

# TAXA DE INFILTRAÇÃO ESTÁVEL DA ÁGUA AO LONGO DE TRANSEÇÕES EM SOLOS CONSTRUÍDOS NA ÁREA DE MINERAÇÃO DE CARVÃO DE CANDIOTA – RS

## STABLE WATER INFILTRATIONS ACROSS MINESOILS RECONSTRUCTED AROUND THE CANDIOTA-RS COAL MINING

Clístenes Antônio Guadagnin<sup>1</sup>, Eloy Antonio Pauletto<sup>2</sup>, Luiz Fernando Spinelli Pinto<sup>2</sup>

### RESUMO

A infiltração da água é um parâmetro que permite inferir sobre a recomposição do ambiente natural das áreas de mineração, a fim de melhor compreender os processos que ali ocorrem, principalmente relacionados com a revegetação e a erosão. Este trabalho foi realizado na área de mineração da Companhia Riograndense de Mineração em Candiota-RS, pertencente ao bioma Pampa, estepe gramíneo-lenhosa. Para avaliar a variação da taxa de infiltração estável (TIE) da água foram selecionados dois tipos de solos construídos (SC1, com pequena espessura de cobertura de solo e 2 anos de idade, e SC2, com espessa cobertura de solo e 6 anos de idade) e um solo natural (SN, Argissolo Vermelho Eutrófico típico). A TIE foi avaliada, para cada solo estudado, ao longo de uma transeção de 117m a cada 3,0m de distância, durante um período médio de 7,5h, até leitura constante, com o uso de infiltrômetro de cilindro único. As leituras foram realizadas após se estabelecer uma carga hidráulica de 0,09m, mantida aproximadamente constante ao longo do tempo. Após análise dos resultados concluiu-se que: (a) a TIE de água nos solos construídos foi baixa a média, sendo superior a do solo natural utilizado como referência, que foi muito baixa; (b) a variação da TIE de água ao longo da transeção nos solos construídos foi muito alta, com valores extremos variando de muito baixo a alto; enquanto que a do solo natural é menor e mais homogênea; (c) a baixa macroporosidade não permitiu estabelecer uma relação direta entre sua magnitude e a TIE de água.

Palavras-chave: áreas degradadas, infiltrômetro, fluxo constante.

### ABSTRACT

In order to evaluate the variation of the water infiltration rate at steady-state, two different types of minesoils (SC1, with thin topsoil cover and 2 years of construction, and SC2, with thick topsoil cover and 6 years of construction) were selected and compared to a natural soil (SN) located nearby, classified as an Alfisol. The water infiltration rate was evaluated along a 117m transect at 3.0m intervals, during an average 7.5h period, until constant measurement, using PVC cylinders with 0.1425m internal diameter and 0.25m height, inserted 0.10m into the soil. The measurements were done using a graduated ruler fixed in the internal cylinder after the establishment of a hydraulic head of 0.09m, maintained constant along the time. After the results analysis it was concluded that: (a) the minesoil water infiltration rate at steady-state was low to medium and higher than the reference natural soil, which was very low; (b) the variation of the water infiltration rate along the transect in the minesoil is very high, with extreme values ranging from very low to high, while the variation in the natural soil was lower and more homogeneous; (c) the soils low macroporosity did not allow

to establish a significant relationship between this variable and the water infiltration rate.

Key words: land degradation, infiltrometer, steady-state flux.

### INTRODUÇÃO

O conhecimento da taxa de infiltração estável (TIE) de água, conforme definição de BRANDÃO et al. (2006), que é considerada como sendo o fluxo constante ("steady-state flow") de entrada de água no solo, e sua relação com atributos físicos do solo, como porosidade total, macroporosidade e densidade do solo, são de fundamental importância para avaliar a degradação física existente nas áreas de mineração e proporcionar alternativas para minimizar seus efeitos, visando recuperar a qualidade do solo e da água. A capacidade de infiltração é uma das principais características dos solos, pois reflete a capacidade máxima que o solo tem em permitir a entrada de água no seu interior, sob determinadas condições, sendo de difícil determinação, por causa da variabilidade espacial e temporal. Entre os fatores que afetam o processo de infiltração destacam-se as condições da superfície do solo, o conteúdo inicial de água no perfil do solo, o tempo de infiltração, a existência de camadas menos permeáveis ao longo do perfil, a topografia do terreno e os parâmetros físicos do solo (HILLEL, 1998; REICHARDT & TIMM, 2004).

