

COMPOSIÇÃO DO LIXIVIADO EM QUATRO SOLOS DO RIO GRANDE DO NORTE IRRIGADOS COM ÁGUAS SALINAS

Michelangelo de Oliveira Silva

Mestre em Ciência do Solo, Eng^o. Agr^o. Departamento de Agronomia da UFRPE, CEP 52171-900, Recife-PE. E-mail: angelo_ufrpe@yahoo.com.br. Fone: (84) 3317-2615.

Maria Betânia Galvão dos Santos Freire

Professor do Departamento de Agronomia da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n – Dois Irmãos CEP.: 52171-900 – Recife-PE, Fone: (81) 3320 6242, Fax: (81) 3320 6220. E-mail: betania@depa.ufrpe.br

Alessandra Monteiro Salviano Mendes

Pesquisadora da EMBRAPA Semi-árido (CPATSA), Petrolina-PE.
E-mail: amendes@cpatsa.embrapa.br

Michelangelo Bezerra Fernandes

Mestre em Ciência do Solo, Eng^o. Agr^o. Departamento de Agronomia, CEP 52171-900, Recife-PE. E-mail: michelesam@hotmail.com Fone: (84) 3312-1558.

Dagmar Alves de Oliveira

Mestre em Ciência do Solo, Eng^o. Agr^o. – Rua dos Mulungus, 05. Urick Graff, Mossoró-RN, CEP.: 59625-470. E-mail: dagmar_ufrpe@yahoo.com.br

RESUMO - Em muitas áreas irrigadas do mundo, o suprimento de água de boa qualidade pode não ser suficiente para a manutenção da agricultura irrigada, ou seu custo ser elevado, buscando-se alternativas com o uso de água do lençol freático ou mesmo de drenagem. Geralmente, essas águas não são de boa qualidade e precisam ser bem manejadas para evitar a degradação dos solos e danos às plantas. Por isso, nesse trabalho, objetivou-se avaliar a composição do lixiviado em quatro solos do Rio Grande do Norte irrigados com águas de valores crescentes de condutividade elétrica (CE) e relação de adsorção de sódio (RAS), cultivados com melão. O trabalho foi conduzido em casa de vegetação no Departamento de Ciências Ambientais da Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Foram utilizadas amostras de quatro solos tradicionalmente cultivados com melão, irrigados com soluções preparadas para corresponderem a oito valores de condutividade elétrica (CE = 100, 250, 500, 750, 1.250, 1.750, 2.250 e 3.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$), e dois de relação de adsorção de sódio (RAS = 4 e 12), combinados como tratamentos de salinidade. Assim, o experimento constou de um arranjo fatorial 4 x 8 x 2 (quatro solos, oito CE e duas RAS), com três repetições dispostos em blocos casualizados, com uma repetição por bloco. Foram avaliados o pH e a CE, e os cátions e ânions no lixiviado coletado a cada 10 dias após o transplântio da mudas. O uso de soluções percolantes salinas promoveu a lixiviação de sais nos quatro solos estudados, principalmente no Cambissolo e no Neossolo, o aumento na concentração das soluções percolantes promoveu maiores perdas de cátions e ânions nos lixiviados e a lixiviação dos sais foi incrementada com o tempo de aplicação das soluções salinas.

Palavras chaves: Lixiviado, salinidade, *Cucumis melo* L., RAS.

COMPOSITION OF THE LEACHED IN FOUR SOILS OF RIO GRANDE DO NORTE IRRIGATED WITH SALINE WATERS

ABSTRACT - In many areas irrigated of the world, water supply of good quality not be enough for the maintenance of the irrigated agriculture, or your cost be elevated, seeking itself alternative with water use of the underground or even of drainage. Generally, these waters are not of good quality and they need to be well managed to avoid the degradation of the soils and damages to the plants. This work objectified evaluate the composition of lixiviate in four soils of Rio Grande do Norte, irrigated with waters of increasing levels of electric conductivity (EC) and sodium adsorption relation (SAR). This work aims to evaluate Assu/Mossoró, RN, agricultural production center soil degradation under irrigation with increasing electrical conductivity (EC) levels, and sodium adsorption rates (RAS), when cultivated with cantaloupe. The work was conducted in a greenhouse at the Environmental Sciences Department of Semi-Arid Rural Federal University. Four soil types, traditionally used for cantaloupe production, were used and irrigated with solutions corresponding to eight EC (EC = 100, 250, 500, 750, 1.250, 1.750, 2.250 and 3.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) and two SAR (SAR = 4 and 12) levels, as

salinity treatments, corresponding to the irrigation waters used in the Northeast, with low sodification risk, especially in the studied area. So the experiment was a factorial arrangement of 4 x 8 x 2 (four soils, eight EC and two SAR), with three replicates, on a randomized block design. They were evaluated pH and EC, as well as cations and anions soluble of each lixiviate collected of the 10 days after transplanted of the dumb. The use of leaching solutions promoted salt leaching in four studied soils, mainly at Cambissolo and Neossolo. The increase in the concentration of the percolates solutions promoted larger losses of salts, which were crescent with the time of leachate.

Word keys: Leachate, salinity, *Cucumis melo* L., SAR

INTRODUÇÃO

No Nordeste do Brasil, algumas áreas apresentam condições climáticas propícias aos processos de acúmulo de sais. Nestas, existem poços e açudes cujas águas são utilizadas para irrigação, representando um importante insumo na cadeia produtiva; no entanto, sua qualidade varia no tempo e no espaço. Sabe-se que na época de estiagem os açudes e poços têm a concentração de sais elevada, principalmente na época em que também são mais elevadas as temperaturas e a evapotranspiração da região e as culturas exigem maior suprimento de água.

Pela insuficiência de chuvas, a irrigação é de suma importância para garantir a produção de alimentos. Entretanto, observou-se, ao longo do tempo, que áreas irrigadas têm sofrido problemas de salinização. Pesquisadores como Pereira et al. (1986), Lima (1997) e Silva Filho et al. (2000) argumentam que o processo de salinização dos solos pode não estar ligado diretamente à qualidade da água utilizada na irrigação, dependendo também das características físico-químicas do solo em seu estado natural e das técnicas de manejo aplicadas ao mesmo.

Em algumas regiões áridas e semi-áridas do mundo, a água de boa qualidade pode não ser suficiente para a manutenção da agricultura irrigada, ou seu custo ser elevado, sendo necessário o uso de água do lençol freático ou, mesmo, de drenagem. Geralmente, essas águas não são de boa qualidade pelos elevados teores de sais presentes, fazendo-se necessário um manejo adequado com um balanço de sais que não incremente seus teores nos solos, não permitindo a degradação dos solos e danos às plantas.

A salinidade, assim como as características físicas e químicas do solo, apresenta uma variabilidade espacial e temporal natural em função das práticas de manejo utilizadas, da profundidade do lençol freático, da permeabilidade do solo, das taxas de evapotranspiração, das chuvas, da salinidade das

águas, do reuso da água de drenagem e de outros fatores hidrogeológicos (Queiroz et al., 1997; Ayers e Westcot, 1999; Cruz, 2001). Faz-se necessário, portanto, o monitoramento dos dados dessas águas, de modo a permitir a identificação dos fatores que contribuem para o aumento de sais, evitando assim que a produção agrícola e a rentabilidade das culturas nas áreas irrigadas sejam comprometidas (Mace & Amrhein, 2001; Ben-Hur et al., 2001, Andrade et al., 2002).

