

## ESTUDOS DOS EFEITOS DE TRINCHEIRAS DE INFILTRAÇÃO SOBRE O ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Thiago Veronez Peiter<sup>1</sup> e Cristiano Poletto<sup>2</sup>

**Resumo:** O processo de urbanização das cidades acarretou em um grande crescimento da impermeabilização do solo, ocasionando o aumento de inundações. Neste sentido, buscam-se alternativas para o controle do escoamento superficial e o amortecimento das cheias geradas. Assim, neste trabalho são apresentadas discussões e soluções sobre o uso de trincheiras de infiltração para aliviar os sistemas de drenagem convencional que estão sobrecarregados. As trincheiras de infiltração testadas na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus de Toledo, foram preenchidas com quatro tipos de granulometria. Estas foram testadas em laboratório para verificação da sua capacidade inicial de armazenamento (vazios) para cada tipo de granulometria e em campo para a determinação da capacidade de infiltração da água. Além da capacidade de armazenamento de quatro granulometrias e da determinação da taxa de infiltração do solo, foi proposto um protótipo de uma trincheira de infiltração padrão. O rachão proporcionou um maior armazenamento devido a sua maior porosidade.

**Palavras-chave:** Sistemas sustentáveis de drenagem. Drenagem urbana. Trincheira de infiltração.

### 1 Introdução

O Brasil até meados de 1970 sempre apresentou maior concentração de população rural. Contudo, posteriormente a década de 70, houve uma migração da população do campo para a cidade, devido ao novo modelo de produção agrícola. Esse episódio acarretou num crescimento exponencial dos centros urbanos. Este processo acelerado e não planejado de urbanização acarretou em alterações nas condições naturais das bacias hidrográficas (POLETO; TASSI, 2012).

Inicialmente a sociedade agrícola era formada de pequenos grupos ou núcleos que convergiram para as cidades atuais. A história mostra que até o século vinte, o desafio das cidades era evitar a proliferação de doenças, devido principalmente às condições sanitárias dos efluentes da própria população que contaminava suas fontes de abastecimento, criando condições ideais de proliferação de doenças infecciosas (TUCCI, 2007).

O crescimento da impermeabilização provocado pelo desenvolvimento urbano vem aumentando de forma significativa a frequência e a magnitude das cheias urbanas. A necessidade de busca de formas alternativas de drenagem vem sendo ressaltada pelos prejuízos enfrentados por grandes cidades que têm seu sistema de

drenagem convencional saturado (SOUZA; GOLDENFUM, 1999).

A presença de picos de vazão tem resultado em aumentos de frequência e gravidade de inundações, além da intensificação de processos erosivos com aumento da produção, transporte e deposição de sedimentos. Impactos como estes afetam diretamente a qualidade dos corpos d'água das bacias hidrográficas.

Com o aumento da impermeabilização das superfícies, houve conseqüentemente o aumento do escoamento superficial, logo, as dimensões das tubulações das redes de drenagem urbana, antes projetadas para determinado volume de escoamento, não são mais eficientes no controle da drenagem pluvial.

A urbanização de bacias hidrográficas, ao mesmo tempo em que, tem proporcionado uma melhoria na qualidade de vida das pessoas, também tem gerado inúmeros problemas aos recursos hídricos. O maior reflexo desses problemas é a degradação da quantidade e da qualidade da água tanto superficial, como subterrânea (Quadro1).

Nas últimas décadas, a crescente urbanização tem agravado significativamente os problemas relacionados à capacidade de infiltração da água no solo e, conseqüentemente, acelerado a velocidade do escoamento superficial. Este processo

<sup>1</sup> E-mail: thiago-vp-15@hotmail.com

<sup>2</sup> E-mail: poletto@utfpr.edu.br

resulta em um aumento nos volumes escoados e redução do tempo de concentração. Com este novo conceito ambientalista surgiram os sistemas de drenagem sustentáveis, que contrariavam o princípio de rápido escoamento. Será

abordado neste contexto o SUDS (*Sustainable Urban Drainage Systems*) que propõe o aumento da infiltração do solo, a melhoria no equilíbrio do ciclo hidrológico e o incentivo ao uso sustentável da água.

**Quadro 1 – Causas e efeitos da urbanização em bacias hidrográficas.**

Causas	Efeitos
Impermeabilização Redes de drenagem	Maiores picos e volumes Maiores picos a jusante
Redes de esgoto deficientes	Degradação da qualidade da água Moléstias de veiculação hídrica Inundações
Desmatamento e desenvolvimento indisciplinado	Maiores picos e volumes Mais erosões Assoreamento em canais e galerias
Lixo	Degradação da qualidade da água Entupimento de bueiros e galerias
Ocupação das várzeas	Maiores prejuízos de inundações Maiores picos Maiores custos de utilidades públicas

Fonte: Porto et al. (1997)

Segundo Poletto (2011a), o Brasil tem uma enorme responsabilidade com relação à preservação de suas bacias hidrográficas pelo fato de ser um dos países com maior disponibilidade de água no planeta, então, é fundamental a aplicação do SUDS, principalmente em áreas urbanas, no sentido de favorecer o ciclo hidrológico através do aumento da infiltração e reduzir os processos erosivos causados pelo aumento do escoamento superficial.

