

DINÂMICA DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DA SOLUÇÃO DO SOLO EM ARROZ IRRIGADO POR GOTEJAMENTO COM ÁGUA SALINA

VINICIUS CAMPANA BENASSI¹, TAMARA MARIA GOMES², LUANA CAROLINA MENEGASSI³, FABRÍCIO ROSSI⁴,

¹ Mestrando em engenharia de sistemas agrícolas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, vinicius.benassi@usp.br.

² Eng. Agrônoma, Professora Associada, Departamento de Engenharia de Biosistemas, FZEA/USP, Pirassununga, SP

³ Eng. de Biosistemas, Doutora em Engenharia de Sistemas Agrícolas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

⁴ Eng. Agrônomo, Professor Associado, Departamento de Engenharia de Biosistemas, FZEA/USP, Pirassununga, SP.

Apresentado no
LII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2023
18 a 21 de outubro de 2023 – Ribeirão Preto - SP, Brasil

RESUMO: O cultivo do arroz, tradicionalmente, é conhecido por consumir grande volume de água, quando se utiliza a irrigação por inundação. Uma alternativa a essa demanda hídrica é o uso de águas de menor qualidade, do tipo salina, assim como a substituição da aplicação de água por superfície por sistemas localizados, como gotejamento. Este estudo teve como objetivo avaliar o comportamento da condutividade elétrica da solução do solo nas diferentes fases do cultivo de arroz irrigado por gotejamento subsuperficial com água salina em diferentes doses, em duas umidades do solo (capacidade de campo e saturação). As fases de enchimento de grãos e maturação do arroz foram influenciadas pelas doses de sais e pela umidade do solo. A salinidade da solução do solo não diferiu do controle para a dose de 1 dS m⁻¹ e 2 dS m⁻¹ na capacidade de campo e de 1 dS m⁻¹ na saturação. Ao longo do ciclo de cultivo, a umidade do solo na capacidade de campo concentrou os sais no bulbo do gotejador e na saturação o efeito foi de lixiviação, embora nesta condição o volume de sais aplicado tenha sido maior.

PALAVRAS-CHAVE: extrator de solução, capacidade de campo, saturação.

DYNAMICS OF THE ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF THE SOIL SOLUTION IN RICE IRRIGATED BY DRIPPING WITH SALINE WATER

ABSTRACT: Rice cultivation is traditionally known to consume a large volume of water when flood irrigation is used. An alternative to this water demand is the use of lower quality water, as the saline type, as well as the replacement of surface water application by localized systems, such as dripping. The aim of this study was to evaluate the behavior of the electrical conductivity of the soil solution in the different phases of irrigated rice cultivation by subsurface dripping with saline water at different doses, in two soil moistures (field capacity and saturation). Grain filling and rice maturation phases were influenced by salt doses and soil moisture. The salinity of the soil solution did not differ from the control for the dose of 1 dS m⁻¹ and 2 dS m⁻¹ in field capacity and 1 dS m⁻¹ in saturation. Throughout the crop cycle, soil moisture at field capacity concentrated the salts in the dripper bulb and at saturation the effect was leaching, although in this condition the volume of salts applied was higher.

KEYWORDS: soil solution extractors, field capacity, saturation.

INTRODUÇÃO: Com uma grande produção no Brasil a cultura do arroz se divide em cultivo de sequeiro e irrigado. A irrigação por inundação é predominante, porém as perdas de água por percolação profunda são elevadas, podendo chegar a uma lâmina total de 12670 mm de água aplicada (PINTO et al., 2023).

Frente a este cenário, faz-se necessário a utilização de novas tecnologias para reduzir as perdas e melhorar o desempenho produtivo da cultura. A utilização da irrigação localizada é uma alternativa para reduzir o consumo da água, possibilitando uma redução de até 42% das perdas de água por hectare, quando comparado com a irrigação por inundação (SHARDA et al., 2017).

Além de melhorar o uso da água pela adoção de sistemas de irrigação mais eficientes, a utilização de água salina, como uma fonte alternativa às fontes de água destinadas ao consumo humano propõe um uso mais racional dos recursos hídricos, uma vez que efeitos da salinidade são muito comuns na agricultura.

