
ATIVIDADE IÔNICA DO POTÁSSIO NA SOLUÇÃO DO SOLO.

Matheus Delgado Zuza¹

Oswaldo Nogueira de Sousa Neto²

¹Estudante do Curso Interdisciplinar em Ciência & Tecnologia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido

²Orientador Prof. Dr. da Universidade Federal Rural do Semi-Árido

Resumo: Ultimamente o estudo da solução do solo vem crescendo de forma gradativa, se tornando objeto de estudo e trabalho para diversos pesquisadores, fazendo-se necessário cada vez mais formas de se explorar este campo de pesquisa tão abrangente. Assim, este trabalho tem como objetivo estudar o teor da atividade iônica do potássio extraído da solução do solo, tendo como finalidade a obtenção analisar as atividades iônicas do potássio na solução do solo, com a utilização do software Visual MINTEC, afim de determinar os parâmetros relevantes para o manejo da fertirrigação referente ao potássio. Para isso foi utilizado o Sistema Visual MINTEQ onde foi realizado os cálculos da atividade e da concentração iônica. Após a determinação da concentração iônica do potássio e da atividade iônica do mesmo elemento foi possível perceber que a atividade iônica no solo não apresentava uma alteração relevante quando comparada a concentração aplicada na solução. Conclui-se então que pela quantidade de atividade iônica encontrada na solução, o potássio poderia encontrar uma certa dificuldade para formarem mais pares iônicos por apresentar uma atividade abaixo podendo considerar ela diluída em meio a solução aquosa.

Palavras-chave: sais solúveis; manejo do solo; fertirrigação; nutrição mineral; Visual MINTEC.

Data de aprovação 02.06.2021

Disponibilidade: matheusdelgado26@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

O estudo da solução do solo vem crescendo nos últimos anos sendo estimulada pela maior possibilidade de controle de recursos como água e nutrientes, assim como também, por possibilitar maior chance de sucessos em cultivos de fertirrigações, aumentando o desenvolvimento de pesquisas que auxiliam ao crescimento da produção com cada vez mais qualidade. No entanto, as pesquisas neste campo ainda possuem áreas a serem trabalhadas e que faltam ser analisadas de modo que se possa comprovar cada vez mais sua eficácia.

A fertirrigação é a possibilidade de aplicação de certos nutrientes de uma forma parcelada, levando em consideração a marcha de absorção dos nutrientes pela cultura nos seus diferentes estados de desenvolvimento (NETO *et al*, 2017). Dessa maneira é necessário que se conheça como ocorre a absorção de certos nutrientes no ciclo da cultura, os tipos de fertilizantes utilizados, o solo trabalhado, a cultura e sem dúvida o tipo de sistema de irrigação utilizado.

De acordo com a FAO (2018), a agricultura é considerada a principal usuária dos recursos

hídricos disponíveis, sendo responsável pelo consumo mundial de 70% da água disponível, sendo que o Brasil o consumo chega a 72%. Além disso, atualmente o Brasil é considerado um dos maiores consumidores de fertilizantes do mundo, chegando a gastar mais de 30 milhões de toneladas de fertilizantes durante o ano (EMBRAPA, 2018). Assim, o manejo da fertirrigação com base na solução do solo e cultivos fertirrigados aparece como uma opção mais sustentável, podendo resultar em maior produtividade, otimização dos recursos e preservação do meio. Tal processo minimiza o desperdício de água, protegendo um elemento tão importante para o mundo que é a água, utilizando da irrigação uma forma mais viável para se fazer a aplicação dos nutrientes necessários para o cultivo.

Porém, para Barros *et al.* (2010), quando falamos de fertirrigação um dos principais pontos a serem tratados é o acompanhamento da dinâmica e a distribuições no solo, pois estes processos ajudam a identificar e ajustar a falta de fertilizantes e nutrientes que devem ser aplicados, além de prevenir danos como a salinização dos solos e a contaminação da água. Já Raij (1991) comenta a importância do conhecimento da solução do solo, mas ressalta a complexidade enquanto a extração quando se refere a solução do solo.

Hoje em dia para o monitoramento e a extração do solo é utilizada a Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR), onde em conjunto com extratores de capsulas porosas se torna uma boa alternativa para o monitoramento do aumento volumétrico da água no solo, como na condutividade elétrica e na concentração de íons na solução do solo, facilitando o manejo da fertirrigação, permitindo a correção do potássio (K^+) na solução do solo (PAPADOPOULOS, 1990).

Segundo Nachtigall e Raij (2005) o potássio é o segundo nutriente mais importante para a grande maioria das plantas perdendo simplesmente para o nitrato. É imprescindível que o potássio seja determinado e ajustado de acordo com o sistema de cultivo e manejo, considerando-se que no Brasil as recomendações de adubação convencional do potássio que consta na literatura, são muito variadas, de 50 a 530 kg de K_2O (Óxido de potássio) (BORGES, 2002).

