



Dispersão de argilas em solos afetados por sais

**Jefferson L. de A. Paes¹, Hugo A. Ruiz², Raphael B. A. Fernandes¹,
Maria B. G. dos S. Freire³, Maria de F. C. Barros³ & Genelício C. Rocha¹**

RESUMO

Para estimar a dispersão de argilas determina-se, em laboratório, a argila dispersa em água. Esta análise pode não corresponder à realidade em solos salinos e salino-sódicos com concentrações elevadas de sais na sua solução. Neste contexto determinou-se a argila dispersa utilizando soluções de diferentes condutividades elétricas (0; 0,3; 0,6, 0,9 e 1,2 dS m⁻¹) em sete solos representativos do Estado de Pernambuco com percentagem de saturação de sódio ajustada no intervalo de 5-30%. Os resultados evidenciaram que houve incremento nos valores da argila dispersa diretamente relacionado com o aumento da percentagem de saturação de sódio e com a diminuição da condutividade elétrica na solução de trabalho. A resposta aos tratamentos foi mais acentuada nos solos com maiores proporções de argilas mais ativas frente àqueles com mais óxidos de ferro. As determinações da argila dispersa em água são realizadas com água deionizada ou destilada; no entanto concluiu-se, para solos afetados por sais, que as análises deveriam ser realizadas com soluções de condutividade elétrica diferente de 0 dS m⁻¹, utilizando-se valores próximos aos do extrato da pasta de saturação.

Palavras-chave: solos salinos, solos salino-sódicos, percentagem de sódio trocável, condutividade elétrica da solução do solo, extrato da pasta de saturação

Clay dispersion in salt affected soils

ABSTRACT

To estimate clay dispersion the water dispersible clay is determined in the laboratory. This analysis may not correspond to reality in saline and saline-sodic soils, with high concentrations of salts in the solution. In this context, the dispersed clay was determined, using solutions of different electrical conductivities (0; 0.3; 0.6; 0.9 and 1.2 dS m⁻¹) in seven representative soils of the State of Pernambuco, with the exchangeable-sodium-percentage adjusted in the range of 5-30%. The results showed that there was an increase of dispersed clay directly related to the increase in the exchangeable sodium percentage and the decrease of the electrical conductivity of the solution. The response to treatments was more pronounced in soils with higher proportions of more active clays compared to those with more iron oxides. The determinations of the water dispersible clay are accomplished with deionized or distilled water. However, in soils affected by salts, it is concluded that the determinations should be carried out with solutions of electrical conductivity different from 0 dS m⁻¹ using solutions with values similar to those determined in the saturation extract.

Key words: saline soils, saline-sodic soils, exchangeable sodium percentage, saturation extract

¹ DPS/UFV. Av. P. H. Rolfs, s/n, CEP 36570-000, Viçosa, MG. Fone: (31) 3899-2632. E-mail: jefferson.paes@ufv.br; raphael@ufv.br; genelicio.rocha@ufv.br

² CCA/UFES. Alto Universitário, s/n, CEP 29500-000, Alegre, ES. Fone: (28) 3552-8982. E-mail: hruiz@ufv.br

³ DEPA/UFRPE. Av. Dom Manoel de Medeiros, s/n, CEP 52171-030, Recife, PE. Fone: (81) 3320-6200. E-mail: betania@depa.ufrpe.br; barrosfatima@hotmail.com

INTRODUÇÃO

A salinização do solo pode ocorrer naturalmente, por origem antrópica ou associada a esses dois fatores. As regiões de clima semiárido são as mais propícias a apresentarem essa alteração em razão das condições edafoclimáticas, como elevada temperatura, má distribuição de chuvas e deficiência de drenagem dos solos (Barros et al., 2004).

O excesso de sais solúveis pode causar sérios danos à maioria das culturas, por incremento da pressão osmótica da solução e diminuição da disponibilidade de água para as plantas (Santos et al., 2009; Gonçalves et al., 2011).

As alterações na estrutura e consequentemente na porosidade do solo, em resposta à percentagem de sódio trocável (PST) elevada, podem conduzir ao selamento superficial e à formação de camadas impermeáveis em subsuperfície. Esses processos interferem negativamente nas propriedades físico-hídricas aumentando a susceptibilidade do solo à erosão e limitando o uso agrícola (Miranda et al., 2008; Smith et al., 2009).

Dentre as análises que avaliam as condições estruturais do solo se destaca a argila dispersa em água (ADA) (Igwe et al., 2006; Tavares Filho et al., 2010). O método atual é realizado em laboratório utilizando-se apenas água deionizada ou destilada como meio dispersante, isto é, sem adição de dispersante químico (Freitas, 2011). Deste modo, a determinação da ADA auxilia na previsão dos riscos associados à erosão hídrica (Lima et al., 1990; Calero et al., 2008). Esta análise é de fundamental importância para solos de regiões semiáridas, especialmente os que apresentam excesso de sódio trocável (Panayiotopoulos et al., 2004).

Em solos irrigados com água de condutividade elétrica (CE) elevada ou aqueles que, em condições naturais, apresentam alta concentração salina na solução do solo, as determinações da ADA podem superestimar os valores reais, ou seja, aqueles que ocorreriam em condições de campo.

O fato supracitado está relacionado à diluição na concentração salina da solução do solo devido aos procedimentos atuais, utilizando-se apenas água deionizada para realização da análise. Neste contexto, Gillman (1974) cita que a redução na força iônica e a expansão da dupla camada difusa provocada pela diluição intensificam a repulsão entre as partículas dificultando a floculação.

A superestimação nos valores de ADA pode indicar, equivocadamente, a necessidade de irrigação com água de CE mais elevada e/ou o uso de corretivos visando à preservação da estrutura dos solos, o que pode intensificar o processo de salinização e onerar os custos de produção.

Diante do exposto o objetivo deste trabalho foi determinar a argila dispersa utilizando soluções de trabalho com diferentes CE (0; 0,3; 0,6; 0,9 e 1,2 dS m⁻¹) em sete solos representativos do Estado de Pernambuco, com PST ajustada ao intervalo de 5 a 30%.