Por outro lado, plantas cultivadas sob condições salinas sofrem por distúrbios causados nos processos fisiológicos e bioquímicos, resultando em menores produtividades, pela redução no crescimento de suas raízes, e na absorção de nutrientes e água (FRUKH et al., 2020).

O monitoramento da salinidade da solução do solo, por meio de extratores, surge como uma ferramenta para acompanhamento da dinâmica dos sais, como forma de prever o efeito às plantas (CARLOS et al., 2015).

Portanto, por meio deste estudo buscamos compreender a dinâmica de sais no solo com cultivo do arroz, sob aplicação de baixo volume de irrigação, de forma rápida e não invasiva, pela medida da condutividade elétrica obtida pela extração da solução do solo.

MATERIAL E MÉTODOS: O experimento foi realizado em ambiente protegido, na Faculdade Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA/USP), no Departamento de Engenharia de Biosistemas, Pirassununga-SP.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial $(2 \times 4) + 2$ (duas testemunhas), com três repetições, sendo duas condições de umidades do solo (saturação-SAT e capacidade de campo-CC) e quatro doses de salinidade, referente a condutividade elétrica (CE): 1 dS m^{-1} (1CE), 2 dS m^{-1} (2CE), 3 dS m^{-1} (3CE) e 4 dS m^{-1} (4CE). Os tratamentos testemunhas foram: irrigação com água potável mantendo a umidade do solo na capacidade de campo (0CE-CC) e irrigação com água potável, com umidade de solo na saturação (0CE-SAT).

As parcelas experimentais totalizaram 30 unidades, constituídas de caixas de fibra de vidro com 1 m^2 de área superficial e 500 L de volume.

A solução salina foi preparada em caixa d'água de 500 litros. O volume útil para cálculo da concentração foi de 330 litros. O preparo da solução foi para a condição superior de condutividade elétrica (4 dS m^{-1}), no qual foi utilizada a concentração de $2,30 \text{ g L}^{-1}$ de sal (cloreto de sódio).

O sistema de irrigação adotado foi de gotejamento subsuperficial, onde cada parcela recebeu quatro linhas de tubo gotejadores, enterradas a 0,15 m de profundidade, com 1 m de comprimento. Os tratamentos e as fontes de águas (água potável e salina) foram individualizados por válvulas solenóides e moto-bomba. A programação de irrigação foi realizada por painel controlador e cada tratamento obteve o volume de irrigação aplicado, registrado por hidrômetro.

O manejo da irrigação foi realizado, com base na determinação da umidade do solo, por tensiômetros instalados na parte central da parcela experimental, na profundidade de 0,20 m. A leitura de tensão foi realizada por tensímetro digital e os valores de tensão foram convertidos em umidade pela curva característica de retenção da água no solo, determinada

por mesa de tensão e câmara de Richards, no Laboratório de física do solo e qualidade de água do Departamento de Recursos Naturais e Proteção Ambiental/Centro de Ciências Agrárias/UFSCAR. Os dados obtidos foram ajustados pelo software SWRC (DOURADO et al., 2000) versão 3.00, modelo de Van Genuchten (1980).

Os extratores de cápsulas porosas foram instalados no centro de cada parcela, com a cápsula a 0,20 m de profundidade em relação à superfície do solo e a 0,15 m de distância dos tensiômetros, com verificação de umidade do solo no momento da coleta. A solução de solo foi mensalmente avaliada por condutivímetro de bancada, determinando a CE da solução.

Para a avaliação da produtividade de grãos, por ocasião da colheita das plantas, foi utilizada a Equação 1, o número de panículas (NP) foi determinado contando as panículas na área útil da parcela (duas linhas centrais), multiplicando o valor por dois e o peso de mil grãos (MG) foi determinado através da pesagem de 1000 grãos cheios, com teor de umidade ajustado para 13%.

$$PG = NP * NE * FE * MG * 0.01 \quad (1)$$

em que,

PG - produtividade de grãos (kg ha^{-1});

NP - número de panículas por m^2 ;

NE - número de espiguetas por panícula;

FE - porcentagem de fertilidade de espiguetas;

MG - peso de 1000 grãos (g).

