

Sistemas de drenagem na fonte por poços de infiltração de águas pluviais

On-lot drainage systems with rain water infiltration wells

Ricardo Prado Abreu Reis
Lúcia Helena de Oliveira
Maurício Martinés Sales

Resumo

A introdução de grandes superfícies impermeáveis no meio urbano dificulta a infiltração das águas pluviais nas superfícies ocupadas. O impacto causado por essa ocupação promove o desequilíbrio do balanço hídrico natural, ocasionando o aumento do volume de escoamento superficial e a ocorrência de cheias urbanas. Os sistemas de drenagem na fonte são soluções que contribuem para o restabelecimento do equilíbrio hídrico existente antes da ocupação. O objetivo deste trabalho é propor parâmetros de projeto para a concepção de poços de infiltração de águas pluviais. Para tanto, foi executado um poço de infiltração experimental onde foram realizados ensaios que possibilitaram a avaliação do desempenho e a determinação das principais características técnicas operacionais desse sistema. Foram avaliados parâmetros como taxa de infiltração, capacidade estrutural do solo e desenvolvimento do processo de colmatção. A avaliação do sistema demonstrou uma melhora na capacidade de infiltração do solo, a necessidade de realização de manutenções periódicas e cuidados quanto à estabilidade estrutural do solo. Como resultados são propostos parâmetros de projeto e os requisitos mínimos de desempenho para a implantação de poços de infiltração, o que contribui para uma aplicação mais criteriosa desse sistema.

Ricardo Prado Abreu Reis
Escola de Engenharia Civil
Universidade Federal de Goiás
Praça Universitária, S/N, Bloco
A, Setor Universitário
Goiânia - GO Brasil
CEP 74605-220
Tel.: (62) 32096084
E-mail: rpereis@terra.com.br

Lúcia Helena de Oliveira
Departamento de Engenharia
de Construção Civil
Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo
Av. Prof. Almeida Prado n. 83,
Trav. 1
Cidade Universitária
São Paulo - SP - Brasil
CEP 05508-000
Tel.: (11) 3091-5458
Fax (11) 3091715
E-mail:
lucia.oliveira@poli.usp.br

Maurício Martinés Sales
Escola de Engenharia Civil
Universidade Federal de Goiás
E-mail: msales@eec.br

Recebido em 07/01/08
Aceito em 01/07/08

Palavras-chave: Drenagem na fonte. Infiltração de água pluvial. Poço de infiltração. Água pluvial.

Abstract

The building of large impermeable surfaces in urban spaces hinders rain water infiltration in occupied surfaces, causing natural water unbalance due to the increase in surface water flow volume and urban floods. On-lot drainage systems may help to reestablish the water balance that existed before occupation. The objective of this article is to propose design parameters for rain water infiltration wells. An experimental infiltration well was built, and tests were carried out to assess the performance and to determine the main operational characteristics of this system. The following parameters were evaluated: infiltration rate, soil structural capacity, and void-filling development. Results showed improvement of soil infiltration capacity, the need of regular maintenance, and care with soil structural stability. Design parameters and minimum performance requirements for infiltration wells were proposed.

Keywords: *Draining in-site. Rain water infiltration. Infiltration well. Rain water.*

Introdução

O processo de urbanização gera impactos significativos sobre o meio ambiente ocupado. Durante o desenvolvimento urbano, o homem transforma o meio natural em um meio adequado aos seus interesses, o que na maioria dos casos resulta em grandes superfícies impermeáveis. A pavimentação e a compactação do solo natural criam uma barreira que dificulta a infiltração das águas pluviais no solo das superfícies urbanas, ocasionando um desequilíbrio do balanço hídrico existente no período de pré-ocupação. Como consequência, nota-se um aumento excessivo do escoamento superficial e mudanças drásticas no comportamento dos hidrogramas das chuvas observadas sobre a bacia ou microbacia ocupada (TUCCI; PORTO; BARROS, 1995).