O Visual MINTEQ é considerado hoje um software de ultima geração com diversas funcionalidades, abrindo um leque de possibilidades para o estudo dos nutrientes em meio a qualquer solução, sendo possível se analisar com tamanha precisão diversos parâmetros, como a atividade de cada nutriente que seja encontrado em meio a solução aquosa que deseja ser estudada, assim como outros parâmetros como concentração e do pH em análise.

Considerando a necessidade do manejo da aplicação de fertilizantes e controle de nutrientes em sistemas fertirrigados, este trabalho tem como objetivo de estudar o teor da atividade iônica do potássio extraído da solução do solo, tendo como finalidade a obtenção de dados de uma forma mais simplificada que o convencional para que se possa ser usada como exemplo para outros cultivos, tomando como solução para a falta do potássio a aplicação do nutriente por meio da irrigação por gotejamento instalada em meio ao solo.

2. REFERENCIAL TEORICO

2.1. Fertirrigação

Segundo Papadopoulos (1999) a pesquisa sobre fertirrigação e as aplicações práticas juntas com os avanços no dimensionamento de sistemas de irrigação vem tornando possível um recente aumento destas técnicas. Quando se utiliza a fertirrigação, é importante destacar a importância de acompanhar a dinâmica e a distribuição dos nutrientes no solo, pois isto permite estabelecer ou ajustar a aplicação dos fertilizantes, além de prevenir danos ambientais como a salinização dos solos e a contaminação das águas (BARROS *et al.*, 2010).

Blanco e Folegatti (2002) comentam que, para se realizar o manejo da fertirrigação de forma eficaz, é preciso um equilíbrio entre a quantidade de água a ser aplicada e a quantidade de nutrientes, durante cada fase do ciclo da cultura, o que determina a concentração de fertilizantes

na água de irrigação, 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, conseqüentemente, na redução da produtividade.

2.2. Extração e balanceamento da solução do solo

São muitas técnicas difundidas para se obter a solução do solo, entre elas Wolt (1994) cita o deslocamento de solução em coluna, pela adição ou retirada de gases ou adição de líquidos; centrifugação à alta e à baixa pressão; câmara de pressão; vácuo no extrato saturado e soluções aquosas; métodos de adsorção molecular; e uso de extratores providos de cápsulas porosas.

A utilização de extratores de cápsulas porosas, para se obter a solução do solo, é muito disseminado em diversas regiões, principalmente por apresentar um manejo simples, custo consideravelmente baixo e o extrato não requerer tratamentos prévios às determinações físico-químicas (MORAES, 1990).

Silva (2013) explica que a utilização do método da medição da condutividade elétrica da solução obtida com extratores se sobressai por apresentar bastante eficiência, 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.

Dessa maneira, podemos analisar que a concentração e o balanceamento dos nutrientes na solução do solo são características muito importantes para a evolução das plantas, para os cultivos hidropônicos, e se faz necessário estimar o teor de nutrientes na solução de forma indireta medindo sua condutividade elétrica (VERDONCK; VLEESCHAUWER; BOODT, 1981).

2.3. Importância do potássio e o monitoramento da solução do solo

Segundo Nachtigall e Raij (2005), o potássio é o segundo elemento mais importante em maiores quantidades pelas espécies de plantas cultivadas, estando atrás apenas do nitrato em questão de importância para o desenvolvimento da cultura, sendo importante tanto quanto para a fertilização quanto para se determinar a qualidade do solo.

Como a solução do solo é formada por íons minerais, o nível da concentração dos nutrientes pode ser obtido calculando a capacidade da solução nutritiva de conduzir corrente elétrica, ou seja, quando temos uma maior concentração dos íons, maior ficará a capacidade da solução nutritiva do solo de conduzir corrente elétrica (STAFF, 1998).

Maschner (1995) fala que a condutividade elétrica está diretamente ligada à concentração iônica e à absorção dos nutrientes pela cultura ao longo do seu desenvolvimento. Onde Persson e Uvo (2003) comentam que por sua vez, motivado pela relação entre a condutividade elétrica aparente do solo (CEa), a condutividade elétrica da solução do solo (CEw) e a concentração iônica (Ci), tais fatores se fazem possível o uso da TDR para observar a distribuição de água e de solutos iônicos no solo.

O monitoramento da solução do solo prévio com os extratores de cápsulas de cerâmica porosa ajuda na tomada de decisão da quantidade de fertilizantes a ser aplicada por fertirrigação, evitando o exagero ou a falta dos mesmos (SILVA, 2002).

2.4. Atividade iônica na solução do solo

Persson e Uvo (2003) menciona que em vários resultados descritos, o aumento da força iônica induz um aumento de agregação e da precipitação do solo. Onde a força iônica, que depende da composição da solução do solo, apresenta uma interação na atividade dos íons em solução e vários atributos do solo, tais como: densidade de carga, pH, espessura da dupla camada elétrica difusa e potencial eletrostático (SPOSITO, 1984).

Para que se possa entender o efeito da atividade iônica do potássio na solução solo, é preciso

que se entenda alguns conceitos, devido à formação dos pares iônicos, que na maior parte das vezes a solução se apresenta como se possuísse uma concentração efetiva abaixo que a concentração analítica.

