

## Variación de la conductividad hidráulica en suelos saturados en relación a la concentración de sodio presente en soluciones

### Variation of hydraulic conductivity on saturated soil in relation to sodium solution concentrations

I. J. Chirinos<sup>1</sup>

#### Resumen

El presente trabajo tuvo como objetivo la evaluación del efecto de la presencia de sodio en soluciones, a través de experimentos en condiciones de laboratorio, relacionándose porcentaje de sodio intercambiable (P.S.I) y conductividad hidráulica del suelo saturado ( $K_o$ ) en tres tipos de suelos diferentes a saber: un suelo arcilloso (alfisol), uno de textura media (oxisol) y un arenoso (entisol). Se concluyó que la presencia de sodio no afecta de igual manera los diferentes tipos de suelos. También el "límite crítico de concentración" varía con el tipo de suelo y con el P.S.I del mismo. Para el alfisol de mayor capacidad de intercambio catiónico (C.I.C) el valor de P.S.I crítico fue menor de 5%. En el caso del oxisol el P.S.I crítico fue inferior a 8% y para el entisol fue menor de 6%.

**Palabras clave:** P.S.I, C.I.C, conductividad hidráulica, "límite crítico de concentración".

#### Abstract

The purpose of this study was to evaluate the effect of the presence of sodium in solutions through experiments under laboratory conditions, relating exchangeable sodium percentages (ESP) and hydraulic conductivity in saturated soils ( $K_o$ ) in three different soil types: clay soils (alfisols), medium soils (oxisols) and sandy soils (entisol). Sodium concentrations were different in alfisols, entisols and oxisols. Also the threshold concentration changed with soil type, and with ESP in the soil. For alfisols of higher cation exchangeable capacity (CEC) the critical ESP value was less than 5%. For oxisols the critical ESP value was less than 8%, and for entisols the critical ESP value was lower than 6%.

**Key words:** ESP, CEC, hydraulic conductivity, threshold concentration.

Recibido el 12-04-1999 • Aceptado el 22-07-1999

1. Departamento de Edafología, Facultad de Agronomía, La Universidad del Zulia Apartado 526, Maracaibo, Venezuela. e-mail: ichirino@luz.ve

## Introducción

El uso de aguas de riego con elevada concentración de sodio puede provocar consecuencias indeseables tanto para el suelo como para la planta, desde la disminución de la conductividad del suelo hasta el aumento de la presión osmótica del suelo, con los consecuentes problemas asociados a cada cultivo.

Los efectos perjudiciales causados por la presencia de sodio en suelos, fueron primeramente detectados en regiones áridas y semiáridas donde eran usadas aguas salinas y sódicas para irrigación.

Con relación a la conductividad hidráulica del suelo se ha señalado (14) que este es un parámetro esencial en la determinación cuantitativa del movimiento del agua en el suelo y, consecuentemente para solucionar problemas que envuelven irrigación, drenaje, recarga y conservación del suelo. La conductividad hidráulica es afectada por la textura y estructura del suelo, (13) siendo mayor en suelos altamente porosos, fracturados o agregados y menor en suelos densos y compactados. También puede ser afectada por el exceso de sodio ( $\text{Na}^+$ ) presente o adicionado al suelo (5).

Según Pauletto *et al* (11), la primera ecuación que permitió la cuantificación del movimiento de agua en medios porosos saturados fue presentada por Darcy en 1856. De acuerdo con Cadima *et al* (1), los primeros métodos desarrollados para el cálculo de la conductividad hidráulica fueron de laboratorio, utilizando muestras con estructura

deformadas. Por otro lado, todo parece indicar (7) que los métodos de laboratorio para muestras con estructura deformada e indeformada pueden ser utilizados y estos a su vez son subdivididos para condiciones de saturación y no saturación.

Entre los métodos de laboratorio para la determinación de la conductividad hidráulica en condiciones de saturación se incluyen el permeámetro de carga constante y el permeámetro de carga decreciente (7).