A TIE é fortemente relacionada com os processos dinâmicos que ocorrem nos vazios do solo que determinam a condutividade hidráulica saturada no perfil mais superficial (BOUWER, 1986; HILLEL, 1998) e com a permeabilidade dos macroporos no perfil, já que a condutividade hidráulica não saturada decresce significativamente a partir da saturação, com a diminuição do potencial matricial e do tamanho dos poros que retêm água, principalmente na faixa de pressão logo abaixo da pressão de entrada de ar (HILLEL, 1998). A TIE é uma grandeza ligada às taxas reais de infiltração e de escoamento superficial, estando diretamente relacionada com os processos erosivos dos solos, podendo também ser definida como medida relativa, parcial, da permeabilidade de ar nos macroporos.

Em estudos hidrológicos, os métodos mais utilizados na determinação da TIE são o infiltrômetro de anel e o simulador de chuva (BRANDÃO et al., 2006), sendo o infiltrômetro de

Parte da Dissertação de Mestrado apresentada pelo primeiro autor ao PPG em Agronomia, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel – FAEM/UFPEL.

<sup>1</sup> Engenheiro Agrônomo, Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina – EPAGRI. Caixa Postal 281, CEP 89900-000 São Miguel do Oeste (SC). E-mail: guada@epagri.rct-sc.br

<sup>2</sup> Professor Doutor do Departamento de Solos da Universidade Federal de Pelotas – FAEM/UFPEL. Caixa Postal 354, CEP 96001-970 Pelotas (RS). E-mail: pauletto@ufpel.tche.br; lspin@ufpel.tche.br

(Recebido para Publicação em 23/09/2006, Aprovado em 05/09/2007)

anel o mais utilizado devido a sua facilidade de manejo e ao baixo custo (SIMÕES et al., 2005). A limitação desse método está na utilização de uma carga hidráulica acima do solo, simulando as condições de inundação, o que não corresponde à realidade. Por outro lado, o uso de um simulador de chuva pode se tornar inviável pelo seu alto custo e operacionalidade complexa.

Outra limitação do infiltrômetro de anel está relacionada ao fluxo lateral da água que poderá ocorrer abaixo da extremidade inferior do mesmo, tornando-se necessário a instalação de dois cilindros de diâmetros diferentes para evitar tal problema, sendo as leituras feitas no cilindro central. MERRIAN et al. (1983), entretanto, ressaltam que em casos de taxa de infiltração baixa pode ser utilizado um infiltrômetro de cilindro único na determinação da infiltração vertical, desde que ele tenha no mínimo 0,25m de diâmetro e seja enterrado no solo pelo menos 0,15m. Estes autores ressaltam que nesses casos cilindros concêntricos raramente conseguem melhor precisão. BOUWER (1986) também discorda da necessidade de um cilindro externo nesses casos, chamando à atenção apenas para a necessidade de se utilizar cilindros com diâmetros suficientemente grandes, de forma que a relação entre a pressão de entrada de ar e o diâmetro do cilindro seja praticamente nula. Nessa condição, a infiltração, em todos os pontos dentro do cilindro, será bem próxima da infiltração vertical. Cabe ressaltar ainda, que solos com determinadas peculiaridades como: extremamente compactados, com baixa porosidade e predomínio de microporos, podem apresentar valores de TIE muito baixos, tornando desnecessário o uso de dois cilindros concêntricos, como pode ser o caso dos solos construídos em áreas de mineração.

A extração de carvão mineral na jazida de Candiota é realizada a céu aberto em cortes sucessivos, no sistema "vai-vem", na seguinte seqüência: a) retirada do solo superficial (horizonte A, chamado de "terra vegetal"); b) retirada da "argila vermelha" (horizontes B e C); c) perfuração e detonação do arenito; d) descobertura do carvão; e) perfuração, detonação e extração do carvão; f) recomposição topográfica; g) deposição da "terra vegetal" (solo superficial, geralmente com um certo grau de mistura: horizontes A e B) sobre a área recomposta topograficamente; h) estabelecimento de práticas agrônômicas de preparo e correção do solo; e i) plantio de espécies vegetais (SCHULTZ, 1998). O processo de recomposição topográfica com a utilização de material estéril e sobre esse a colocação da "terra vegetal" forma o chamado solo construído. O fato desse processo ser realizado normalmente com máquinas de grande porte pode afetar negativamente os atributos físicos do solo, resultando em elevada densidade, baixa porosidade com predomínio de poros pequenos, que poderão inibir os processos físicos, como o fluxo de água e de ar e o desenvolvimento da vegetação (PINTO & KÄMPF, 2002).