A atividade iônica de um íon a_i em uma solução é dada pela expressão:

$$a_i = f_i [i] \quad (1)$$

De modo que:

f_i é o coeficiente de atividade;

$[i]$ é a concentração analítica.

Na maior parte das situações o coeficiente de atividade é conceituado como se fosse um coeficiente de correção da concentração analítica, para a formação dos pares iônicos e, posteriormente, a baixa que a concentração analítica sofrerá.

É muito normal que soluções possam ser consideradas diluídas o bastante para que não seja necessário considerar a atividade das partículas em soluções. Mas isso pode ser, em diversos momentos, uma simplificação exagerada podendo ser melhor interpretada se fosse sustentado o conceito da atividade iônica, onde se tem os pares iônicos e a força iônica agindo em seu meio.

Os pares iônicos é a formação consequente da ação da força eletrostática de todas as partículas eletricamente carregadas em uma solução, os íons devem afetar a atividade de uma determinada partícula presente nessa solução. Em outras palavras é a força que um íon pode exercer sobre outra partícula em evidência, onde podemos denominá-la de força iônica (μ) conforme a equação 3:

$$\mu = \frac{1}{2} \sum (z_i)^2 * c_i \quad (2)$$

De forma que:

c_i é a concentração de cada íon na solução;

z_i é a carga.

A força iônica que se apresenta menor a 0,001 mol/L na solução, pode ser determinada como suficientemente diluído para que as interações eletrostáticas possam ser menores, de forma que:

$$\begin{aligned} \mu &\approx 1 \\ a_i &\approx [i] \end{aligned}$$

A força iônica que se apresentam em meio a 0,001 mol/L e 0,1 mol/L para soluções, apresentam:

$$\begin{aligned} \mu &< 1 \\ a_i &< [i] \end{aligned}$$

Quando se possui uma força iônica maior que 0,1 mol/L podemos dizer que esse fator se encontra ligeiramente mais complicado, sendo possível obter o coeficiente de atividade maior que 1. É por essa razão que o coeficiente de atividade representaria um parâmetro de atenuação da concentração analítica da solução.

O coeficiente de atividade iônica em uma solução é função de fator que refletem características do íon. Esses fatores encontram-se juntos conforme a equação de Debye-Huckel:

$$\log f_i = \frac{-0,509 \cdot z_i^2 \cdot \sqrt{\mu}}{1 + d_i \cdot 0,329 \cdot 10^8 \cdot \sqrt{\mu}} \quad (3)$$

0,509 e $0,329 \times 10^8$ são constantes aceitas para os solventes de água a 25°C;

μ é a força iônica;

i é a concentração analítica;

z_i é a carga elétrica;

d_i , Raio esse que é dado na Tabela 1.

Tabela 1 - Valores de raio iônico

Raio iônico efetivo (cm)	Íons
$2,5 \cdot 10^{-8}$	Rb ⁺ , Cs ⁺ , NH ₄ ⁺ , Ag ⁺
$3,0 \cdot 10^{-8}$	K ⁺ , Cl ⁻ , Br ⁻ , I ⁻ , NO ₃ ⁻
$3,5 \cdot 10^{-8}$	OH ⁻ , F ⁻ , SCN ⁻ , HS ⁻ , ClO ₄ ⁻ , BrO ₃ ⁻
$4,0 \cdot 10^{-8}$	Na ⁺ , Hg ₂ ²⁺ , IO ₃ ⁻ , H ₂ PO ₄ ⁻ , SO ₄ ²⁻ , S ₂ O ₃ ²⁻ , S ₂ O ₈ ²⁻ , HPO ₄ ²⁻ , PO ₄ ³⁻ , CrO ₄ ²⁻
$4,5 \cdot 10^{-8}$	Pb ²⁺ , CO ₃ ²⁻ , SO ₃ ²⁻ , MoO ₄ ²⁻
$5,0 \cdot 10^{-8}$	Sr ²⁺ , Ba ²⁺ , Ra ²⁺ , Cd ²⁺ , Hg ²⁺ , S ²⁻
$6,0 \cdot 10^{-8}$	Li ⁺ , Ca ²⁺ , Cu ²⁺ , Zn ²⁺ , Mn ²⁺ , Ni ²⁺ , Co ²⁺
$8,0 \cdot 10^{-8}$	Mg ²⁺ , Be ²⁺
$9,0 \cdot 10^{-8}$	H ⁺ , Al ³⁺ , Fe ³⁺ , Cr ³⁺ , Ce ³⁺

Fonte: Autoria própria.

2.5. Software Visual MINTEQ

O software chamado Visual MINTEQ é um programa que apresenta um modelo de equilíbrio químico freeware para calcular diversos dados, entre eles está a atividade química na solução do solo. O programa combina uma descrição de última geração das reações com um menu fácil de se usar. Tal programa foi criado pela USEPA, onde é mantido desde os anos 2000 pelo professor Jon Petter Gustafsson em KTH, Suécia.

