. C.; PRATHER, R. J. Effects of liquid-phase electrical conductivity, water content, and surface conductivity on bulk soil electrical conductivity. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 40, n. 5, p. 651-655, 1976

RHOADES, J.D.; MANTEGHI, N.A.; SHOUSE, P.J.; ALVES, W.J. Soil electrical conductivity and salinity: New formulations and calibrations. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.53, n.2, p.433-439, 1989.

RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: US Department of Agriculture, 1954. 160p.. USDA Agricultural Handbook, 60.

RICHARDS, L.A.. Methods for mounting porous plates used in soil moisture measurement. **Agronomy Journal**, Madison, v. 41, p. 489-490, 1949.

RIVERA-HERNANDEZ, B.; CARRILLO-AVILA, E.; OBRADOR-OLAN, J. J.; ACEVES-NAVARRO, L. A. Morphological quality of sweet corn (*Zea mays* L.) ears as response to soil moisture tension and phosphate fertilization in Campeche, Mexico. **Agricultural Water Management**, v. 97, p. 1365–1374, 2010.

SANTANA, G.S.; COELHO, E.F.; SILVA, T.S.M.; RAMOS, M.M. Relação entre potássio na solução do solo, umidade e condutividade elétrica aparente do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 2, p. 142-151, 2007.

SANTOS, M.R.; MARTINEZ, M.A.; MATOS, A.T.; OLIVEIRA, R.A.; ZONTA, J.H. Uso da reflectometria no domínio do tempo para avaliar a distribuição de nitrato em colunas de solo fertirrigados. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v. 4, n. 3, p. 67- 81, 2009.

SEBRAE/RN. **Cadeia produtiva de flores e plantas ornamentais na grande Natal (RN)**. Natal, 2008.

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.

SHOCK, C.C., FEIBERT, E.B.G., SAUNDERS, L.D. (2000a) Irrigation criteria for drip-irrigated onions. *HortScience* 35:63–66.

SILVA JÚNIOR, M. J.; DUARTE S. N.; OLIVEIRA, F. A.; MEDEIROS, J. F.; DUTRA, I. I. Resposta do meloeiro à fertirrigação controlada através de íons da solução do solo: Parâmetros produtivos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.723-729, 2010.

SILVA, E. C.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; AZEVEDO NETO, A. D.; SANTOS, V. F. Comportamento estomático e potencial da água da folha em três espécies lenhosas cultivadas sob estresse hídrico. **Acta botânica brasileira**. Porto Alegre, v.17, n.2, p.231-246. 2003.

SILVA, E.M. **Cultivo de roseira em ambiente protegido sob níveis de salinidade do solo**. 2013. 94p. Tese (Doutorado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013

SILVA, E.M.; LIMA, C.J.G.S; DUARTE, S.N; BARBOSA, F.S.; MASCHIO, R. Níveis de salinidade e manejo da fertirrigação sobre características da berinjela cultivada em ambiente protegido. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 1, p. 150-158, 2013.

SOUZA, C.F.; FOLEGATTI, M.V. Spatial and temporal characterization of water and solute distribution patterns. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.67, n.1, p.9-15, 2010.

SOUZA, C.F.; FOLEGATTI, M.V.; MATSURA, E.E.; OR, D. Calibração da reflectometria no domínio do tempo (TDR) para a estimativa da concentração da solução no solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.1, p.282-291, 2006.

TAVARES, A. C. S. **Manejo da fertirrigação e controle da salinidade para a cultura do pimentão (*Capsicum annum*) utilizando medidores de íons da solução do substrato**. 2005. 101p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

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.

van GENUCHTEN, M. T. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, p. 892-898, 1980.

VETANOVETZ, R.P. Tissue analysis and interpretation. In: REED, D.W. Water, media and nutrition for greenhouse crops. **Batavia**: Ball Publishing, 1996. cap.9, p.197-219.

VOGELER, I.; CLOTHIER, B.E.; GREEN, S.R.; SCOTTER, D.R.; TILLMAN, R.W. Characterizing water and solute movement by TDR and disk permeametry. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.60, n.1, p.5-12, 1996.

WANG, D., KANG, Y.H., WAN, S.Q., 2007. Effect of soil matric potential on tomato yield and water use under drip irrigation condition. **Agricultural Water Management** 87, 180–186.

WANG, F.X., KANG, Y.H., LIU, S.P., HOU, X.Y. (2007b) Effects of soil matric potential on potato growth under drip irrigation in the North China Plain. **Agr. Water Mgt.** 88:34-42.

Zeng, Q. & H.P. Brown. 2000. Soil potassium mobility and uptake by corn under differential soil moisture regimes. **Plant and Soil** 221: 121-134.