Este trabalho teve como objetivo determinar a taxa de infiltração estável de água ao longo de uma transeção em dois solos construídos existentes na área de mineração de carvão de Candiota-RS e compará-la com a obtida em um solo natural predominante na região.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na área da Companhia Riograndense de Mineração (CRM) em Candiota-RS. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo subtropical da classe Cfa, mesotérmico, com chuvas regularmente distribuídas durante o ano, onde a precipitação média é de 1.350mm. A seleção dos perfis dos solos estudados foi realizada através de um levantamento preliminar, com a finalidade de priorizar áreas representativas em uma posição semelhante na paisagem, sendo selecionadas situações de maior uniformidade topográfica, em posição de meia encosta próxima ao topo, para evitar solos excessivamente degradados pela erosão.

Para avaliar a variação da TIE de água foram selecionados dois tipos de solos construídos (SC1 e SC2) e um solo natural (SN), localizado na frente de mineração. O solo natural (SN) foi selecionado com base em observação de campo quanto à representatividade, sendo descrito e coletado em um local a ser minerado no futuro (pré-minerado). Esse solo foi classificado como Argissolo Vermelho Eutrófico típico (EMBRAPA, 2006). O solo construído 1 (SC1) foi selecionado em uma área em estágio de recuperação mais recente, com aproximadamente 2 anos de idade no início das amostragens (agosto de 2002), o qual apresenta uma pequena espessura de "terra vegetal" (15 - 20cm em média), colocada diretamente sobre a camada de estéril (Figura 1), representando o método atual de recuperação das áreas mineradas pela CRM. O solo construído 2 (SC2), com idade aproximada de 6 anos (agosto de 2002), foi escolhido por apresentar um processo de recuperação mais próximo do ideal, recomposto com uma camada de "terra vegetal" com espessura de 20 a 40cm, seguida de uma camada de argila vermelha (horizontes B e C) com 40 a 60cm de espessura, colocada antes da camada de estéril (Figura 1), método anteriormente utilizado na regeneração destas áreas. Os dois solos construídos apresentam uma cobertura vegetal composta de gramíneas lenhosas, típicas do bioma local.

A TIE de água foi avaliada ao longo de uma transeção de 117m a cada 3,0m de distância, utilizando um único cilindro de PVC com diâmetro interno de 0,15m e altura de 0,25m, introduzido 0,10m no solo. As leituras foram realizadas utilizando uma régua graduada afixada no interior do cilindro após se estabelecer uma carga hidráulica de 0,09m, mantida aproximadamente constante ao longo do tempo. As determinações foram interrompidas após a obtenção de valores constantes da taxa de infiltração que foi considerada a taxa de infiltração estável (TIE). Esses valores foram obtidos após um tempo médio de 450 minutos. A TIE, para cada intervalo de tempo, foi calculada pela equação:

$$i = \frac{h_t - h_{t+1}}{t_{t+1} - t_t}$$

onde  $i$  é a TIE do intervalo de tempo ( $\text{mm h}^{-1}$ );  $h_t$  é a altura da lâmina de água no tempo  $t$  (mm);  $h_{t+1}$  é a altura da lâmina de água no tempo  $t + 1$  (mm);  $t_t$  é o tempo no instante  $t$  (h);  $t_{t+1}$  é o tempo  $t + 1$  (h), ou tempo posterior ao tempo  $t_t$ ;

Adotou-se a classificação da taxa de infiltração estável ( $\text{mm h}^{-1}$ ) descrita por REICHARDT (1990), apresentada na Tabela 1, a fim de caracterizar cada ponto amostrado. Toda a vez que ocorreu uma diminuição de 2cm na carga hidráulica se procedeu a sua reposição para manter a carga hidráulica aproximadamente constante.

Tabela 1 - Classificação da taxa de infiltração estável (mm h<sup>-1</sup>) (REICHARDT, 1990).

Classe	Taxa de infiltração estável - TIE
Muito alta	>30
Alta	15 – 30
Média	5 – 15
Baixa	1 – 5
Muito baixa	< 1

O fato de se utilizar o infiltrômetro de cilindro único se deve à baixa taxa de infiltração verificada no início das determinações, em testes preliminares, onde se pode verificar que a água não atingia a extremidade inferior do cilindro enterrado no solo, após longos períodos de tempo, não se constatando, portanto, fluxos laterais.

Os dados de densidade do solo, porosidade total e macroporosidade, obtidos nas mesmas transecções, foram extraídos de NUNES (2002). Para a análise estatística foi aplicado o teste de Duncan a 5 % de significância, obtendo a análise da variância e comparações das médias utilizando o Sistema de Análise Estatística – Winstat (MACHADO, 2001).

