



ANÁLISE DE CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA EM DOIS SOLOS DA PARAÍBA SOB DIFERENTES DENSIDADES.

Diego Felipe Guedes da Silva¹, Vera Lucia Antunes²

RESUMO

O principal objetivo deste trabalho foi analisar a condutividade hidráulica em dois tipos diferentes de solos, utilizando colunas de solo. Foi variado a densidade do solo, de tal forma que pode-se comparar com situações praticas na agricultura, tanto compactação no caso da passagem de máquinas quanto descompactação, caso onde o solo é arado. A condutividade hidráulica tem grande importância para várias áreas, como o manejo de irrigação, dimensionamento de drenagem, áreas de escoamento superficial, construção de terraços de armazenamento e bacias de acumulação, dentre outros. Para a obtenção da condutividade hidráulica podem ser utilizados vários métodos, dentre estes são citados o método do permeâmetro de carga constante, que foi o utilizado no presente projeto. Os resultados são abaixo melhor mensurados para posteriormente serem realizadas as devidas considerações.

Palavras-chave: Coluna de solo, solo deformado, método do permeâmetro de carga constante.

¹Aluno do curso de Engenharia Agrícola, Departamento de Irrigação e Drenagem, UFCG, Campina Grande, PB, e-mail: diegofelipeguedess@gmail.com

² Doutora, Professora, Departamento de Irrigação e Drenagem, UFCG, Campina Grande, PB, e-mail: antuneslima@gmail.com

ANALYSIS OF HYDRAULIC CONDUCTIVITY IN TWO SOILS OF PARAÍBA UNDER DIFFERENT DENSITIES.

ABSTRACT

The main objective of this work was to analyze hydraulic conductivity in two different types of soils, using soil columns. The density of the soil was varied, so that it can be compared with practical situations in agriculture, both compaction in the case of the passage of machines and decompression, in which case the soil is harvested. Hydraulic conductivity is of great importance in several areas, such as irrigation management, drainage design, surface runoff areas, construction of storage terraces and accumulation basins, among others. In order to obtain the hydraulic conductivity several methods can be used, among them the constant load permeability method, which was used in the present project, is mentioned. The results are best measured below, to be taken into consideration.

Keywords: soil column, deformed soil, constant load permeameter method.

INTRODUÇÃO

Devido às várias operações de preparo do solo, as propriedades físicas do mesmo são alteradas, afetando diretamente nos fatores de desenvolvimento de culturas, sendo estes a estrutura, a infiltração da água, a porosidade, a condutividade hidráulica e o armazenamento de água (SILVA, 2007).

O movimento da água tem controle na dinâmica de elementos que atuam no processo de formação dos solos, bem como na disponibilidade de nutrientes para as culturas. A irrigação é um meio de complementar essa disponibilidade de água para as plantas, porém é imprescindível o conhecimento da velocidade de infiltração da água no solo e a condutividade hidráulica, a fim de manejar corretamente o sistema de irrigação e sanar problemas ligados a desperdício de água.

Para solos salinos, uma remediação para viabilizar seu uso é a implantação de sistemas de drenagem, e para isso, é de vital importância que se conheça a condutividade hidráulica e a porosidade do solo que seja drenável (BERNARDO & MANTOVANI, 2006).

A condutividade hidráulica é relacionada ao conteúdo de água no solo, de forma que um solo saturado apresente maior valor quando comparado a um solo seco, e relação direta com o potencial mátrico (BERNARDES, 2005).

Os métodos de obtenção da condutividade hidráulica podem ser feitos no campo ou em laboratório, sendo, as amostras deformadas ou indeformadas. São vários os métodos que podem apresentar valores diferenciados dependendo do estado do solo durante o processo ou do próprio método utilizado.

O método do permeâmetro de carga constante pode ser utilizado tanto para amostras deformadas como indeformadas. Este método é ideal para amostras de solo que tendem a ter uma condutividade hidráulica maior que $0,002 \text{ mm s}^{-1}$, onde o frasco de Mariotte é utilizado em condições de laboratório para a determinação do valor.