Segundo Souza (2005), a proposta por alternativas sustentáveis, para amenizar estes impactos, beneficia diretamente o usuário que implementa essas ações e, também, toda a população no entorno. Há um benefício tanto econômico (aproveitamento do volume de chuva e redução da temperatura local) quanto social (redução de enchentes) e ambiental com a redução dos processos erosivos e, conseqüentemente, dos processos de assoreamento e de degradação dos corpos d'água, controlando não somente o pico, mas também o volume, a frequência e a duração da cheia, além da qualidade do escoamento.

Infiltrar localmente águas pluviais no solo em vez de descarregá-las através de redes de drenagem convencionais é cada vez mais considerado como um meio de controle do escoamento de águas pluviais urbanas, reduzindo assim os picos de escoamento e volumes, e retornando o ciclo

hidrológico urbano para um estado mais natural (MIKKELSEN et al., 1999).

Assim, pesquisas sobre a temática dos recursos hídricos serão sempre necessárias e demonstram a necessidade em se buscar soluções práticas e viáveis para todas as linhas de pesquisa.

A alteração ambiental causada pela urbanização pode ser observada também na mudança da curva do hidrograma original do ciclo hidrológico para uma bacia natural. A USGS (2003) compara, em bacias similares, os efeitos no ciclo hidrológico de uma tempestade em um riacho de uma zona urbana (*Mercer Creek*) e de uma zona rural próxima (*Newaucum Creek*), como mostra a Figura 1. *Mercer Creek* tem seu pico de vazão mais intenso e antecipado quando comparado a *Newaucum Creek*, que se assemelha com o ciclo natural. Assim, observa-se em zonas urbanas o aumento da vazão máxima, a antecipação do tempo do pico do escoamento superficial, bem como do seu volume.

Segundo Vestergren (2010), uma quantidade crescente de superfícies pavimentadas em nossa sociedade leva a uma possibilidade de diminuir o volume de águas pluviais infiltradas naturalmente. Ela também causa um escoamento rápido com altos picos de vazão. A tradicional maneira de lidar com águas pluviais é conduzi-las através de sistemas de tubulações subterrâneas que, no entanto, levou a uma série de problemas, como sobrecarga do

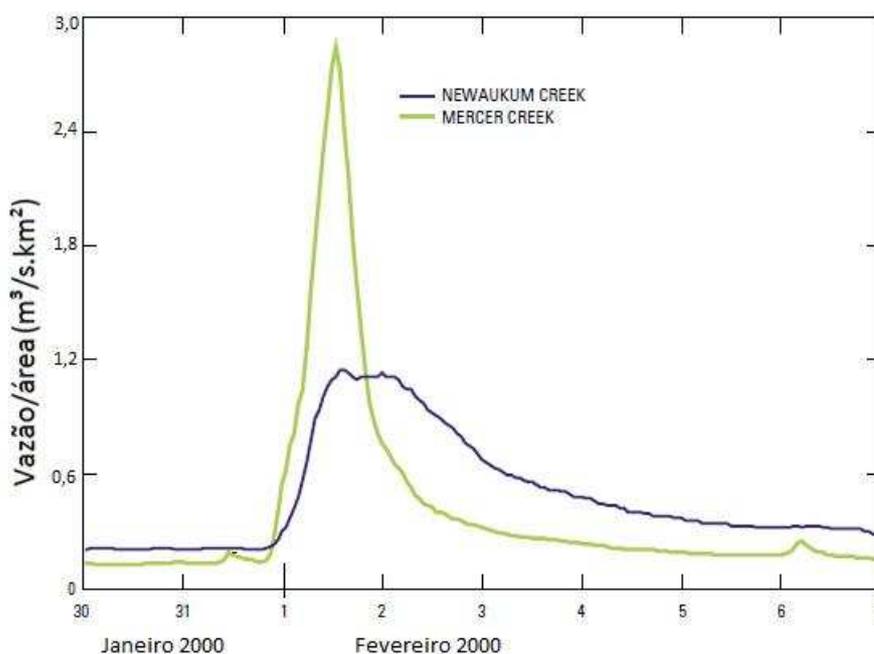
sistema de tubagem, inundações, necessidade de sistemas combinados de transbordamento, grandes quantidades para lidar com as estações de tratamento e necessidade de redimensionar as redes de tubulação já existente.

Segundo Weiss et al. (2008), muitas técnicas alternativas de gestão de águas pluviais contam com a infiltração de águas pluviais para o fluxo do solo. Isso proporciona uma redução na quantidade de escoamento e pode promover a remoção de

poluentes através de meios físicos e químicos. Práticas atuais incluem sistemas de bio-retenção, bacias e trincheiras de infiltração.

Para Poletto (2011b), um dos grandes problemas verificados nas bacias hidrográficas urbanas brasileiras se refere à quantidade de resíduos sólidos, esgoto doméstico e sedimentos que são lançados aos rios e corpos d'águas que drenam essas bacias.

**Figura 1 - Vazões em bacias hidrográficas com características fisiográficas similares, mas com diferentes usos do solo (urbana e rural).**



Adaptado de USGS (2003)

A fim de minimizar os crescentes problemas de drenagem urbana, tenta-se fazer com que a água das chuvas seja interceptada, retardando o tempo de sua chegada na rede de drenagem e, conseqüentemente, diminuindo a vazão de pico. Boas alternativas de controle do escoamento superficial são as chamadas estruturas compensatórias de drenagem, como as trincheiras de infiltração.