En cuanto a la disminución de la permeabilidad del suelo por la adición de sodio, se sugiere que la expansión de las partículas de arcilla, aumenta con la sodicidad de la misma y puede resultar en un bloqueo total o parcial de los poros conductores. (12)

Actualmente se reconoce la importancia de la dispersión de las arcillas en afectar la permeabilidad del suelo (2) (15). Según estos autores la dispersión de las arcillas puede causar la formación de una costra de arcilla impermeable en el perfil del suelo.

La permeabilidad de un suelo al agua depende del P.S.I presente en ese suelo y de la concentración de sales de la solución percolante o R.A.S de acuerdo con varios autores (12) (8) (9) (16) (4). En ese aspecto (3) se ha trabajado en un suelo aluvial demostrándose que manteniendo la concentración salina constante, el aumento de la R.A.S de la solución percolante provocó una reducción en la conductividad hidráulica del suelo saturado ( $K_0$ ).

La expansión de las arcillas no es muy afectada por valores de P.S.I por debajo de 10%, pero se torna importante cuando se tiene valores por encima de 15% (8) (10).

Ante lo expuesto el presente

trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de la presencia de sodio, cuantificado por el P.S.I del suelo, en la Ko de tres suelos de la región de Piracicaba, Estado de São Paulo, Brasil.

## Materiales y métodos

Fueron utilizados tres tipos de suelos diferentes: alfisol, oxisol y entisol, colectados en la región de Piracicaba, estado de São Paulo, Brasil de la capa arable de 0-20 cm. Esos suelos fueron escogidos en virtud de las diferencias entre los valores de capacidad de intercambio catiónico como se detalla en el cuadro 1.

El experimento fue conducido en el laboratorio de Química Analítica de la Escuela Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" de la Universidad de São Paulo (ESALQ/USP), y fue realizado en etapas, siendo la etapa previa de prueba con los diferentes suelos y con diferentes soluciones que contenían sodio, para verificar el efecto de cada una de ellas en el P.S.I de cada suelo. Así fueron probadas soluciones de NaCl (pH 7,0 y 5,5); Ac. de Na (pH 7,0); NaHCO<sub>3</sub> (pH 7,0 y 8,2); Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (pH 5,5 y 7,0); NaNO<sub>3</sub> (pH 7,0 y 5,7). En virtud de los resultados obtenidos se optó por la utilización de acetato de sodio (pH 7,0). Se hicieron pruebas previas para determinar las concentraciones de Na que serían utilizadas en el montaje del experimento y de las condiciones para la determinación de Ko.

Con respecto a la conductividad hidráulica (Ko) varios métodos fueron probados de los cuales el que presentó

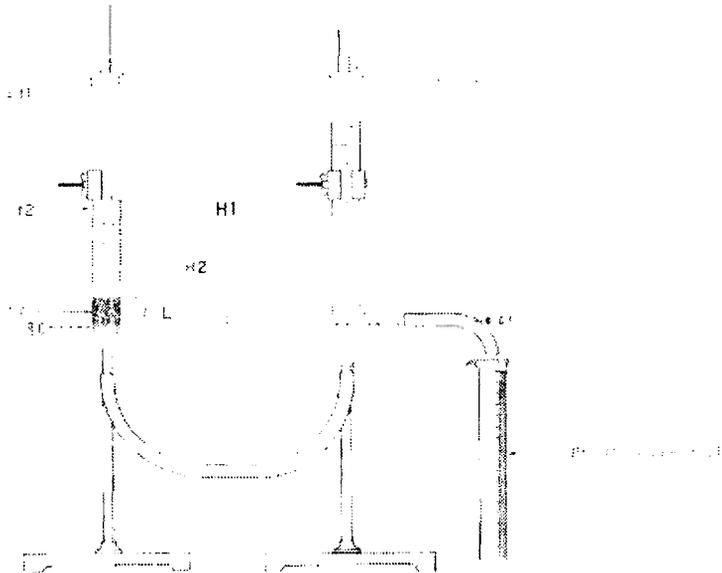
mejores resultados fue el de permeámetro de carga decreciente, cuyo esquema aparece en la figura 1.