O aumento do volume de escoamento superficial resulta em enxurradas e cheias urbanas, quando associado a um processo urbanístico mal planejado e caracterizado pelo mau uso do solo, pelas ocupações de áreas de risco, ineficiência e falta de manutenção dos sistemas públicos de drenagem e falhas no processo de coleta e disposição de lixo. Essas ocorrências, por sua vez, geram riscos à saúde pública e prejuízos socioeconômicos a toda a sociedade. Além disso, as cheias urbanas acarretam a degradação ambiental dos cursos de água devido ao recebimento do efluente de águas pluviais que lavam as superfícies urbanas, carreando os mais diversos tipos de contaminantes.

Ressalta-se que o escoamento superficial, sob condições de permeabilidade do solo próximas à permeabilidade natural, também é importante para o restabelecimento do ciclo hidrológico.

Por meio da implementação de novas técnicas e de conceitos ambientais, é possível repensar a gestão dos sistemas de drenagem urbana com maior eficiência e sustentabilidade. Assim, com a minimização dos problemas atuais, ter-se-á uma melhoria da qualidade das águas e a redução de cheias urbanas. A concepção de sistemas de drenagem urbana utilizando conceitos de proteção ambiental prioriza a manutenção do equilíbrio hídrico existente durante o período de pré-urbanização.

Para tanto, uma das soluções que pode ser adotada consiste na introdução de sistemas de drenagem na fonte que visam restabelecer o equilíbrio do balanço hídrico na área a ser ocupada por meio da indução da infiltração da água pluvial, além da redução e da retenção do escoamento superficial.

Ao contrário das técnicas convencionais que centralizam o escoamento superficial transportando-o para um ponto à jusante e criando

sistemas cada vez mais extensos de galerias pluviais, os sistemas de drenagem na fonte atuam diretamente na origem do problema, controlando o excesso de escoamento superficial no local onde é gerado.

Aplicando-se soluções de drenagem que induzam a infiltração da água pluvial no terreno, é possível reduzir o volume de descarga nas sarjetas e galerias pluviais, restabelecer o balanço hídrico, criar pontos de recarga do lençol freático, minimizar a ocorrência de enxurradas, melhorar a qualidade das águas e, conseqüentemente, melhorar a qualidade de vida da população dos grandes conglomerados urbanos.

Entre as soluções alternativas de drenagem na fonte, os poços de infiltração de águas pluviais constituem sistemas de grande potencial quanto à redução do volume de escoamento superficial e tratamento da água infiltrada. Dessa forma, este trabalho apresenta parâmetros de projeto para a concepção de poços de infiltração de águas pluviais com base nos estudos realizados em um poço de infiltração experimental, executado em uma área anexa ao Laboratório de Sistemas Prediais (LSP) da Escola de Engenharia Civil (EEC) da Universidade Federal de Goiás (UFG).

Impacto da urbanização sobre o balanço hídrico

O processo de impermeabilização, a alteração da cobertura vegetal, a criação de obstruções de escoamentos em condutos naturais (pontes, aterros, etc.), a construção de sistemas de drenagem urbana, entre outros, resultam em impactos diretos sobre o balanço hídrico local. Como consequência são observados aumentos da frequência e de magnitudes das enchentes nos meios urbanos.

A diminuição da capacidade de permeabilidade do solo urbano, quando comparados os períodos de pré-ocupação e pós-ocupação, demonstra uma significativa mudança no comportamento do hidrograma do terreno (CRUZ; ARAUJO; SOUZA, 1999). Sob esse aspecto, na Figura 1 é apresentado um hidrograma representativo de duas chuvas consecutivas em um terreno antes e após a sua urbanização. Pode-se notar que houve acentuado acréscimo no pico da vazão, proporcionado pelo aumento da impermeabilização e elevação do escoamento superficial, gerando um volume em excesso em um curto intervalo de tempo, o que caracteriza o processo de formação de enxurradas.