As trincheiras de infiltração (trincheiras de percolação ou trincheiras drenantes) são estruturas lineares (o comprimento prepondera sobre a largura) que armazenam a água precipitada por tempo suficiente para sua infiltração no solo (Figura 2). Funcionam como reservatórios convencionais de amortecimento de cheias, apresentando melhor desempenho (em

relação ao reservatório) uma vez que elas favorecem a infiltração da água no solo, com conseqüente redução dos volumes escoados e das vazões máximas de enchentes (AZZOUT et al., 1994; BALADES et al., 1998).

Segundo Shaver (1986), trincheiras de infiltração são projetadas para capturar um volume de escoamento que será drenado completamente no subsolo dentro de algum tempo especificado para que o risco de estouro como resultado de outra tempestade seja mínimo. Este período de tempo, especificado como "tempo de armazenamento" é normalmente dado na literatura como de 72 horas.

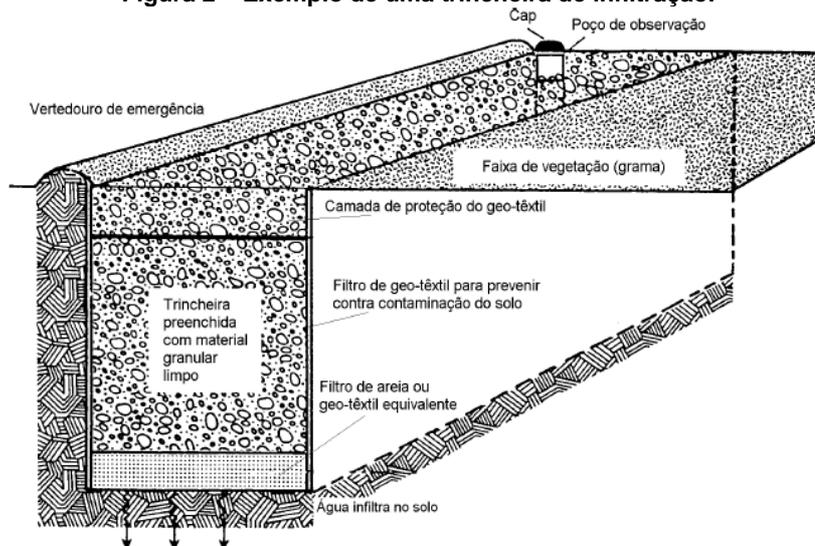
O manual "Assessment of Stormwater Best Management Practices" (2008) define trincheira de infiltração da

seguinte forma: "Uma trincheira de infiltração tem tipicamente de 0,9 a 3,6 m de profundidade, e em seu preenchimento é utilizado um agregado de pedra grossa, permitindo o armazenamento temporário da água no espaço vazio do material, para a sua posterior percolação no solo naturalmente permeável. Trincheiras de

infiltração são adequadas para áreas de drenagem de 2 hectares ou menos."

Essas trincheiras podem contribuir muito com a redução do escoamento superficial (Figura 3), armazenando a água com tempo suficiente para ela ser infiltrada e reduzindo os riscos de inundação.

Figura 2 – Exemplo de uma trincheira de infiltração.



Fonte: Souza e Goldenfum (1999)

Na Figura 3a, observa-se que não há nenhum tipo de dispositivo para que a água seja infiltrada e percolada, porém a área é permeável. Na Figura 3b, o efeito da urbanização acontece, e então, o pico de vazão causado pela impermeabilização do solo, é maior. Na Figura 3c, houve a introdução de uma trincheira de infiltração, reduzindo-se o escoamento superficial pelo fato de a água ser armazenada na trincheira, tendo tempo suficiente para infiltrar no solo lentamente, colaborando para a redução da vazão de pico e, consequentemente, com a redução do risco de inundações.

O preenchimento com qualquer tipo de brita, embora reduza o volume de água que possa ser armazenado na trincheira, acaba proporcionando mais segurança e propicia maior estabilidade do talude, com isso o risco de erosão é reduzido. Segundo Dean (2005), ao considerar o material de preenchimento usado na trincheira, o volume de armazenamento eficaz pode ser calculado multiplicando o volume de armazenamento da trincheira pela porosidade do material usado para preencher a trincheira.