Diante do exposto, objetivou-se nesse trabalho avaliar a composição do lixiviado 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).

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas amostras de quatro solos coletadas no Agropolo Assu/Mossoró, no Rio Grande do Norte, em áreas tradicionalmente cultivadas com melão. Para isto, foram coletadas e analisadas 20 amostras, selecionando-se quatro solos: CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico típico - (CXve), ARGISSOLO VERMELHO Distrófico arênico - (Pvd), LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico argissólico - (LVAe), e NEOSSOLO FLÚVICO Ta Eutrófico típico - (RVe). As amostras de solo foram coletadas na profundidade de 0-30 cm, secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 2 mm para a caracterização física e química (Quadros 1 e 2), e 4 mm para a montagem do experimento. O experimento correspondeu a um arranjo fatorial 4 x 8 x 2 (quatro solos, oito valores de CE e dois de RAS), com três repetições, contabilizando 192 unidades experimentais. Os tratamentos foram dispostos no delineamento experimental em blocos casualizados, com uma repetição por bloco.

Quadro 1. Atributos físicos das amostras do CAMBISSOLO HÁPLICO (CXve), ARGISSOLO VERMELHO (PVd), LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO (LVAe) e NEOSSOLO FLÚVICO (RVe) estudados, na profundidade de 0-30 cm

Solo	Areia	Silte	Argila	ADA ⁽¹⁾	GF ⁽²⁾	GD ⁽³⁾	Densidade		Porosidade		
							Solo	Partículas	Macro	Micro	Total
							kg dm ⁻³		%		
CXve	502	234	264	84	68	32	1,46	2,47	8	32	40
PVd	893	14	93	21	86	14	1,70	2,45	19	12	31
LVAe	810	42	148	55	41	59	1,68	2,43	13	19	32
RVe	252	500	248	21	91	9	1,40	2,55	5	48	53

1 – Argila dispersa em água; 2 – Grau de flocculação; 3 – Grau de dispersão.

As faixas de CE das águas aplicadas assemelharam-se às águas comumente encontradas na região, com valores de 100, 250, 500, 750, 1.250, 1.750, 2.250 e 3.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, classificadas como C₁, C₂, C₃ e C₄ que, segundo USSL Staff (1954), estão

associadas, respectivamente, a baixo, médio, alto e muito alto risco de salinização em solos. Nesta faixa de CE estudada incluem-se, também, as águas usadas em irrigação no Nordeste do Brasil, em sua maioria (Oliveira & Maia, 1998; Medeiros et al., 2003).

Quadro 2. Atributos químicos das amostras do CAMBISSOLO HÁPLICO (CXve), ARGISSOLO VERMELHO (PVd), LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO (LVAe) e NEOSSOLO FLÚVICO (RVe) estudados, na profundidade de 0-30 cm

Atributo	Solo			
	CXve	PVd	LVAe	RVe
pH (1:2,5)	7,20	5,40	7,10	8,10
CEe ⁽¹⁾ (dS m ⁻¹)	0,20	0,10	0,10	0,65
C.O. (g kg ⁻¹)	6,30	4,30	2,54	8,60
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	2,40	0,90	2,20	12,60
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,80	0,40	0,80	4,25
Na ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,16	0,05	0,04	1,10
K ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,53	0,10	0,22	0,98
CTC ⁽²⁾ (cmol _c dm ⁻³)	7,25	4,98	4,66	14,98
PST ⁽³⁾ (%)	2,21	1,00	0,86	7,34
P _{Mehlich} (mg dm ⁻³)	16,00	5,00	19,00	42,00
P _{Olsen} (mg dm ⁻³)	8,00	3,50	10,50	31,00
P _{Rem} (mg L ⁻¹)	31,20	46,60	48,80	35,00
Extrato da pasta:				
pH	7,10	5,90	6,50	7,90
CEes ⁽⁴⁾ (dS m ⁻¹)	0,53	0,28	0,62	0,96
Ca ²⁺ (cmol _c L ⁻¹)	0,75	0,25	1,00	1,00
Mg ²⁺ (cmol _c L ⁻¹)	0,13	0,00	0,13	0,13
Na ⁺ (cmol _c L ⁻¹)	0,14	0,09	0,15	0,15
K ⁺ (cmol _c L ⁻¹)	0,03	0,03	0,05	0,05
Cl ⁻ (cmol _c L ⁻¹)	0,25	0,15	0,50	0,55
CO ₃ ²⁻ (cmol _c L ⁻¹)	0,00	0,10	0,00	0,00
HCO ₃ ⁻ (cmol _c L ⁻¹)	0,75	0,88	0,75	0,88
SO ₄ ²⁻ (cmol _c L ⁻¹)	0,00	0,00	0,00	0,00
RAS ⁽⁵⁾	0,21	0,24	0,20	0,28

1 – Condutividade elétrica do extrato 1:1; 2 – Capacidade de troca de cátions; 3 – Percentagem de sódio trocável; 4 – Condutividade elétrica do extrato de saturação; 5 – Relação de adsorção de sódio.

O trabalho foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Ciências Ambientais da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, RN, utilizando-se vasos de polietileno com capacidade de 10 dm³, perfurados na base, para instalação de drenos para coleta do lixiviado. Para evitar perdas de solo, os orifícios foram recobertos com espuma.

As amostras de solo preparadas foram acondicionadas nos vasos, com uma massa de 10 kg/vaso, recebendo irrigação com as respectivas soluções pré-estabelecidas para atender à demanda pela planta (80% da capacidade máxima de retenção de umidade do solo) e um volume adicional para proporcionar a lixiviação, correspondendo a 50 % do volume de poros de cada solo. As sementes de melão do tipo amarelo, cultivar Mandacaru, foram semeadas em bandejas de 128 células com substrato comercial, para a obtenção das mudas. Depois de acondicionadas, as amostras de solo nos vasos, realizou-se a primeira irrigação e, no mesmo dia, foram transplantadas as mudas de melão, com 8 a 15 dias após a semeadura, deixando-se uma planta por vaso, conduzido-as em haste única por tutoramento.

Realizou-se uma adubação para todos os tratamentos com objetivo de suprir as necessidades da cultura, de acordo com as análises químicas do solo e as exigências nutricionais, para cada fase de desenvolvimento, do melão. A adubação fosfatada foi em cova, cerca de 10 cm de profundidade, utilizando como fonte o superfosfato triplo (160 kg ha⁻¹). As doses de potássio (160 kg ha⁻¹) e nitrogênio (40 kg ha⁻¹) foram fornecidas na forma de cloreto de potássio e uréia. Os micronutrientes foram fornecidos na forma de adubo foliar, com base no boro, micronutriente de maior exigência pela cultura (6 kg ha⁻¹), via fertirrigação.