**Metodología.** 5 g de muestra de suelo fueron colocados en un tubo de percolación (1) de 1,8 cm de diámetro y 20 cm de altura. Ese tubo se conectó a un segundo tubo (2) a través de una manguera de látex (figura 1). Ese segundo tubo fue provisto de una pinza de Mohr para cerrar la salida en (A') y se adicionó agua al tubo 2 de forma que penetrara de abajo hacia arriba provocando la saturación del suelo.

Después de 18 horas de saturación que permitió el arreglo de las partículas, se cerró la manguera de comunicación entre los tubos 1 y 2 con otra pinza de Mohr. Se retiró la pinza colocada en (A') y después de vaciar el contenido de agua en el tubo 2 se retiró la pinza de la manguera de comunicación entre los tubos. La Ko fue determinada a través de la disminución de la altura de la columna de agua medida en intervalos de 1 hora, hasta un máximo de 24 horas. Los valores de Ko usados fueron los medidos seis (06) después del inicio de la percolación (estabilización de valores de Ko), por medio de la ecuación siguiente:  $Ko = (aL/At) \ln(H1/H2)$ . Donde: Ko= conductividad hidráulica del suelo saturado.  $t = t_2 - t_1$ , intervalo

**Cuadro 1. Características físico químicas de los suelos usados en el experimento.**

Suelo	pH agua	C.O %	P ppm	K	Ca	Mg	Na meq/100g	Al	H+Al	C.I.C	S.B	%S.B	Flocul. %	Text.
Alf.	5,2	1,66	7	161	6	2,2	0,27	0,25	7,20	16,08	8,68	55	32	A
Oxi.	6,9	0,79	62	157	3,35	1,55	0,12	Tra	2,20	7,62	5,42	71	61	FA
Ent.	5,7	0,46	4	81	1,40	0,44	0,10	0,05	2,40	4,55	2,15	47	50	a



**Figura 1. Esquema del permeámetro de carga decreciente para determinación de la conductividad hidráulica del suelo saturado ( $K_o$ ).**

de tiempo para que la diferencia de potencial hidráulico disminuya de  $H_1$  para  $H_2$ .  $A$ = área de la sección transversal de la columna de suelo.  $a$ = área de la sección transversal del tubo de vidrio.  $L$ = altura de la muestra de suelo.

En el presente caso  $A=a$ , por tanto, la ecuación se simplifica como sigue:  $K_o = (L/t) \ln(H_1/H_2)$

Para la determinación del P.S.I fue hecha la evaluación del contenido de sodio adicionado en la forma de acetato pH 7 y la correspondiente variación del mismo. En este caso el acetato de sodio (pH 7) fue adicionado en las concentraciones de 100 ppm (4,35 meq  $Na^+/dm^3$ ), 400 ppm (17,39 meq  $Na^+/dm^3$ ) y 800 ppm (34,79 meq  $Na^+/dm^3$ ).

**Metodología:** A las muestras de

5 g de cada uno de los suelos fueron adicionados 50 mL ( $2 \times 25$  mL) de la solución de sodio, después de eso el exceso de sodio fue lavado con 50 mL ( $5 \times 10$  mL) de solución hidroalcohólica 80% y posteriormente 75 mL de solución de acetato de amonio 1N (pH 7). El extracto obtenido fue analizado para  $Na^+$  en fotómetro de llama Micronal B262. Las determinaciones fueron hechas con tres (03) repeticiones.

La  $K_o$  fue determinada aquí como fue descrita en el punto anterior.

Como apoyo para el análisis estadístico de los resultados se empleó el Sanest (Sistema de análisis estadístico) del Centro de Informática en la Agricultura (Ciagri) de la ESALQ/USP.