O Visual MINTEQ tem em seu código embutido todos os cálculos necessários citados acima, se fazendo extremamente útil no que se pretende observar, que no caso se trata da atividade iônica do potássio na solução do solo obtida. Primeiramente irá se analisar a tabela em que foi extraída a solução, para que assim se possa começar a introduzir os dados no software.

2.5.1. funcionamento Visual MINTEQ

A primeira coisa que se precisa ser feita é definir o pH da solução que será analisado, já que não é o padrão que o software está acostumado a aplicar, sendo preciso informar ao programa o pH encontrado com exatidão, levando em consideração a unidade de medida informada na pesquisa, o indicado é que se use a unidade de medida no SI (Sistema Internacional) como referência para todo o processo.

Figura 1 – Pagina inicial do Visual MINTEQ.

New file - Visual MINTEQ main menu

File Parameters Solid phases and excluded species Adsorption Gases Redox Multi-problem / Sweep Database management Help

Visual MINTEQ

pH Calculated from mass balance

Ionic strength Fixed at...
To be calculated



Activity Davies

Concentration unit Molal
Millimolal

Temperature 25 deg C

Add components

Component name Fe+2

Total concentration 0 Molal

☐ Show organic components

Add SOM

Fixed activity ☐

Add to list

View / edit list

Reset

Run MINTEQ

View output files

Fonte: Autoria própria.

Logo abaixo desta primeira parte é possível adicionar todas as concentrações dos elementos químicos encontrados na solução para que se faça a análise apenas com aqueles elementos determinados. É possível mudar a unidade de medida no canto superior direito, onde nessa pesquisa foi adotado as unidades em milimol por litro (mmol/L). Ainda, pode-se editar ou visualizar os elementos encontrados selecionando o botão View / edit list, caso tenha alguma dúvida ou apenas para nível de confirmação.

Figura 2 – Pagina de view / edit list.

List of components - Visual MINTEQ

Components in the present problem

Component name	Total concentration*	Act guess?*
	Molal	
Ca+2	0	☒
Mg+2	0	☒
P (PO4)	0	☒
S (SO4)	0	☒
Zn+2	0	☒
Mn+2	0	☒
B(III)	0	☒
Cu+1	0	☒
Mo(VI)	0	☒
Na+1	0	☒
Fe+2	0	☒

Delete this component

Delete this component

Delete this component

Delete this component

Delete this component

Delete this component

Delete this component

Delete this component

Delete this component

Delete this component

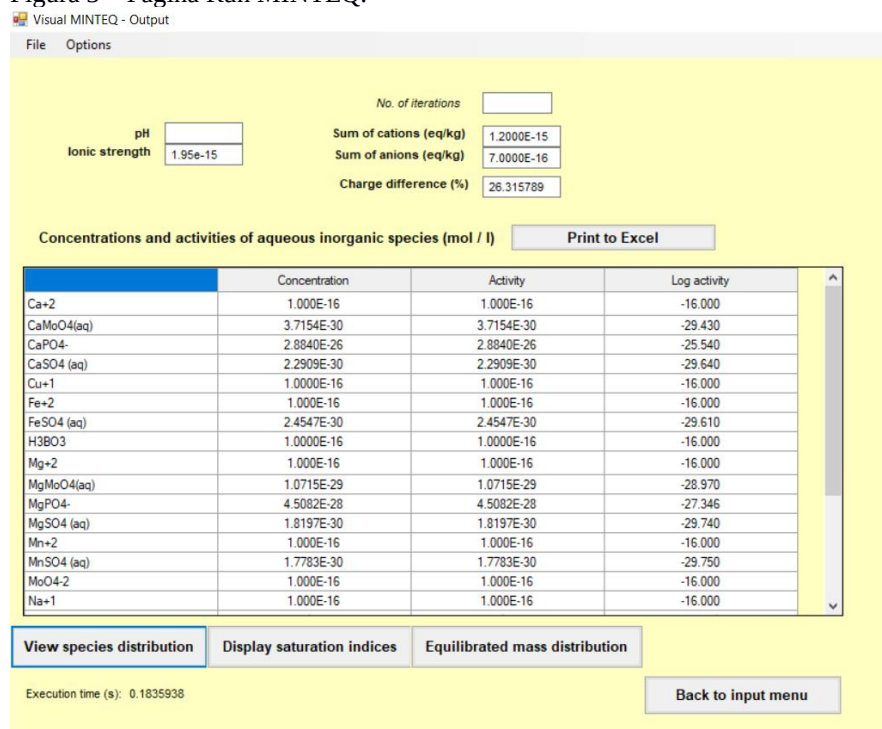
Back to main menu

Species tableau

Fonte: Autoria própria.

Os resultados são mostrados selecionando o botão “Run MINTEQ”, onde você tem a possibilidade de visualizar diversos resultados, incluindo a concentração iônica, a atividade iônica como também o logarítmico de atividade, podendo ser visualizado tanto no software como pode ser exportado o resultado para uma planilha em paralelo no formato de Excel, como é mostrado na figura 3 abaixo.

