

LIXIVIAÇÃO IÔNICA EM UM CULTIVO DE COENTRO SUBMETIDO A DOSES DO POLÍMERO HIDROABSORVENTE E LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO

MARCIO ROBERTO DA SILVA MELO¹; JOÃO AUDIFAX CÉZAR DE ALBUQUERQUE FILHO²; JOSÉ GRACILIANO DA SILVA JÚNIOR³; RODRIGO FERREIRA BARBOSA⁴ e ÊNIO FARIAS DE FRANÇA E SILVA⁵

¹Mestre em Engenharia Agrícola, Professor Assistente, Universidade Federal Rural da Amazônia, UFRA, Paragominas – PA, Fone (91) 3729 4851, marcio.melo@ufra.edu.br;

²Doutor em Recursos Naturais, Professor Associado, Departamento de Tecnologia Rural, UFRPE, Recife – PE, Fone (81) 3320 6275, jaudifax@dtr.ufrpe.br;

³Mestre em Engenharia Agrícola, Engenheiro Agrícola, TG Agroindustrial Ltda, Aldeias Altas - MA, Fone (99) 3078 3300, gracilianojrster@gmail.com;

⁴Graduando em Agronomia, Departamento de Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, Recife – PE, Fone (81) 3320 6203, xtrodrigo@ig.com.br;

⁵Doutor em Irrigação e Drenagem, Pesquisador CNPq/INCTSal, Professor Adjunto, Departamento de Tecnologia Rural, UFRPE, Recife – PE, Fone (81) 3320 6261, enio.silva@pq.cnpq.br

1 RESUMO

A adição de hidrogéis no solo otimiza a disponibilidade de água, reduz as perdas por percolação, a lixiviação de nutrientes e melhora a aeração e drenagem do solo. Assim, este trabalho teve o objetivo de avaliar o efeito de cinco doses do polímero hidroabsorvente hidratassolo[®], 0, 4, 8, 12 e 16 dg kg⁻¹ de solo seco, e duas lâminas de irrigação, 60 e 120% da evapotranspiração de referência, na lixiviação de íons. O experimento foi conduzido na Estação Lisimétrica do Departamento de Tecnologia Rural da Universidade Federal Rural de Pernambuco, no município de Recife – PE. Foram feitas análises periódicas da condutividade elétrica (CE), do pH, e da concentração dos íons lixiviados: cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na) e potássio (K), nas épocas de balanço hídrico (T), ao longo do período de cultivo do coentro. Adotou-se um delineamento experimental inteiramente casualizado em parcela subdividida no tempo, indicado pelo teste de esfericidade de Mauchly, com quatro repetições. O efeito dos tratamentos ao longo do tempo reduziu as concentrações dos íons cálcio e magnésio, e a concentração total de sais, bem como elevou as concentrações de sódio, potássio e do pH na solução drenada do solo para os dois níveis de lâminas de irrigação, dentro dos níveis extremos de hidratassolo[®].

Palavras-chave: condicionador de solo, lisímetro de drenagem, manejo de irrigação.

MELO, M. R. S.; ALBUQUERQUE FILHO, J. A. C.; SILVA JÚNIOR, J. G.;
BARBOSA, R. F.; SILVA, E. F. F.

ION LEACHING IN CORIANDER CROP UNDEROING DIFFERENT DOSES OF
HYDROGEL POLYMER AND WATER DEPTHS

2 ABSTRACT

The addition of hydrogels to soil increases water availability, reduces percolation losses, leaches ions and improves soil aeration and drainage. This study aimed at evaluating the effect of five doses of the hidratassolo[®] hydrogel polymer, 0, 4, 8, 12 and 16 dg kg⁻¹ of dry soil, and two irrigation water depths, 60 and 120% of reference evapotranspiration on ion leaching. The experiment was held in the lysimeter station at the Department of Rural Technology, Federal Rural University of Pernambuco in Recife city – PE. Periodical analyses of electrical conductivity (EC), pH and concentration of leached ions were performed: calcium (Ca), magnesium (Mg), sodium (Na) and potassium (K), at the time of water balance (T), over the period of the coriander cultivation. A completely randomized experimental design with four replications was used in split-plots, according to the Mauchly's test of sphericity. The effect of treatments over the time reduced the concentrations of calcium and magnesium ions and total concentration of salts. Also, it increased concentration of sodium, potassium and pH in the drained solution of soil considering the two levels of irrigation within hidratassolo[®] extreme levels.

Keywords: soil conditioner, drainage lysimeter, irrigation management.

3 INTRODUÇÃO

Na atualidade, a tendência do agronegócio mundial tem sido por práticas de cultivo que reduzem riscos e custos atentando para o melhor aproveitamento dos recursos naturais. Com o desenvolvimento tecnológico, a irrigação tornou-se sinônimo de eficiência, qualidade da produção e a produtividade da safra. No entanto, seu uso indiscriminado pode resultar em danos econômicos e ambientais, como a degradação do solo, com processos de desertificação e elevação do teor de nutrientes perdidos no perfil do solo (SANTOS, 2006).

Os condicionadores sintéticos foram produzidos com o intuito de aumentar a capacidade de retenção de água e nutrientes pelo solo, contribuindo para melhorar o rendimento das culturas (OLIVEIRA, et al., 2004). A utilização de condicionadores no solo promove o desenvolvimento do sistema radicular, bem como da parte aérea das plantas, através do aumento de água disponível, redução das perdas por percolação e lixiviação dos nutrientes, melhoria da aeração e drenagem do solo (AZEVEDO, et al., 2002).

A redução da fertilidade do solo, em decorrência da lixiviação de nutrientes, é causada pela percolação excessiva da água culminando na perda de nutrientes da zona radicular para camadas mais profundas do perfil do solo, tornando-os indisponíveis às culturas. Dessa forma, a lixiviação de nutrientes varia com os atributos físicos do solo, como textura, estrutura, profundidade do perfil e, principalmente, porosidade. Os atributos químicos que mais afetam a lixiviação são a capacidade de troca de cátions (CTC) e o pH, onde solos com alta CTC apresentam maior capacidade de adsorção dos cátions, tornando-se menos suscetíveis à lixiviação. Com o aumento do pH, a CTC do solo se eleva e, conseqüentemente, os cátions disporão de maior número de cargas para adsorção (SANTOS, et al., 2002).

A lixiviação de íons provenientes da solução do solo ou de fertilizantes deve ser uma constante preocupação (SANTOS, et al., 2002). Teixeira, et al., (2001) enfatizam estudos que

demonstraram as perdas de nutrientes por lixiviação e escoamento superficial, sob diversas condições de solo e clima, entre 60 e 85% dos fertilizantes aplicados, exceto para fósforo (P), sendo potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), perdidos predominantemente por lixiviação, entre 85 a 95% do total.

Dentre inúmeros condicionadores hidroabsorventes, o hidratassolo[®] é um polímero que foi desenvolvido na França à base de acrilato de sódio com mecanismo de absorção osmótico que equilibra a concentração de íons sódio dentro e fora do mesmo. No entanto, a capacidade absorvente do polímero é dependente do teor de sais dissolvidos na água utilizada (SHAKHASHIRI, 1985). Gervásio & Frizzone (2004) estudando o condicionador comercial TerraCottem[®] observaram uma redução na capacidade de absorção do polímero, quando hidratado em soluções salinas, de 79,45%, apresentando uma taxa de redução acentuada até o valor de 1,5 dS m⁻¹, do intervalo avaliado de 0 a 10 dS m⁻¹.