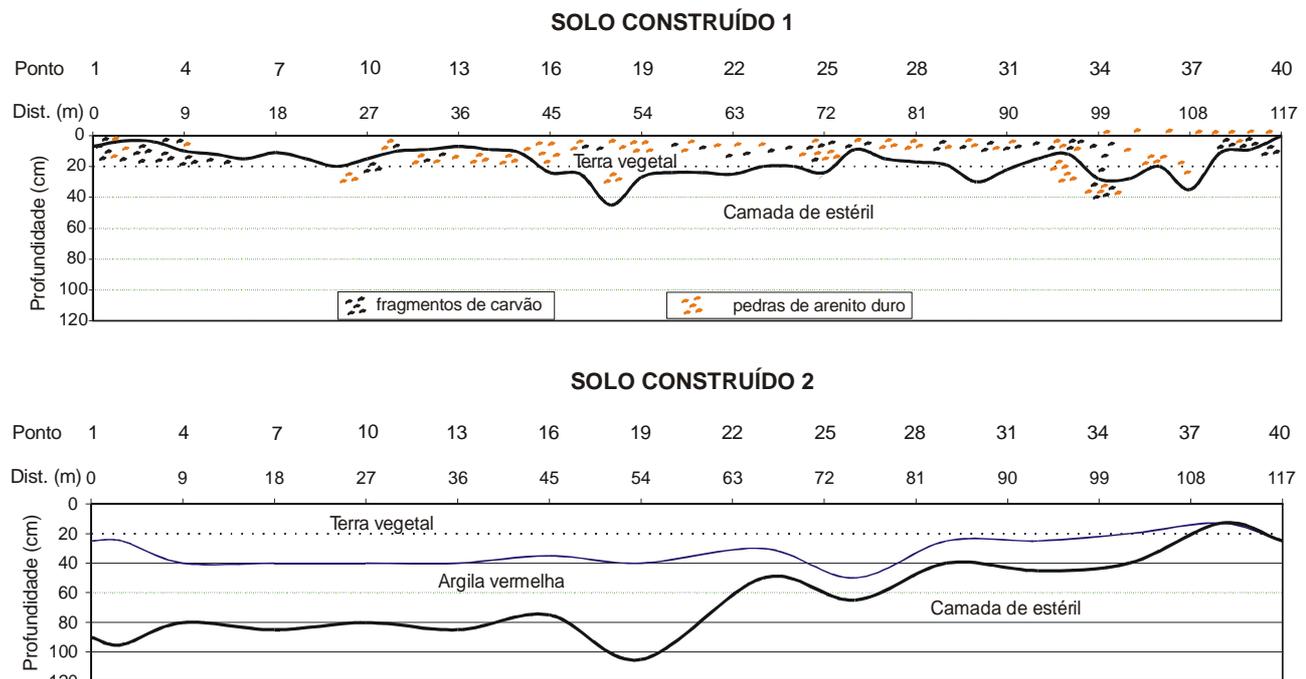


Figura 1 - Variação morfológica dos solos construídos 1 e 2 ao longo da transecção.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A variação da taxa de infiltração estável (TIE) de água no solo natural (SN), solo construído 1 (SC1) e solo construído 2 (SC2), ao longo da transecção, é apresentada na Figura 2.

Os valores da TIE que o SN apresentou mantiveram-se baixos a muito baixos ao longo da transecção (Figura 1), enquanto que os dos construídos foram, em geral, baixos a médios, mas com alguns pontos mostrando valores mais altos, principalmente o solo construído 1, conforme a classificação apresentada na Tabela 1 (REICHARDT, 1990).

A análise estatística (Tabela 2) comprova que o SN apresentou um valor da TIE significativamente menor que o dos solos construídos, aproximadamente 13 vezes menor, com menor desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV), resultado de uma menor diferença relativa entre os valores máximos e mínimos. Estes dados mostram também que o valor médio de infiltração do SC1 não diferenciou estatisticamente do valor médio do SC2, em razão da elevada variabilidade, expressa pelos elevados CV e diferenças entre

os valores máximos e mínimos. Quando se compara o valor da TIE dos solos construídos com os do solo natural, observa-se que as variações entre os valores extremos foram de aproximadamente até 6 vezes no natural e de até 15 e 35 vezes nos solos construídos 2 e 1, respectivamente.