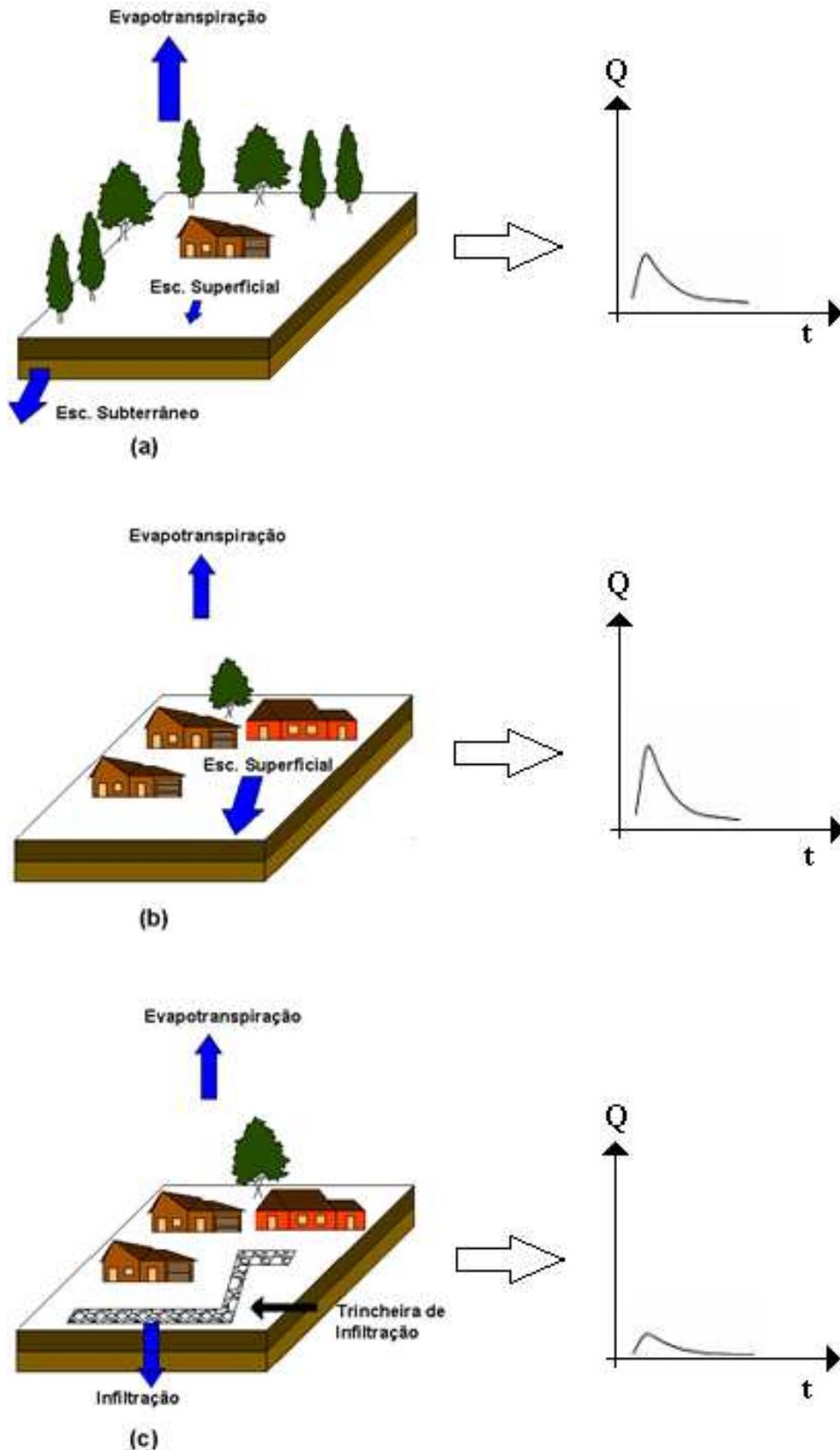
Segundo Nascimento (1996), as vantagens na utilização deste tipo de estruturas são:

- redução ou mesmo eliminação da rede de microdrenagem local;
- possibilidade de evitar a reconstrução da rede à jusante em caso de saturação;
- redução do risco de inundação;
- redução da poluição das águas superficiais;
- recarga das águas subterrâneas;
- boa integração com o espaço urbano.

Com o desenvolvimento urbano, as superfícies naturais são substituídas por pavimentos e telhados que não permitem a infiltração no solo, com isso, o sistema natural sofre importantes alterações. Portanto, a inclusão da trincheira de infiltração na Figura 3 recolheria a água do telhado e de outras superfícies impermeáveis, criando condições de escoamento através do solo.

Segundo Souza (2002), as principais desvantagens são a necessidade de manutenção frequente; a redução da eficiência pelo processo de colmatagem e o risco de contaminação do solo e do lençol freático.

Figura 3 – a) escoamento da água com áreas permeáveis; b) escoamento da água com áreas impermeáveis; c) infiltração da água após a introdução de uma trincheira de infiltração.



Adaptado de LIMA (2009)