As perdas de nutrientes são amplamente estudadas pela pesquisa científica, em particular quando se refere à lixiviação de N, K, Ca e Mg e alguns metais pesados, porém poucos são os trabalhos em que, além das análises de solo, se tenha realizado as quantificações de nutrientes na água de drenagem (AGUIAR, et al., 2006). Silva et al., (2008), em estudos de avaliação da composição da solução drenada em amostras de quatro solos do Rio Grande do Norte, irrigados com águas de valores crescentes de condutividade elétrica (CE) e relação de adsorção de sódio (RAS), verificaram que o aumento da CE da solução drenada, em função da elevação das concentrações das águas de percolação, ocorreu uma maior lixiviação de sais.

No Brasil, alguns polímeros sintéticos hidroabsorventes estão sendo utilizados na produção de gramados, mudas frutíferas e hortaliças de diversas espécies, a exemplo da cultura do coentro a qual apresenta elevado destaque no setor alimentício como condimento (Oliveira et al., 2004).

A cultura do coentro (*Coriandrum sativum* L.) oriunda do sul da Europa é uma hortaliça folhosa amplamente consumida na América Latina e Sudoeste Asiático. No Brasil seu consumo apresenta destaque em diversas regiões especialmente no Norte e Nordeste. É uma hortaliça que apesar de não ser muito exigente apresenta maior desempenho em condições de solos arenos-argilosos, com alto teor de matéria orgânica, boa fertilidade e pH entre 5,8 e 6,8. A primeira colheita é feita entre 50 e 60 dias após a semeadura, quando as plantas atingem cerca de 10 a 15 cm de altura (Haag & Minami, 1998). No nordeste, é cultivado em quase todas as micro-regiões e em virtude das condições climáticas, o coentro sempre é cultivado com o uso da irrigação; geralmente, é uma cultura explorada em pequenas áreas, sendo utilizada água proveniente de pequenas fontes como açudes pequenos, poços naturais em leitos de rios, poços tubulares, dentre outras (Medeiros et al., 1998).

Dessa forma, este trabalho teve por objetivo avaliar o efeito de doses do polímero hidroabsorvente hidratassolo[®] e lâminas de irrigação, na condutividade elétrica, no pH, e na concentração de cálcio, magnésio, sódio e potássio lixiviados na solução do solo de lisímetros de drenagem, em área cultivada com coentro.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização do local e experimento

O trabalho foi desenvolvido na Estação Lisimétrica do Departamento de Tecnologia Rural, localizada na Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Recife – PE, cujas coordenadas geográficas no sistema SAD 69 (South American Datum), são 8°01'05" de latitude sul e 34°56'48" de longitude oeste, e altitude de 6,5 m. Segundo a classificação de Köppen, o clima é do tipo As, megatérmico tropical (tropical úmido), com temperatura média do mês mais frio superior a 18°C e com precipitações de outono e inverno. As médias anuais de umidade relativa do ar, de precipitação pluvial e temperatura são 76%, 1501 mm e 26°C, respectivamente (ALBUQUERQUE FILHO, et al., 2009).

A área experimental foi composta por 40 lisímetros de drenagem com espaçamento de 1,20 m nas duas direções, assentados a uma profundidade de 0,65 m, sendo a borda de 0,10 m acima da superfície do solo, para evitar a entrada de água de chuva ou escoamento superficial. Também se utilizou uma cobertura em forma de túnel, com película plástica (4 x 15 m), removível, a fim de proteger os lisímetros da interferência pluviométrica natural. As coberturas eram fechadas a noite e eventualmente durante o dia, em caso de ocorrência de chuva (Figura 1).



Figura 1. Área experimental (A), com detalhe dos lisímetros e as coberturas removíveis em forma de túneis (B).

O material de solo utilizado no experimento foi oriundo da Destilaria Tabu, situada no Estado da Paraíba-PB, distante 80 km de Recife. Este material foi extraído do lote número 70 (área de renovação de cana-de-açúcar) a uma profundidade de 50 cm, sendo caracterizado como solos de Tabuleiros Costeiros. Após coletado, o material de solo foi homogeneizado, seco ao ar e passado em peneira com malha de 4,0 mm, e suas características químicas estão descritas na (Tabela 1). De acordo com as características físicas, a amostra de solo utilizada nos lisímetros de drenagem foi classificada como areia.

Tabela 1. Características químicas do solo usado no preenchimento dos lisímetros de drenagem.

Amostra	pH em H ₂ O	P	Na	K	Ca+Mg	Ca	Al	H+Al	C.O.	M.O.
	1:2,5	mg dm ⁻³	-----cmol _c dm ⁻³ -----			-----			---g kg ⁻¹ ---	
Lisímetro	4,70	5,33	0,09	0,07	4,97	3,22	0,40	7,82	10,31	17,78

Nota: Análises realizadas no Laboratório de Fertilidade do Solo do DEPA/UFRPE.

C.O. – carbono orgânico; M.O. – matéria orgânica.

Considerando a expansão volumétrica do polímero foi quantificada a massa de hidratassolo a ser incorporada em cada lisímetro, com base em peso de 300 kg de solo seco e equivalente à camada de 16 cm estabelecida para o desenvolvimento da zona radicular da cultura. O processo de preenchimento foi padronizado com aplicações sequenciadas de 100 kg de solo seco, de forma a se obter densidades semelhantes no perfil de todos os lisímetros. Nas caixas que receberam as doses de hidratassolo[®] iniciou-se o preenchimento com material de solo até atingir a quantidade de 500 kg correspondente à altura da camada de 33,50 cm; em seguida, as doses foram lançadas manualmente e distribuídas de maneira uniforme sobre as superfícies de oito camadas de 2 cm do material de solo, até completar o total de 300 kg. Para finalizar o processo aplicaram-se 100 kg do material de solo seco, relativos à última camada de 5 cm, necessária ao recobrimento da mistura; esta última camada visou afastar a possibilidade de afloramento do produto na superfície do solo e sua consequente biodegradação.

A água utilizada na irrigação foi proveniente do sistema de abastecimento interno da UFRPE, sendo aplicada de forma manual, com auxílio de regador, para suprir as necessidades hídricas das plantas cultivadas nas unidades experimentais. A análise química da água está descrita na (Tabela 2).

Tabela 2. Análise química da água usada na irrigação das unidades experimentais.

Elementos	Unidade	Amostra
cálcio	mmol _c L ⁻¹	0,05
magnésio	mmol _c L ⁻¹	0,05
sódio	mmol _c L ⁻¹	0,22
potássio	mmol _c L ⁻¹	0,06
Sulfato	mmol _c L ⁻¹	nd
Cloreto	mmol _c L ⁻¹	0,27
Carbonato	mmol _c L ⁻¹	ausente
Bicarbonato	mmol _c L ⁻¹	0,12
pH		5,3
CE	dS m ⁻¹ a 25 °C	38,00 10 ⁻³
RAS	mmol _c L ^{-1/2}	0,98
CSR	mmol _c L ⁻¹	0,9

Nota: Classificação da água para irrigação: C₁S₁ (*U.S. Salinity Laboratory Staff – USDA*); Análises realizadas no Laboratório de Química do Solo do DEPA/UFRPE.