## Resultados y discusión

La variación del P.S.I en función de la cantidad de  $\text{Na}^+$  adicionado es presentada en la figura 2, la cual muestra la correlación entre cantidad de sodio adicionado y P.S.I. En ella se observa que los valores de P.S.I. son proporcionalmente mayores en oxisol y entisol. En ninguno de los suelos se consiguió un valor de P.S.I. de 100. Estos resultados concuerdan con los que se han obtenido (6). Si por un lado los valores de P.S.I son menores en suelos de C.I.C. efectiva mayor, por otro la cantidad de  $\text{Na}^+$  adsorbido es mayor en esos suelos (tablas 2, 3, y 4). Se puede observar también que a partir de adiciones de  $\text{Na}^+$  superiores a 1,74 meq  $\text{Na}^+$  / 5 g de suelo, lo que corresponde a 34,8 meq  $\text{Na}^+$  / 100 g de suelo, no se consigue obtener correspondientes aumentos de P.S.I., esto es posiblemente debido a la

existencia de sitios preferenciales de intercambio en los suelos. En lo que respecta a la  $K_o$ , esta disminuye con el aumento del P.S.I., lo que confirma los resultados obtenidos en trabajos que relacionan esos dos parámetros (12) (3).

Para el alfisol la figura 3 muestra que de acuerdo con el concepto de "límite crítico de concentración" (12), valores de P.S.I menores de 5% provocarían una disminución de 15% en  $K_o$ . Cuando se considera el valor de P.S.I igual a 15, que según varios autores (8, 10), es aquel a partir del cual el sodio comienza a afectar seriamente la permeabilidad, la  $K_o$  sería de 3,51cm/día (calculada por la regresión presentada en la figura 3), lo que representa una disminución de 73,60 % en el valor de  $K_o$ , muy superior al definido por el concepto de "límite crítico de concentración". Para

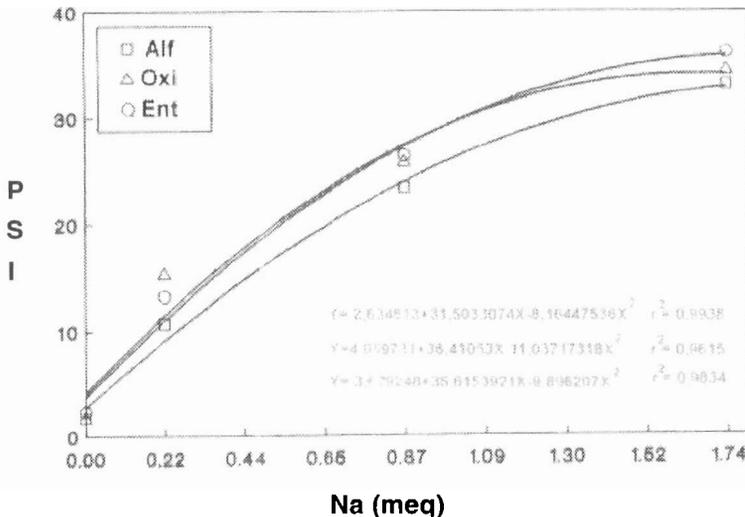


Figura 2. Variación del porcentaje de sodio intercambiable (P.S.I) en función del  $\text{Na}^+$  aplicado (meq/5 g suelo).

**Cuadro 2. Cantidades de Na<sup>+</sup> aplicado (meq/5g suelo), P.S.I. y Ko en el suelo Alfisol.**

Na <sup>+</sup> aplicado <sup>(2)</sup> (meq/5g suelo)	Na <sup>+</sup> retenido <sup>(1)</sup> (meq/100g)	P.S.I <sup>(1)</sup> (%)	Ko <sup>(1)</sup> (cm/día)
0	0,27	1,68	13,30
0,22	1,71	10,63	3,66
0,87	3,73	23,22	2,48
1,74	5,50	32,87	1,59
C.V.		11,39	11,11

(1) Media de tres repeticiones. (2) Corresponden a una adición de 0; 4,35; 17,40; y 34,80 meq/100g de suelo.