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi conduzido no Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais. Para realização do experimento foram coletadas amostras de um horizonte de sete perfis de solos de referência do Estado de Pernambuco classificados, de acordo com EMBRAPA (2006) como: Neossolo Flúvico - RY (07° 52' 21" S e 36° 57' 49"

W), Luvisso Háplico - TX (07° 52' 29" S e 35° 27' 01" W), Planossolo Háplico - SX (08° 21' 28" S e 36° 10' 20" W), Luvisso Crômico - TC (08° 30' 10" S e 39° 19' 39" W), Vertissolo Háplico - VX (07° 37' 44" S e 40° 03' 14" W), Cambissolo Háplico - CX (07° 49' 14" S e 38° 09' 10" W) e Chernossolo Argilúvico - MT (07° 44' 32" e 35° 14' 04").

Exceto para o Neossolo Flúvico, no qual se coletaram amostras do horizonte A, nos demais solos foram coletadas amostras do horizonte B; esta medida se deu no sentido de evitar interferência da matéria orgânica e por representar melhor as características estruturais e mineralógicas de cada solo.

Após a realização da coleta as amostras foram secadas ao ar, destorroadas e passadas em peneiras de 2,0 mm de abertura de malha para obtenção da terra fina secada ao ar (TFSA). Nas Tabelas 1 e 2 se encontram os resultados da análise granulométrica e da caracterização química dos solos em estudo.

Tabela 1. Análise granulométrica das amostras de solo

Característica (g kg ⁻¹)	Solos						
	RY	TX	SX	TC	VX	CX	MT
Areia grossa	360	159	415	333	303	233	165
Areia fina	216	388	112	190	203	247	100
Areia total	576	547	527	523	506	480	265
Silte	211	213	70	144	156	191	237
Argila	213	240	403	333	338	329	498

Métodos: peneiramento para as areias, e Método da Pipeta, com alterações propostas por Ruiz (2005), para silte e argila

RY = Neossolo Flúvico; TX = Luvisso Háplico; SX = Planossolo Háplico; TC = Luvisso Crômico; VX = Vertissolo Háplico; CX = Cambissolo Háplico; MT = Chernossolo Argilúvico

Os tratamentos utilizados no ensaio corresponderam a um fatorial 7 x 6 x 5, sendo: sete amostras de solo, seis ajustes da percentagem de sódio trocável (PST): 5; 10; 15; 20; 25 e 30%, e cinco valores de condutividade elétrica (CE) da solução ajustada a 500 mL na determinação da proporção de argila dispersa: 0; 0,3; 0,6; 0,9 e 1,2 dS m⁻¹. Os valores de CE correspondem aos indicados no intervalo de nenhum a moderado risco de salinização pela água de irrigação (Ayers & Westcott, 1994). Utilizou-se delineamento experimental em blocos casualizados com três repetições.

De início realizou-se, para atingir os referidos valores de PST, o ajuste na relação Na:Ca do complexo de troca catiônica. Utilizaram-se, para isto, permeâmetros de carga hidráulica constante (Ferreira, 1999) os quais foram montados com colunas de PVC com 5 cm de diâmetro e 14 cm de comprimento apresentando, na parte inferior, tampa adaptada ao sistema de drenagem e forrada com papel de filtro.

Cada solo (TFSA) foi acondicionado cuidadosamente, homogeneizando a distribuição com bastão de vidro a fim de evitar a formação de camadas de compactação diferente até a altura de 9 cm. Para não haver distúrbios na superfície pela passagem das soluções foi colocado um disco de lã de vidro na parte superior da coluna.

Previamente, determinou-se a relação de adsorção de sódio (RAS) de soluções de NaCl + CaCl₂ necessárias para atingir as PST de trabalho, obtidas por meio da Eq. 1, de acordo com Pereira et al. (1982):

$$PST = \frac{100(-0,0135 + 0,0212RAS)}{1 + (-0,0135 + 0,0212RAS)} \quad (1)$$

Tabela 2. Caracterização química das amostras de solo

Característica	Solos						
	RY	TX	SX	TC	VX	CX	MT
pH em água (1:2,5)	6,69	7,14	6,20	6,26	6,85	5,37	4,94
pH em KCl (1:2,5)	6,06	4,60	4,54	4,09	5,37	4,12	4,65
Δ pH	-0,63	-2,54	-1,66	-2,17	-1,48	-1,25	-0,29
Ca ²⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	8,31	11,98	0,88	6,95	5,67	1,17	4,00
Mg ²⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	4,45	7,60	4,80	4,64	0,90	0,40	1,37
K ⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	0,69	0,08	0,27	0,18	0,74	0,17	0,07
Na ⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	1,37	0,35	1,00	0,25	0,03	0,03	0,17
Soma de bases (cmol _c kg ⁻¹)	14,83	20,00	6,94	12,02	7,34	1,76	5,62
(H+Al) (cmol _c kg ⁻¹)	0,00	0,60	4,40	0,00	2,40	2,80	2,90
CTC total (cmol _c kg ⁻¹)	14,83	20,00	11,34	12,02	9,74	4,56	8,52
CTC da fração argila (cmol _c kg ⁻¹)	69,62	85,83	28,14	36,10	28,82	13,86	17,11
Porcentagem de sódio trocável	9,30	1,80	14,40	2,10	0,40	1,40	3,00
Condutividade elétrica 1:1 (dS m ⁻¹)	5,65	2,82	0,40	0,25	0,24	0,23	0,30
C orgânico (g kg ⁻¹)	8,60	6,30	4,00	6,70	2,80	7,30	9,20
P- remanescente (mg L ⁻¹)	48,08	40,59	45,52	41,26	41,02	22,95	10,93

Métodos: K⁺ e Na⁺ extraídos com Mehlich-1 (EMBRAPA, 1997); Ca²⁺ e Mg²⁺ extraídos com KCl 1 mol L⁻¹ (EMBRAPA, 1997); (H+Al) extraídos por acetato de Ca 0,5 mol/L⁻¹ pH = 7,0 (EMBRAPA, 1997); condutividade elétrica no extrato 1:1 (Richards, 1954); C orgânico por digestão ácida (Yeomans & Bremner, 1988); P-remanescente segundo Alvarez V. et al. (2001).