As variáveis respostas avaliadas ao longo do período de cultivo do coentro foram as concentrações de cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), sódio (Na⁺) e potássio (K⁺), em (mmol_c L⁻¹), a condutividade elétrica (CE), em (dS m⁻¹), e o pH, medidas diretamente das amostras coletadas do volume da água de drenagem nos períodos de balanço hídrico (Figura 2).

A determinação da concentração dos cátions bivalentes (Ca e Mg), presentes na solução drenada do solo, foram obtidos por espectrofotometria de absorção atômica, e dos cátions monovalentes (Na e K) por fotometria de chama, e as respectivas mensurações da condutividade elétrica e do pH foram realizadas através do método eletrométrico, utilizando-se um condutivímetro e um pHmetro digital, em temperatura padrão de 25°C, sendo todas as análises realizadas no Laboratório de Química do Solo do DEPA/UFRPE.



Figura 2. Estação de coleta da água de drenagem com os piezômetros e as amostras para análise.

4.2 Tratamentos e análises estatísticas

Para análise estatística das variáveis estudadas, aplicou-se o Teste de Esfericidade de Mauchly (Mauchly, 1940) para definição do tipo de análise a ser utilizada: univariada com parcela subdividida (caracterizada pela independência das medidas ao longo do tempo) ou multivariada com medidas repetidas com o tempo (considera a dependência entre as medidas intraindivíduos, quando a hipótese de esfericidade é violada). Para o caso da hipótese de esfericidade não ser violada, os tratamentos foram dispostos em esquema de parcela subdividida no tempo, tendo nas parcelas o esquema fatorial 5 x 2, cinco níveis de hidratassolo ($H_0 = 0$; $H_1 = 4$; $H_2 = 8$; $H_3 = 12$ e $H_4 = 16$ dg kg⁻¹ de solo seco), e duas lâminas de irrigação, aplicadas com frequência de dois dias, com base na evapotranspiração de referência (ET_0), estimada pelo método do tanque Classe A, sendo L_1 e L_2 correspondentes a 60% e 120% da ET_0 , respectivamente e, nas subparcelas, as épocas de observação de balanço hídrico (T_1 , T_2 e T_3), para o intervalo de oito dias, referentes ao período de cultivo do coentro, no delineamento experimental inteiramente casualizado com quatro repetições.

Os dados foram analisados no sistema computacional Statistica 10 (STATSOFT, 2011) e interpretados por meio das significâncias das análises de variância e regressão, considerando-se o nível de probabilidade de até 5% pelo teste F. Para estabelecer o modelo representativo do fenômeno estudado utilizou-se o teste “t” de Student para testar os coeficientes de regressão e se adotou o nível de probabilidade de até 5% e os coeficientes de determinação (R^2).

4.3 Condução do manejo de irrigação

O manejo experimental de irrigação iniciou-se com a saturação dos lisímetros, sendo monitorado com base na ascensão do nível de água observado nos piezômetros, instalados na estação de coleta da água de drenagem. No entanto, a constatação da elevação do nível de água e do equilíbrio do menisco observado nos piezômetros, deu-se início ao processo de drenagem da solução do solo, mantendo-se as torneiras da estação de coleta abertas até o dia seguinte, assumindo-se assim o conteúdo de umidade do solo próximo da capacidade de campo.

Admitindo-se essa condição, deu-se início a condução do fator lâmina de irrigação para os dois níveis L_1 e L_2 , com aplicação de volumes de água estabelecidos com base na evapotranspiração de referência ET_0 , estimada pela evaporação do tanque Classe A, assumindo-se o valor médio diário de 0,70 para o coeficiente do tanque (K_p), e a área efetiva de rega de $1,41 \text{ m}^2$, referente a superfície do solo nos lisímetros. O turno de rega correspondeu ao período de dois dias, para os dois níveis de lâminas de irrigação L_1 e L_2 , de acordo com as condições reais das plantas dos lisímetros, levando em consideração aspectos como a turgidez, ou mesmo murcha provisória, considerando assim esse período como frequência limite de déficit hídrico na planta sem, contudo, comprometer seu desenvolvimento vegetativo.

No início da aplicação do fator lâmina de irrigação o processo de saturação empregado nos lisímetros foi o mesmo utilizado na realização dos balanços hídricos. No entanto, diferentemente do que ocorreu na saturação inicial, em que todo volume drenado era liberado sem nenhum controle quantitativo nos balanços hídricos, após a saturação dos lisímetros todo volume da água de drenagem foi mensurado com intuito de se monitorar o fechamento de cada balanço, contabilizando-se os volumes parciais de entrada e saída de cada lisímetro. Durante essa etapa de controle dos balanços hídricos, ocorridos em intervalos de oito dias, amostras do material de lixiviação drenado foram colhidas e armazenadas em garrafas de 500 ml, sendo devidamente identificadas e acondicionadas em ambiente refrigerado para posterior análise. Dessa forma, durante o período de cultivo do coentro foram realizados três balanços hídricos, com frequência semanal.

4.4 Implantação e manejo da cultura

O cultivo do coentro (*Coriandrum sativum* L.) nas unidades experimentais se deu de forma direta com semeio de aproximadamente oito sementes por cova, no espaçamento 15 cm x 23 cm (linha e entrelinha), totalizando número de 40 covas por lisímetro. No período aproximado de 15 dias, pós germinação, realizou-se o desbaste das mesmas retirando todas as plantas com crescimento insatisfatório, permanecendo o número de nove plantas por cova, tornando o estande de plantas mais uniforme nos lisímetros.

A adubação em cada unidade experimental caracterizou-se de duas formas. A primeira, adubação de fundação, correspondeu na aplicação de 195 g de NPK na formulação (4-14-8) e 1,50 kg de húmus, ambos distribuídos uniformemente e misturados nos primeiros 5 cm de solo antes da semeadura do coentro. A segunda denominada adubação de cobertura, foi realizada com a cultura já estabelecida nos lisímetros, aplicando-se, com auxílio de um regador de mão, uma concentração de 10 g de uréia por lisímetro diluídas em 2 litros de água e o fertilizante verde foliar da Vitaplan, com 15% de N, diluindo-se 5 ml do produto em 20 litros de água, utilizando uma bomba costal com os mesmos 20 litros de capacidade.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Efeito dos tratamentos ao longo do período de cultivo

Para as variáveis estudadas, o teste de esfericidade de Mauchly indicou o uso de análise de variância de medidas repetidas em esquema de parcela subdividida no tempo, com nível de

significância ($p > 0,05$). Dessa forma, em nível de subparcela, observou-se que todas as variáveis sofreram influência significativa da interação (L x H x T) em nível de 1% de probabilidade. Assim, procedeu-se o desdobramento dessa interação para se avaliar o comportamento das doses de hidratassolo (H) dentro das lâminas de irrigação (L), em cada época de balanço hídrico (T_1 , T_2 e T_3), bem como o comportamento das épocas de balanço hídrico (T), dentro das doses de hidratassolo (H), em cada lâmina de irrigação (L_1 e L_2), conforme as análises apresentadas a seguir.