Com base no que foi descrito, este trabalho teve por objetivo realizar uma análise da condutividade hidráulica. Impondo a dois tipos de solo paraibanos densidades variadas.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no laboratório de Irrigação e Drenagem, LEID, pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de

Campina Grande (UFCG), Campina Grande-PB, com latitude 07°15'18" Sul, longitude 35° 52' 28" Oeste e altitude média 550 m (IBGE, 2010).

Nos ensaios foram utilizados dois tipos de solo classificados de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos Embrapa (2006). As amostras de solo foram coletadas a uma profundidade de 0 a 20,0 cm, onde encontra-se a camada arável do solo.

Após a coleta, as amostras de solo foram secas ao ar, passadas em peneira de 2,0 mm de abertura de malha e encaminhadas para caracterização química e física no Laboratório de Irrigação e Salinidade - LIS, através de metodologia proposta pela EMBRAPA (1997).

Foram montadas 20 colunas para cada tratamento, sendo dois solos, três densidades para casa solo, totalizando 120 colunas de solo. Para a montagem das colunas as amostras dos dois solos passaram pelo mesmo processo, que consistiu em secagem ao ar durante 24 horas, destorroamento e peneiramento em uma malha de 2,0 mm. Os tratamentos utilizados no experimento são apresentados da Tabela 1.

Tabela 1 Tratamentos utilizados no experimento.

Tratamento	Solo	Densidade
T1	Luvissole	De campo
T2	Neossolo	De campo
T3	Luvissole	5% acima de campo
T4	Neossolo	5% acima de campo
T5	Luvissole	5% abaixo de campo
T6	Neossolo	5% abaixo de campo

A densidade acima da densidade de campo implica em simular um solo compactado pelo uso de maquinários ou pecuária, e a densidade abaixo de campo implica em simular a aração da área agrícola. E os tratamentos de mesmo tipo de solo passarão por análise de diferença estatística de médias pelo teste Tukey a 5% de significância.

Para cada tratamento foram feitas 20 repetições para que se possa utilizar das análises por gráficos de controle estatístico de qualidade, no qual os resultados apresentaram mais confiança e precisão.

A montagem do permeâmetro de carga constante consistiu na utilização de colunas de vidro, com 26,0 cm de altura e 6,0 cm de diâmetro interno; na extremidade inferior da coluna foi colocado um círculo feito com tela de nylon e, em cima da tela, um outro círculo feito com tela bidin, para sustentação do material e evitar a perda de solo durante os ensaios. O nylon foi preso à coluna com o auxílio de uma abraçadeira de metal de

diâmetro ligeiramente superior ao da coluna. Na parte superior da coluna, sobre o solo, foi colocada lã de vidro, de modo a proporcionar melhor distribuição do líquido a ser percolado e reduzir o impacto da água, impedindo a desestruturação do solo.

As colunas foram preenchidas com solo até se atingir altura de 20,0 cm. O solo foi acomodado na coluna, de forma a proporcionar uniformidade quanto à densidade analisada, em toda a coluna. Para isso utilizou-se um funil e um becker para colocar o solo na coluna. Foi monitorado o preenchimento da coluna com os agregados de solo, de maneira a se obter a densidade desejada sendo relativa à densidade no campo, determinada em laboratório. A densidade de solo para cada coluna foi obtida com a Equação 01:

$$D_s = \frac{m}{v} \quad (01)$$

Em que: D_s = densidade do solo (g cm^{-3}); m = massa de solo na coluna (g); v =volume de solo na coluna (cm^3 g).

Após a confecção cada coluna foi colocada, inclinada, em recipiente de plástico, preenchido até $2/3$ da altura da coluna de solo com água destilada. As colunas foram deixadas em repouso durante 24 horas.

A coluna preenchida com solo e adequadamente saturada foi ligada a um frasco de Mariotte, contendo água destilada, mantendo-se uma lâmina conhecida e constante acima do solo, que foi de 4 cm.