Figura 3 – Pagina Run MINTEQ.



Fonte: Autoria própria.

3. MATERIAIS E METODOS

O experimento foi realizado em uma área experimental do Departamento de Engenharia de Biossistemas da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo (ESALQ/USP), situando-se no município de Piracicaba - SP, com um clima tropical húmido com temperatura variando de 22 a 18 °C.

O solo foi alocado em duas casas de vegetação, onde foram construídos cinco canteiros que seriam direcionadas ao solo da cultura experimental, o canteiro possui 0,7 m de largura, 0,5 m de profundidade e 15 m de comprimento. Cada canteiro possuía uma lona plástica para a impermeabilização, um tubo drenante de 0,065 m de diâmetro interno, uma camada de brita nº e uma manta geotêxtil (BIDIM OP-30), para que nenhuma partícula fosse perdida.

Foi escolhido para a pesquisa o solo arenoso, classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo (EMBRAPA, 2006), proveniente do campus da ESALQ e denominado Série “Sertãozinho”. Após o realojamento do solo para o estudo, o solo passou por um período de 20 dias de pousio, sendo feito irrigações frequentes, com o objetivo de acomodar as partículas, deixando o solo estável, sendo possível a determinação das características físico-hídricas e químicas do solo posteriormente.

Para a caracterização química do solo foram recolhidas amostras de 25% do total das parcelas experimentais utilizadas no experimento, visando à composição da amostra. As amostras foram coletadas com a ajuda de um trado de rosca, com duas profundidades de amostragens (0 - 0,15 m e 0,15 - 0,30 m). As amostras foram devidamente identificadas e encaminhadas para o Laboratório de Análise de Fertilidade do Solo do Departamento de Ciência do Solo da ESALQ/USP.

No solo foram achados os teores de fósforo (P), potássio (K⁺), cálcio (Ca²⁺) e magnésio (Mg²⁺) pela resina de troca catiônica; a acidez potencial (H⁺Al) foi classificado pela solução tampão SMP, sendo estes quatro últimos expressos em (mmolc dm⁻³). Os outros elementos foram classificados seguindo a metodologia descrita pela Embrapa (2009) e Raij (2001). A partir daí, foram calculados a capacidade de troca catiônica (CTC a pH 7,00) e a soma de bases (SB), expressas também em (mmolc dm⁻³), e a saturação por bases (V) será expressa em %

(Tabela 2).

Tabela 2 - 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).

Fonte: Osvaldo Nogueira de Sousa Neto (2017)

Para a determinação da concentração dos íons solúveis, pH e CE (condutividade elétrica) mostrados na Tabela 3, foram feitas pastas na umidade de saturação, das quais foram extraídas as soluções por sucção, de acordo com a técnica mencionada acima (Richards, 1954).

Tabela 3 - Determinação química da solução da pasta saturada do Latossolo Vermelho-Amarelo

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

Fonte: Osvaldo Nogueira de Sousa Neto (2017)

Foi montando um sistema de sonda TDR para que fosse possível a verificação em tempo real do conteúdo volumétrico da água no solo e da CE_{sol} (Condutividade elétrica da solução do solo). As sondas foram reutilizadas de pesquisas anteriores e todas seguiam o método indicado por Souza et al. (2006).

Foi adotado também um sistema de irrigação por gotejamento para a fertirrigação, além de um sistema automatizado que fazia a obtenção de leituras em tempo real do conteúdo volumétrico de água no solo e da condutividade elétrica aparente (CE_{TDR}).

Foram colocadas sondas na horizontal em 0,15 (A) e 0,30 m (B) de profundidade próxima dos extratores em uma mesma profundidade para que fosse possível a análise da solução do solo em determinadas medidas. Além disso o solo recebeu diferentes quantidades de potássio (50ppm, 150ppm e 250ppm) por meio de fertilizantes com o auxílio da fertirrigação. Onde era realizado a extração da solução solo em um intervalo de até 20 dias que sofre alteração com o decorrer do cultivo, com o auxílio das sondas de capsulas porosas.

Era utilizada uma bomba de vácuo para a coleta da solução do solo, 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. Em seguida, as amostras de solução eram guardadas em recipientes hermeticamente fechados e levados para o Laboratório de Qualidade de Água do Departamento de Engenharia de Biossistemas da ESALQ/USP, onde foi feita as análises da solução do solo por espectrômetro de emissão óptica com plasma acoplado indutivamente. Logo após a aplicação do vácuo, era verificada a umidade do solo por meio da sonda TDR.

A solução do solo foi submetida a um processo de análise em espectrômetro de emissão óptica com plasma acoplado indutivamente (iCAP 7000 Duo optical emission spectrometer, Thermo Scientific, Waltham, MA, USA), que basicamente é uma técnica de detecção multielementar que usa uma fonte de plasma em uma temperatura extremamente elevada para

estimular os átomos para emitirem fótons de luz de comprimento de onda característicos e específicos de um determinado elemento. Ainda se pode dizer que o número de fótons produzidos está diretamente ligado à concentração dos elementos na amostra. Sendo possível ainda definir a quantidade de elementos de traços em amostras geológicas e suas impurezas em materiais de alta pureza.