Aos 10 dias do transplântio coletou-se o primeiro lixiviado, repetindo-se aos 20 e 30 dias, durante o período de 45 dias em que foi conduzido o cultivo do melão. Na primeira coleta não houve material lixiviado suficiente nas amostras do NEOSSOLO FLÚVICO, não sendo possível realizar as análises e apresentar os resultados como nos demais solos.

No lixiviado coletado a cada 10 dias foi medido o pH e a condutividade elétrica (CE a 25°C), determinando-se também os cátions (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ e K⁺) e ânions (Cl⁻, HCO₃⁻, CO₃²⁻, SO₄²⁻) solúveis (USSL Staff, 1954). As variáveis foram submetidas à análise da variância e teste de Tukey a 5% de probabilidade para comparação das médias entre os solos e tratamentos de RAS. Foram, também, ajustadas equações de regressão das variáveis dependentes analisadas em função dos tratamentos de

CE aplicados, visando-se obter estimativas da composição dos lixiviados com o uso de águas de irrigação com diferentes teores de sais, para os fatores principais (solo e RAS).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O pH das soluções de lixiviação nos três períodos de coleta (Quadros 3, 4 e 5) acompanhou os valores de pH encontrados nos solos (Quadro 2), em que o NEOSSOLO e o CAMBISSOLO apresentaram valores de pH mais elevados que o ARGISSOLO e o LATOSSOLO, solos de intemperismo mais avançado. Observou-se, em geral, o decréscimo do pH do lixiviado da primeira para a terceira coleta, possivelmente, pela retirada de cátions alcalinos pela lixiviação promovida com as soluções de cloreto. Isso pode indicar a possibilidade de correção desses solos pela aplicação de lâminas de lixiviação, desde que em situação de boa drenagem no campo e com águas sem elevados teores de sais, como método de recuperação de solos salinos, referenciado na literatura desde os primórdios dos estudos de solos afetados por sais (USSL Staff, 1954).

Essa possibilidade também pode ser visualizada pelas elevadas CE dos lixiviados nas três épocas, especialmente na última amostragem, e nos quatro solos (Quadros 3, 4 e 5). É possível que, com o tempo de passagem das soluções de percolação, a solubilização dos elementos presentes nos solos tenha elevado essa CE, indicando a retirada de íons pelas soluções. Isso se confirma pelos teores de cátions presentes nos lixiviados, principalmente na terceira coleta aos 30 dias (Quadro 5), em que se destacam os valores de Na presentes em relação aos demais cátions. A retirada do sódio do sistema é um fator positivo, por evitar os processos de sodificação decorrentes do uso de águas de irrigação com elevadas proporções desse elemento (Freire et al., 2003).

Os solos que apresentaram maiores lixiviações de sódio foram o ARGISSOLO e o LATOSSOLO, coincidentemente com menores teores de cálcio nos três lixiviados avaliados. Contrariamente, nos lixiviados do CAMBISSOLO e do NEOSSOLO foram encontrados menores teores de Na e maiores de Ca. É possível que esses dois últimos apresentem minerais fornecedores de Ca, especialmente o NEOSSOLO, que já continha originalmente alto teor de Ca trocável (Quadro 2). A passagem de soluções de percolação pode estar promovendo a solubilização de elementos e sua retirada nos lixiviados, com aumento ao longo do tempo.

Quadro 3. Resultados de pH, condutividade elétrica (CE), teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- e HCO_3^- e relação de adsorção de (RAS) do lixiviado coletado aos 10 dias do experimento nos quatro solos estudados em função dos diferentes valores de RAS das soluções de percolação

VARIÁVEL	RAS	SOLO			
		CXVe	PVd	LVAe	RVe
pH	4	7,12 a	5,18 b	6,35 a	
	12	7,18 a	5,42 a	6,37 a	
	Média	7,15 A	5,30 C	6,36 B	
CV – 6,56%					
CEes ($\mu\text{S m}^{-1}$)	4	1780 a	1620 b	2430 b	
	12	1800 a	1770 a	2550 a	
	Média	1790 A	1700 C	2490 A	
CV – 9,31%					
Ca ($\text{cmol}_c \text{ L}^{-1}$)	4	2,50 a	1,74 b	2,40	
	12	2,47 a	1,92 a	2,02 b	
	Média	2,48 A	1,83 C	2,21 B	
CV – 6,88%					
Mg ($\text{cmol}_c \text{ L}^{-1}$)	4	0,83 a	0,57 b	0,79 a	
	12	0,81 a	0,64 a	0,66 b	
	Média	0,82 A	0,60 C	0,73 B	
CV – 7,08%					
Na ($\text{cmol}_c \text{ L}^{-1}$)	4	0,69 a	1,87 a	2,89 a	
	12	0,51 b	1,93 a	2,89 a	
	Média	0,60 C	1,90 B	2,89 A	
CV – 9,34%					
K ($\text{cmol}_c \text{ L}^{-1}$)	4	0,20 a	0,53 a	0,58 a	
	12	0,20 a	0,49 b	0,56 a	
	Média	0,20 C	0,51 B	0,57 A	
CV – 17,89%					
Cl ($\text{cmol}_c \text{ L}^{-1}$)	4	1,44 a	1,71 a	2,11 a	
	12	1,56 a	1,81 a	2,00 a	
	Média	1,50 C	1,76 B	2,06 A	
CV – 18,83%					
HCO_3^- ($\text{cmol}_c \text{ L}^{-1}$)	4	0,60 a	0,59 a	0,47 a	
	12	0,56 a	0,53 a	0,56 a	
	Média	0,58 A	0,56 A	0,52 A	
CV – 22,15%					
RAS ($\text{cmol}_c \text{ L}^{-0,5}$)	4	0,56 a	1,79 a	2,36 b	
	12	0,41 b	1,71 a	2,60 a	
	Média	0,48 C	1,75 B	2,48 A	
CV – 11,80%					

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas nas colunas, e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade dentro de cada solo.

Quadro 4. Resultados de pH, condutividade elétrica (CE), teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- e HCO_3^- e relação de adsorção de (RAS) do lixiviado coletado aos 20 dias do experimento nos quatro solos estudados em função dos diferentes valores de RAS das soluções de percolação