Os altos valores de CV encontrados para os solos estudados concordam com a classificação descrita por WARRICK (1998), que considera a TIE um parâmetro físico-hídrico que normalmente apresenta CV > 50%.

A menor TIE do solo natural em relação aos construídos pode ser devida a macroporosidade, que é menor do que a dos construídos ao longo de praticamente toda a transecção (Figura 3c); por outro lado, seus valores de densidade do solo são menores e os de porosidade total maiores (Figura 3a e 3b, Tabela 3). Essa macroporosidade muito baixa do solo natural, conforme observado por NUNES (2002), indica que esse solo pode ter sido muito degradado pelo uso anterior, com cultivos excessivos, períodos prolongados sem cobertura vegetal e/ou pisoteio pelo gado, bem como, por estar em área de frente de

mineração, pode ter sofrido tráfego de equipamentos pesados, inclusive em condições de umidade inadequada.

Na comparação de propriedades físicas e hídricas de solos construídos em áreas de mineração de carvão com solos naturais os autores têm encontrado tanto diferenças significativas (PÖTTER et al., 1988), quanto dados semelhantes (SHUKLA et al., 2004). No último caso, os autores ressaltam o uso do solo superficial ("terra vegetal") e a aplicação de fertilizantes, com respostas positivas após 11 anos de recuperação.

Entre os solos construídos, a maior macroporosidade do SC2 (Tabela 3) não lhe conferiu maiores taxas de infiltração (Tabela 2). Esse resultado pode ser constatado também observando o intervalo da transeção de 84 a 108m, onde os pontos de maior TIE do SC1 em relação ao SC2 (Figura 2)

não são acompanhados por valores maiores de macroporosidade (Figura 3c).

Quando se compara a variação da TIE com a da macroporosidade ao longo da transeção para cada solo (Figura 2 e Figura 3c, respectivamente), verifica-se que há para o SN e o SC2 uma tendência de aumento de ambos ao longo da mesma. A não existência de tendência de aumento da macroporosidade acompanhando a da TIE no SC1, por outro lado, também não significa uma total falta de relação entre elas, visto que no centro da transeção (entre 30 e 90m), onde se observam valores acima da média para a taxa de infiltração, também se observam valores acima da média para a macroporosidade. Os valores abaixo da média de TIE e de macroporosidade, observados nas extremidades da transeção, coincidem com os locais onde a camada de estéril está muito próxima à superfície (Figura 1).

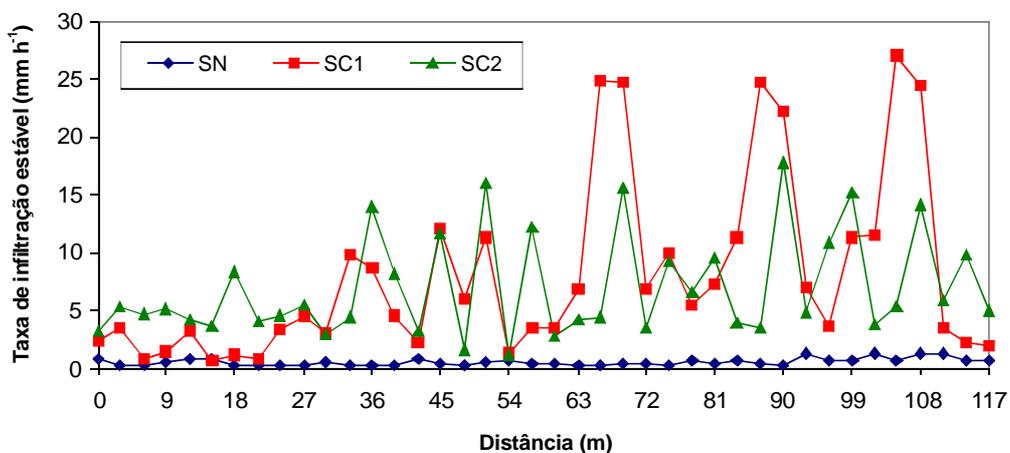


Figura 2 - Variação da taxa de infiltração estável de água ( $\text{mm h}^{-1}$ ) dos solos natural (SN), construído 1 (SC1) e construído 2 (SC2) ao longo da transeção.

Tabela 2 - Taxa de infiltração estável média de água ( $\text{mm h}^{-1}$ ) dos solos natural (SN), construído 1 (SC1) e construído 2 (SC2) (média de 40 pontos).

Solos	TIE	DP	CV	Valores extremos		Diferença
				Máximo	Mínimo	
SN	0,59 b	0,32	55,16	1,33	0,23	1,10
SC1	8,14 a	7,80	95,79	27,03	0,78	26,25
SC2	7,01 a	4,46	63,61	17,79	1,20	16,59

Valores seguidos de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si (Tukey 5%).