Para a determinação da atividade iônica e a caracterização da solução do solo, foi usado o software de Visual MINTEQ. Para isso, primeiramente irá se analisar a tabela em que foi extraída a solução, para que assim fosse possível começar a introduzir os dados no software.

Após isso, foi feita a definição do pH da solução que foi analisado, onde foi preciso informar ao programa o pH encontrado com exatidão, levando em consideração a unidade de medida informada na pesquisa, que no caso foi adotado a unidade de medida milimol por litro (mmol/L).

Conforme é mostrado na tabela 4 abaixo, foi adicionado quantidades de fertilizantes ao solo para manter o equilíbrio da sua atividade iônica, visando sempre a maior qualidade possível para o plantio:

Tabela 4 - Concentração do potássio na solução aplicada na 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

Fonte: Osvaldo Nogueira de Sousa Neto (2017)

4. RESULTADOS E DISCURÇÃO

Na Tabela 5 mostrada abaixo, podemos observar a quantidade de doses de fertilizantes aplicados através da fertirrigação, as maiores doses foram proporcionais às maiores lâminas aplicadas. Os perfis que representam as doses acumuladas de potássio aplicadas via fertirrigação foram crescentes e apresentaram comportamento uniforme por todo o solo.

Tabela 5. Doses totais de fertilizantes aplicadas via fertirrigação para um período de 70 dias de cultivo.

Umidade de limite (cm ³ cm ⁻³)	K ⁺ (mg L ⁻¹)	Lâmina (mm)	NO ₃ N H ₄	Ca(NO ₃) ₂ +4 H ₂ O	NH ₄ H ₂ PO ₄	MgSO ₄ ·7 H ₂ O	KC l	FeED TA	H ₃ B O ₃	CuSO ₄ ·5 H ₂ O	(NH ₄) ₆ Mo 7O ₂₄	MnS O ₄	ZnSO ₄ ·7 H ₂ O
			(kg ha ⁻¹)							(g ha ⁻¹)			
0,20	50	197	98,21	350,91	49,31	232,38	281	3208	983	29,17	8,33	670	104,18
	100	199	98,92	353,47	49,67	234,07	328	3232	990	29,38	8,40	675	104,94
	150	222	118,3	422,87	59,42	280,03	924	3866	1185	35,15	10,04	808	125,54
	200	200	94,73	338,50	47,56	224,16	871	3095	948	28,14	8,04	647	100,49
	250	234	121,9	435,69	61,22	288,52	5	3983	1221	36,22	10,35	832	129,35
	Méd	210,9					138						
	ia	5	106,43	380,29	53,44	251,83	758	3477	1065	31,61	9,03	727	112,90

Fonte: Osvaldo Nogueira de Sousa Neto (2017)

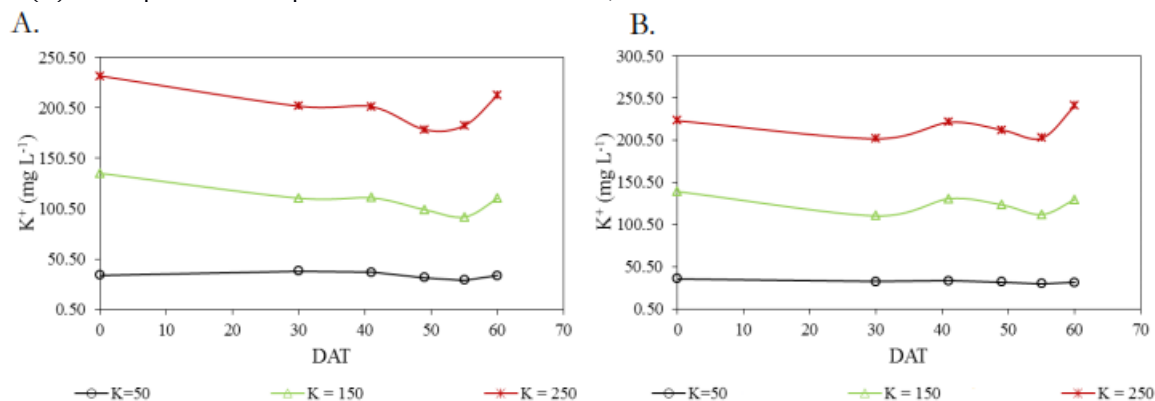
Terminando a fase de aplicação dos dados e de configurações iniciais, o software foi capaz de calcular a concentração iônica em solução aquosa e sua atividade como é mostrada na Tabela 6:

Tabela 6. Concentração do potássio na solução do solo obtido pelo Visual MINTEQ.

DAT (dias)	K1	K3	K5
	mmol/L		
1	0,15	0,63	0,83
18	0,17	0,57	0,92
28	0,17	0,56	0,91
36	0,16	0,50	0,83
44	0,16	0,53	0,92
52	0,14	0,48	0,84
60	0,12	0,50	0,88

Fonte: Autoria própria.