APÊNDICES

APÊNDICE A. Estabelecimento das concentrações de potássio da solução do solo para a realização do primeiro ciclo.

Devido a atrasos na instalação e calibração, bem como na avaliação do sistema de monitoramento da umidade do solo e da condutividade elétrica da solução do solo, houve a necessidade de adiantamento do transplântio da cultura em relação a etapa de estabelecimento das concentrações de potássio na solução do solo. Com isso, a aplicação das soluções correspondentes às concentrações de potássio, bem como o início do monitoramento das tensões de água no solo se deu apenas aos 55 dias após o transplântio, ou seja, praticamente na metade do primeiro ciclo da cultura.

Como descrito anteriormente, foi adotada a solução nutritiva indicada para cultivo hidropônico de plantas recomendada por Hoagland e Arnon (1950). Trata-se de uma solução balanceada no que diz respeito à relação entre cátions e ânions, sendo considerada muito abrangente, podendo ser recomendada para uma grande quantidade de culturas e diversos sistemas de produção.

Para o balanceamento da solução nutritiva, bem como o suprimento de macronutrientes, foram utilizados sais fertilizantes simples de alta solubilidade e baixo teor de impurezas, sendo estes recomendados para aplicação via fertirrigação. 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 dos sais fertilizantes, de potássio (K^+), sódio (Na^+) e os valores de condutividade elétrica (CE) e pH da solução de fertirrigação podem ser observados na Tabela 16.

Ainda na Tabela 5, pode-se constatar que a condutividade elétrica da solução de fertirrigação (CE) variou de 1,09 a 1,64 dS m^{-1} , sendo constatado incremento linear em função do aumento da concentração de potássio suprido pelo KCl na solução, fato este explicado pelo elevado índice salino que este sal possui. Pôde-se verificar, também, que o pH das soluções com diferentes concentrações de potássio sofreu pouca influência do aumento das concentrações de KCl e que os valores de pH da solução ficaram próximos da neutralidade, o que demonstra que a solução resultante do balanceamento recomendado por Hoagland e Arnon (1950), bem as fontes fertilizantes utilizadas mantiveram as relações entre cátions e ânions equilibradas.

Tabela 16. Concentração média de fertilizantes e características das soluções de fertirrigação.

Fertilizante	K1	K2	K3	K4	K5
	mg L ⁻¹				
KCl	100,402	200,803	301,205	401,606	502,008
NO ₃ NH ₄	58,918	58,918	58,918	58,918	58,918
Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	210,525	210,525	210,525	210,525	210,525
NH ₄ H ₂ PO ₄	29,583	29,583	29,583	29,583	29,583
MgSO ₄ ·7H ₂ O	139,413	139,413	139,413	139,413	139,413
FeEDTA 13%	1,925	1,925	1,925	1,925	1,925
H ₃ BO ₃	0,590	0,590	0,590	0,590	0,590
CuSO ₄ ·5H ₂ O	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018
(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
MnSO ₄	0,403	0,403	0,403	0,403	0,403
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063
Solução	K1	K2	K3	K4	K5
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

O procedimento de estabelecimento das concentrações de potássio de acordo com os tratamentos estabelecidos se deu com a aplicação das soluções em quantidades correspondentes ao número de volumes de poros do solo da parcela. Na Figura 54 são mostrados os perfis de umidade e de condutividade elétrica da solução do solo registrados com o auxílio da TDR no momento da realização dos ciclos de fertirrigação, com as concentrações potássio correspondentes a 100 (A), 150 (B), 200 (C) e 250 mg L⁻¹ (D). Devido a uma paralisação do sistema de aquisição de dados, não foi possível registrar os perfis de umidade e a condutividade elétrica para o tratamento com a concentração de potássio equivalente a 50 mg L⁻¹.

A aplicação das soluções se deu durante um período contínuo de 7 horas; podem ser observados na figura a seguir os ciclos de saturação e drenagem resultantes da aplicação das soluções no solo das parcelas.

Figura 54. Perfis de conteúdo volumétrico de água no solo e da condutividade elétrica medida pelo TDR durante a aplicação de aproximadamente dois volumes de poros das soluções com diferentes concentrações de potássio; 100 (A), 150 (B), 200 (C) e 250 mg L⁻¹ (D).

Durante a realização dos ciclos de fertirrigação para o estabelecimento das concentrações de potássio na solução do solo, foram coletadas amostras das soluções drenadas em diferentes tempos de aplicação. Esse procedimento foi realizado com o intuito de registrar a evolução da condutividade elétrica e a da concentração de potássio na solução drenada, em função do aumento do volume de solução aplicado.

As amostras foram analisadas posteriormente em laboratório, o que possibilitou verificar que, mesmo 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 da solução de fertirrigação (Figura 55).