VARIÁVEL	RAS	SOLO			
		CXVe	PVd	LVAe	RVe
pH	4	6,97 a	4,68 b	6,55 a	7,29 b
	12	7,10 a	4,90 a	6,52 a	7,55 a
	Média	7,04 B	4,79 D	6,54 C	7,42 A
CV – 4,41%					
CEes ($\mu\text{S m}^{-1}$)	4	2120 a	2640 a	2730 a	3830 a
	12	2300 a	2670 a	2950 a	3550 b
	Média	2210 C	2660 B	2840 B	3690 A
CV – 15,87%					
Ca ($\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$)	4	2,31 a	1,89 a	1,90 a	3,60 a
	12	2,43 a	1,60 a	1,80 a	3,12 b
	Média	2,37 B	1,74 C	1,85 C	3,36 A
CV – 15,87%					
Mg ($\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$)	4	0,88 a	0,93 a	1,00 a	0,87 b
	12	0,91 a	0,95 a	1,06 a	1,47 a
	Média	0,90 C	0,94 BC	1,03 B	1,17 A
CV – 24,86%					
Na ($\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$)	4	0,71 b	2,98 b	3,13 b	2,92 a
	12	0,86 a	3,42 a	3,44 a	2,74 b
	Média	0,79 C	3,20 A	2,29 A	2,83 B
CV – 10,90%					
K ($\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$)	4	0,19 a	0,30 b	0,26 a	0,27 a
	12	0,19 a	0,37 a	0,27 a	0,23 b
	Média	0,19 C	0,34 A	0,27 B	0,25 B
CV – 21,28%					
Cl ($\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$)	4	2,70 a	3,10 b	3,21 a	3,34 a
	12	2,53 a	3,43 a	3,42 a	3,41 a
	Média	2,61 B	3,26 A	3,32 A	3,37 A
CV – 14,62%					
HCO_3^- ($\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$)	4	0,92 a	1,03 a	0,93 a	0,95 a
	12	0,84 a	1,01 a	0,99 a	1,09 a
	Média	0,88 B	1,02 A	0,96 AB	1,02 A
CV – 25,73%					
RAS ($\text{cmol}_c \text{L}^{-0,5}$)	4	0,56 a	2,57 b	2,55 b	1,96 a
	12	0,67 a	3,01 a	2,83 a	1,86 a
	Média	0,61 C	2,79 A	2,69 A	1,91 B
CV – 11,80%					

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas nas colunas, e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade dentro de cada solo.

Quadro 5. Resultados de pH, condutividade elétrica (CE), teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- e HCO_3^- e relação de adsorção de (RAS) do lixiviado coletado aos 30 dias do experimento nos quatro solos estudados em função dos diferentes valores de RAS das soluções de percolação

VARIÁVEL	RAS	SOLO			
		CXVe	PVd	LVAe	RVe
pH	4	6,77 a	3,92 b	5,21 a	7,27 a
	12	6,23 a	4,04 a	5,21 a	7,23 a
	Média	6,50 B	3,98 D	5,21 C	7,25 A
CV – 3,02%					
CEes ($\mu\text{S m}^{-1}$)	4	5.340 b	3.890 a	5.620 a	4.920 b
	12	5.730 a	4.010 a	5.780 a	5.960 a
	Média	5.540 A	3.950 B	5.700 A	5.440 A
CV – 10,18%					
Ca ($\text{cmol}_c \text{ L}^{-1}$)	4	4,76 b	2,18 a	3,18 a	3,31 a
	12	5,05 a	1,71 b	2,65 b	3,38 a
	Média	4,91 A	1,94 D	2,92 C	3,35 B
CV – 8,59%					
Mg ($\text{cmol}_c \text{ L}^{-1}$)	4	0,93 a	0,78 b	1,07 a	1,04 b
	12	0,95 a	0,99 a	1,03 a	1,27 a
	Média	0,94 C	0,88 C	1,05 B	1,15 A
CV – 19,39%					
Na ($\text{cmol}_c \text{ L}^{-1}$)	4	3,19 b	6,34 b	5,09 b	3,00 a
	12	4,39 a	8,64 a	5,57 a	3,06 a
	Média	3,79 C	7,49 A	5,33 B	3,03 D
CV – 13,98%					
K ($\text{cmol}_c \text{ L}^{-1}$)	4	0,22 a	0,46 b	0,35 b	0,23 a
	12	0,26 a	0,63 a	0,42 a	0,23 a
	Média	0,24 C	0,54 A	0,39 B	0,23 C
CV – 24,14%					
Cl ($\text{cmol}_c \text{ L}^{-1}$)	4	4,81 a	4,10 a	4,33 a	3,23 b
	12	5,31 a	3,93 a	4,73 a	4,30 a
	Média	5,06 A	4,02 BC	4,53 AB	3,76 C
CV – 25,06%					
HCO_3^- ($\text{cmol}_c \text{ L}^{-1}$)	4	0,93 a	1,01 a	1,01 b	0,98 a
	12	0,78 b	1,05 a	1,13 a	0,91 a
	Média	0,85 C	1,03 A	1,07 A	0,94 B
CV – 14,23%					
RAS ($\text{cmol}_c \text{ L}^{-0,5}$)	4	1,88 b	5,08 b	3,80 b	1,93 a
	12	2,41 a	7,34 a	4,34 a	2,01 a
	Média	2,15 C	6,21 A	4,07 B	1,97 C
CV – 12,34%					

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas nas colunas, e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade dentro de cada solo.

Dos ânions avaliados, cloretos e bicarbonatos, os primeiros superam pelo fornecimento, já que as soluções de percolação foram preparadas a bases de NaCl e CaCl₂, sendo encontrados valores consideráveis de Cl nas soluções lixiviadas nas três épocas de amostragem e, mais uma vez, aos 30 dias esses teores são superiores aos das duas primeiras amostragens (Quadros 3, 4 e 5).

Em geral, observa-se que a lixiviação de sais foi incrementada à medida que o experimento foi conduzido, com elevação dos teores de elementos solúveis retirados dos solos, culminando com a terceira amostragem de lixiviado. Por isso, avaliaram-se as variáveis do lixiviado na última coleta em relação ao aumento da CE das soluções de percolação. Verificou-se aumento no pH, na CE, nos teores de cátions e ânions analisados e na RAS do lixiviado com o uso de soluções percolantes de CE crescente (Figuras 1, 2, 3, 4 e 5).

Com o aumento da CE do lixiviado (Figura 1), em função da elevação das concentrações das águas de percolação, ocorreu uma maior lixiviação de sais, verificada pelos teores crescentes dos elementos, principalmente o Ca²⁺, o Na⁺ e o Cl⁻ no lixiviado (Figuras 2, 3 e 4), por serem estes os elementos utilizados na composição destas soluções. Esses resultados são coerentes com os obtidos por Jury et al.

(1979) e Sampaio & Ruiz (1996), os quais afirmam que os cloretos são praticamente lixiviados do solo com aplicação de água correspondente a um volume de poros.

O aumento na concentração dos cátions e ânions nos lixiviados torna essas águas mais salinas, podendo aumentar os danos no sistema solo, quando da reutilização dessas águas na irrigação. Como esses elementos são lixiviados no perfil, pode ocasionar aumento da salinidade do lençol freático como também de rios ligados a esses lençóis, trazendo problemas como eutrofização dos mananciais hídricos. Fernandes et al. (2005), estudando o lençol freático na Chapada do Apodi, observaram que o íon potássio, proveniente do KCl, utilizado como fertilizante na agricultura da Chapada, é facilmente assimilado pelo sistema solo-planta, enquanto o íon cloreto, que é conservativo, é carregado para o aquífero, tornando-se fonte de salinização das águas. O aumento neste íon, observado no período de estudo é, muito provavelmente, decorrente do que não foi assimilado, ou seja, foi colocado em excesso. Suspeita-se que, na Chapada do Apodi, a utilização do KCl na atividade agrícola tem elevado a concentração salina, no entanto, o sistema volta a níveis próximos aos do estado natural, possivelmente, pela lixiviação no período das chuvas.