5.2 Análises na primeira época de balanço hídrico

Nessa etapa de estudo avaliou-se a variação das doses de hidratassolo (H) dentro das lâminas de irrigação (L), fixando-se a primeira época de observação (T_1) com base no esquema fatorial, em nível de parcela. A análise de variância indicou que houve efeito significativo da interação (H x L) em nível de 1% de probabilidade para os íons lixiviados (Ca, Mg e Na), bem como para condutividade elétrica (CE), sendo a significância para o potássio (K) em nível de 5%, excetuando-se o pH. Assim, procedeu-se o desdobramento da interação (H x L) para os íons lixiviados e a condutividade elétrica, para se avaliar o comportamento das doses de hidratassolo (H) dentro dos níveis de lâminas de irrigação (L).

Com base nas análises de regressão linear e a significância do modelo, as respectivas Figuras 3 (A e B); Figura 4 (A e B); e a Figura 5 apresenta a variação dos dados médios observados das variáveis (Ca e Mg); (Na e K) (em $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$); e da condutividade elétrica (CE), bem como a variação dos dados estimados obtidos com as respectivas equações de regressão, em função da variação crescente de doses de hidratassolo[®] (em dg kg^{-1}) e a lâmina de irrigação (L_2), na primeira época de observação (T_1). Entretanto, ressalta-se que não houve modelo significativo para representar o fenômeno em estudo quando se fixou a lâmina de irrigação (L_1).

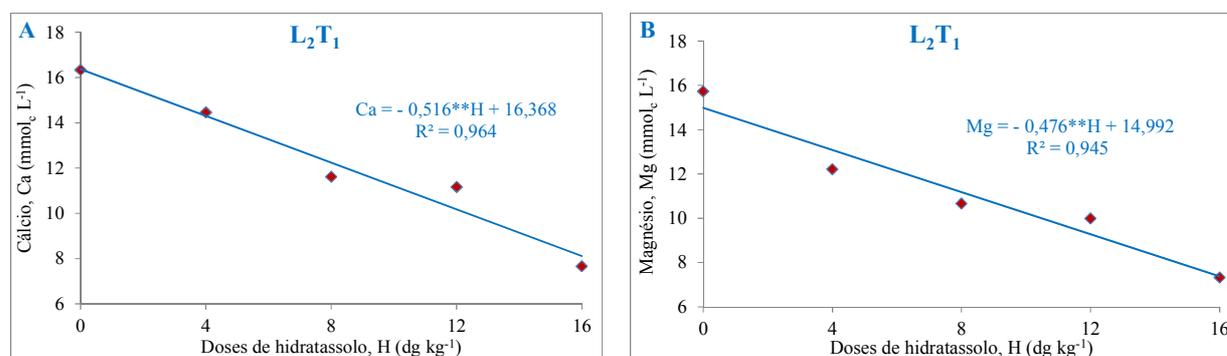


Figura 3. Concentração de cálcio (Ca) (A) e magnésio (Mg) (B) em função da variação de doses de hidratassolo (H) e a lâmina de irrigação (L_2) na primeira época de observação (T_1).

Verifica-se na Figura 3 (A e B) que os dados estimados pelos modelos indicam que houve queda na concentração dos íons na solução drenada (Ca e Mg) em função da variação crescente das doses de hidratassolo (H). Assim, de posse do modelo, estimou-se a concentração dos íons correspondentes a maior dose de hidratassolo (H_4) em $8,12 \text{ mmol}_c \text{L}^{-1}$ para o cálcio, e $7,38 \text{ mmol}_c \text{L}^{-1}$ para o magnésio, e os respectivos decrementos de 50,40% e 50,77% em relação ao tratamento

testemunha (H_0L_2), estimados em $16,37 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ para a variável cálcio (Ca), e $14,99 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ para o magnésio (Mg).

No entanto, em decorrência da variação decrescente na concentração dos cátions Ca e Mg, representados pelos dados estimados pelo modelo de regressão, pressupõe-se que seja em função da absorção desses minerais pelo hidratassolo[®], contrapondo-se a Wang & Gregg (1990) que afirmaram que cátions presentes na água reduzem sua absorção e promovem sua desestruturação em todos os tipos de polímeros. Bowman, et al. (1990) constataram que a intensidade de redução na absorção está relacionada à valência dos íons presentes na solução, ou seja, a absorção foi mais afetada na presença de cátions bivalentes. Por outro lado, Nissen (1994) afirma que alguns polímeros hidroabsorventes são capazes de atuar como fornecedores de nutrientes, diminuindo a fixação de fosfatos e a lixiviação de nutrientes como K, Ca, Mg e NO_3 .

Desse modo, no estudo com alface o mesmo autor afirma que a combinação de polímero e fertilizantes de liberação controlada, favoreceu acréscimo significativo da matéria seca da cultura estudada. Também, considerando a retenção de Ca e Mg descrita por Sita (2002) na avaliação da influência de polímeros associados a diferentes fontes de fertilizantes nitrogenados e potássicos, no crescimento e nutrição do crisântemo (var."Virginal") e nas características químicas dos substratos, o autor observou redução dos níveis de Ca e Mg no substrato na presença do polímero estudado.

Os resultados das análises de regressão para as variáveis (Na) e (K) em função da variação de doses do polímero, quando se fixou a primeira época de observação (T_1) estão apresentados nas respectivas Figuras 4 (A e B). Verifica-se que houve incremento de 98,83 % para o sódio, comparando-se os dados estimados pelo modelo com a maior dose do polímero (H_4) de $6,80 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$, em relação ao tratamento testemunha (H_0) de $3,42 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$. Por outro lado, para o potássio (K) observou-se redução linear dos dados estimados pelo modelo quando se comparou a dose do polímero (H_4) de $3,32 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$, com o tratamento testemunha (H_0) de $4,73 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$, correspondente ao decréscimo de 29,81% na concentração deste mineral na solução drenada.

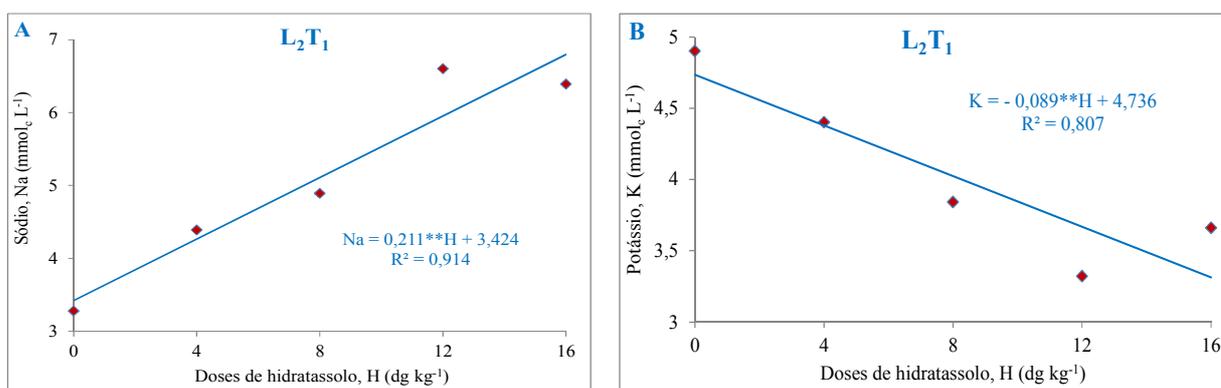


Figura 4. Concentração de sódio (Na) (A) e potássio (K) (B) em função da variação de doses de hidratassolo (H) e a lâmina de irrigação (L_2) na primeira época de observação (T_1).