Será monitorado o tempo o volume de água coletado, sendo feita a leitura de cada coluna com 360, 720, 1080, 1440 e 1800 segundos, assim, o tempo entrou como outro parâmetro para avaliar a estabilidade do fluxo de saída de água. A água foi coletada em provetas graduadas de 100 mL e o tempo regulado por cronômetro.

MÉTODO DO PERMEÂMETRO DE CARGA CONSTANTE

Este método reproduz a experiência de Darcy sobre infiltração vertical de solução em filtros de areia, sob condição de saturação. Para manter a carga hidráulica constante, é utilizado um frasco de Mariotte.

Depois de atingida a condição de regime estacionário, aplica-se a equação de Darcy-Buckingham, Equação 02.

$$K_s = \frac{V_a \cdot L}{A \cdot t \cdot (h+L)} \quad (02)$$

Onde: K_s = condutividade hidráulica ($m \cdot s^{-1}$); V_a = volume de água coletado (m^3); L = comprimento da coluna (m); A =área da seção transversal da coluna (m^2); t = tempo de coleta (s) e h = potencial de pressão no topo da coluna (m).

DESENVOLVIMENTO

A excelência do método do permeametro se dá por ser flexível a ser utilizado de acordo com os anseios do projeto. Com relação ao cálculo da velocidade, o tempo de coleta foi determinado de acordo com bibliografias, cabendo, acima de tudo, um número considerável de repetições a fim de eliminar qualquer possível erro sistemático que possa ter vindo a se apresentar. Os resultados em forma de números e gráfico são abaixo melhor retratados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caráter de informação são apresentadas as características físicas dos dois solos estudados, a seguir na Tabela 2.

Tabela 2 - Características físicas e químicas dos solos que serão utilizados no experimento a profundidade de 30 cm

Características físicas	Solo	
	Lagoa Seca-PB	Patos-PB
Areia (%)	86,82	70,19
Silte (%)	8,14	17,93
Argila (%)	5,04	11,88
Densidade do solo ($g \cdot cm^{-3}$)	1,48	1,39
Densidade de partícula ($g \cdot cm^{-3}$)	2,76	2,73
Porosidade (%)	46,38	49,08
Classificação textural	Areia franca	Franco-arenoso

Verificou-se que o solo mais arenoso (neossolo) apresentou maior densidade, e menor retenção de água, como era de se esperar, enquanto o menos arenoso apresentou fatores contrários.

A seguir tem-se a análise de diferença estatística pelo teste Tukey a 5% de significância (Tabelas 3 e 4) .

Tabela 3 Teste de Tukey a 5% de significância para a condutividade hidráulica do luvisolo.

Tratamento	Média (m dia ⁻¹)	5% significância
T5	6,01	a
T1	4,27	b
T3	3,09	c

A diferença entre os tratamentos mostra que com apenas 5% de compactação ou descompactação, a condutividade hidráulica já muda significativamente em relação à densidade de campo, para o luvisolo.

Tabela 4 Teste de Tukey a 5% de significância para a condutividade hidráulica do neossolo.

Tratamento	Média (m dia ⁻¹)	5% significância
T6	8,26	a
T2	7,81	ab
T4	7,00	b

Já para o neossolo, verifica-se que a condutividade hidráulica não apresentou diferença estatística da compactação ou descompactação em relação à densidade de campo, porém, a condutividade hidráulica do solo compactado diferenciou estatisticamente do solo descompactado, ou seja, foi necessário uma variação de 10% da densidade para que houvesse diferença estatística na condutividade hidráulica.

Para os solos analisados, verificou-se que em caso de compactação de até 5% da densidade de campo, a condutividade hidráulica apresentou decréscimo de 27,6% para o luvisolo e 10,4% para o neossolo. Neste caso, o risco de ocorrência de escoamento superficial é maior. Segundo Tucci e Clarke (1997) a compactação do solo reduz a infiltração de água drasticamente, resultando em maior escoamento superficial.