RY = Neossolo Flúvico; TX = Luvisso Háplico; SX = Planossolo Háplico; TC = Luvisso Crômico; VX = Vertissolo Háplico; CX = Cambissolo Háplico; MT = Chernossolo Argilúvico

As soluções utilizadas para o ajuste da relação Na:Ca (soluções saturantes) foram preparadas de forma a chegar à concentração final de 50 mmol_c L⁻¹ utilizando-se NaCl e CaCl₂, Eq. 2:

$$[\text{Na}^+] + [\text{Ca}^{2+}] = 50 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1} \quad (2)$$

Referida concentração, relativamente elevada, permite um rápido ajuste no complexo de troca; assim, os valores da [Na⁺] e [Ca²⁺] foram calculados solucionando-se a Eq. 3:

$$\text{RAS} = \frac{[\text{Na}^{2+}]}{\sqrt{[\text{Ca}^{2+}]}} \quad (3)$$

Para realizar a saturação de forma ascendente as colunas foram colocadas em bandejas contendo a solução saturante, conforme o tratamento, até uma altura correspondente a dois terços da altura da amostra de solo (6 cm) eliminando-se, ao máximo, o ar do espaço poroso dos solos. A saturação ocorreu no período de 48 h (Freire et al., 2003a). Em seguida, aplicou-se a solução saturante utilizando-se os permeômetros de carga hidráulica constante, até atingir o equilíbrio determinado pela igualdade na leitura de condutividade elétrica entre o efluente e a solução aplicada.

Após o equilíbrio com as soluções de NaCl + CaCl₂, para os diferentes valores de RAS, as amostras foram retiradas dos permeômetros, secadas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 2,0 mm de abertura de malha para obtenção da TFSA; em seguida, parte da amostra foi separada para o procedimento experimental e a outra parte foi lavada com álcool para remoção dos sais solúveis determinando-se os valores de PST efetivamente atingidos com a passagem das soluções (Tabela 3).

Os valores de PST diferiram daqueles pretendidos devido, provavelmente, à utilização da equação estabelecida por Pereira et al. (1982) que corresponde a uma média de todos os solos estudados por esses autores.

No presente trabalho utilizou-se o termo AD para argila dispersa em detrimento da ADA, pela utilização de diferentes soluções eletrolíticas. Antes de se determinar a AD as soluções

Tabela 3. Percentagem de sódio trocável (PST) determinado nas amostras de solo após equilíbrio com as soluções de NaCl e CaCl₂

Solo	PST (%)					
	5	10	15	20	25	30
RY	9,4	14,7	17,8	23,0	27,8	36,0
TX	6,8	10,2	18,7	24,4	26,6	34,0
SX	7,8	12,4	20,0	22,7	29,2	35,8
TC	5,6	9,1	20,5	24,1	27,8	31,6
VX	8,3	11,5	22,0	27,3	30,5	34,2
CX	6,0	9,2	15,1	20,5	28,9	30,4
MT	6,0	7,4	16,9	21,1	24,9	28,6

RY = Neossolo Flúvico; TX = Luvisso Háplico; SX = Planossolo Háplico; TC = Luvisso Crômico; VX = Vertissolo Háplico; CX = Cambissolo Háplico; MT = Chernossolo Argilúvico

concentradas utilizadas no equilíbrio para cada valor de PST, que apresentavam CE de aproximadamente 5,0 dS m⁻¹, foram diluídas com água deionizada para atingir as condutividades elétricas de trabalho de 0,3; 0,6; 0,9 e 1,2 dS m⁻¹.

O tratamento de 0 dS m⁻¹ foi realizado apenas com água deionizada. Utilizou-se o termo genérico “soluções de trabalho”, com base na consideração com que a água destilada ou deionizada pode ser considerada solução infinitamente diluída.

Os procedimentos visando à determinação da AD foram realizados segundo metodologia similar à adotada pela EMBRAPA (1997) e adaptada por Freitas (2011); assim, amostras de 10 g de TFSA ajustadas às diferentes proporções de sódio trocável, receberam 400 mL de solução de trabalho (0; 0,3; 0,6; 0,9 e 1,2 dS m⁻¹) na relação Na:Ca indicada para cada PST, com agitação durante 16 h, em agitador rotatório tipo Wagner, a 50 rpm.

Decorridas as 16 h de agitação, as suspensões foram transferidas para provetas de 500 mL, após ajuste do volume e, atingido o tempo de sedimentação das partículas maiores que 2 μm, conforme cálculo realizado individualmente para cada solo segundo Lei de Stokes e dados de densidade de partículas, retiraram-se alíquotas da suspensão de argilas com pipeta. A AD foi calculada levando-se em consideração a subtração da massa dos sais presentes nas alíquotas e correspondentes a cada tratamento.

Os valores de argila dispersa e do índice de dispersão (ID) foram analisados estatisticamente. Na análise de variância

avaliou-se, previamente, a homogeneidade de variâncias obedecendo ao teste de comparação de médias Scott-Knott; posteriormente, os 29 graus de liberdade para a PST e CE da solução de trabalho foram analisados para cada solo ajustando-se superfícies de resposta. Escolheu-se o modelo com maior coeficiente de determinação ajustado que apresentasse parâmetros significativos ($P < 0,05$) pelo teste *t*.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores determinados da AD apresentaram homogeneidade de variância para os sete solos, o que possibilitou a comparação entre médias, aplicando-se o teste Scott-Knott (Tabela 4).