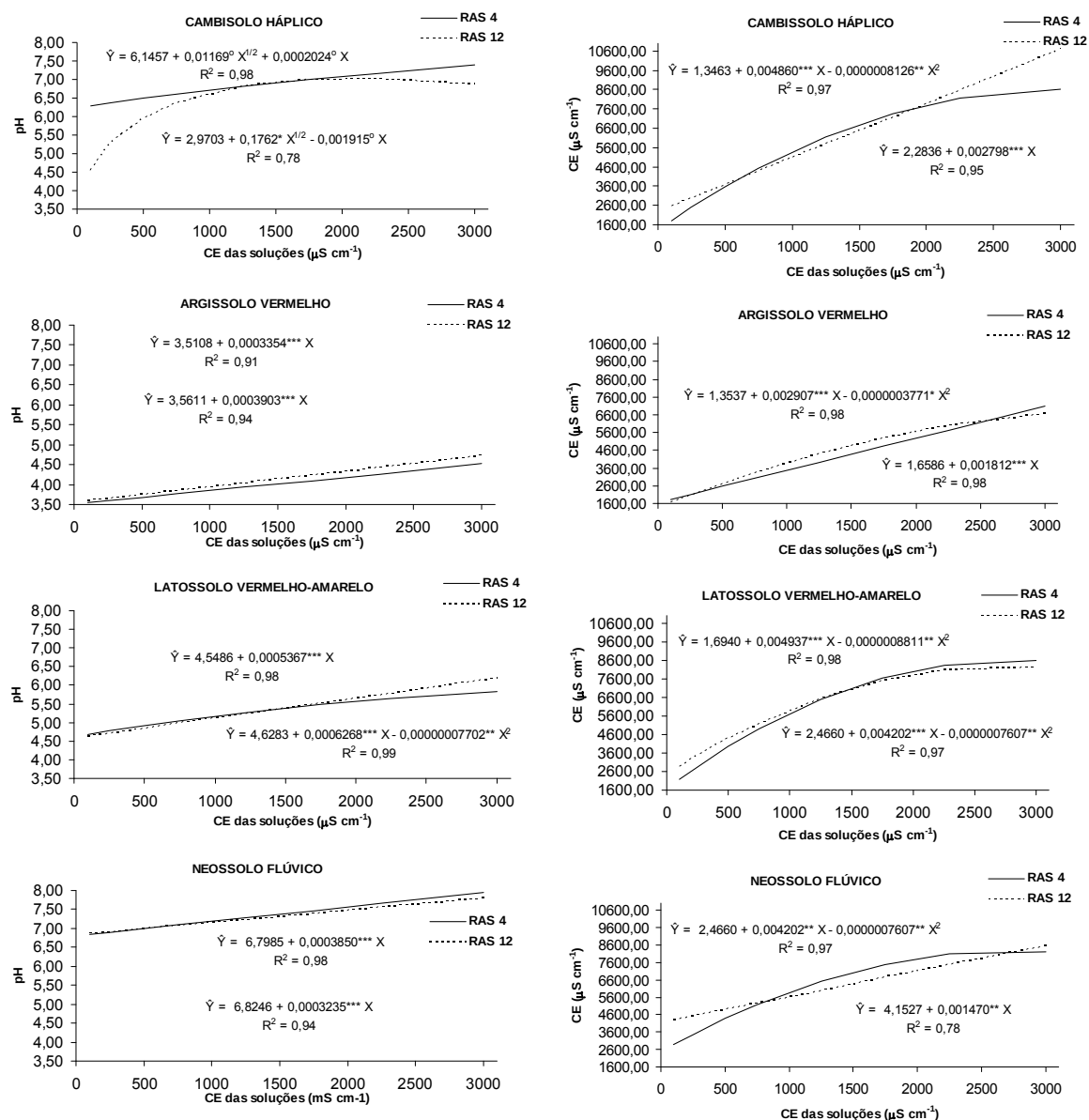


Figura 1. Equações de regressão das variáveis de pH, condutividade elétrica (CE), do lixiviado coletado aos 30 dias do experimento nos quatro solos estudados em função da CE das soluções de percolação.

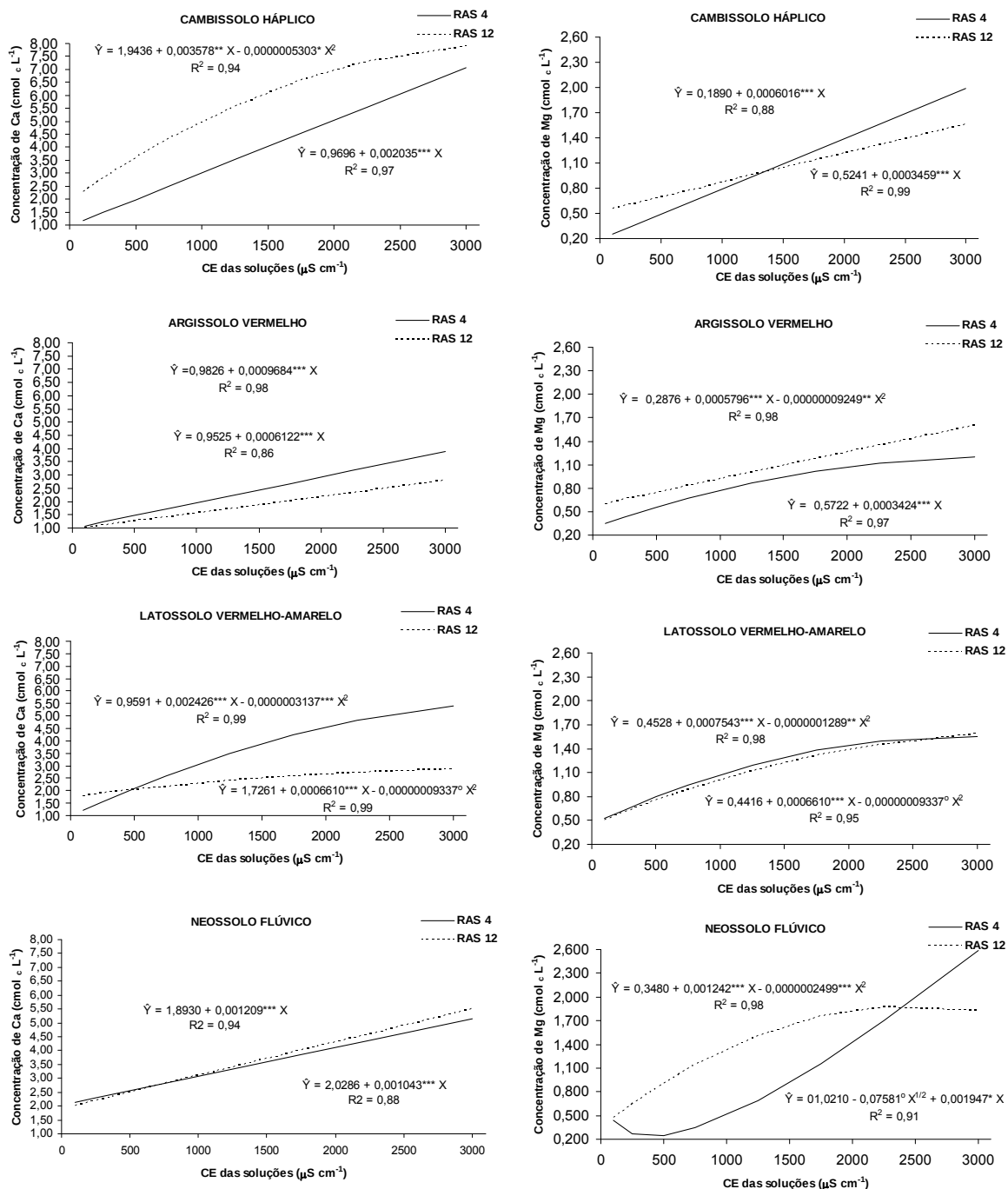


Figura 2. Equações de regressão das variáveis dos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} do lixiviado coletado aos 30 dias do experimento nos quatro solos estudados em função da CE das soluções de percolação.