No caso de descompactação do solo, a condutividade hidráulica apresentou acréscimo de 40,7% para o luvissole e 5,8% para o neossolo. Com o aumento da condutividade hidráulica, o risco de lixiviação de sais e contaminantes para o lençol freático aumenta, porém, em áreas sistematicamente drenadas, há uma melhoria da eficiência do sistema. Tavares Filho e colaboradores (2006) encontraram uma diferença de condutividade hidráulica de 67% maior para um latossolo escarificado do que solos sob plantio direto.

O luvissole apresentou maior sensibilidade a alterações dos valores de condutividade hidráulica quanto à variação da densidade, comparado ao neossolo que apresentou menor variação. A textura do solo provavelmente interferiu nesse resultado, comparando com resultados também encontrados por Tavares Filho et al. (2006), o teor de argila pode ser determinante nessa sensibilidade, sendo maior para teores maiores de argila.

Para os gráficos de controle, apesar dos dados estarem dentro dos limites de controle impostos pelo software Minitab (três desvios padrões da média), analisou-se mais detalhadamente a variação dos dados com o coeficiente de variação estatística (cv), classificado segundo Pimentel Gomes (1985), em que foram adicionadas linhas de referência para os coeficientes classificados como médio e baixo, ou seja, quanto menor a variação dos resultados, maior seria sua precisão.

Para possibilitar uma melhor visualização do que foi explicado, foram feitos gráficos de controle que oferecem uma ideia do que esta sendo retratado.

Na Figura 1, pode-se ver que 50% repetições se mantiveram na faixa de baixa dispersão dos dados, enquanto 60% se mantiveram em média dispersão. Logo pode-se concluir que quando o processo apresentava variação, esta deslocava-se acima de 20%. Porém 50% dos dados ainda apresentaram boa representatividade da condutividade hidráulica com baixa dispersão.

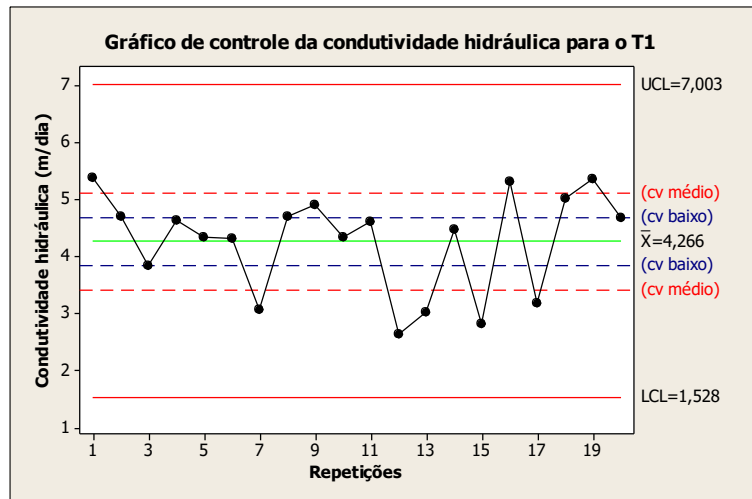


Figura 1 Gráfico de controle da condutividade hidráulica para o luvissole em densidade de campo.

Na Figura 2 o gráfico apresentou 35% dados com baixa dispersão e 75% dados com média dispersão, uma dispersão um pouco maior quando comparado ao T1, porém com menos dados fora dos limites impostos pelas classificações de cv.

Na Figura 3 verifica-se que somente 20% dados ficaram fora dos limites do cv, logo foi uma boa representatividade dos dados, neste processo, com 50% dos dados com baixa variação e 80% dos dados em média variação.