DP = Desvio Padrão; CV = Coeficiente de Variação (%).

Por outro lado, a não coincidência dos pontos de maior TIE com os de maior macroporosidade, para todos os solos, indica uma falta de relação direta entre essas variáveis. Deve ser observado que os três solos estudados apresentam valores baixos tanto de macroporosidade quanto da porosidade total. Cabe ressaltar, ainda, que o local de medida da TIE em cada ponto não coincidiu com o local exato de coleta das amostras para as determinações da densidade/porosidade, o que deve ter contribuído para esta baixa correlação.

Dessa forma, parece existir uma relação entre o tempo de construção do solo e os valores da TIE. No SC2, de construção mais antiga, observa-se maior homogeneidade dos dados ao longo da transeção, resultado provavelmente da

posterior acomodação do material e de possíveis alterações dos macroporos ao longo do tempo, o que não ocorreu ainda no SC1, aproximando o SC2 de uma condição mais próxima do solo natural.

A importância dos macroporos na TIE da água em "minesoils" foi ressaltada por GUEBERT & GARDNER (2001), que verificaram que o aumento da infiltração em solos construídos da Pennsylvania-USA depende das condições físicas dos solos imediatamente após a sua recuperação e do desenvolvimento dos macroporos com o tempo.

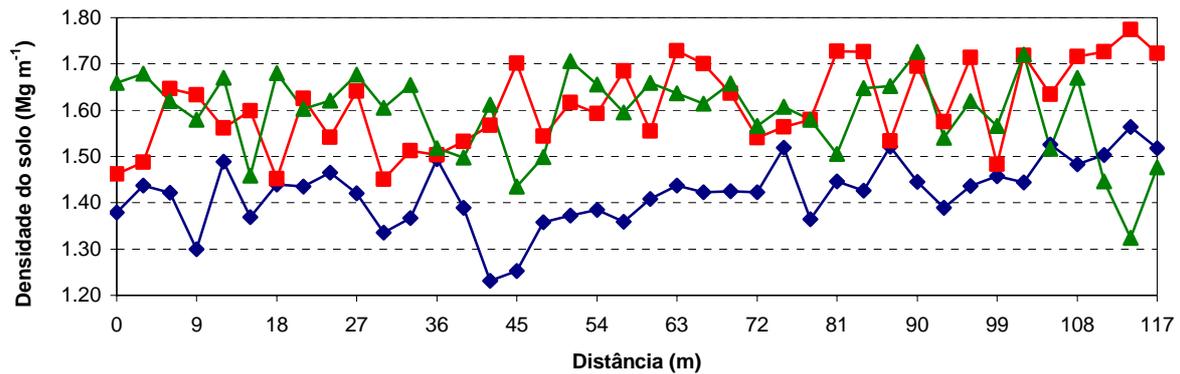
Embora os macroporos representem somente uma pequena porcentagem do volume de um solo, eles são extremamente importantes para o aumento da TIE, sendo sua eficácia dependente de seu tamanho, distribuição espacial e

continuidade. Assim, em função das condições de perturbação a que foram submetidos os solos construídos, com a compactação devem ter sido originados solos com a macroporosidade alterada.

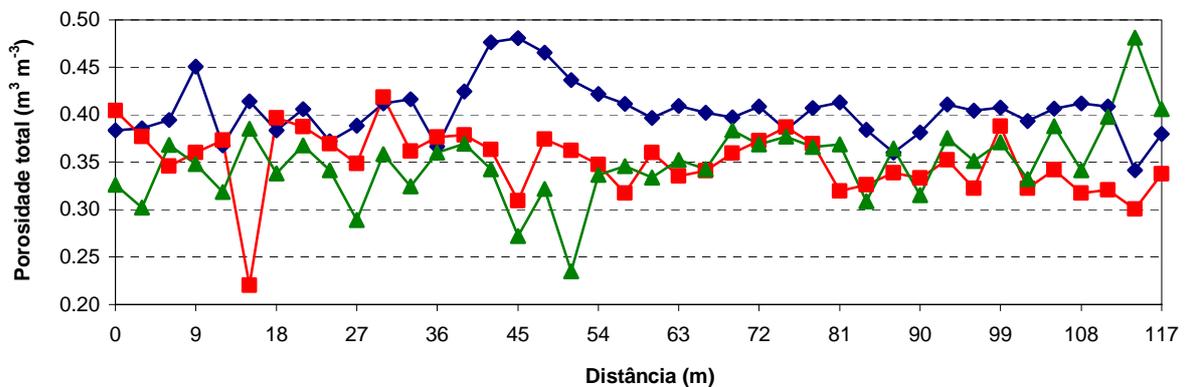
Apesar da macroporosidade dos solos construídos estudados ter se mostrado maior do que a do solo natural (Tabela 3), sua quantidade pode ser considerada insuficiente, visto que, segundo VOMOCIL & FLOCKER (1966), para que haja uma aceitável difusão de gases no solo, a porosidade de aeração deve se situar acima de  $0,10\text{m}^3\text{m}^{-3}$ .