O risco de sodicidade, avaliado pela relação de adsorção de sódio (RAS), aumentou para todos os solos nas três coletas de lixiviado, principalmente aos

30 dias (Figura 5). Isso é explicado pela combinação da solubilidade, presença de cálcio e deslocamento do sódio e do magnésio do complexo de troca do solo.

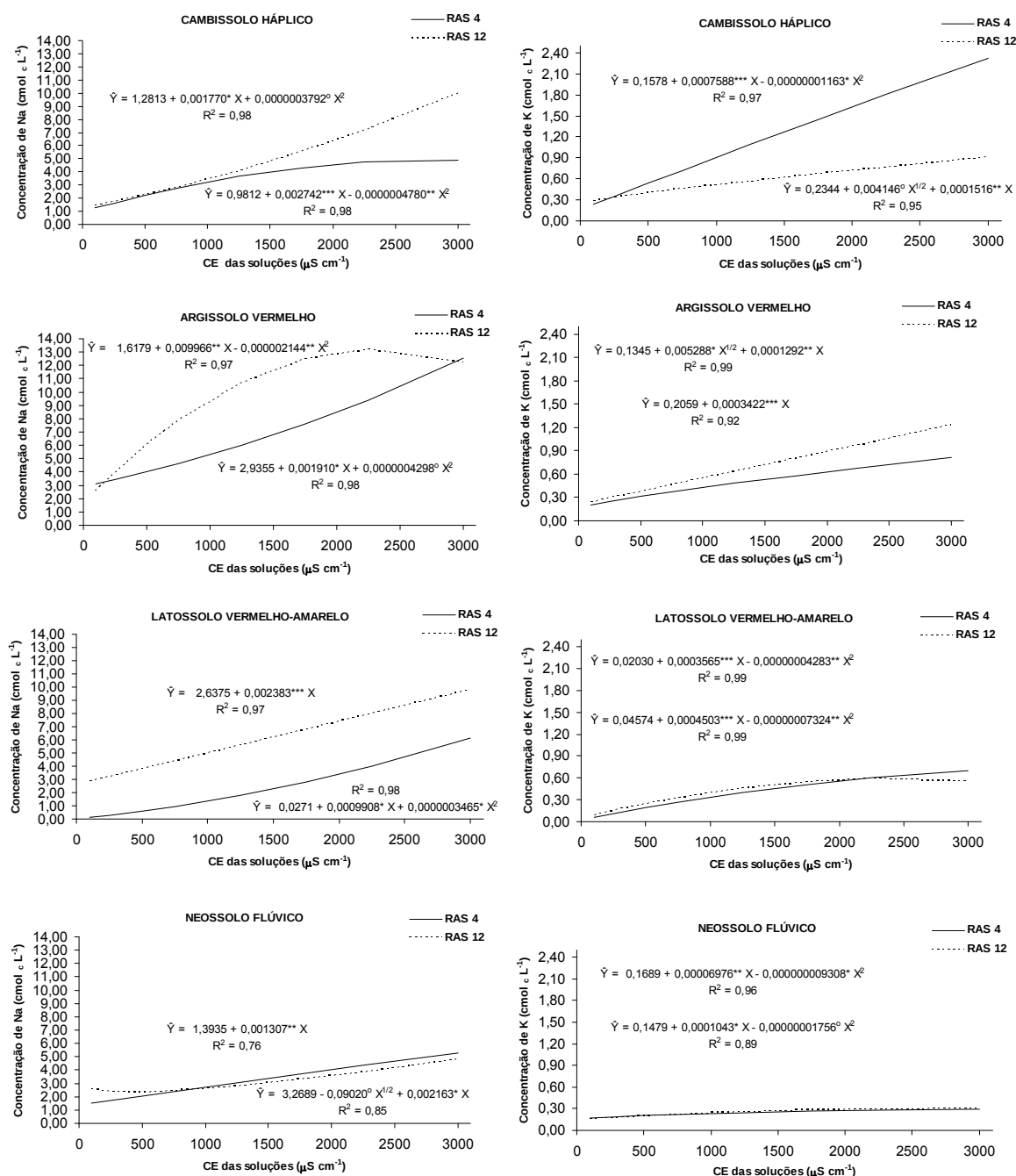


Figura 3. Equações de regressão das variáveis dos teores de Na⁺ e K⁺ do lixiviado coletado aos 30 dias do experimento nos quatro solos estudados em função da CE das soluções de percolação.

Como a RAS é uma relação entre o teor de sódio e a raiz quadrada da soma dos valores de cálcio e magnésio, se há deslocamento de sódio do solo e este, posteriormente, é lixiviado, isso não implica em uma RAS mais elevada, pois isto dependerá, também, da concentração de cálcio e magnésio. Com o uso do cloreto de cálcio, além de ocorrer o deslocamento do sódio, o magnésio também é deslocado, que contribui

com o aumento dos teores desse elemento na solução lixiviada (Figura 2). Assim, os valores da RAS devem ser analisados levando-se em consideração o seu conceito, por isso, nesse caso, uma RAS maior indica que o Na⁺ está saindo do sistema em proporções superiores à soma de Ca²⁺ e Mg²⁺, o que é benéfico, por não permitir a sodificação dos solos.