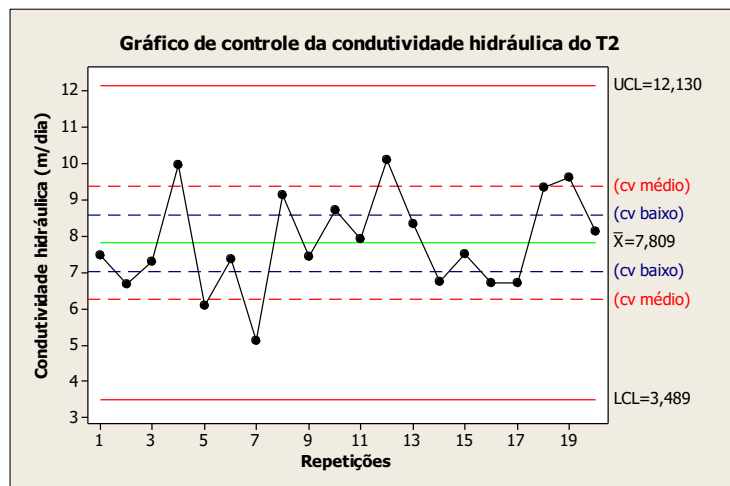


Figura 2 Gráfico de controle da condutividade hidráulica para o neossolo em densidade de campo.

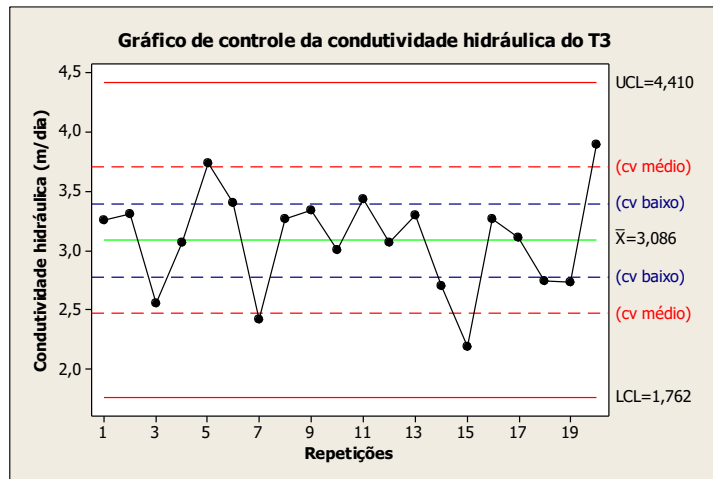


Figura 3 Gráfico de controle da condutividade hidráulica para o luvissole compactado.

Na Figura 4 pode-se verificar que somente duas repetições ficaram fora dos limites de variação médio, com 60% dos dados com baixa variação e 90% dos dados com média variação, tornando o processo com resultados confiáveis.

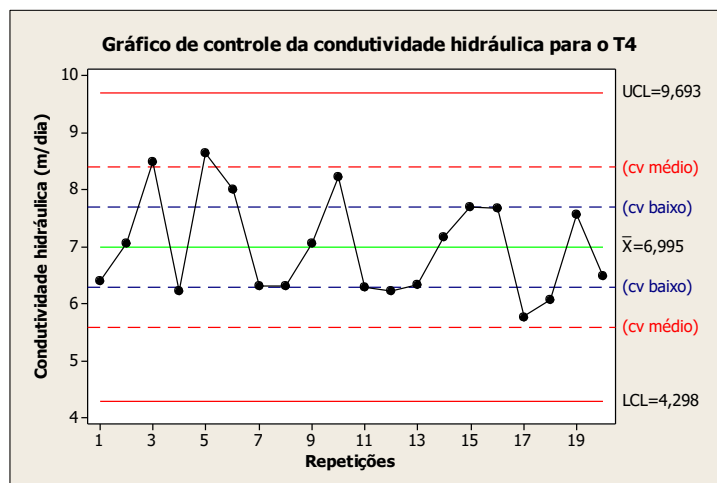


Figura 4 Gráfico de controle da condutividade hidráulica para o neossole compactado.

Na figura 5 verifica-se um ponto próximo ao limite superior de controle, tornando-se um dado discrepante em relação aos outros. Porém, o processo apresentou 45% de dados com baixa dispersão e 70% dos dados com média dispersão.