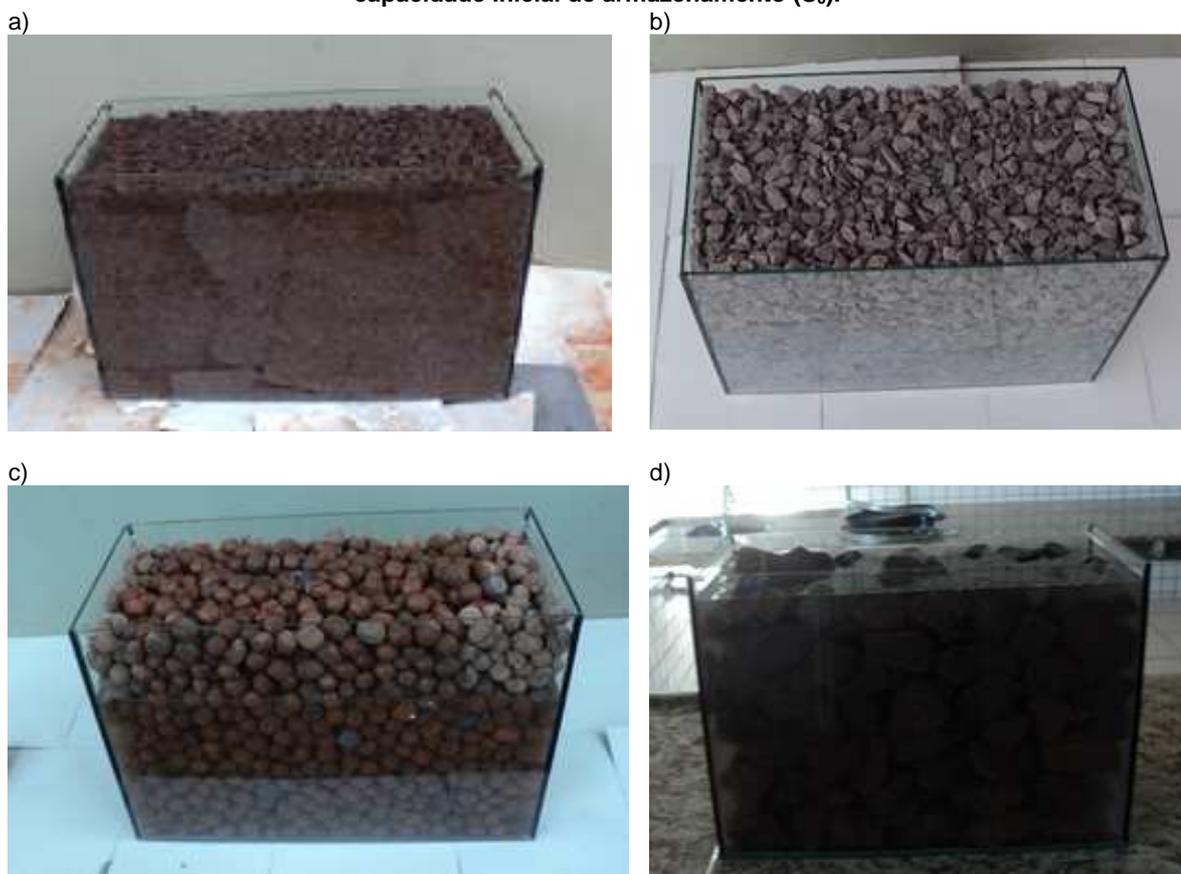
Neste trabalho, busca-se estudar esse tipo de sistema sustentável para aplicação em bacias hidrográficas urbanas, com intuito de esgotar as principais possibilidades de materiais disponíveis e gerar bases simplificadas de sua aplicação, ou seja, estudaram-se as vantagens do comportamento de trincheiras de infiltração experimentais, analisando a sua eficácia no controle do escoamento superficial e verificando quais tipos de preenchimentos granulares para trincheiras de infiltração devem ser utilizadas para cada tipo de pluviometria. No presente trabalho, buscou-se o uso de pedrisco, pedra britada, pedra de

argila e rachão para o preenchimento e controle do escoamento superficial através da infiltração da água da chuva, visando reduzir os picos de vazão em áreas urbanas.

## 2 Metodologia

Para atingir os objetivos pretendidos, foram realizados ensaios em laboratório, para descobrir a capacidade de armazenamento inicial ( $S_0$ ) para o preenchimento granular com pedrisco (Figura 4a), pedra britada (Figura 4b), pedra de argila (Figura 4c) e rachão (Figura 4d).

**Figura 4 - a) – Ensaio em laboratório com pedrisco para a obtenção da capacidade inicial de armazenamento ( $S_0$ ); b) – Ensaio em laboratório com pedra britada para a obtenção da capacidade inicial de armazenamento ( $S_0$ ); c) – Ensaio em laboratório com pedra de argila para a obtenção da capacidade inicial de armazenamento ( $S_0$ ); d) – Ensaio em laboratório com rachão para a obtenção da capacidade inicial de armazenamento ( $S_0$ ).**



Em seguida foram realizados testes “in loco” (Figura 5) para determinar o tempo de infiltração da água e a saturação do solo, até que a água passasse a ter uma taxa constante de infiltração.

Os testes realizados “in loco” foram feitos de duas formas, primeiramente foi testado a infiltração da água somente pelo

fundo da trincheira de infiltração (Figura 5 a e b), através de uma caixa prismática feita de madeira e sem o fundo. O outro teste realizado foi sem a caixa para que a infiltração da água ocorresse pelas laterais e pelo fundo (Figura 5 c). Em ambos os testes, as trincheiras foram preenchidas com areia no fundo, podendo também ser preenchidas

por manta de geotêxtil, com o objetivo de impedir a entrada de sedimentos, reduzindo o risco de colmatação.

Esses tipos de testes são interessantes, pois com o tempo existe uma

tendência de colmatação do fundo do sistema e, portanto, a taxa de infiltração é reduzida.

**Figura 5 – (a) Teste “in loco” com a caixa prismática para teste de infiltração apenas através do fundo (lateral vedada), (b) Teste “in loco” com pedra britada para teste de infiltração apenas através do fundo (lateral vedada), (c) Teste “in loco” com pedra britada para teste de infiltração do fundo e da lateral**



Em seguida foi realizado um teste “*in loco*” (Figura 6) para determinar a capacidade de infiltração da água no solo. O método utilizado para a realização do teste foi o dos cilindros concêntricos, ou infiltrômetro de anel, o qual, segundo

Cauduro e Dorfman (1986), utiliza dois cilindros metálicos, de 3 mm de espessura e de 30 cm de altura, com diâmetros de 27 cm e 50 cm, respectivamente, com uma das bordas biselada, para facilitar a sua penetração no solo.