**Cuadro 3. Cantidades de Na<sup>+</sup> aplicado (meq/5g de suelo), P.S.I y Ko en el suelo Oxisol.**

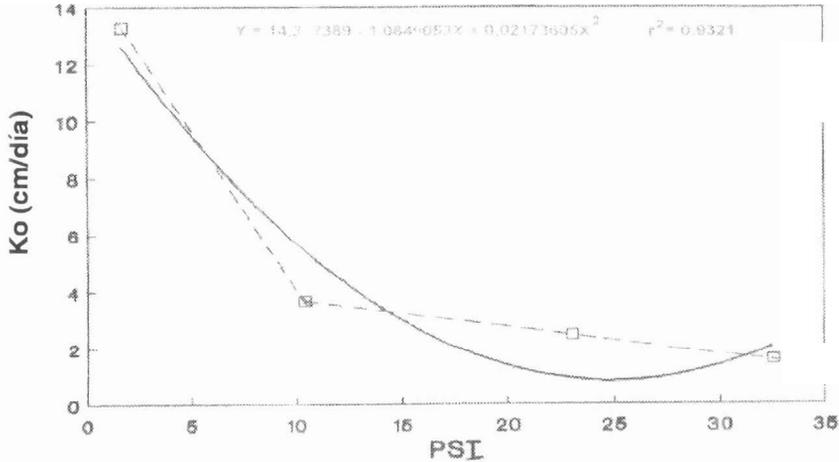
Na <sup>+</sup> aplicado <sup>(2)</sup> (meq/5g)	Na <sup>+</sup> retenido <sup>(1)</sup> (meq/100g)	P.S.I <sup>(1)</sup> (%)	Ko <sup>(1)</sup> (cm/día)
0	0,12	1,62	5,99
0,22	1,16	15,27	4,29
0,87	1,96	25,68	3,20
1,74	2,61	34,25	2,85
C.V.		7,61	

(1). Media de tres repeticiones. (2). Corresponden a una adición de 0; 4,35; 17,40; y 34,80 meq/100g.

**Cuadro 4. Cantidades de Na<sup>+</sup> aplicado (meq/5g de suelo), P.S.I y Ko en el suelo Entisol.**

Na <sup>+</sup> aplicado <sup>(2)</sup> (meq/5g)	Na <sup>+</sup> retenido <sup>(1)</sup> (meq/100g)	P.S.I <sup>(1)</sup> (%)	Ko <sup>(1)</sup> (cm/día)
0	0,10	3,27	11,00
0,22	0,60	13,19	5,60
0,87	1,19	26,22	2,74
1,74	1,63	35,89	4,34
C.V.		4,13	

(1). Media de tres repeticiones. (2). Corresponden a una adición de 0; 4,35; 17,40; y 34,80 meq/100g de suelo.



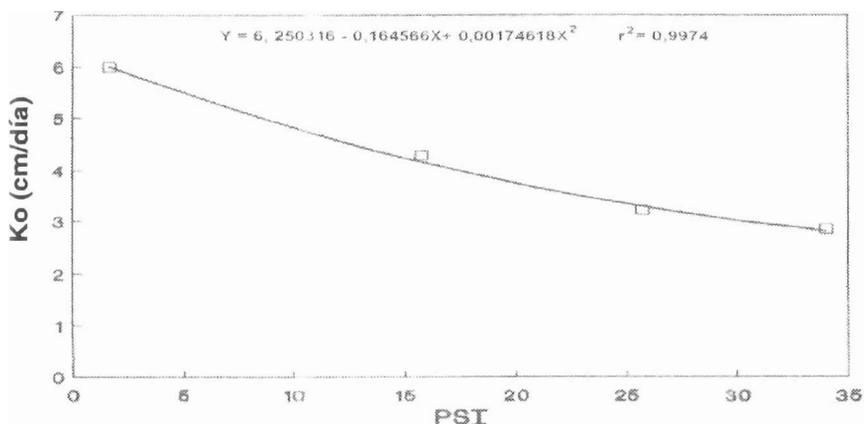
**Figura 3. Variación de Ko para el alfisol en función del PSI.**