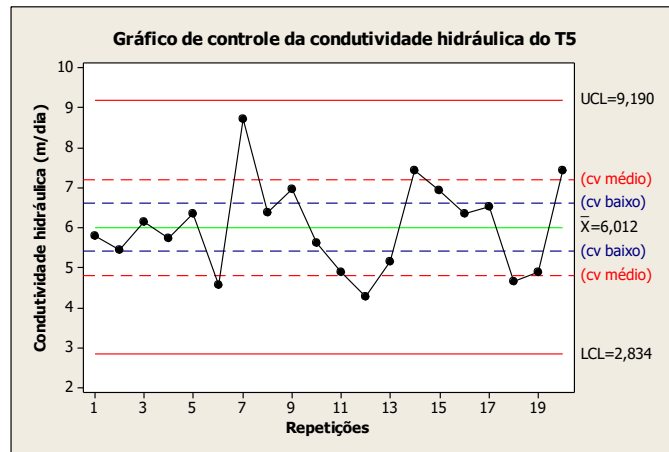


Figura 5 Gráfico de controle da condutividade hidráulica para o luvissole descompactado.

Na Figura 6 pode-se ver que somente 5 repetições mantiveram baixa variação, enquanto 55% dos dados apresentaram variação média. Este processo foi o que apresentou mais problemas, quando comparado aos outros, pois verificou-se 45% dos dados fora dos limites de variação.

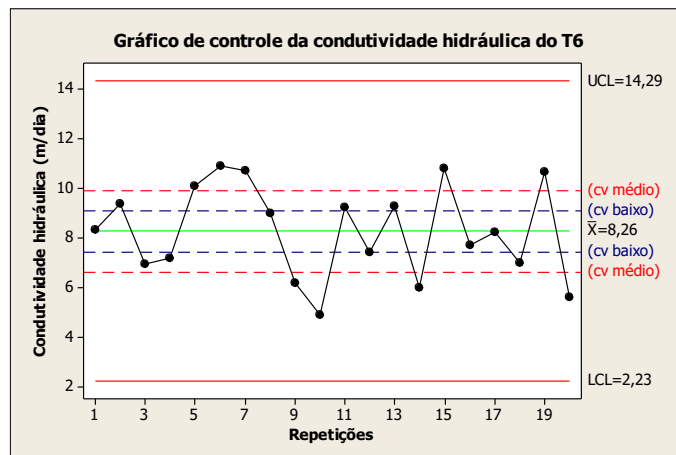


Figura 6 Gráfico de controle da condutividade hidráulica para o neossolo descompactado.

Os gráficos de controle estatístico de qualidade foram de grande auxílio nas análises de forma a mostrar pontos discrepantes do processo e sua necessidade de correção para que os resultados finais sejam mais confiáveis.

CONCLUSÕES

Foram definidos os valores de condutividade hidráulica para os dois solos avaliados em 4,27 m dia-1 para o luvissole e 7,81 m dia -1 para o neossolo, em densidade de campo. Já para a compactação simulada (acréscimo de densidade), a condutividade hidráulica do luvissole e neossolo foram respectivamente, 3,09 e 7,00 m dia-1. Para a

descompactação (redução da densidade), a condutividade dos solos foi 6,01 e 8,26 m dia⁻¹, para luvisolo e neossolo respectivamente.

A alteração da densidade proporcionou a mudança na estrutura do solo, de forma que o aumento da densidade gerou redução dos poros, dificuldade de passagem de água e conseqüentemente a redução da condutividade hidráulica. O inverso ocorreu com a redução da densidade.

Os gráficos de controle mostraram que os processos de obtenção dos dados de condutividade hidráulica apresentaram controle estatístico de qualidade, mantendo-se dentro dos limites de controle, porém ao analisar de forma mais detalhada, verificou-se que a variação dos dados coletados ainda era significativa, de forma que o coeficiente de variação estatística pode ser um delimitador para exigências na qualidade do processo mostrando pontos discrepantes que poderiam ser falsos resultados.

AGRADECIMENTOS

Agradeço de maneira concisa o CNPq pela concessão de bolsa de pesquisa ao primeiro autor, discorrendo que “O presente trabalho foi realizado com apoio do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil”. Se enquadrando no PIBIC/CNPq-UFMG, regido pelo período de 2016/2017.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERNARDES, R. S. Condutividade hidráulica de três solos da região Norte Fluminense. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF. 69p. 2005. (Tese Doutorado).