No entanto, quanto à elevação na concentração de sódio apontado pelos dados médios estimados pelo modelo de regressão, atribui-se a liberação de sódio proveniente da própria composição química do polímero, haja vista que a estrutura do polímero hidratassolo[®] é à base de acrilato de sódio. Segundo Cotthen (1998), os potenciais locais de adsorção são equilibrados por

um número equivalente de íons, como prótons e cátions. Assim sendo, presume-se que a absorção de nutrientes deva coincidir com a liberação de um número de equivalentes contrários da estrutura do polímero (DUSI, 2005). Da mesma forma, Sita et al., (2005), descreveram comportamento semelhante para o nutriente potássio, sendo observado um comportamento crescente do teor deste nutriente em questão, no substrato estudado, de acordo com os níveis do polímero avaliado. Assim, os mesmos autores ressaltam que o aumento de potássio seja proveniente da liberação deste mineral da própria estrutura química do polímero, composto a base de acrilamida e do ácido acrílico.

Por outro lado, verifica-se na respectiva Figura 4B e Figura 5 que houve decréscimo nas perdas por lixiviação da variável potássio, bem como da condutividade elétrica (CE) apontada pelos dados médios estimados pelo modelo de regressão, assemelhando-se ao comportamento observado para os cátions bivalentes (Ca e Mg), sendo atribuído a essa redução a possibilidade de absorção deste mineral pelo polímero hidroabsorvente estudado.

Para a condutividade elétrica (CE), os dados médios estimados pelo modelo referente à maior dose do polímero (H_4) de $1,91 \text{ dS m}^{-1}$ quando comparado a dose estimada pelo tratamento testemunha (H_0) de $2,33 \text{ dS m}^{-1}$ constata-se que houve decréscimo de 18,02% na concentração total de sais no material de lixiviação drenado (Figura 5).

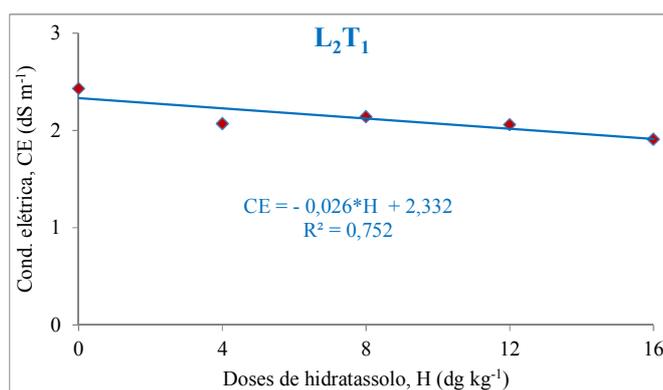


Figura 5. Condutividade elétrica (CE) em função da variação de doses de hidratassolo (H) e a lâmina de irrigação (L_2) na primeira época de observação (T_1).

5.3 Análises na segunda época de balanço hídrico

Considerando a metodologia aplicada no item anterior, a influência dos tratamentos nas variáveis estudadas, quando se fixou a segunda época de balanço hídrico (T_2), foi baseada na análise de variância do esquema fatorial. Assim, a análise indicou efeito significativo da interação ($H \times L$), em nível de 1% de probabilidade para os íons lixiviados (Ca, Mg, Na e K), bem como para condutividade elétrica (CE), excetuando-se o pH. No entanto, resalta-se que as análises de regressão indicaram que os dados médios observados dos íons lixiviados (Ca, Mg, Na e K) não se ajustaram significativamente a nenhum modelo de regressão, para os dois níveis de lâminas de irrigação estudadas, em função da variação das doses de hidratassolo[®].

De modo similar à primeira época, verifica-se decréscimo da condutividade elétrica (CE), indicado pelo modelo (Figura 6), em decorrência do aumento das doses de hidratassolo. No entanto, observa-se que o tratamento (H_4L_2) conferiu a menor concentração total de sais,

alcançando valor estimado pelo modelo de $2,02 \text{ dS m}^{-1}$, o que representa um decréscimo de 14,04%, quando comparado ao valor médio estimado pelo tratamento testemunha (H_0L_2) de $2,35 \text{ dS m}^{-1}$, quando se fixou a lâmina de irrigação (L_2).

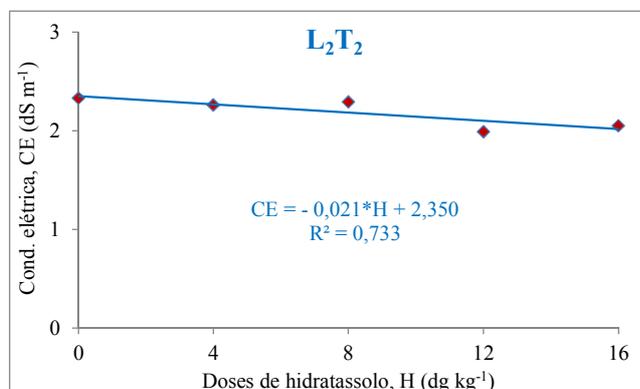


Figura 6. Condutividade elétrica (CE) em função da variação de doses de hidratassolo (H) e a lâmina de irrigação (L_2) na segunda época de observação (T_2).

Verifica-se também que a variação decrescente observada na concentração total de sais presentes no material de lixiviação drenado (Figura 6) é semelhante à variação dos dados médios ajustados para as variáveis Ca, Mg, K e CE, estudadas na primeira época de observação. Entretanto, ressalta-se também que a variação decrescente indicada pelo modelo de regressão diverge do comportamento apresentado por Sita et al., (2005), onde os autores observaram aumento da condutividade elétrica, no substrato estudado, diretamente proporcional às doses do polímero hidroabsorvente utilizado.

5.4 Análises na terceira época de balanço hídrico

Para a terceira época de balanço hídrico (T_3), os resultados da análise de variância indicaram influência significativa para a interação (H x L) em nível de 5% de probabilidade para as variáveis potássio (K), a condutividade elétrica (CE) e o pH, enquanto que para os íons lixiviados (Ca, Mg e Na) houve efeito significativo em nível de 1% de probabilidade. Dessa forma, com base no desdobramento da interação (H x L) para os íons lixiviados, verificou-se que apenas os dados médios observados das variáveis (Na) e (K) se ajustaram significativamente ao modelo linear de regressão, quando se fixou as respectivas lâminas de irrigação (L_2) e (L_1) (Figura 7A e 7B).

De outro modo, para as variáveis (CE) e (pH), ressalta-se que não houve modelo significativo quando se fixou os níveis das lâminas de irrigação, em função das doses de hidratassolo. Entretanto, para o íon sódio (Na) o valor estimado pela equação ajustada em função da maior dose de hidratassolo, para a lâmina (L_2), foi de $9,55 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$, proporcionando assim incremento de 50,63% em relação ao valor estimado pelo tratamento testemunha de $6,34 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ (Figura 7A). Para variável potássio (K), quando se fixou a lâmina (L_1) verifica-se que houve aumento linear dos valores estimados pelo modelo na concentração desse nutriente em função das doses crescentes do polímero, proporcionando acréscimo de 43,04% quando se comparou o valor

estimado da concentração do nutriente com a maior dose de $8,54 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$, e $5,97 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ estimado para o tratamento testemunha (Figura 7B).