Ainda na Figura 55, pode-se constatar maior diferença entre a solução de fertirrigação e a solução drenada na concentração de potássio para todos os tratamentos, o que permite afirmar que o volume de solução correspondente a duas vezes o número de volume de poros da parcela não foi suficiente para o estabelecimento das concentrações de potássio da solução do solo estabelecidas pelos tratamentos (K1=50 mg L⁻¹, K2=100 mg L⁻¹, K3=150 mg L⁻¹, K4=200 mg L⁻¹ e K5=250 mg L⁻¹).

Figura 55. 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).

Finalizado os ciclos de fertirrigação, que objetivaram elevar a concentração de potássio na solução do solo para aquelas anteriormente planejadas para os tratamentos, pode-se quantificar as doses totais de fertilizantes aplicadas durante o processo (Tabela 17). De todos os fertilizantes aplicados, foram verificadas variações significativas nas doses de KCl e consequentemente nas doses de K^+ aplicadas, sendo estas dependentes das concentrações nas soluções de fertirrigação. Nesse caso, as doses totais de K^+ aplicadas, variaram de 177,99 a 889,99 kg ha^{-1} .

Tabela 17. Doses de fertilizantes aplicadas para estabelecimento das concentrações de potássio na solução do solo.

Fertilizante	K1	K2	K3	K4	K5
	kg ha ⁻¹				
KCl	357,427	714,854	1072,281	1429,708	1787,135
NO ₃ NH ₄	210,587	210,587	210,587	210,587	210,587
Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	752,473	752,473	752,473	752,473	752,473
NH ₄ H ₂ PO ₄	105,736	105,736	105,736	105,736	105,736
MgSO ₄ ·7H ₂ O	498,298	498,298	498,298	498,298	498,298
FeEDTA 13%	6,880	6,880	6,880	6,880	6,880
H ₃ BO ₃	2,109	2,109	2,109	2,109	2,109
CuSO ₄ ·5H ₂ O	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063
(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018
MnSO ₄	1,439	1,439	1,439	1,439	1,439
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	0,223	0,223	0,223	0,223	0,223
Dose de Potássio	K1	K2	K3	K4	K5
kg ha ⁻¹	177,999	355,997	533,996	711,995	889,993
g parcela ⁻¹	16,774	33,547	50,321	67,095	83,868
g planta ⁻¹	0,280	0,559	0,839	1,118	1,398

Quando a umidade do solo atingiu a umidade limite de aproximadamente 0,20 cm³ cm⁻³, umidade esta correspondente a um dos tratamentos da pesquisa, foi realizada a coleta de amostras de solução do solo por meio dos extratores de cápsula porosa. A aplicação do vácuo nos extratores foi realizada em um período de 12 horas antecedentes ao momento da realização da coleta da solução. As amostras de solução do solo foram levadas para o laboratório, onde foram determinados os valores de condutividade elétrica (CE) por meio de condutivímetro de bancada e de concentração de potássio (K⁺) por meio de um fotômetro de emissão de chama. Os valores de CE e K⁺ foram corrigidos para a umidade da pasta saturada, utilizando Equação. 3, 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 56).

Figura 56. 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.

Como observado na Figura 56A, 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.

APÊNDICE B. Estabelecimento das concentrações de potássio na solução do solo para a realização do segundo ciclo.

O início das atividades do segundo ciclo se deu com a aplicação das soluções de potássio para o estabelecimento das concentrações definidas pelos tratamentos ($K1=50\ mg\ L^{-1}$, $K2=100\ mg\ L^{-1}$, $K3=150\ mg\ L^{-1}$, $K4=200\ mg\ L^{-1}$ e $K5=250\ mg\ L^{-1}$). Para isso, as parcelas foram cobertas com plástico mulching dupla face, com o intuito de evitar a evaporação, e em seguida foram realizadas as fertirrigações. Esta operação consistiu na aplicação de um volume de solução correspondente a 1,5 vezes o volume de poros do solo da parcela para cada tratamento. Nesta ocasião, o objetivo foi estabelecer a condição experimental (concentração de potássio na solução do solo) antes do transplante referente ao segundo ciclo. As concentrações médias de fertilizantes para o suprimento dos macro e micronutrientes, bem como a concentração de potássio (K^+), sódio (Na^+) e os valores de condutividade elétrica (CE) e pH das soluções de fertirrigação são mostradas na Tabela 18.

Tabela 18. Concentração média de fertilizantes e características da solução de fertirrigação.