**Figura 6 – Teste “*in loco*” com os cilindros concêntricos para a determinação da taxa de infiltração do solo.**



O teste termina quando a taxa de infiltração permanece constante. Na prática, considera-se que isto ocorra quando a taxa de infiltração varia menos que 10% dentro de 1 (uma) hora, chegando então, a chamada taxa de infiltração estável.

### 3 Resultados e discussões

Com relação aos ensaios de laboratório, foi constatado que a capacidade de armazenamento das granulometrias testadas foi de:

- 0,244 m<sup>3</sup> de água para cada m<sup>3</sup> de pedrisco com diâmetro entre 5 mm e 10 mm;
- 0,252 m<sup>3</sup> de água para cada m<sup>3</sup> de pedra britada com diâmetro entre 10 mm e 20 mm;
- 0,257 m<sup>3</sup> de água para cada m<sup>3</sup> de pedra de argila com diâmetro entre 15 mm e 25 mm;
- 0,264 m<sup>3</sup> de água para cada m<sup>3</sup> de rachão com diâmetro entre 50 mm e 100 mm.

Essas capacidades de armazenamento e o tempo para estabilização da taxa de infiltração indicam uma boa oportunidade de utilização desse sistema para a retenção do escoamento superficial urbano e o consequente controle de inundação em bacias urbanizadas da região.

Ressaltando que o tempo necessário para que os volumes de  $S_0$  e  $S_1$  (volume até o preenchimento dos vazios da trincheira e volume até a saturação da mesma) sejam

preenchidos dependerá de características como: (a) umidade antecedente; (b) intensidade da precipitação; e, (c) da área ou “fonte” de captação de água. Além disso, no presente estudo, as taxas de infiltração são características do solo tipo Latossolo Vermelho distroférico de textura muito argilosa.

O orçamento (Tabela 1) foi estipulado com base na cotação dada por fornecedores do município de Toledo – PR em julho de 2011

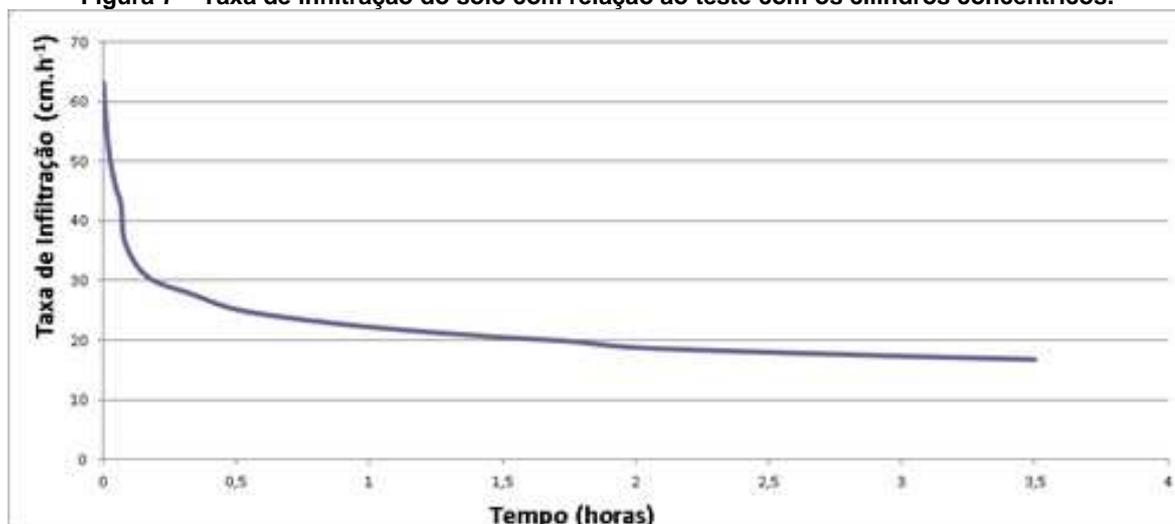
**Tabela 1 – Orçamento para os tipos de granulometrias utilizados nas trincheiras**

Item	Quant. (m <sup>3</sup> )	Preço Unit. (R\$)
Pedrisco	1	62,00
Pedra Britada	1	47,00
Pedra de Argila	1	90,00
Rachão	1	30,00

Portanto, a granulometria que possui maior viabilidade econômica para preenchimento das trincheiras é o rachão, seguido pela pedra britada, pelo pedrisco e por último a pedra de argila, o que condiz, também, com os resultados de maior capacidade de armazenamento.

Com relação ao teste com os cilindros concêntricos, obteve-se a taxa de infiltração do solo de 0,00651 L/s, e a Figura 7 mostra que o solo começa a ficar com uma taxa de infiltração constante a partir de 2 horas.