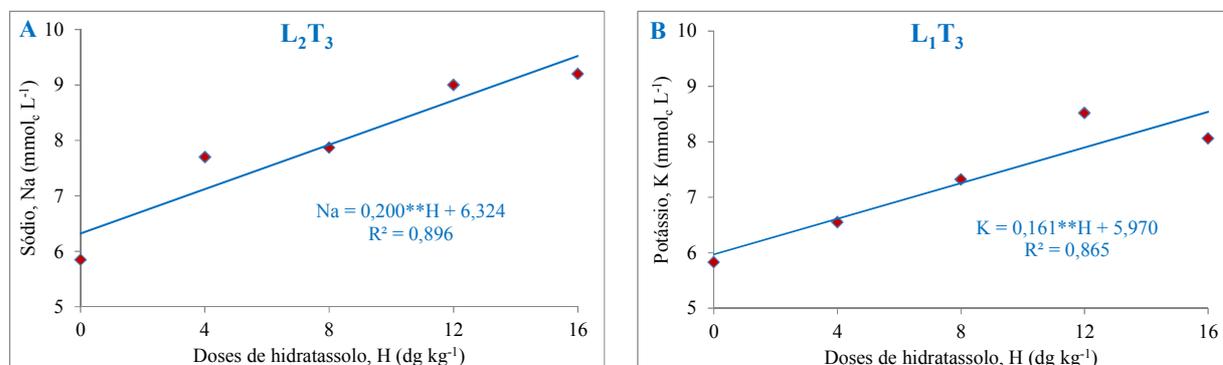


Figura 7. Concentração de sódio (Na) (A) e potássio (K) (B), em função da variação de doses de hidratassolo (H) e as respectivas lâminas de irrigação (L₂) e (L₁) na terceira época de observação (T₃).

5.5 Análises ao longo do período de cultivo

Para analisar o efeito dos tratamentos ao longo do período de cultivo, em decorrência do desdobramento da influência significativa da interação (H x L x T), avaliou-se o comportamento das épocas de observação de balanço hídrico (T), dentro das doses de hidratassolo (H), em cada lâmina de irrigação (L). No entanto, considerando que as análises de regressão indicaram que não houve modelo significativo para representar as superfícies de resposta das variáveis avaliadas, assumiu-se apenas o tratamento testemunha e o tratamento correspondente à dose máxima de hidratassolo[®] (Melo, 2007).

Assim, apresenta-se nas Figuras 8, 9 e 10 (A, B, C e D) a dispersão dos dados médios observados das variáveis estudadas em função das épocas de observação (T), as respectivas lâminas de irrigação (L₁ e L₂) fixando-se os níveis extremos das doses de hidratassolo[®] (H₀ e H₄). Verifica-se na Figura 8 (A, B, C e D) que houve queda na concentração dos íons (Ca e Mg) ao longo das épocas de observação, quando se fixou as lâminas de irrigação e as doses extremas de hidratassolo. Os tratamentos (H₄L₁) (Figura 8A e 8B), e (H₀L₂) (Figura 8C e 8D) proporcionaram as maiores perdas dos nutrientes lixiviados (Ca e Mg), em todas as épocas de observação, sendo que a adição do polímero elevou a concentração desses nutrientes quando se fixou a menor lâmina de irrigação, bem como reduziu a concentração quando se fixou a maior lâmina de irrigação.

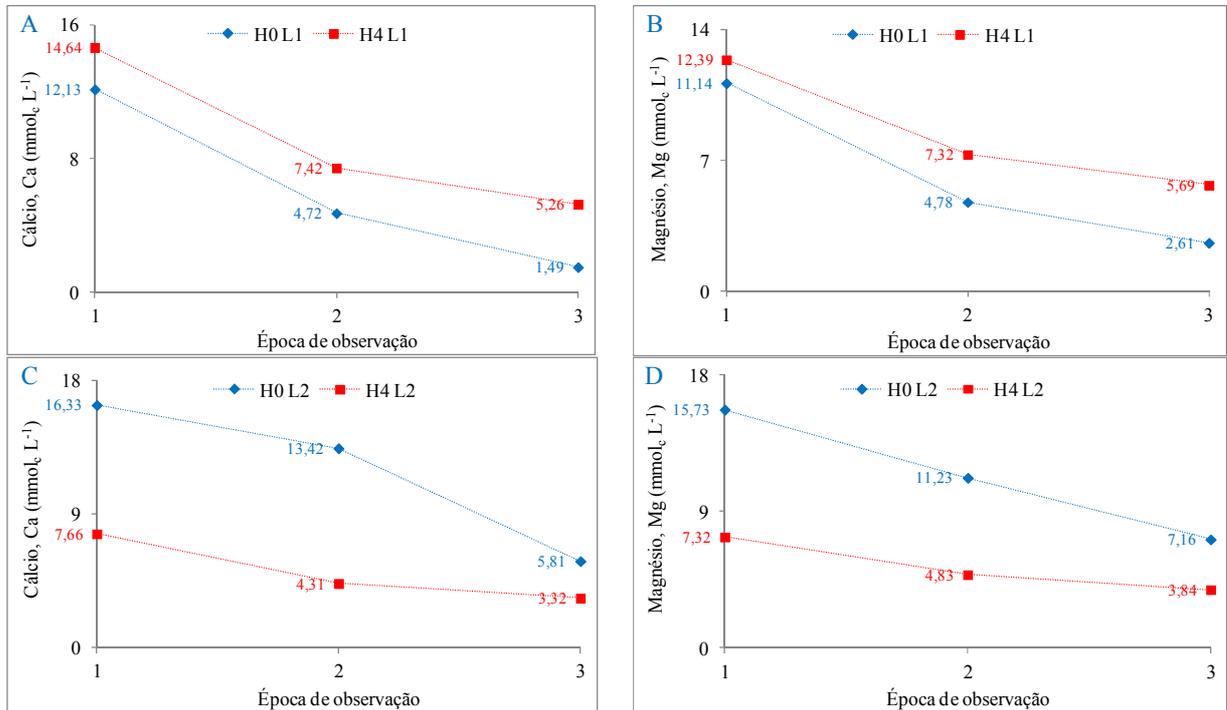


Figura 8. Concentração média observada dos íons cálcio (Ca) e magnésio (Mg) em função das épocas de observação e as respectivas lâminas de irrigação (L₁) (A e B) e (L₂) (C e D) nos níveis extremos de hidratassolo (H₀ e H₄).

Por outro lado, contrário ao que ocorreu com os cátions bivalentes (Ca e Mg), observa-se na Figura 9 (A, B, C e D) que houve elevação na concentração dos cátions monovalentes (Na e K) ao longo das épocas de observação, quando se fixou as lâminas de irrigação e as doses extremas de hidratassolo. As maiores perdas na concentração do íon sódio (Na), na solução drenada do solo, corresponderam aos tratamentos (H₀L₁) (Figura 9A) e (H₄L₂) (Figura 9C), enquanto que para o potássio (K) as maiores perdas corresponderam ao tratamento (H₄L₁) (Figura 9B) e (H₄L₂) (Figura 9D), a partir da primeira e segunda época de observação, respectivamente.