Tabela 4. Valores médios da argila dispersa dos solos em estudo, comparados pelo teste de Scott-Knott

Solo	Argila dispersa ^{1/} kg kg ⁻¹
Planossolo Háplico	0,0818 A
Neossolo Flúvico	0,0607 B
Luvissolo Crômico	0,0512 C
Vertissolo Háplico	0,0395 D
Luvissolo Háplico	0,0346 E
Chernossolo Argilúvico	0,0100 F
Cambissolo Háplico	0,0054 G

^{1/}Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas a 0,05

Um dos fatores relacionados às proporções médias da AD é a caracterização mineralógica dos solos em estudo, obtidas em trabalhos prévios (Freire et al., 2003b; Cunha, 2010; Souza et al., 2010). Assim, verificou-se que valores médios extremamente baixos da AD foram apresentados pelo Chernossolo Argilúvico, com goethita na fração argila e pelo Cambissolo Háplico, com a presença de hematita.

Considera-se, em consequência, a região fisiográfica em que ocorreu a coleta dos solos determinante nos resultados da AD. A coleta dos cinco solos (Neossolo Flúvico, Luvissolo Háplico, Planossolo Háplico, Luvissolo Crômico e Vertissolo Háplico) foi realizada em ambientes tipicamente semiáridos que apresentam baixos índices pluviométricos, precipitação inconstante e elevadas temperaturas em todas as épocas do ano.

A coleta do Chernossolo Argilúvico foi realizada na Zona da Mata - PE, região com elevados índices pluviométricos quando comparada ao semiárido nordestino. Já o Cambissolo Háplico foi coletado em uma região do sertão de Pernambuco conhecida como brejo de altitude, que constitui uma disjunção da Mata Atlântica formando ilhas de floresta úmida em plena região semiárida. Apresenta condição climática bastante atípica, favorecida pela ocorrência de chuvas orográficas, com precipitação pluvial que pode atingir valores superiores a 1.200 mm por ano (Souza et al., 2010).

As condições ambientais em que se inserem os dois últimos solos possibilitam a formação de microagregados estáveis, dificilmente dispersos pela agitação mecânica aplicada na determinação da proporção de argilas no laboratório.

Verifica-se, portanto, que, apesar de todos os solos apresentarem diferenças estatísticas entre si, a maior diferença em termos numéricos ocorre em relação ao Chernossolo

Argilúvico e ao Cambissolo Háplico, que apresentam valores médios de AD bem inferiores aos demais solos.

Os resultados obtidos para AD (Tabela 4) apresentam elevada correlação ($r = 0,85^{**}$) com os valores de P-remanescente (P-rem) (Tabela 2). Donagemma et al. (2008) destacam que os resultados de P-rem são influenciados pela textura do solo; neste sentido, solos mais argilosos tendem a apresentar maior adsorção de P e, com isto, menores valores de P-rem quando comparado aos mais arenosos.

Nos solos deste estudo a correlação entre a proporção de argila (Tabela 1) e o P-rem (Tabela 2) não foi significativa ($r = -0,25$) em razão das proporções semelhantes de argila total e da elevada variabilidade do P-rem.

Os valores do P-rem, caso não respondam à composição granulométrica, devem variar em resposta à mineralogia da fração argila, caso em que a maior proporção de argilas ativas (Tabela 2) com menor afinidade pelo P frente aos materiais mais oxidados nos solos com menor suscetibilidade a dispersão de argilas, justifica o sinal positivo do coeficiente de correlação linear ($r = 0,85^{**}$) quando se relaciona a AD com o P-rem.

Associado à AD, o índice de dispersão (ID) permite avaliar o comportamento de solos com diferentes proporções de argila total facilitando a comparação; não se conseguiu homogeneidade de variâncias com os dados de ID, o que inviabilizou a comparação entre os solos estudados via teste de médias.

Com a utilização dos valores da AD e ID determinados para cada solo, foram calculadas as superfícies de resposta relacionando-se essas variáveis dependentes com a PST e a CE da solução de trabalho; no cálculo das superfícies de resposta utilizaram-se, para cada solo, os valores da PST apresentados na Tabela 3; os modelos ajustados são apresentados na Tabela 5.

Nas superfícies de resposta listadas na Tabela 5 foram realizados cortes determinando-se curvas para valores de PST de 10,15, 20, 25 e 30% (Figuras 1 e 3). Esses valores de PST foram escolhidos por corresponder aos inicialmente propostos para o ensaio e por estarem inclusos no intervalo de abrangência das PST determinadas nos diferentes solos. Nenhum solo apresentou $PST \leq 5\%$ (Tabela 3).

Verifica-se que o aumento na concentração de sais nas soluções de trabalho resultou em decréscimos nos valores da AD (Figura 1). O Cambissolo Háplico teve resposta intensificada com valores praticamente nulos da AD nos tratamentos com $CE \geq 0,3 \text{ dS m}^{-1}$. Portanto, para este solo e com a presença de picos expressivos de hematita, somente foi determinada a relação entre AD e PST no tratamento em que se utilizou água deionizada (Figura 2).

O Chernossolo Argilúvico foi o solo com diferenças mais acentuadas proporcionalmente nos valores da AD com o incremento na PST (Figura 1) mas, apesar de ser o material mais argiloso, foi o que apresentou a segunda menor proporção da ADA ($CE = 0 \text{ dS m}^{-1}$) (Figuras 1 e 2). Neste solo a resposta à CE da solução de trabalho levou à floculação praticamente integral das argilas na solução de $0,3 \text{ dS m}^{-1}$ para valores da PST inferiores a 20% (Figura 1F).