**Figura 7 – Taxa de infiltração do solo com relação ao teste com os cilindros concêntricos.**



Os pavimentos semipermeáveis podem, após um determinado tempo de

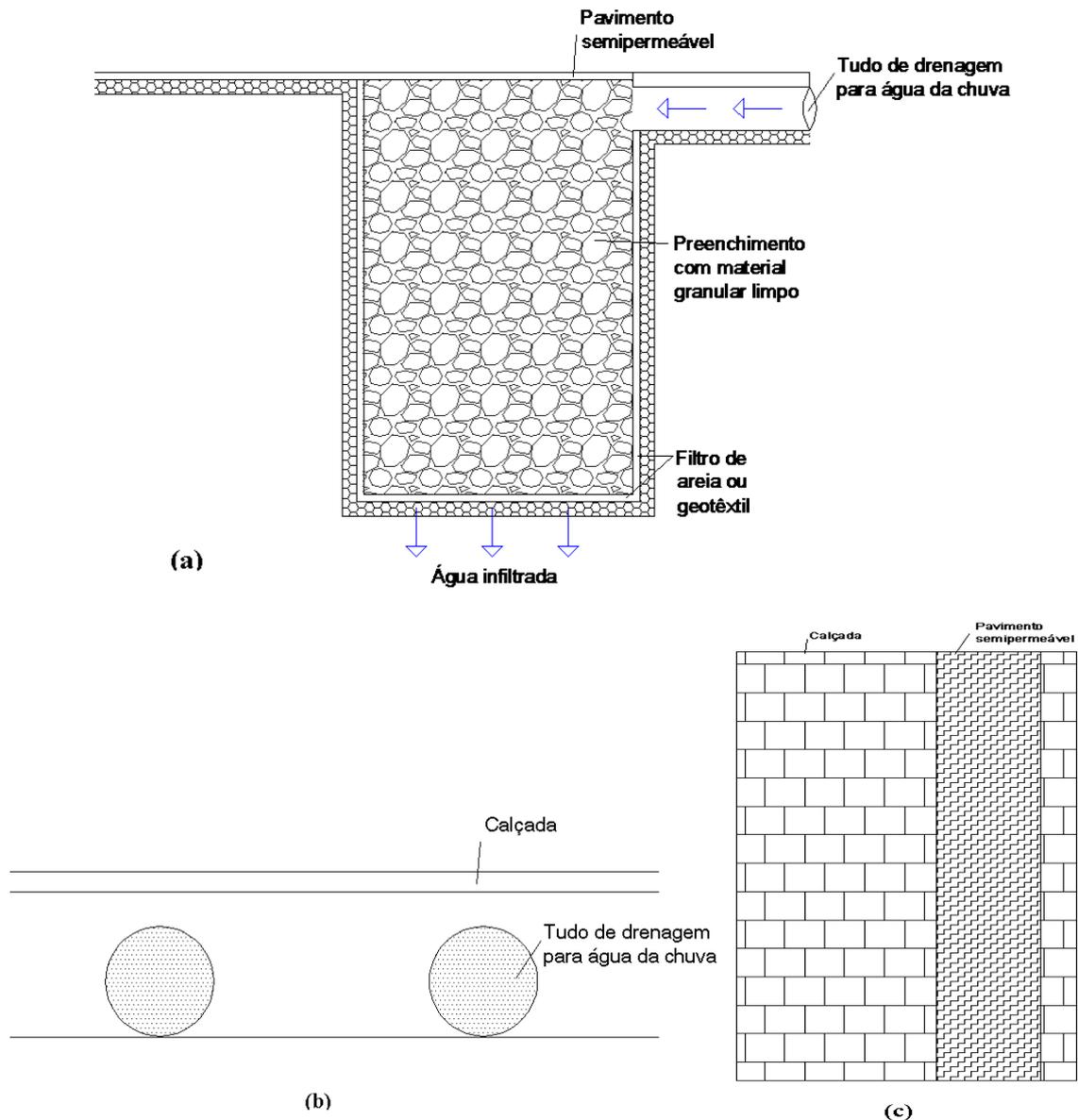
chuva intensa, não conseguir reter e infiltrar toda a água precipitada, o que infelizmente

reflete uma prática comum em cidades sem um plano diretor eficaz, assim, a Figura 8 apresenta a sugestão de um modelo “tipo” desse tipo de sistema sustentável utilizado como auxiliar aos sistemas convencionais para diminuir o risco que envolve a não retenção de toda água precipitada.

A trincheira de infiltração proposta juntamente com o pavimento semipermeável contém um tubo de drenagem ligado a rede

de drenagem urbana para que o excesso de água seja conduzido para a trincheira de infiltração, sendo escoada para o solo e não para a rede de drenagem urbana. Assim, esse modelo poderia ser adotado em cidades que têm seus sistemas de drenagem urbana saturados, fazendo com que a água que seria destinada à rede de drenagem urbana seja escoada para a trincheira de infiltração.

**Figura 8 – Modelo proposto de uma trincheira de infiltração juntamente com pavimento semipermeável: (a) vista em corte; (b) lateral; (c) superior.**



#### 4 Conclusões

A partir dos resultados alcançados nos experimentos de laboratório e de campo, as trincheiras de infiltração mostraram-se

como uma boa alternativa de controle do escoamento superficial, representando uma boa capacidade de retenção, mesmo em solos mais argilosos.

Verificou-se, através dos

experimentos, que a granulometria que possibilitou uma maior infiltração de água foi o rachão, seguido pela pedra de argila, pedra britada e pedrisco. Percebe-se, então, que quanto maior a granulometria, maior a capacidade de armazenamento de água por m<sup>3</sup> de preenchimento granular.

Em virtude do pouco tempo de monitoramento, não foi possível perceber processo de colmatação na trincheira, portanto, a continuidade do monitoramento

pode ser de grande importância para os estudos sobre a vida útil das trincheiras, observando-se que a manutenção da trincheira é importante para manter seu funcionamento conforme projetado anteriormente.