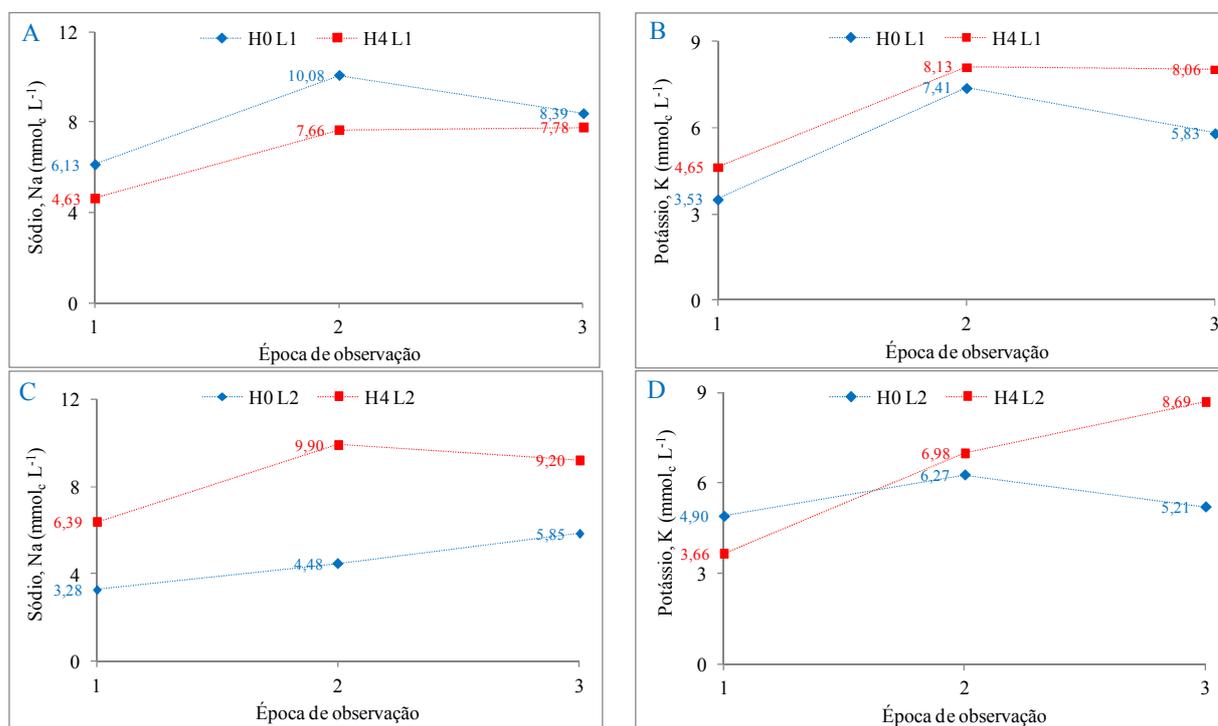


Figura 9. Concentração média observada dos íons sódio (Na) e potássio (K) em função das épocas de observação e as respectivas lâminas de irrigação (L₁) (A e B) e (L₂) (C e D) nos níveis extremos de hidratassolo (H₀ e H₄).

Dessa forma, observa-se que a adição do polímero hidratassolo elevou a concentração de potássio (K), dentro dos níveis de lâminas de irrigação, bem como elevou a concentração de sódio (Na) quando se fixou a lâmina de irrigação (L₂). Ressalta-se também que em estudos para determinar a concentração de potássio (K⁺) e a condutividade elétrica (CE) da água de drenagem em cultivo de pimentão, na mesma área experimental, Albuquerque, et al., (2011) verificaram que o volume drenado apresentou aumentos em determinados eventos de balanço hídrico em função das precipitações ocorridas no período, lixiviando mais íons potássio. Entretanto, verifica-se na Figura 10 (A e C) que houve queda da condutividade elétrica (CE), e elevação do pH (Figura 10B e 10D) ao longo das épocas de observação, quando se fixou as lâminas de irrigação e as doses extremas de hidratassolo. Os tratamentos (H₄L₁) (Figura 10A) e (H₀L₂) (Figura 10C) proporcionaram as maiores concentrações totais de sais na solução drenada do solo, ao longo das épocas de observação. Por outro lado, contrário ao que ocorreu com a condutividade elétrica (CE), os tratamentos (H₀L₁) (Figura 10B) e (H₄L₂) (Figura 10D) indicaram os maiores valores do pH, variando de 6,20 até 6,92 e de 5,80 até 6,85, respectivamente, sendo que a adição do polímero hidratassolo reduziu os valores de pH, na solução drenada, e elevou a (CE) quando se fixou a menor lâmina de irrigação, e de forma inversa quando se fixou a maior lâmina de irrigação.

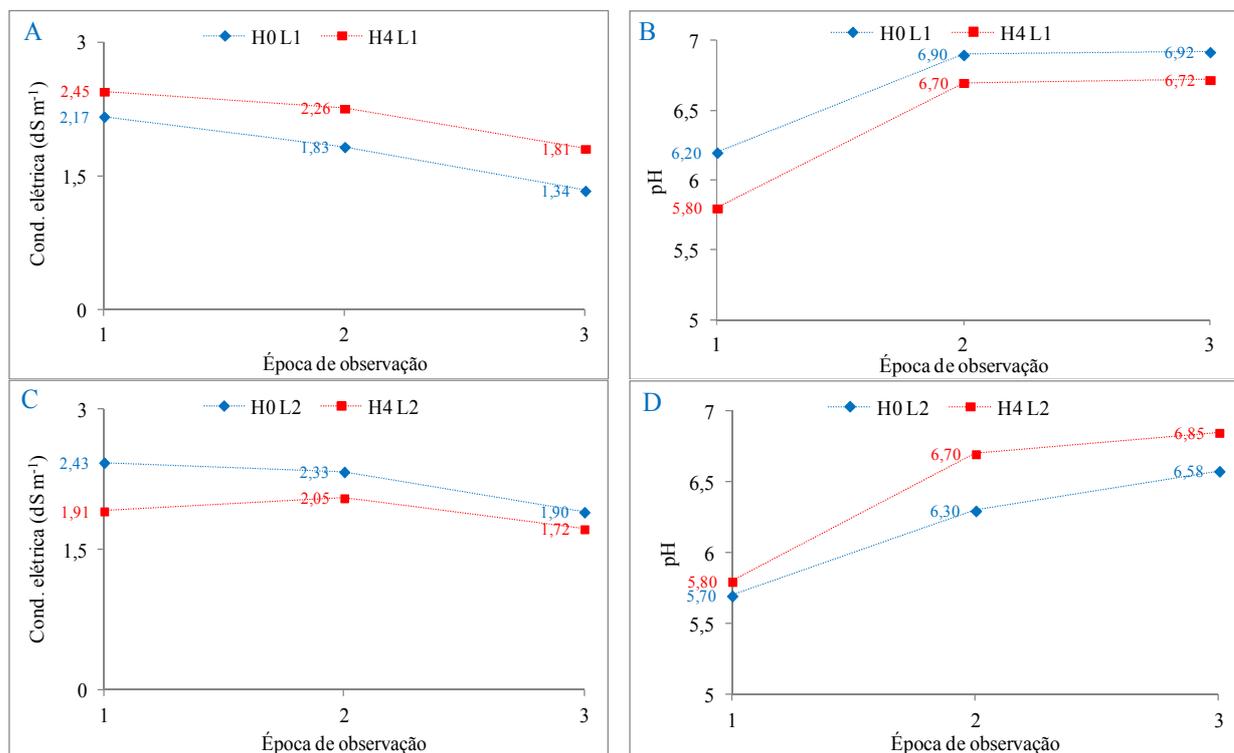


Figura 10. Concentração média observada da condutividade elétrica (CE) e do pH em função das épocas de observação e das respectivas lâminas de irrigação (L₁) (A e B) e (L₂) (C e D) nos níveis extremos de hidratassolo (H₀ e H₄).