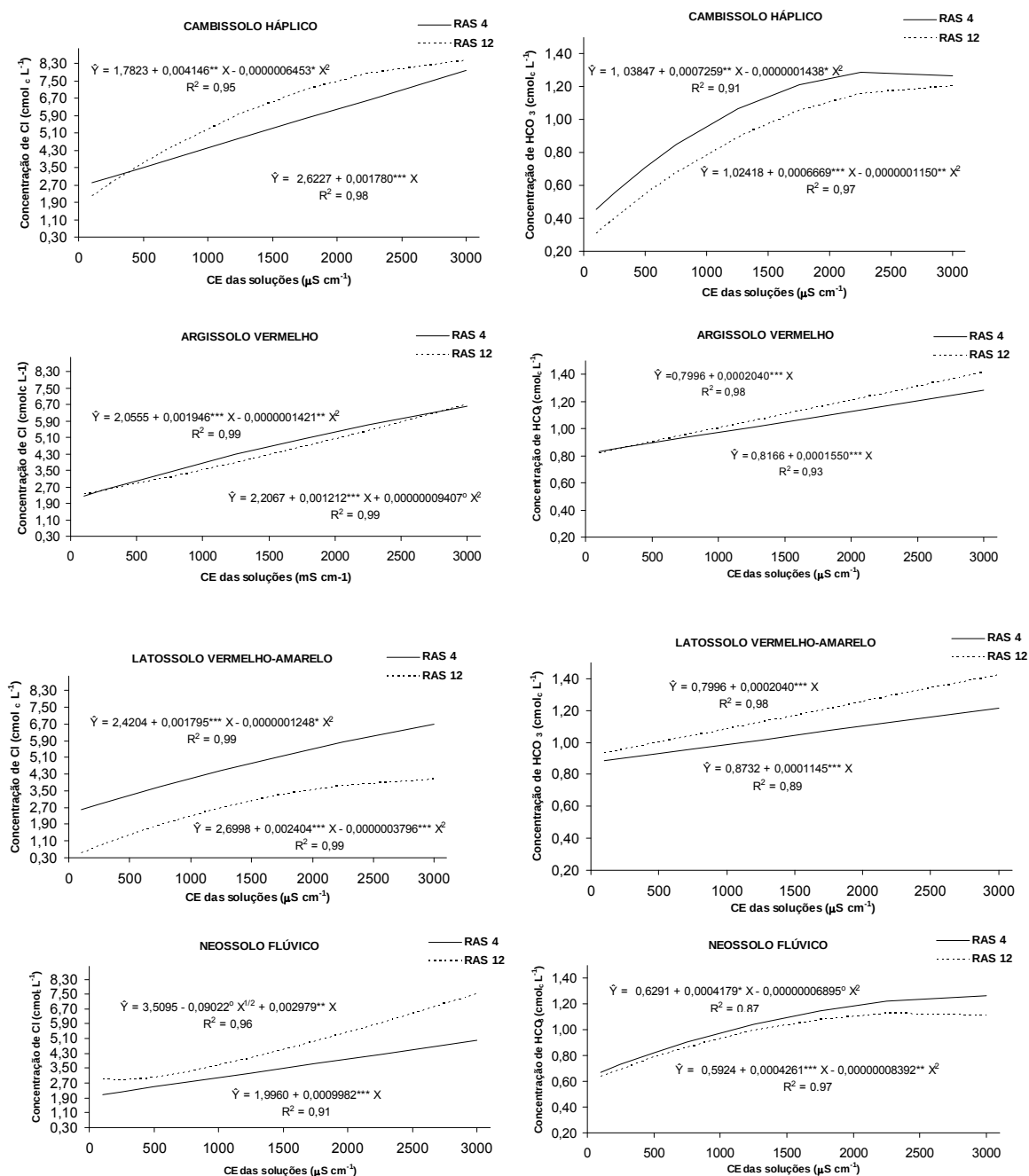


Figura 4. Equações de regressão das variáveis dos teores de Cl^- e HCO_3^- do lixiviado coletado aos 30 dias do experimento nos quatro solos estudados em função da CE das soluções de percolação.

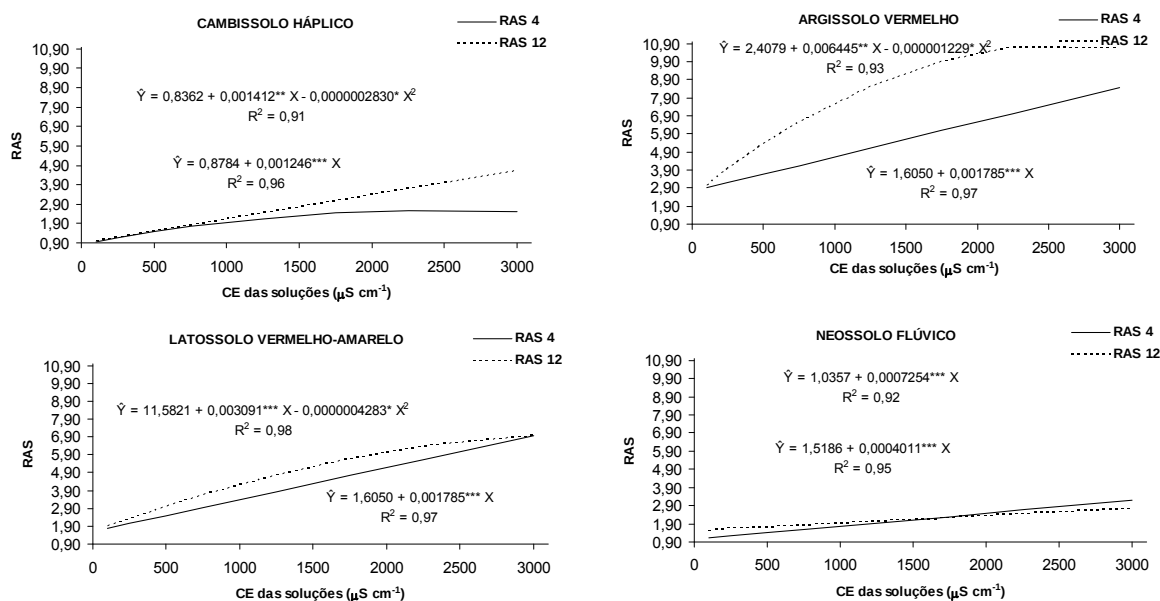


Figura 5. Equações de regressão da relação de adsorção de (RAS) do lixiviado coletado aos 30 dias do experimento nos quatro solos estudados em função da CE das soluções de percolação.

Mesmo que o cálcio lixiviado seja uma parte das águas de percolação, é importante observar que, nos solos sódicos, tem a função de deslocar o sódio do complexo sortivo do solo para posterior lixiviação no sistema. O cloreto de cálcio, devido a sua alta solubilidade, tem condição de retirar mais eficientemente o sódio do solo em relação aos demais sais de cálcio. Outro ponto a se destacar é o efeito do cloreto de cálcio no deslocamento do magnésio do complexo de troca do solo. Isso é importante porque o magnésio incrementa os efeitos dispersivos do sódio, devido ao tamanho de seu raio iônico hidratado.

Maiores proporções de íons cloreto na solução lixiviada foram retiradas justamente das soluções com maiores concentrações de cloreto de cálcio e sódio (Figura 4). Isso, provavelmente, deve-se à dissolução dos mesmos por apresentar alta solubilidade (Prather et al., 1978). Entretanto, a solubilidade do cloreto possibilita a retirada desses sais do sistema com maior facilidade que outros compostos, como defendem Maia et al. (1999), verificando que uma lâmina de irrigação equivalente a 50% da precipitação média da região da Chapada do Apodi é suficiente para retirar da camada superficial do solo quantidades significativas de cloreto e diminuir para níveis muito baixos o teor de cloreto do solo. Contudo, Andrade et al. (2004), estudando solos da região da Chapada do Apodi, observaram um aumento de até 700% na concentração de cloreto, como também do íon sódio nos solos, onde a precipitação média da região, que chega a 700 mm/ano, não foi suficiente para retirar totalmente

esses elementos do solo, aumentando assim o risco de degradação de solos.