Pelos cortes realizados nas superfícies de resposta, apresentados na Tabela 5 e representados nas Figuras 1 e 3,

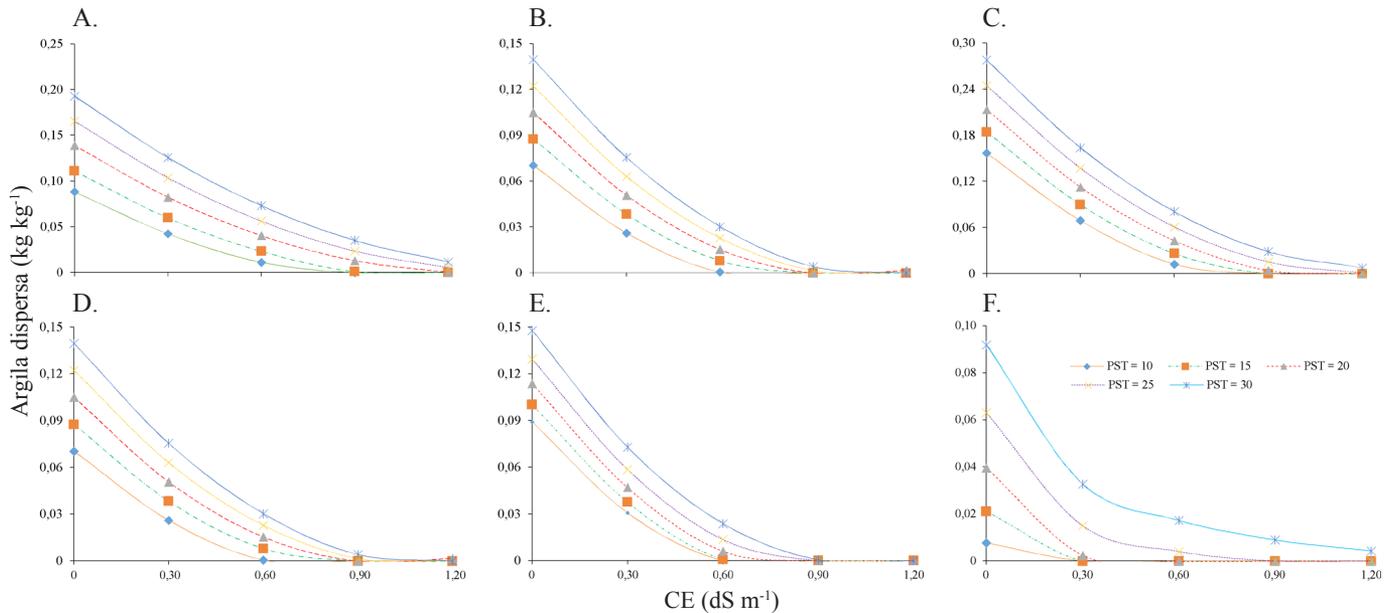


Figura 1. Argila dispersa do Neossolo Flúvico (A), Luvisso Háplico (B), Planossolo Háplico (C), Luvisso Crômico (D), Vertissolo Háplico (E) e Chernossolo Argilúvico (F), em resposta à condutividade elétrica (CE) da solução para diferentes percentagens de sódio trocável (PST)

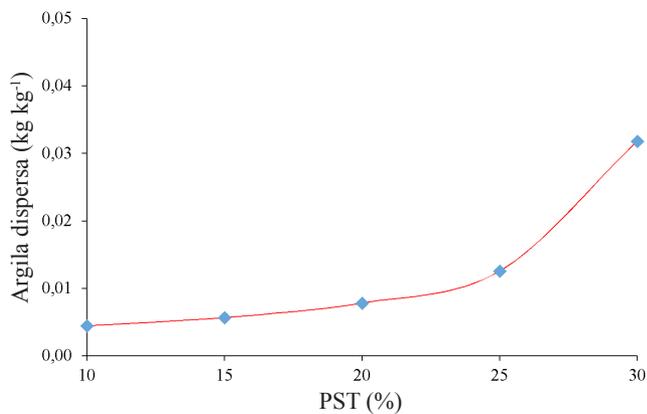


Figura 2. Argila dispersa em água (CE = 0 dS m⁻¹) do Cambissolo Háplico, em resposta à percentagem de sódio trocável (PST)

observa-se que a interação significativa PST x CE leva ao não paralelismo entre as diferentes curvas de cada solo. Em todos os casos há estreitamento nas diferenças dos valores de AD e ID, para os distintos valores da PST, com o incremento da CE; nas maiores CE a proporção da AD é desprezível.

Observa-se, para o ID, que a resposta mais acentuada à CE da solução de trabalho e à PST foi observada nos solos coletados em regiões de clima tipicamente semiárido (Figura 3) com ênfase para o Neossolo Flúvico (Figura 3A).

Neste contexto e em relação à PST e à CE, o ID dos outros solos menos intemperizados e com maior presença de argilas mais ativas (Luvisso Háplico, Planossolo Háplico, Luvisso Crômico e Vertissolo Háplico) teve resposta semelhante à relatada para o Neossolo Flúvico (Figura 3).

Com isto e apesar de menos acentuados nas suas diferenças, os valores de ID sempre aumentaram com o incremento nos

Tabela 5. Equações de regressão relacionando-se a argila dispersa (AD) e o índice de dispersão (ID) com a percentagem de sódio trocável (PST) e a condutividade elétrica (CE)

Solo	Equação de regressão	R ²
	Argila dispersa	
RY	AD = 0,04004 + 0,004633 **PST + 0,00001540 *PST ² - 0,1415 ** CE + 0,08107 ** CE ² - 0,003563 ** PST CE	0,925
TX	AD = 0,03574 + 0,003463** PST - 0,1464** CE + 0,1051** CE ² - 0,003290** PST CE	0,933
SX	AD = 0,1084 + 0,004440** PST + 0,00004056** PST ² - 0,3005** CE + 0,1728** CE ² - 0,004408 ** PST CE	0,880
TC	AD = 0,1181 - 0,001019** PST + 0,0001768** PST ² - 0,3412 ** CE + 0,2540** CE ² - 0,005415 ** PST CE	0,898
VX	AD = 0,07422 + 0,001015 *PST + 0,0000478 7** PST ² - 0,2106** CE + 0,1434** CE ² - 0,002737 ** PST CE	0,919
CX	AD = 1/(319,2530 - 9,5950** PST)	0,759
MT	AD = - 0,003314 + 0,00009293 PST + 0,0001027** PST ² + 0,05102** CE - 0,01542 *CE ^{0,5} - 0,004012 ** PST CE ^{0,5}	0,710
	Índice de dispersão	
RY	ID = 0,1561 + 0,02505** PST - 0,6643** CE + 0,3806** CE ² - 0,01673** PST CE	0,925
TX	ID = 0,1489 + 0,01443** PST - 0,6099** CE + 0,4380** CE ² - 0,01371** PST CE	0,933
SX	ID = 0,2689 + 0,01102** PST + 0,0001006 ** PST ² - 0,7456** CE + 0,4289** CE ² - 0,01094** PST CE	0,880
TC	ID = 0,3547 - 0,003059** PST + 0,0005310** PST ² - 1,0246** CE + 0,7629** CE ² - 0,01626** PST CE	0,900
VX	ID = 0,2196 + 0,003003** PST + 0,0001416** PST ² - 0,6232** CE + 0,4243** CE ² - 0,008098** PST CE	0,919
CX	ID = 1/ (105,0340 - 3,1568** PST)	0,759
MT	ID = - 0,006655 + 0,0001866 PST + 0,0002062** PST ² + 0,1025** CE - 0,03095 *CE ^{0,5} - 0,008056** PST CE ^{0,5}	0,710