Outro aspecto a ser considerado é que a mobilização do solo modifica a continuidade natural dos poros. BARCELOS et al. (1999) observaram que o aumento da porosidade do solo, promovido pelas operações de preparo, pode não produzir efeitos favoráveis ao aumento da TIE, em virtude da destruição da continuidade dos poros. Por outro lado, BERTOL et al. (2001) observaram que a TIE de água em um solo com preparo convencional, executado com uma aração e duas gradagens, foi cerca de três vezes maior do que a de um campo nativo pastejado.

(a) Densidade do solo



(b) Porosidade total



(c) Macroporosidade

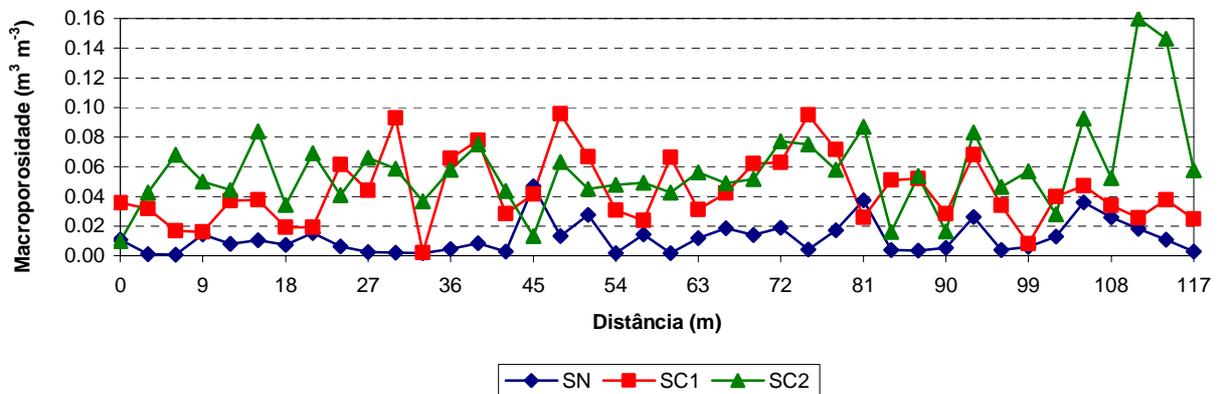


Figura 3 - Densidade do solo (a), porosidade total (b) e macroporosidade (c) dos solos natural (SN), construído 1 (SC1) e construído 2 (SC2) ao longo da transecção (dados extraídos de NUNES, 2002).

Tabela 3 - Densidade do solo, porosidade total e macroporosidade dos solos natural (SN), construído 1 (SC1) e construído 2 (SC2). Média de 40 pontos. (extraído de NUNES, 2002).

Solo	Densidade do solo	Porosidade Total	Macroporosidade
	Mg m <sup>-3</sup>	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	
SN	1,42 b	0,404 a	0,018 c
SC1	1,60 a	0,356 b	0,049 b
SC2	1,59 a	0,350 b	0,062 a

Valores seguidos de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si (Tukey 5%).

No entanto, apesar da menor TIE, a maior cobertura vegetal existente no SN deve concorrer para um menor efeito da erosão em relação aos solos construídos, onde o impacto da gota da chuva pode favorecer ao longo do tempo o encrostamento superficial e a conseqüente obstrução da continuidade dos poros, afetando assim a TIE. Segundo PRUSKI et al. (1997), o encrostamento superficial é um fator importante e extremamente complexo, que exerce grande influência no processo de infiltração da água.

Dessa forma, a diferença da TIE obtida para o solo natural em relação aos solos construídos, provavelmente não deverá representar a situação esperada ao longo do tempo. A menor estabilidade de agregados dos solos construídos (NUNES, 2002), deve, em condição de chuva natural e de baixa cobertura vegetal, favorecer o encrostamento superficial, diminuindo a TIE.