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. Manual de irrigação. 8. ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2006. 625p.

CARVALHO, J. B. Q. Fundamentos da mecânica dos solos. Ed. Marconi. Campina Grande-PB, 310p, 1997.

ELLIES SCH, A.; GREZ, R.; RAMIREES, C. G. La conductividadhidraulicaen fase saturada como herramienta para el diagnostico de laestructuredel solo. Agro Sur, v.15, n.1, p. 51-56, 1997.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análise do solo. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. p. 247, 1997.

Embrapa. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: Embrapa Produção de informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, p. 412, 1999.

FALLEIROS, M.C.; PORTEZAN, O.; OLIVEIRA, J.C.M.; BACCHI, O.O.S. & REICHARDT, K. Spatial and temporal variability of soil hydraulic conductivity in relation to soil water redistribution, using an exponential model. *SoilTill. Res.*, 45:279-285, 1998.

FREIRE, M. B. G. S.; RUIZ, H. A.; RIBEIRO, M. R.; FERREIRA, P. A.; ALVAREZ, V. H.; FREIRE, F. J. Condutividade hidráulica de solos de Pernambuco em resposta a condutividade elétrica e RAS de água de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, n.1, p.45-52, Campina Grande-PB, 2003.

GONÇALVES, A. D. M. A.; LIBARDI, P. L. Análise da determinação da condutividade hidráulica do solo pelo método do perfil instantâneo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 37:1174-1184. Viçosa-MG. 2013.

HILLEL, D.(1971) *SoilandWater – Physicalprinciplesand processes*. New York: Academic Press, 287p.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Anuário estatístico do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

LIMA, L. S. C.; SUZUKI, L. E. A. S.; PEDRON, F. A.; STRIDER, G.; MILANI, I. C. B.; DAI PRA, M.; SOUZA, M. F. Caracterização físico-hídrica de neossolos quartzarênicos sob condição de voçorocamento. 21º Congresso de iniciação científica. UFPel, 2010.

MONTGOMERY, D. C. *Introduction to Statistical Quality Control*. 6th edition. p. 21. Arizona. USA. 2009.

PEDRON, F. A.; Fink, J. R.; Rodrigues, M. F.; Azevedo, A. C. Condutividade e retenção de água em neossolos e saprolitos derivados de arenito. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, p. 1253-1262, 2011.

PIMENTEL GOMES, F. *Curso de Estatística Experimental*. São Paulo: Nobel, 1985. 467 p.

PINHO, R. E. C.; MIRANDA, J. H. Avaliação do modelo HYDRUS-1D na simulação do transporte de água e potássio em colunas preenchidas com solos tropicais. *Revista de Engenharia Agrícola*. Jaboticaba-SP. v.34, n.5, p. 899-911. 2014.

RAVIV, M.; WALLACH, R.; SILBER, A.; MEDINA, S.; KRASNOVSKY, A. Effect of hydraulic characteristics of volcanic materials on yield of roses grown in soilless culture. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, v.124, p.205- 209, 1999.

REICHARDT, K. *A água em sistemas agrícolas*. São Paulo :Manole, 1990. 188p.

SILVA, E.B. & LIBARDI, P.L. Propriedades hidráulicas de um solo não saturado utilizando-se o permeâmetro a disco. *Sci. Agric.*, 57:525-529, 2000.

SILVA, M.M. Balanço de água no solo com milho sob sistema plantio direto e diferentes doses de nitrogênio. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. 86p. 2007. (Tese Doutorado).

TAVARES FILHO, J.; FONSECA, I. C. B.; RIBON, A. A.; BARBOSA, G. M. C. Efeito da escarificação na condutividade hidráulica saturada de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. *Revista Ciência Rural*, v. 36, n. 3, p. 996-999, Santa Maria-RS. 2006.

TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: revisão. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 2, n. 1, p. 135-152, Porto Alegre-RS. 1997.

VAN GENUCHTEN, M.T. (1980) A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal*, 44:892-898p.