* e **Significativos a 0,05 e 0,01, respectivamente, pelo teste t; ¹Equação de regressão calculada com dados experimentais de CE = 0 dS m⁻¹

RY = Neossolo Flúvico; TX = Luvisso Háplico; SX = Planossolo Háplico; TC = Luvisso Crômico; VX = Vertissolo Háplico; CX = Cambissolo Háplico; MT = Chernossolo Argilúvico

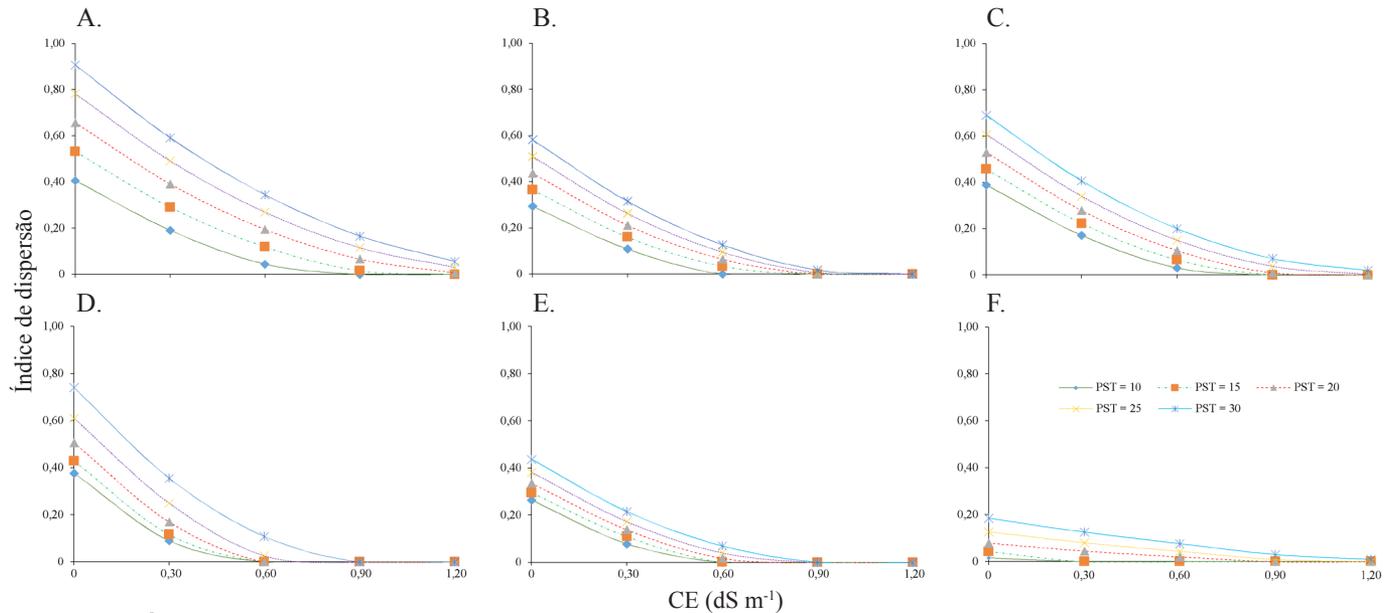


Figura 3. Índice de dispersão do Neossolo Flúvico (A), Luvisso Háplico (B), Planossolo Háplico (C), Luvisso Crômico (D), Vertissolo Háplico (E) e Chernossolo Argilúvico (F), em resposta à condutividade elétrica (CE) da solução para diferentes percentagens de sódio trocável (PST)

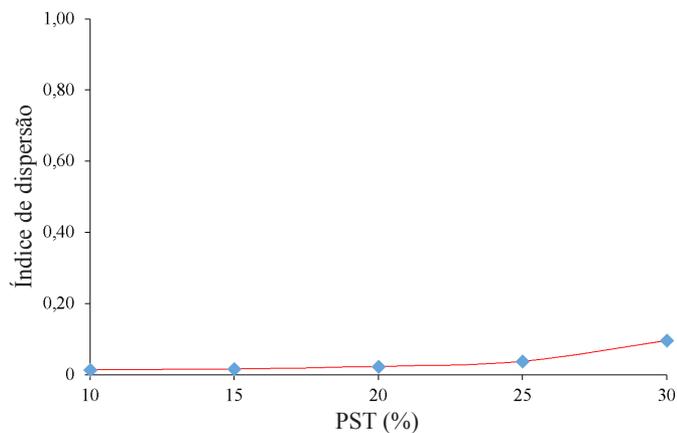


Figura 4. Índice de dispersão ($CE = 0 \text{ dS m}^{-1}$) do Cambissolo Háplico em resposta à percentagem de sódio trocável (PST)

valores da PST e decresceram com a elevação da CE da solução de trabalho.

Os resultados obtidos são adequados às afirmações de Freire et al. (2003a) os quais ressaltam a dificuldade de se estabelecerem critérios relacionados à salinidade para solos muito diferentes; no entanto, é possível relacionar características específicas a solos de uma mesma região desde que apresentem composição mineralógica quali e quantitativa semelhantes.