Diante desses resultados, o recolhimento das águas de drenagem e sua reutilização na irrigação, devem ser realizados com muito cuidado, pois o incremento da salinidade do solo e das águas tende a aumentar. Andrade et al. (2004), utilizando água reciclada advinda da drenagem constataram que, em áreas com dois ciclos de cultivo consecutivos com cajueiros precoces, houve um aumento, a cada ciclo, de cerca de 140% nos teores de Na^+ , Cl^- e HCO_3^- , originando mudanças no pH e na salinidade do solo. Semelhante tendência foi observada por Pereira et al. (1986) e Ben-Hur et al. (2001), quando estudaram a ação da lixiviação dos sais adicionados ao solo pela água de irrigação em solos de textura leve.

É importante destacar que o uso de águas de salinidade elevada pode estar promovendo não só a salinização e sodificação dos solos, como também a contaminação dos recursos hídricos subsuperficiais locais, tão importantes numa região com sérios problemas de obtenção e uso de águas de boa qualidade na agricultura. É necessário um monitoramento contínuo da qualidade da água subterrânea da Chapada para evitar prejuízos a este recurso. Desta forma, apenas com um sistema racional de aplicação de fertilizantes, associado a um monitoramento contínuo das águas do aquífero, seria possível manter condições que permitam que o sistema mantenha a salinidade natural (Fernandes et al., 2005).

Ressalta-se, finalmente, o aporte de sais ao sistema hidrológico local pelo uso de águas de

salinidade crescente, podendo causar prejuízos em áreas por vezes distantes da origem dos sais, destacando-se a importância de um manejo com balanço de sais que não permita a elevação de seus teores nos solos nem nas águas.

CONCLUSÕES

1. O uso de soluções percolantes salinas promoveu a lixiviação de sais nos quatro solos estudados;
2. O Cambissolo e o Neossolo comportaram-se como solos mais reativos aos sais aplicados nas soluções de percolação do que o Argissolo e o Latossolo;
3. O aumento na concentração das soluções percolantes promoveu maiores perdas de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , HCO_3^- nos lixiviados;
4. A lixiviação dos sais foi incrementada com o tempo de aplicação das soluções salinas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; NESS, R. L. L. e CRUZ, M. G. M. Modelagem da concentração de íons no extrato de saturação do solo, na região da Chapada do Apodi. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 33, n.2, p.25-32, 2002.
- ANDRADE, E. M.; ALMEIDA, D. M. B. A.; MEIRELES, A. C. M.; LEMOS FILHO, L. C. A.; ARRUDA, F. E. R. Evolução da concentração iônica da solução do solo em áreas irrigadas na Chapada do Apodi, CE. **Revista Ciência Agronômica**, v. 35, n. 1, p. 9-16, 2004.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. 2a ed. Trad. Gheyi, H. R.; Medeiros, J. F., Damasceno, F. A. V. Campina Grande: UFPB, 1999, 218 p. Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29.
- BEN-HUR, M.; LI, F. H.; KEREN, R., RAVINA, I.; SHALIT, G. Water and salt distribution in a field irrigated with marginal water under high water table conditions. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.65, p.65-191, 2001.
- CRUZ, M. G. M. **Avaliação da qualidade das águas superficiais e subterrâneas do Distrito de Irrigação Jaguaribe-Apodi**. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2001. 66f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola).
- FERNANDES, M. A. B.; SANTIAGO, M. M. F.; GOMES, D. F.; MENDES FILHO, J.; FRISCHKORN, H.; LIMA, J. O. G. **A origem dos cloretos nas águas subterrâneas na Chapada do Apodi – Ceará**. **Águas Subterrâneas**, v. 19, n. 1, p. 25-34, 2005.
- FREIRE, M.B.G.S.; RUIZ, H.A.; RIBEIRO, M.R.; FERREIRA, P.A.; ALVAREZ V., V.H.; FREIRE, F.J. Estimativa do risco de sodificação de solos de Pernambuco pelo uso de águas salinas. **Rev. Bras. Eng. Agr. Amb.**, v. 7, n. 2, p. 227-232, 2003.
- JURY, W. A., JARRELL, W. M.; DEVITT, D. Reclamation of saline-sodic soils by leaching. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 43, p. 1100-1106. 1979.
- LIMA, L. A. **Efeitos de sais no solo e na planta**. In: Gheyi, H.R.; Queiroz, J.E.; Medeiros, J.F. de (ed). Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada. Campina Grande: UFPB, 1997, p.137-169.
- MACE, J. E.; AMRHEIN, C. Leaching and reclamation of a soil irrigated with moderate SAR waters. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.65, p.199-204, 2001.
- MAIA, C. E.; MORAIS, E. R. G.; OLIVEIRA, M. Uso de gesso de salina, cloreto de cálcio e húmus de minhoca combinado com manejo da água na recuperação de um solo salino-sódico do perímetro irrigado do ITANS-SABUGI, Rio Grande do Norte. **Caatinga**, v.12, p.41-48, 1999.
- MEDEIROS, J.F; LISBOA, R. A.; OLIVEIRA, M.; SILVA JÚNIOR M.J.; ALVES, L.P. Caracterização das águas subterrâneas usadas para irrigação na área produtora de melão da Chapada do Apodi. **Rev. Bras. Eng. Agr. e Amb.**, v.7, n.3, p.469-472, 2003.
- OLIVEIRA, O.; MAIA, C. E. Qualidade físico-química da água para a irrigação em diferentes aquíferos na área sedimentar do Estado do Rio Grande do Norte. **Rev. Bras. Eng. Agr. e Amb.**, v.2, n.1, p.17-21, 1998.
- PEREIRA, O. J.; MATIAS FILHO, J.; ANDRADE, E. M. Variação do teor de sais no solo irrigado por

aspersão e ação da chuva na sua lixiviação. **Ciência Agrônômica**, v.17, n.1, p.61-65, 1986.

PRATHER, R. J.; GOERTZEN, J. O.; RHOADES, J. D.; FRENKEL, H.. Efficient amendment use in sodic soil reclamation. **Soil Science Society of America Journal**, v. 42, p. 782-786, 1978.

QUEIROZ, J. H.; GONÇALVES, A. C.; SOUTO, J. S.; FOLEGATTI, M. V. **Avaliação e monitoramento da salinidade do solo**. In: Gheyi, H.R.; Queiroz, J.E.; Medeiros, J. F. de (ed). Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada. Campina Grande: UFPB, p.69- 111, 1997.

SAMPAIO, R. A.; RUIZ, H. A. Características das soluções drenadas na recuperação de solos salino-sódicos com lixiviação parcelada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 20, p.13-20, 1996.

SILVA FILHO, S. B.; CAVALCANTE, L.F.; OLIVEIRA, F. A ; LIMA, E. M; COSTA, J. R. M. Monitoramento da qualidade da água e acúmulo de sais no solo pela irrigação. **Irriga**, v.5, n. 2, 2000.

UNITED STATES SALINITY LABORATORY – USSL STAFF. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington, U.S. Department of Agriculture, 1954. 160p. (Handbook 60)