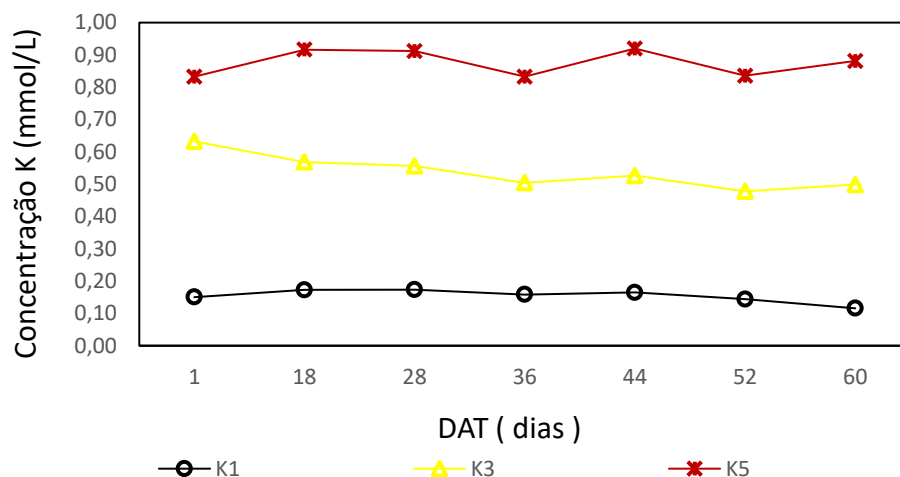
A tabela 6 foi feita para que se possa identificar as diversas quantidades de concentração iônica existente na solução do solo analisada através do Visual MINTEQ o que mostra um certo aumento na concentração do potássio como é possível analisar na figura 4.

Figura 4 - 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 cm³ cm⁻³.

Fonte: Autoria própria.

As extrações da solução do solo foram feitas em cinco datas diferentes para os três tipos de dosagem do potássio, sendo possível se fazer um levantamento da quantidade de potássio apresentada no solo com o decorrer dos dias, como pode-se observar na figura 4 acima. Onde podemos perceber o aumento da concentração do potássio no decorrer das aplicações por meio da fertirrigação.

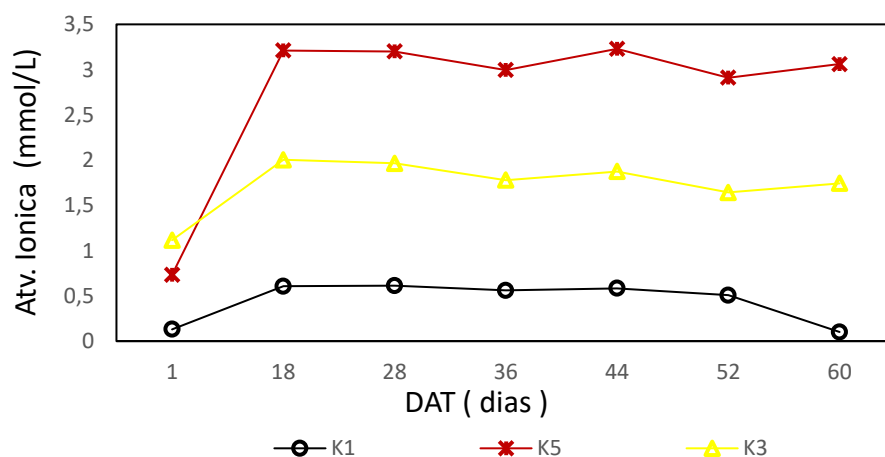
Figura 5 - Análise da concentração de potássio na solução do solo após a aplicação de fertilizantes.



Fonte: Autoria própria.

Fazendo uma análise relacionando a concentração do potássio existente na solução do solo (figura 5) após a aplicação por meio da fertirrigação com a atividade iônica (figura 6) presente na mesma solução aquosa, é possível verificar que mesmo com um aumento de concentração a atividade iônica permanece praticamente igual para o solo.

Figura 6 - Atividade iônica do potássio (K) mol /L na solução do solo obtido pelo Visual MINTEQ.



Fonte: Autoria própria.

Pode-se perceber que quando se tem poucos íons na solução aquosa, a probabilidade dos mesmos se encontrarem e formarem os pares iônicos é bastante baixa, logo foi encontrado uma concentração analítica iônica bem parecida a atividade iônica, pois possui uma relativa formação de pares iônicos em seu meio. Assim é possível reafirmar que toda vez que a força iônica for menor que 0,001 mol/L, tem-se como resultado uma concentração analítica iônica e atividade iônica bem parecidas.

Pode-se dizer até o momento que são alguns fatores que podem contribuir para a atividade iônica: a força iônica ou a quantidade total de íons, depois o raio iônico, que é em outras

palavras, o tamanho que o íon possui, e por último a valência das cargas dos íons. Então se o íon possuir quantidades grandes, íons grandes ou cargas elevadas, há a probabilidade de pares iônicos e assim o aumento de atividade iônica, como também pode ocorrer o contrário, quanto menos desses parâmetros forem verdadeiros, menor a atividade iônica.