Para as variáveis analisadas foram realizadas análises da variância e, nos casos em que foram verificadas diferenças significativas ($P < 0,05$), foi realizada comparações das médias entre tratamentos, pelo teste de Tukey, além de uma análise de regressão para a CE da solução do solo em função das doses para identificar o comportamento ao longo do tempo. As análises foram realizadas no software SISVAR 5.3 (FERREIRA, 2011) e Minitab 18.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Quando observado os valores das lâminas de irrigação, em função da umidade do solo, a CC apresentou economia média de água de 64%, quando comparada com a umidade na SAT, na qual o maior volume de água aplicada ocorreu no tratamento 0CE para a SAT (956 mm) e a maior economia ocorreu para o tratamento 2CE na CC (485 mm) (Figura 1).

Coltro et al. (2017), avaliaram o desempenho da irrigação por gotejamento subsuperficial, em relação a irrigação por inundação. Na irrigação por inundação foi aplicado uma lâmina de 1400 mm, à medida que a lâmina de irrigação por gotejamento apresentou uma economia de água de 42%, quando comparado com o sistema de inundação. Sharda et al. (2017), evidencia resultados similares quando o sistema de irrigação adotado foi o gotejamento, apresentando uma economia de 42% de água em comparação ao sistema de inundação.

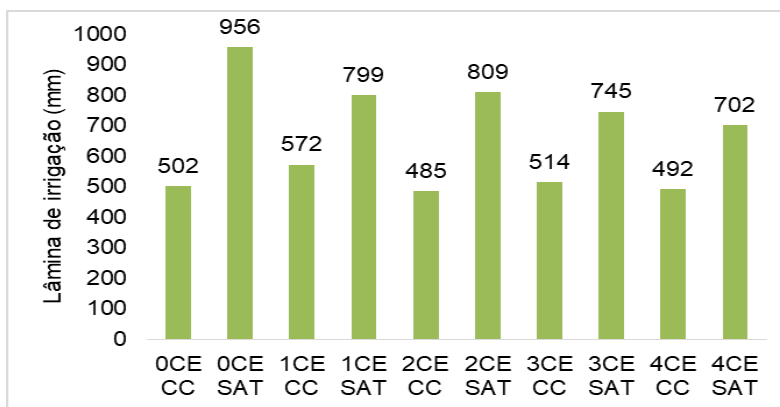


FIGURA 1. Lâmina total de irrigação (mm) em função da dose de condutividade elétrica (CE) e as umidades (saturação– SAT e capacidade de campo- CC).

O gráfico de contorno apresentado pela Figura 2 apresenta o comportamento da condutividade elétrica (CE) da solução do solo no tempo em função das doses aplicadas. Na dose de 3 CE observa-se que a condutividade da solução do solo aumenta depois de um período de 60 dias dentro do sistema. Porém, uma concentração de 4 CE, altera a condutividade elétrica em um período mais curto, mostrando efeitos da salinidade logo que a aplicação teve início.

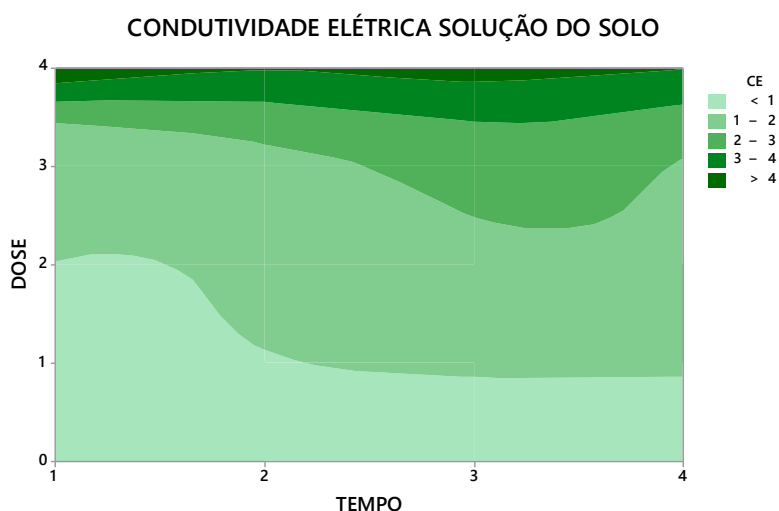


FIGURA 2. Gráfico de contorno da condutividade elétrica (CE) da solução do solo em relação as doses, nas fases de desenvolvimento do arroz (tempo).