Fertilizantes	K1	K2	K3	K4	K5
	mg L ⁻¹				
KCl	100,402	200,803	301,205	401,606	502,008
NO ₃ NH ₄	58,918	58,918	58,918	58,918	58,918
Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	210,525	210,525	210,525	210,525	210,525
NH ₄ H ₂ PO ₄	29,583	29,583	29,583	29,583	29,583
MgSO ₄ ·7H ₂ O	139,413	139,413	139,413	139,413	139,413
FeEDTA 13%	1,925	1,925	1,925	1,925	1,925
H ₃ BO ₃	0,590	0,590	0,590	0,590	0,590
CuSO ₄ ·5H ₂ O	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018
(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
MnSO ₄	0,403	0,403	0,403	0,403	0,403
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063
Solução	K1	K2	K3	K4	K5
K ⁺ (mg L ⁻¹)	64,750	116,000	162,000	212,000	270,000
Na ⁺ (mg L ⁻¹)	78,700	76,100	70,000	76,000	75,000
CE (dS m ⁻¹)	1,201	1,330	1,405	1,611	1,733
pH	6,760	6,810	6,840	6,700	7,090

As aplicações das soluções nas parcelas foram acompanhadas do monitoramento do conteúdo volumétrico de água e da condutividade elétrica da solução do solo, como pode ser observado na Figura 57, que mostra o resultado das leituras do TDR durante um período de aproximadamente 60 horas, após o último ciclo de aplicação das soluções com diferentes concentrações de potássio.

Figura 57. Perfis de conteúdo volumétrico de água no solo (A) e de condutividade elétrica da solução do solo medida com o TDR (B) após a aplicação das soluções de fertirrigação com diferentes concentrações de potássio.

Assim como no processo realizado para o estabelecimento da condição da solução do solo no início do primeiro ciclo, após a aplicação das soluções de fertirrigação foi possível quantificar as doses totais de potássio (K^+) e dos demais fertilizantes aplicados no processo (Tabela 19).

Tabela 19. Doses de fertilizantes para estabelecimento das concentrações de potássio na solução do solo.

Fertilizante	K1	K2	K3	K4	K5
	kg ha ⁻¹				
KCl	294,000	588,000	882,000	1176,000	1470,000
NO ₃ NH ₄	173,217	173,217	173,217	173,217	173,217
Ca(NO ₃) ₂ +4H ₂ O	618,944	618,944	618,944	618,944	618,944
NH ₄ H ₂ PO ₄	86,973	86,973	86,973	86,973	86,973
MgSO ₄ ·7H ₂ O	409,873	409,873	409,873	409,873	409,873
FeEDTA 13%	5,660	5,660	5,660	5,660	5,660
H ₃ BO ₃	1,735	1,735	1,735	1,735	1,735
CuSO ₄ ·5H ₂ O	0,051	0,051	0,051	0,051	0,051
(NH ₄) ₆ Mo7O ₂₄	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015
MnSO ₄	1,183	1,183	1,183	1,183	1,183
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	0,184	0,184	0,184	0,184	0,184
Dose de Potássio	K1	K2	K3	K4	K5
kg ha ⁻¹	146,412	292,824	439,236	585,648	732,060
g parcela ⁻¹	13,797	27,594	41,391	55,188	68,985
g planta ⁻¹	0,230	0,460	0,690	0,920	1,150

Transcorrido um período de 60 horas após a conclusão da aplicação das soluções, sendo verificadas baixas taxas de variação do conteúdo volumétrico de água no tempo para o solo em questão (Figura 57A), foi realizada a aplicação de vácuo nos extratores de solução. Passado um período de 12 horas após a aplicação de vácuo nos extratores, as amostras de solução do solo foram coletadas e analisadas quanto à concentração de potássio e à condutividade elétrica dos tratamentos referentes às diferentes concentrações de potássio. Posteriormente foi realizada a correlação entre os valores observados e esperados para estas duas variáveis (Figura 58).

Figura 58. Relação entre os valores esperados e obtidos para a concentração de potássio (A) e condutividade elétrica da solução do solo (B). Valores corrigidos para a umidade da pasta saturada.

Foi realizada a comparação dos valores de condutividade elétrica da solução do solo medida com um condutivímetro de bancada com os valores de CE estimados pela TDR, sendo os valores obtidos com as duas metodologias correlacionados com a concentração de potássio na solução do solo (Figura 59)

Figura 59. Condutividade elétrica em função da concentração de potássio na solução do solo. Valores corrigidos para a umidade da pasta saturada.

Após a aplicação de soluções correspondente a 1,5 vezes o volume de poros do solo da parcela, pode-se obter boa aproximação das concentrações de potássio e da condutividade elétrica medida com os valores esperados. Além disso, ficou evidenciada a forte correlação entre a concentração de potássio e a condutividade elétrica na solução do solo medida por meio da TDR (Figura 59), o que possibilitou boa precisão nas estimativas.