adiciones correspondientes a 0,87 y 1,74 meq Na<sup>+</sup>/ 5g de suelo se alcanzó 23,22 y 32,87 de P.S.I, respectivamente, lo que provocó disminución de 81,35 y 88,04 % en Ko de ese suelo. Observando la figura 3, la ecuación de regresión para el alfisol, aunque tenga un coeficiente de correlación de 0,9321 no muestra el real comportamiento de la Ko del suelo en relación al P.S.I. Mientras que observando la curva se puede deducir un aumento en los valores de Ko a partir de 32,87 de P.S.I, obtenido al observar los valores de Ko (línea trazada) tornando erróneas extrapolaciones de Ko para valores de P.S.I superiores a 32,87.

En oxisol se observó una disminución de 28,38% en Ko correspondiente a un valor de P.S.I de 15,27. Esto indica que el “límite crítico de concentración”, calculado por la regresión representada en la figura 4, para el oxisol corresponde a 8%. Para cantidades de Na<sup>+</sup> adicionado entre 0,87 y 1,74 meq / 5g de suelo (equivalentes a

17,4 y 34,8 meq Na<sup>+</sup> / 100g de suelo) la disminución de Ko fue de 46,6 y 52,4 % respectivamente.

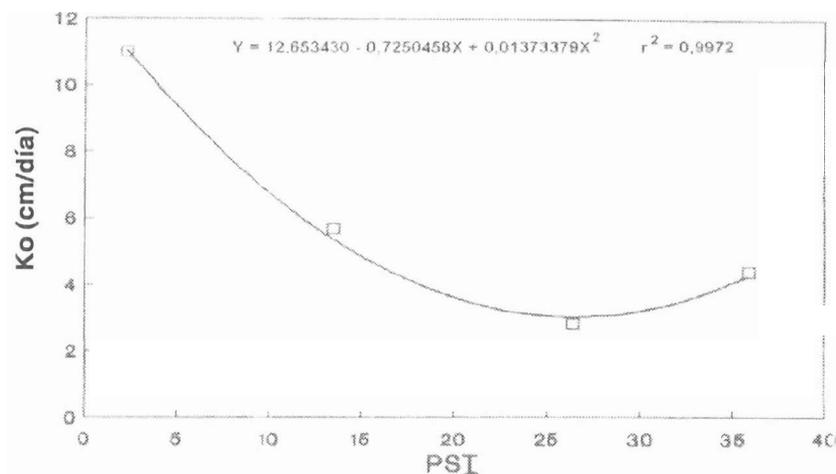
En cuanto al suelo entisol (figura 5) el “límite crítico de concentración” resultó en un valor de P.S.I aproximadamente 6. Con adiciones al suelo de 0,87 y 1,74 meq Na<sup>+</sup> / 5g de suelo se alcanzaron valores de P.S.I de 26,22 y 35,89 respectivamente, que provocaron disminución de Ko de 75 y 60% respectivamente. Con relación a Ko es importante notar que para valores de P.S.I de 35,89, la disminución observada de Ko fue menor que en valores de P.S.I de 26,22. Esto puede tener su explicación en el hecho de que la elevada cantidad de Na<sup>+</sup> aplicado, en este tipo de suelo tuvo efecto floculante y no dispersante. De hecho todos los cationes pueden provocar floculación pero ese efecto depende de la concentración del catión. Para cationes monovalentes el valor de floculación es significativamente mayor que para cationes de mayor carga.



**Figura 4. Variación de Ko para el oxisol en función del P.S.I.**

Comparando los valores de Ko y P.S.I en los tres suelos, se puede verificar que los efectos en el alfisol y en el entisol fueron más severos que en el oxisol, lo que muestra la

correlación existente entre el valor de floculación para los tres suelos que aparece en la tabla 1 y la sensibilidad al efecto del sodio en esos suelos.