A medida que a concentração se eleva, os valores presentes no solo se assemelham ao contido na dose, como esperado, doses maiores possuem maior potencial para a alteração da CE do solo, como mostrado pela Figura 3.

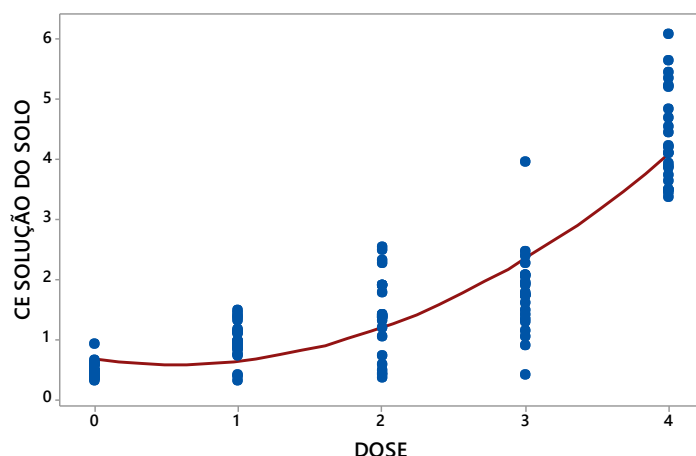


FIGURA 3. Gráfico de regressão da condutividade elétrica (CE) da solução do solo em função da dose salina aplicada.

Quando avaliado o comportamento da CE nas fases de desenvolvimento da cultura foi possível identificar interação entre doses e umidades para o período de enchimento dos grãos (Tabela 1) e na colheita (maturação) (Tabela 2). Na fase de enchimento de grãos, para a umidade na capacidade de campo, os valores apresentados foram maiores para as doses 3 e 4 CE, quando comparados com a umidade na saturação. Entre as diferentes doses na umidade de saturação, a única dose que não difere do controle é 1 CE, enquanto na capacidade de campo, a semelhança ocorre entre 0, 1 e 2 CE.

TABELA 1. Condutividade elétrica da solução do solo em relação as doses e as umidades (saturação– SAT e capacidade de campo- CC), na fase de enchimento dos grãos.

UMIDADE	DOSE				
	0CE	1CE	2CE	3CE	4CE
CC	0,50Ca	1,02Ca	1,57Ca	2,82Ba	4,89Aa
SAT	0,47Ca	1,17BCa	1,84Ba	1,84Bb	3,90Ab
C.V.(%)	21,79				

0CE- 0 dS m⁻¹; 1CE- 1dS m⁻¹; 2CE- 2dS m⁻¹; 3CE- 3 dS m⁻¹; 4CE- 4 dS m⁻¹; C.V.- coeficiente de variação. Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na coluna e maiúscula na linha diferem pelo teste de Tukey (p<0,05). Fonte: Própria autoria.

Na colheita, em ambas as umidades do solo (CC e SAT) a irrigação com a fonte de 1 dS m⁻¹, não difere do controle.

O comportamento da dose de 4 CE, entre as umidades do solo, apresenta o maior valor na capacidade de campo (Tabela 2). Isso pode estar associado ao sistema de irrigação por gotejamento, que concentra a umidade no formato de bulbo, nas camadas mais superficiais, enquanto na SAT, o excesso da lâmina tem efeito de lixiviação dos sais para as camadas mais profundas, reduzindo assim os teores dos sais (SILVA et al., 2002).

TABELA 2. Condutividade elétrica da solução do solo em relação as doses e as umidades (saturação– SAT e capacidade de campo- CC), na colheita.

UMIDADE	DOSE				
	0CE	1CE	2CE	3CE	4CE
CC	0,51Da	1,02CDa	1,51BCa	2,11Ba	4,48Aa
SAT	0,45Ca	1,16BCa	1,93Ba	1,79Ba	3,64Ab
C.V.(%)	18,17				

0CE- 0 dS m⁻¹; 1CE- 1dS m⁻¹; 2CE- 2dS m⁻¹; 3CE- 3 dS m⁻¹; 4CE- 4 dS m⁻¹; C.V.- coeficiente de variação. Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na coluna e maiúscula na linha diferem pelo teste de Tukey (p<0,05). Fonte: Própria autoria.