#### CONCLUSÕES

- a taxa de infiltração estável de água nos solos construídos é de baixa a média e superior a do solo natural utilizado como referência, que é muito baixa;
- a variação da taxa de infiltração estável de água ao longo da transecção nos solos construídos é muito alta, com valores extremos variando de muito baixa a alta no solo mais recente (SC1) e de baixa a alta no solo mais antigo (SC2); enquanto que a do solo natural é menor e mais homogênea;
- a baixa macroporosidade dos solos não permitiu o estabelecimento de uma relação significativa desta com a taxa de infiltração estável.

#### REFERÊNCIAS

BARCELOS, A. A.; CASSOL, E. A.; DENARDIN, J. E. Infiltração de água em um Latossolo vermelho-escuro sob condições de chuva intensa em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.1, p.35-43, 1999.

BERTOL, I.; BEUTLER, J. F.; LEITE, D.; BATISTELA, O. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.58, n.3, p.555-560, 2001.

BOUWER, H. Intake Rate: Cylinder Infiltrometer. In: KLUTE (Ed.). **Methods of soil analysis, Part 1 – Physical and mineralogical methods**. 2.ed. Madison: ASA, SSSA, 1986. p.825-844. (Agronomy Monography, 9)

BRANDÃO, V.S.; CECÍLIO, R.A.; PRUSKI, F.F.; SILVA, D.D. **Infiltração da água no solo**. Viçosa: Ed. UFV, 2006. 120p.

EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema Brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

UEBERT, M. D.; GARDNER, T. W. Macropore flow on a reclaimed surfaces mine: infiltration and hillslope hydrology. **Geomorphology**, v.39, p. 151-169, 2001.

HILLEL, D. **Environmental soil physics**. San Diego: Academic Press, 1998. 771p.

MERRIAN, J.L.; SHEARER, M.N.; BURT, C.M. Evaluating irrigation systems and practices. In: JENSEN, M.E. (ed.) **Design and operations of farm irrigation systems**. St Joseph: ASAE, 1983. p. 721-60. (Monography Series, 3)

MACHADO, A. A. **Sistema de análise estatística para Windows (WINSTAT)**. Pelotas-RS: Universidade Federal de Pelotas, 2001. 1 CD-ROM.

NUNES, M. C. D. **Condições físicas de solos construídos na área de mineração de carvão de Candiota – RS**. 2002, 130f. Dissertação (Mestrado em Ciências – Solos), Universidade Federal de Pelotas, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Pelotas, 2002.

PINTO, L. F. S.; KÄMPF, N. Contaminação dos solos construídos. In: TEIXEIRA, E. C.; PIRES, M. J. R. coord. **Meio ambiente e carvão. Impactos da exploração e utilização**. Porto Alegre: FINEP/CAPES/PADCT/GTM/PUCRS/UFSC/FEPAM, 2002. p. 69-92.

POTTER, K.N., CARTER, F.S., DOLL, E.C. Physical properties of constructed and undisturbed soils. **Soil Science Society America Journal**, v.52, p.1435-1438, 1988.

PRUSKI, F. F.; VENDRAME, V.; OLIVEIRA, E. F.; BALBINO, L. C.; FERREIRA, P. A.; WERLANG, L.; CARVALHO, L. T. Infiltração da água num Latossolo Roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, n.32, p.77-84, 1997.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. Piracicaba, SP: Manole, 1990. 188p.

REICHARDT, K.; TIMM, L.C. **Solo, Planta e Atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Barueri, SP: Manole, 2004. 478p.

SCHULTZ, J.P.S. **Recuperação de áreas mineradas: estudo da mina de carvão de Candiota-RS**. São Leopoldo : UNISINOS, 1998. 23p.

SHUKLA, M.K., LAL, R., UNDERWOOD, J.; EBINGER, M. Physical and hydrological characteristics of reclaimed minesoils in southeastern Ohio. **Soil Science Society America Journal**, v.68, p. 1352-1359, 2004.

SIMÕES, W.L.; FIGUEIRÊDO, V.B.; DA SILVA, E.L. Uso do cilindro de infiltrômetro único em diferentes solos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, n.25, p. 359-366, 2005.

VOMOCIL, J. A.; FLOCKER, W. J. Effect of soil compaction on storage and movement of soil, air and water. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, St. Joseph, v. 4, p. 242-246, 1966.

WARRICK, A. W. Spatial variability. In: HILLEL, D. **Environmental Soil Physics**. San Diego: Academic Press, 1998.p. 655-675.