O ID do Chernossolo Argilúvico foi o que menos respondeu aos tratamentos impostos considerando-se os seis solos que possibilitaram o ajuste de superfícies de resposta (Figura 3). Observa-se, então, para o Chernossolo Argilúvico, o valor do ΔpH mais próximo de zero (Tabela 2) indicando o equilíbrio de cargas elétricas tornando muito fracas as forças de repulsão, fato que favorece a atração entre as partículas com conseqüente floculação.

Apesar de ocorrerem variações nos valores da AD para este solo ao se alterar a PST e a CE, como apresentadas na Figura

1F, elas foram relativamente baixas em relação à proporção de argila total (Figura 3F).

Para o Cambissolo Háplico observa-se que, mesmo se utilizando apenas de água deionizada, condição que favorece a dispersão, os valores de ID permaneceram baixos com o incremento da PST (Figura 4).

Verifica-se, tanto em relação ao Cambissolo Háplico como ao Chernossolo Argilúvico, que a presença de óxidos, que são agentes cimentantes, favoreceu a estabilidade dos microagregados de difícil dispersão apresentando esses solos os menores valores de ID em resposta aos tratamentos.

Os resultados para esses dois solos se assemelham aos obtidos por Donagemma et al. (2003). Esses autores verificaram que mesmo na análise granulométrica, na qual ocorre a adição de um dispersante químico favorecendo a separação das partículas, os solos com presença marcante de óxidos apresentam dificuldade de dispersão em virtude da formação de microagregados estáveis, que impossibilitam a total separação das partículas levando, geralmente, a superestimar as frações silte e areia desses solos.

Os mesmos autores relatam que para maximizar a dispersão nesses solos visando à total separação das partículas, é aconselhável a utilização de um pré-tratamento para a remoção dos óxidos antes de ser realizado o procedimento da análise granulométrica.

Em busca de resultados que melhor avaliem a degradação estrutural nos solos causada pelo uso de água de irrigação com diferentes níveis de RAS e CE, Almeida Neto et al. (2009) publicaram uma proposta de classificação quando, trabalhando com solos do Estado de Minas Gerais, classificaram os riscos em relação à dispersão de argilas em três classes: baixo risco (até 10% de aumento nos valores da ADA), médio risco (10 a 50% de aumento nos valores da ADA) e risco alto (> 50% de aumento no valor da ADA).

Utilizando os critérios de riscos estabelecidos por Almeida Neto et al. (2009) em relação aos valores de AD encontrados

neste trabalho observa-se, para todos os solos em estudo, que dentro de um mesmo valor da PST os resultados podem ser reduzidos drasticamente apenas pelo incremento na CE da solução de trabalho (Figuras 1 e 3).

Essas reduções são mais acentuadas nos valores mais elevados da PST ratificando que quanto maior for a PST maior também será a necessidade de se determinar a AD utilizando-se soluções de CE semelhantes às do extrato da pasta de saturação do solo.

Analisou-se, portanto, que riscos classificados como baixo, médio e alto podem ser atribuídos apenas por modificações nas concentrações salinas das soluções de trabalho. Esse fato pode levar à obtenção de resultados que não representem as reais condições apresentadas pelos solos em condições de campo.

Neste sentido, as modificações na CE da solução do solo pelo acréscimo de elevado volume de água deionizada ou destilada na determinação da ADA, podem interferir na dispersão, principalmente em solos salinos e salino-sódicos.

Ressaltando os fatos supracitados, Freire (2001) relata que não foram verificadas diferenças acentuadas nos valores da ADA, em resposta somente ao incremento da CE do extrato da pasta de saturação dos solos estudados utilizando o método atual para determinação da ADA.

Este fato está relacionado à diluição da concentração salina desses solos durante a determinação da ADA favorecendo a superestimação dos valores de argila naturalmente dispersa. Neste contexto e levando em consideração que 10 g de solo são submetidos à dispersão física, com volume final de 500 mL e que a porosidade do solo é de aproximadamente $0,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, a diluição da concentração salina do extrato da pasta de saturação é de aproximadamente 100 vezes.

Os resultados apresentam claramente que a determinação da argila dispersa em água não é uma análise adequada para solos afetados por sais, em especial os salinos e salino-sódicos. O limite classicamente estabelecido para diferenciar os solos salinos corresponde à $CE \geq 4,0 \text{ dS m}^{-1}$. Nas condições experimentais e se utilizando amostras de sete solos representativos do Estado de Pernambuco, observou-se floculação praticamente integral de argilas, em todos os solos, quando se utilizou a solução de $CE = 1,2 \text{ dS m}^{-1}$ (Figuras 1 e 2).

Em uma análise laboratorial mais demorada porém apropriada para os solos indicados, dever-se-ia levar em consideração a CE do extrato da pasta de saturação e a proporção de Na no complexo de troca catiônica.

Para simplificar a análise, a CE do extrato da pasta de saturação poderia ser substituída pela CE do extrato 1:1 e duplicar este valor para utilizá-lo na solução de trabalho (CE_{ST}) (Richards, 1954; Souza et al., 2013). Com os valores dos cátions trocáveis calcular-se-ia a relação $Na/(Ca + Mg + K)$ a qual seria usada para indicar as proporções no preparo de solução de $NaCl + CaCl_2$, expressas em $\text{mmol}_e \text{ L}^{-1}$, que logo seria ajustada à CE_{ST} .

CONCLUSÕES

1. O aumento da percentagem de sódio trocável e a diminuição na condutividade elétrica da solução de trabalho estão diretamente relacionados com o incremento nos valores de argila dispersa.

2. A resposta aos tratamentos foi mais acentuada nos solos com maiores proporções de argilas mais ativas frente àqueles com presença marcante de óxidos de ferro.

3. As determinações de argila dispersa para solos afetados por sais devem ser realizadas com soluções de condutividade elétrica diferente de 0 dS m^{-1} , utilizando-se valores próximos aos do extrato da pasta de saturação.