Quando avaliada a produtividade de grãos (Tabela 3) não foi observada influência da salinidade quando mantida a umidade na CC, enquanto na saturação, o menor valor foi verificado na dose de 3CE, com diferença em relação a testemunha. Na comparação entre as umidades, repete-se o mesmo comportamento. Os resultados apresentados mostram um coeficiente de variação elevado, prejudicando a análise, sugerindo a continuidade deste estudo, para melhor avaliação deste parâmetro.

TABELA 3 – Produtividade de grãos em kg ha⁻¹ de plantas de arroz em relação as doses de salinidade e as umidades (saturação– SAT e capacidade de campo- CC).

UMIDADE	DOSE				
	0CE	1CE	2CE	3CE	4CE
CC	1530,37Aa	1812,61Aa	915,79Aa	2312,75Aa	466,14Aa
SAT	2567,44Aa	744,11ABa	1701,81ABa	208,01Bb	1029,18ABa
C.V. (%)	69,64				

0CE- 0 dS m⁻¹; 1CE- 1dS m⁻¹; 2CE- 2dS m⁻¹; 3CE- 3 dS m⁻¹; 4CE- 4 dS m⁻¹; C.V.- coeficiente de variação. Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na coluna e maiúscula na linha diferem pelo teste de Tukey (p<0,05). Fonte: Própria autoria.

CONCLUSÕES: Os manejos de irrigação possibilitaram uma economia de água de 42,7% para lâmina de saturação, e 63,3% na umidade de capacidade de campo, quando comparado com manejo de irrigação por inundação. O aumento da dose de sais na água de irrigação resultou no incremento progressivo da concentração da solução, durante as fases de desenvolvimento do arroz. As interações entre dose e umidade do solo ocorreram na fase de enchimento dos grãos e na colheita. A salinidade do solo não diferiu do controle para a dose de 1 CE e 2CE na capacidade de campo e de 1CE na saturação. Ao longo do ciclo de cultivo, a umidade do solo na capacidade de campo concentrou os sais no bulbo do gotejador e na saturação o efeito foi de lixiviação, embora nesta condição o volume de sais aplicado tenha sido maior.

AGRADECIMENTOS: Os autores agradecem ao auxílio pesquisa da FAPESP, processo n° 2019/029212.

REFERÊNCIAS:

- CARLOS. F. S.; MARAFON A J.; ANDREAZZA, R.; ANGHINONI, I.; TEDESCO, M. J.; Camargo, F. A. O. Alterações eletroquímicas e dinâmica de nutrientes na solução do solo em arroz irrigado com lixiviado industrial tratado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 39, n. 2, p. 466-474, 2015.
- COLTRO, L.; MARTON, L. M. M.; PILECCO, F. P.; PILECCO A. C.; MATTEI, L. F. Environmental profile of rice production in Southern Brazil: A comparison between irrigated and subsurface drip irrigated cropping systems. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 153, p. 491–505, 2017.

DOURADO-NETO, D.; NIELSEN, D. R.; HOPMANS, J. W.; REICHARDT, K.; BACCHI, O. O. S. Software to model soil water retention curves (SWRC, version 2.00). **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 1, p. 191-192, 2000.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FRUKH, A.; SIDDIQI, T. O.; KHAN, M. R.; AHMAD A. Modulation in growth, biochemical attributes and proteome profile of rice cultivars under salt stress. **Plant Physiology and Biochemistry**, Aligarh, v. 146, p. 55-70, 2020.

PINTO, V. M.; REIS, A. F. B.; MELO, M. L. A.; REICHARDT, K.; SANTOS, D.; LIER, Q. J. Sustainable irrigation management in tropical lowland rice in Brazil. **Agricultural Water Management**, Piracicaba, v. 284, 108345, 2023

SHARDA, R.; MAHAJAN, G.; SIAG, M. Performance of drip-irrigated dry seeded rice (*Oryza sativa* L.) in South Asia. **Paddy Water Environment**, [s.l.], v. 15, p. 93-100. 2017.

SILVA, E. F. F. **Manejo da fertirrigação e controle da salinidade na cultura do pimentão utilizando extratores de solução do solo**. 2002. 136 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

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