Assim, é fundamental o investimento em novas técnicas para controle do escoamento superficial para não onerar ainda mais os sistemas convencionais de drenagem.

---

## 5 Studies of the effects of infiltration trenches on the surface run off

**Abstract:** *The process of cities' urbanization has resulted in a large increase in impermeable surfaces, causing the increasing of flooding. Thus, it is important to find alternatives to control the surface runoff and cities' flooding. In this project, discussions and solutions were presented showing the use of infiltration trenches to help the conventional drainage systems which are overburdened. The infiltration trenches tested in the Federal Technological University of Paraná, Brazil, were filled with four kinds of rock grain sizes. They were tested in laboratory to verify their initial storage capacity (empty) for each kind of granulometry and in the field to determine the infiltration rate of water. Besides the storage capacity of the four particle sizes and the determination of the rate soil infiltration, it was proposed a prototype of an infiltration trench pattern. The biggest grain size provides the great capacity of storage due its bigger porosity.*

**Keywords:** Sustainable drainage systems. Urban drainage. Infiltration trench.

---

## 6 Referências

AZZOUT, Y.; BARRAUD, S.; CRES, F. N.; ALFAKIH, E. 1994 **Techniques alternatives en assainissement pluvial: choix, conception, realization et entretien.** Paris: Lavoisier. 372 p.

BALADES, J. D.; BERGA, P.; BOURGOGNE, P. Impact d'une tranchée drainante par temps de pluie. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN URBAN DRAINAGE, 3., 1998, Lyon. Lyon: GRAIE. 1998, p.551-558.

CAUDURO, F. A.; DORFMAN, R. **Manual de ensaios de laboratório e de campo para irrigação e drenagem.** – Porto Alegre: PRONI: IPH – UFRGS, 1986. 216p.

DEAN, E. L. 2005. 109 p. **A Hydrologic analysis of an Infiltration Trench best management practice.** Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Engenharia Ambiental) – Villanova University, Pensilvânia. 2005.

LIMA, V. C. G. R. 2009. 170 p. **Análise Experimental e Numérica de Trincheiras de Infiltração em Meio Não Saturado.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 2009.

MIKKELSEN, P.S.; JACOBSEN, P.; FUJITA, S. Infiltration Practice for Control of Urban Stormwater. **Journal of Hydraulic Research**, v. 34(6), p. 827-840. 1996.

NASCIMENTO, N. O. **Curso: Tecnologias Alternativas em Drenagem Urbana.** Escola de Engenharia – UFMG. 1996.

POLETO, C. SUDS (Sustainable Urban Drainage System): Uma contextualização histórica. **Revista Thema**, v. 8, p. 1-12, 2011a.

POLETO, C. Alterações morfológicas em um canal fluvial urbano no contexto antrópico, social e ambiental: Um estudo de caso. **Acta Scientiarum. Technology (Online)**, v. 33, p. 357-364, 2011b.

POLETO, C.; TASSI, R. Sustainable urban drainage systems. In: Muhammad Salik Javaid. (Org.). **Drainage Systems.** INTECH, 2012, p. 55-72.

PORTO, R.; ZAHED FILHO, K.; TUCCI, C.; BIDONE, F. **Drenagem urbana.** In TUCCI, C. E. M. (Org). Hidrologia: ciência e aplicação. 2.ed. Porto Alegre: Ed. Da Universidade/UFRGS: ABRH. 1997. Cap.21, p.805-847.

SHAVER, E. **Infiltration as a Stormwater Management Component.** In: proceedings of an

Engineering Foundation Conference, New England College, Henniker, New Hampshire, 1986

SOUZA, C. F. **Mecanismos técnico-institucionais para a sustentabilidade da drenagem urbana**. 2005. 174p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Porto Alegre. 2005

SOUZA, V. C. B.; GOLDENFUM, J. A. Trincheiras de Infiltração como elemento de controle do escoamento superficial: Um estudo experimental. In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, Belo Horizonte. **Anais**. ABRH.

SOUZA, V.C.B. **Estudo experimental de trincheiras de infiltração no controle da geração do escoamento superficial**. 2002. 127 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2002.

TUCCI, C. E. M. **Inundações urbanas**. – Porto Alegre: ABRH/RHAMA. 2007. 393p.

VESTERGREN, S. **Infiltration Trenches in Scania: A Study of the Hydraulics and the**

**Pollutant Removal Effect**. 2010. 93 p. Dissertação (Mestrado) – Lund University, Suécia. 2010

UM. **Assessment of Stormwater Best Management Practices**, 2008. Water Resources Center, University of Minnesota. Disponível em: <<http://wrc.umn.edu/randpe/sandw/bmpassessmnt/index.htm>>. Acesso em: 25 nov. 2011

U.S. Geological Survey. **USGS hydrologic data in and around Mecklenburg County, N.C.**, 2003. Disponível em: <<http://nc.water.usgs.gov/char/>>. Acesso em: 1 dez. 2011.

WEISS, P. T.; LEFEVRE, G.; GULLIVER, J. S. **Contamination of Soil and Groundwater Due to Stormwater Infiltration Practices**. University of Minnesota, St Paul, MN. 2008. 38p.

## 7 Agradecimentos

Ao Grupo de Pesquisa em Sistemas Sustentáveis (GPS2), ao CNPq e a UTFPR (Universidade Tecnológica Federal do Paraná) que disponibilizou a área para a realização da pesquisa.