**Figura 5. Variación de Ko para el entisol en función del P.S.I.**

## Conclusiones

El "límite crítico de concentración" es un parámetro que varía en función del tipo de suelo, y del porcentaje de sodio intercambiable del mismo. En las condiciones del

presente experimento el valor crítico para el alfisol fue menor al 5 %; en el oxisol el P.S.I crítico fue menor del 8 %; y en el entisol el P.S.I crítico fue menor de 6 %.

## Literatura citada

1. Cadima, Z., Libardi, P. L., e Reichardt, K. 1980. Variabilidade espacial da condutividade hidráulica em um Latossolo Vermelho-amarelo textura média, no campo. R. Bras. Ci. do solo, 4:6-3.
2. Felhendler, R., Shainberg, I., and Frenkel, H. 1974. Dispersion and hydraulic conductivity of soils mixed solution. Trans 10<sup>th</sup> Int. Cong. Soil Scie, Moscow, vol. I. Nauka, Moscow, pp 103-112.
3. Ferreyra, H., Uchoa, S. C. P., e Asis Jr., R. N. 1991. Efeito da concentração salina e da relação de adsorção de sodio sobre a condutividade hidráulica do solo saturado. In: XXIII Congresso Brasileiro de Ciência do solo. Porto Alegre-R.S, Julho. p. 178.
4. Frenkel, H., Goertzen, J. O., and Rhoades, J. D. 1978. Effect of clay type and content, ESP and electrolyte concentration on clay dispersion and soil hydraulic conductivity. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, 42:32-39.
5. Gardner, W. R., Mayhugh, M. S., Goertzen, J. O., and Bower, C. A. 1989. Effect of electrolyte concentration and exchangeable sodium percentage on diffusivity of water of soils. Soil Sci. Baltimore, 147(1): 28-33.
6. Kinjo, T., e Marcos, Z. Z. 1982. Adsorção de sódio em solos do Estado de São Paulo. I. Isoterma de adsorção de sódio. R. Bras. Ci. Solo. Campinas, 6: 73-7.
7. Libardi, P. L. Dinâmica da água no solo. Piracicaba, SP. Em edição, 1992. 580p.
8. Mc Neal, B. L., and Coleman, N. T. 1966. Effects of solution composition on soil hydraulic conductivity. Soil. Sci. Am. Proc., Madison, 20: 308-12.
9. Mc Neal, B. L., Layfield, D. A, Norvell, W. A., and Rhoades, J. D. 1968. Factors influencing hydraulic conductivity of soils in the presence of mixed salt solutions. Soil Sci. Am. J, Madison, 32: 187-190.
10. Oster, J. D. and Sposito, G. 1980. The Gapon coefficient and the exchangeable sodium percentage sodium adsorption ratio relation. Soil Sci. Am. J, Madison, 44: 258-260.
11. Pauletto, E. A., Libardi, P. L., Manfion, P. A., e Morales, S. O. 1988. Determinação da condutividade de hidráulica de solos a partir da curva de retenção de água. R. Bras. C. Solo, Campinas, 12: 189-95.
12. Quirk, J. P., and Schofield, R. K. 1955. The effect of electrolyte concentration on soil permeability. Soil. Sci. J. 6: 163-178.
13. Reichardt, K. 1985. Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera. 4ed. Piracicaba. Fundação Cargill. 445p.
14. Saunders, L. C. U., Libardi, P. L e Reichardt, K. 1978. Condutividade hidráulica da Terra Roxa Estruturada em condições de campo. R. Bras. Ci. Solo, Campinas, 2: 164-7.
15. Shainberg, I. and Rhoades, J. D., Poprath, R. J. 1981. Effect of low electrolyte concentration on clay dispersion and hydraulic conductivity of a sodic soil. Soil Sci. Am. J., Madison, 45:273-7.
16. Yaron, A., and Thomas, G. B. 1968. Soil hydraulic conductivity as affected by sodic water. Water Resource, Res. 4: 545-52.