Se levarmos em consideração a concentração analítica iônica e a atividade iônica do potássio (K⁺) no ensaio obtido, pode-se definir que o mesmo apresenta ambos resultados bem semelhantes, entendendo-se que o nutriente se diluiria na solução sem muitas dificuldades, se fazendo necessário uma manipulação do solo de forma direta ou indireta.

Entendendo-se também que a concentração de potássio não apresenta uma influência com um aumento relevante na atividade iônica ou no rendimento da cultura já que mesmo feito aumento na dosagem do potássio, a atividade iônica permanece se mantendo muito abaixo de uma atividade relevante para a cultura mesmo com um aumento de 1,5 vezes.

3. CONCLUSÕES

Tendo como referência o potássio (K⁺) como um dos elementos mais importante para uma planta em seu desenvolvimento, assim como para a utilização do solo, pode-se dizer que o estudo da atividade iônica é de grande importância para a análise de interações entre os elementos presentes na solução do solo.

Por tanto visto que o potássio apresentou uma concentração razoavelmente parecida com a atividade iônica podemos concluir que a manipulação da concentração de potássio não influencia com grande impacto na atividade iônica, se fazendo irrelevante no rendimento da cultura em meio ao solo.

Logo pode ser indicado que se faça uma aplicação do nutriente utilizando a técnica de fertirrigação mencionada acima para se obter uma maior quantidade de pares iônicos formados no solo, com o objetivo de conseguir uma maior fertilidade.

Entendendo por sua vez a importância de cada fertilizante e sendo preciso a dosagem exata de cada um deles, para que se possa ser possível evitar algum tipo de erro ou malefício para o solo, podendo-se tomar como referência o manejo do cultivo feito no referente trabalho.

Com isso é evidente a importância de mais estudos na área, devido à falta informações específicas, sendo necessária a construção de mais conhecimentos para fazer-se mais difundido uma área de estudo tão abrangente, mas que é pouco explorada com relação a outros tipos de pesquisas.

4. REFERÊNCIAS

- BARROS, A. C.; FOLEGATTI, M. V.; SOUZA, C. F.; SANTORO, B. L. Distribuição da solução no solo aplicado por gotejamento enterrado e superficial. **Irriga**, v. 15, p. 361-372, 2010.
- 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, jan. 2002.
- BORGES, A. L. *et al.* . Efeito de doses de NPK sobre os teores de nutrientes nas folhas e no solo e na produtividade do maracujazeiro amarelo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 1, n. 24, p. 208-213, abr. 2002.
- 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.
- EMBRAPA. **Pesquisadores e agricultores se unem para desenvolver fertilizantes naturais**. 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/->

/noticia/36092146/pesquisadores-e-agricultores-se-unem-para-desenvolver-fertilizantes-naturais. Acesso em: 30 maio 2021.

MARSCHNER, H.. **Mineral Nutrition of higher plants**. 2. ed. Londres: Academic Press, 1995. 889 p.

MORAES, J. F. V.; DYNIA, J. F.. Uso de cápsulas porosas para extrair solução do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 25, p. 1523-1528, 1990.

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

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E A AGRICULTURA (FAO). FAO e CNA lançam estudo sobre agricultura irrigada no Brasil. 8º Fórum Mundial da Água. Brasília, Março 2018.

PAPADOPOULOS, I. Fertirrigação: situação atual e perspectivas para o futuro. In: FOLEGATTI, M. V. (coord.). Fertirrigação: citrus, flores, hortaliças. **Agropecuária**, Guaíba, p. 11-154, 1999.

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.

RAIJ, B.. Fertilidade do solo e adubação. **Agrônômica Seres: Potafos**, Piracicaba, 1991. 343p.

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.

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

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.

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

S. NETO, O. N.; DUARTE, S. N.; BARBOSA, R. G.; SAMPAIO, P. R. F.; BRANDÃO, D.; SOUSA, A. B. O.. MANEJO DA CONCENTRAÇÃO DE POTÁSSIO NA SOLUÇÃO DO SOLO NO CULTIVO DO LISIANTHUS (*Eustoma grandiflorum*) FERTIRRIGADO EM AMBIENTE PROTEGIDO. **Anais do IV Inovagri International Meeting - 2017**, [S.L.], 2017. <http://dx.doi.org/10.7127/iv-inovagri-meeting-2017-res1370799>.

SPOSITO, G.. **The surface chemistry of soils**. New York: Oxford University Press, 1984. 243 p.

STAFF, H.. Hidroponia. **Sebrae**: MT, Cuiabá. 1998.

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

VERDONCK, O.; VLEESCHAUWER, D.; BOODT, M.. The influence of the substrate to plant growth. **Acta Horticulturae**, v. 126, p. 251-258, 1981.

WOLT, J. D.. Soil solution chemistry: applications to environmental science and agriculture. **John Wiley**, New York, 1994. 345p.