LITERATURA CITADA

- Almeida Neto, O. B.; Matos, A. T.; Abrahão, W. A. P.; Costa, L. M.; Duarte, A. Influência da qualidade da água de irrigação na dispersão da argila de Latossolos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, p.1571-1581, 2009.
- Alvarez V., V. H.; Dias, L. E.; Ribeiro Júnior, E. S.; Souza, R. B.; Fonseca, C.A. Métodos de análises de enxofre em solos e plantas. 1.ed. Viçosa: UFV, 2001. 131p.
- Ayers, R. S.; Westcot, D. W. Water quality for agriculture. 3rd. ed. Rome: FAO, 1994. 174p. FAO. Irrigation and Drainage Paper, 29.
- Barros, M. de F. C.; Fontes, M. P. F.; Alvarez V., V. H.; Ruiz, H. A. Recuperação de solos afetados por sais pela aplicação de gesso de jazida e calcário no Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.8, p.59-64, 2004.
- Calero, N.; Barron, V.; Torrent, J. Water dispersible clay in calcareous soils of Southwestern Spain. *Catena*, v.74, p.22-30, 2008.
- Cunha, J. C. Comparação de dispersantes químicos na análise granulométrica de solos do estado de Pernambuco. Viçosa: UFV, 2010. 67p. Dissertação Mestrado
- Donagemma, G. K.; Ruiz, H. A.; Alvarez V., V. H.; Ker, J. C.; Fontes, M. P. F. Fósforo remanescente em argila e silte retirados de Latossolos após pré-tratamentos na análise textural. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.1785-1791, 2008.
- Donagemma, G. K.; Ruiz, H. A.; Fontes, M. P. F.; Ker, J. C.; Schaefer, C. E. G. R. Dispersão de Latossolos em resposta à utilização de pré-tratamentos na análise textural. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, p.765-772, 2003.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212p.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2006. 306p.
- Ferreira, P. A. Drenagem de terras agrícolas. Viçosa: UFV, 1999. 187p.
- Freire, M. B. G. dos S. Saturação por sódio e qualidade da água de irrigação na degradação de propriedades físicas de solos do estado de Pernambuco. Viçosa: UFV, 2001. 66p. Tese Doutorado
- Freire, M. B. G. dos S.; Ruiz, H. A.; Ribeiro, M. R.; Ferreira, P. A.; Alvarez V., V. H.; Freire, F. J. Condutividade hidráulica de solos de Pernambuco em resposta à condutividade elétrica e RAS da água de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, p.45-52, 2003a.

- Freire, M. B. G. dos 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. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, p.227-232, 2003b.
- Freitas, R. A. Argila dispersa em água determinada por agitação rápida, lenta e ultrassom. Viçosa: UFV, 2011. 51p. Dissertação Mestrado
- Gillman, G. P. The influence of net charge on water dispersible clay and sorbed sulphate. *Australian Journal Soil Research*, v.12, p.173-176, 1974.
- Gonçalves, I. V. C.; Freire, M. B. G. dos S.; Santos, M. A. dos; Souza, E. R. de; Freire, F. J. Alterações químicas de um Neossolo Flúvico irrigado com águas salinas. *Revista Ciência Agronômica*, v.42, p.589-596, 2011.
- Igwe, C. A.; Zarei, M.; Stahr K. Clay dispersion of hardsetting Inceptisols in southeastern Nigeria as influenced by soil components. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.37, p.751-766, 2006.
- Lima, J. M.; Curi, N.; Resende, M.; Santana, D. P. Dispersão do material de solo em água para avaliação indireta da erodibilidade de Latossolos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.14, p.85-90, 1990.
- Miranda, M. F. A.; Pessoa, L. G. M.; Freire, M. B. G. dos S.; Freire, F. J. Correção de solo salino-sódico com soluções de cloreto de cálcio cultivado com sorgo sudanense. *Revista Caatinga*, v.21, p.18-25, 2008.
- Panayiotopoulos, K. P.; Barbayiannis, N.; Papatolios, K. Influence of electrolyte concentration, sodium adsorption ratio and mechanical disturbance on dispersed clay particle size and critical flocculation concentration in Alfisols. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.35, p.1415-1434, 2004.
- Pereira, F. A. M.; Medina, B. F.; Gheyi, H. R.; Etchevers, J. D. Solos afetados por sais no Nordeste. II. Correlação entre sódio solúvel e intercambiável. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.6 p.167-170, 1982.
- Richards, L. A. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. Washington: US Department of Agriculture, 1954. 160p. Agriculture Handbook, 60.
- Ruiz, H. A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, p.297-300, 2005.
- Santos, P. R. dos; Ruiz, H. A.; Neves, J. C. L.; Almeida, E. F. A.; Freire, M. B. G. dos S.; Freire, F. J. Germinação, vigor e crescimento de cultivares de feijoeiro em soluções salinas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.13, p.882-889, 2009.
- Smith, A. P.; Chen, D.; Chalk, P. M. N₂ fixation by faba bean (*Vicia faba* L.) in a gypsum-amended sodic soil. *Biology and Fertility of Soils*, v.45, p.329-333, 2009.
- Souza, E. R. de; Melo, H. F. de; Almeida, B. G. de; Melo, D. V. M. de. Comparação de métodos de extração da solução do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, p.510-517, 2013.
- Souza, R. V. C. C.; Ribeiro, M. R.; Souza Junior, V. S.; Corrêa, M. M.; Almeida, M. C.; Campos, M. C. C.; Ribeiro Filho, M. R.; Schulze, M. B. B. Caracterização de solos em uma topoclimosequência no maciço de Triunfo - Sertão pernambucano. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, p.1259-1270, 2010.
- Tavares Filho, J. Barbosa, G. M. de C.; Ribon, A. A. Water-dispersible clay in soils treated with sewage sludge. *Revista Brasileira de Ciência do solo*, v.34, p.1527-1534, 2010.
- Yeomans, J. C.; Bremner, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Communications in Soil Science Plant Analysis*, v.19, p.1467-1476, 1988.