No entanto, para a variável pH essa elevação também foi descrita por Vichiato et al., (2004) quando observaram aumento dos valores de pH de 5,7 até 6,7 promovida pela adição do polímero no substrato estudado. Segundo os autores, essa elevação nos valores de pH pode ser devido a alteração da capacidade de troca de cátions (CTC) proporcionada pelo polímero hidroabsorvente utilizado e, possivelmente, pela maior retenção de cátions básicos. Ainda, com relação à CTC dos polímeros, Morais (2001) informa que é muito alta quando comparada à maioria dos tipos de solo.

6 CONCLUSÕES

As concentrações dos nutrientes, cálcio, magnésio e potássio, e a concentração total de sais reduziram linearmente na solução drenada com a elevação das doses de hidratassolo, bem como houve elevação da concentração de sódio quando se fixou a maior lâmina de irrigação.

Quando se fixou a menor lâmina de irrigação, a adição do polímero hidratassolo elevou a concentração de cálcio, magnésio, potássio, e a concentração total de sais, bem como reduziu a concentração de sódio e do pH na solução drenada, ao longo do período de cultivo.

O efeito dos tratamentos ao longo do tempo reduziu as concentrações dos nutrientes cálcio e magnésio, e a concentração total de sais, bem como elevou as concentrações de sódio, potássio

e do pH na solução drenada para os dois níveis de lâminas de irrigação, dentro dos níveis extremos de hidratação do solo.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, M. I.; LOURENÇO, I. P.; OLIVEIRA, T. S.; LACERDA, N. B. Perda de nutrientes por lixiviação em um Argissolo Acinzentado cultivado com meloeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.4, p.811-819, 2006.

ALBUQUERQUE, F. S.; SILVA, E. F. F.; EMANUELLA, A.; SOUZA, R.; ROLIM, M. M. Lixiviação de potássio em um cultivo de pimentão sob lâminas de irrigação e doses de potássio. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 3, p. 135-144, 2011.

ALBUQUERQUE FILHO, J. A. C.; LIMA, V. L. A.; MENEZES, D.; AZEVEDO, C. A. V.; NETO, J. D.; SILVA JÚNIOR, J. G. Características vegetativas do coentro submetido a doses do polímero hidroabsorvente e lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 6, p. 671-679, 2009.

AZEVEDO, T. L. F.; BERTONHA, A.; GONÇALVES, A. C. A. Uso de hidrogel na agricultura. **Revista do programa de ciências agro-ambientais**, v. 1, n. 1, p. 23-31, 2002.

BOWMAN, D. C.; EVANS, R. Y.; PAUL, J. L. Fertilizer salts reduce hydration of polyacrylamide gels and affect physical properties of gel-amended container media. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.115, n.3, p.382-386, 1990.

COTTHEM, W. V. **Terracotem no combate à poluição ou contaminação do solo**. Universidade de Ghent. Bélgica, 1998.

DUSI, D. M. **Efeito da adição do polímero hidrorretentor na eficiência da adubação nitrogenada no crescimento de *brachiaria decumbens* cv. Basilisk, em dois diferentes substratos**, 2005. 93f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba.

GERVÁSIO, E. S.; FRIZZONE, J. A. Caracterização físico-hídrica de um condicionador de solo e seus efeitos quando misturado a um substrato orgânico. **Revista Irriga**, v. 9, n. 2, p. 94-105, 2004.

HAAG, H. P.; MINAMI, K. **Nutrição mineral em hortaliças**. 2ª ed., Campinas: Fundação Cargil, 1998. p. 28-29.

MAUCHLY, J. W. Significance test for sphericity of a normal n-variate distribution. **Annals of Mathematical Statistics**, v. 11, n. 2, p. 204-209, 1940.

- MEDEIROS, J. F.; MEDEIROS D. S.; PORTO FILHO, F. Q.; NOGUEIRA, I.C.C. Efeitos da qualidade e quantidade da água de irrigação sobre o coentro cultivado em substrato inicialmente salino. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, Campina Grande, v.2, p.22-26, 1998.
- MELO, M. R. S. **Lixiviação de nutrientes em lisímetros de drenagem na presença de um polímero hidroabsorvente**. 2007. 64f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.
- MORAIS, O. **Efeito do uso de polímero hidrorretentor no solo sobre o intervalo de irrigação na cultura da alface (*Lactuca sativa* L.)**. 2001. 73f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz, Piracicaba.
- NISSEN, M. J. Uso de hidrogeles en la producción de frambuesas (*Rubus idaeus*) del sur de Chile. **Agro-Sur**, Valdivia, v. 22, n. 2, p. 160-165, 1994.
- OLIVEIRA, A. R.; REZENDE, L. S.; MARTINEZ, A. M.; MIRANDA, G. V. Influência de um polímero hidroabsorvente sobre a retenção de água no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 8, n. 1, p. 160-163, 2004.
- SANTOS, A. B.; FAGERIA, N. K.; ZIMMERMANN, F. J. P. Atributos químicos do solo afetado pelo manejo da água e do fertilizante potássico na cultura do arroz irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 1, p.12-16, 2002.
- SANTOS, E. A.; **Sistema fotossíntese de manejo da água na agricultura irrigada (portuguese version)**, 2006. Disponível em: < www.fotossintese.net >. Acessado em 25 jan. 2006.
- SILVA, M. O.; FREIRE, M. B. G. S.; MENDES, A. M. S.; FERNANDES, M. B.; OLIVEIRA, D. A. Composição do lixiviado em quatro solos do Rio Grande do Norte irrigados com águas salinas. **Revista Caatinga**, v. 21, n. 1, p. 189-203, 2008.
- SITA, R. C. M. **Influência das formas de adubação nitrogenada e potássica na ação de polímero hidrorretentor sobre o crescimento de crisântemo *Dedranthema grandiflorum* variedade “virginal”**, 2002. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- SITA, R. C. M.; REISSMANN, C. B.; MARQUES, R.; OLIVEIRA, E.; TAFFAREL, A. D.; Effect of polymers associated with N and K fertilizer sources on *Dendranthema grandiflorum* growth and K, Ca and Mg relations. **Brazilian archives of biology and technology**, v. 48, n. 3, p. 335-342, 2005.
- SHAKHASHIRI, B. Z. **Chemical demonstrations: A handbook for teachers of chemistry**. Madison: University of Wisconsin Press, v. 3, p. 368, 1985.
- STATSOFT, Inc. **Statistica (data analysis software system)**, version 10, www.statsoft.com. 2011.

TEIXEIRA, L. A. J.; NATALE, W.; RUGGIERO, C. Alterações em alguns atributos químicos do solo decorrentes da irrigação e adubação nitrogenada e potássica em bananeira após dois ciclos de cultivo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 23, n. 3, p. 684-689, 2001.

VICHIATO, M.; VICHIATO, M. R. M.; SILVA, C. R. R. Crescimento e composição mineral da porta-enxerto tangerina Cleópatra cultivado em substrato acrescido de polímero hidrorretentor. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 28, n. 4, p. 748-756, 2004.

WANG, Y. T.; GREGG, L. L. Hydrophilic polymers - Their response to soil amendments and effect on properties of soilless potting mix. **Journal of the American Society for Horticulture Science**, v. 115, n. 6, p. 943-948, 1990.