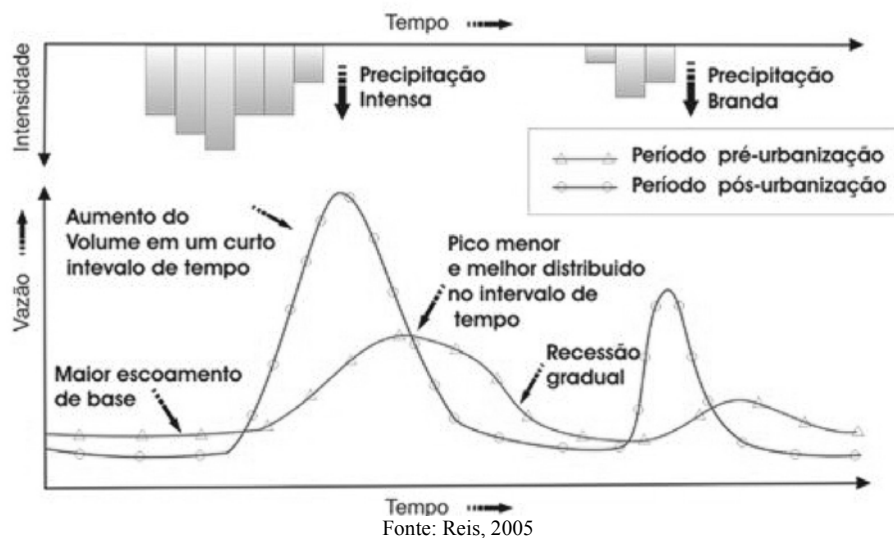


Figura 1 - Alterações no hidrograma de escoamento superficial devido à urbanização

No que diz respeito à qualidade da água, observa-se que o aumento do escoamento superficial, ocasionado pelo processo de urbanização, provoca a sua degradação no meio urbano devido à lavagem das superfícies. Periago, Delgado e Díaz-Fierros (2002) afirmam que, apesar de a qualidade da água pluvial apresentar níveis distintos de poluentes a cada nova precipitação e localização, em muitos casos os índices de contaminação são superiores ao do esgoto doméstico *in natura*.

May e Prado (2004) analisaram durante um ano amostras coletadas de água de chuva precipitada sobre o telhado de um dos blocos da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. A maioria das amostras apresentava elevado grau de contaminação bacteriológica, indicando presença de coliformes totais em 89% das amostras. As análises bacteriológicas indicaram a presença de bactérias como *Clostridium sp.*, *Enterococcus sp.* e *Pseudomonas aeruginosas*. Essas bactérias podem colocar em risco a saúde de seres humanos, por ocasionar doenças como infecções intestinais e urinárias, gastroenterites, gangrena gasosa e enterite necrosante, entre outras.

Luca e Vasquez (2000), ao analisarem os padrões físico-químicos da água pluvial na região metropolitana de Porto Alegre, depararam-se com elevados teores de amônia, fosfato, cromo e mercúrio, que transformam a água pluvial em mais uma fonte de contaminação dos recursos hídricos.

Verificando-se a degradação da qualidade da água ocasionada pelo excesso de escoamento superficial que “lava” os meios urbanos, carregando elevada carga poluidora para os leitos dos rios, nota-se que a adoção de sistemas de drenagem na fonte em áreas edificadas pode ser uma alternativa para a solução de parte dos problemas existentes. Os poços de infiltração executados em áreas edificadas, além de contribuírem para a redução de cheias urbanas, devido à redução do volume de água descarregada no sistema público de drenagem, também contribuem para a melhora da qualidade da água urbana, pois o volume infiltrado geralmente não carrega a mesma carga poluidora das águas que escoam pelas vias urbanas.

Poços de infiltração de águas pluviais

A Figura 2 ilustra esquematicamente um poço de infiltração de águas pluviais. O sistema consiste em um poço escavado no solo, revestido por tubos de concreto perfurados ou tijolos assentados em crivo, envoltos por uma manta geotêxtil fazendo a interface solo/tubo, e fundo revestido por uma camada de agregados graúdos, também envolta por geotêxtil, de forma a permitir a infiltração, para o solo, do volume de água pluvial escoado para o seu interior.

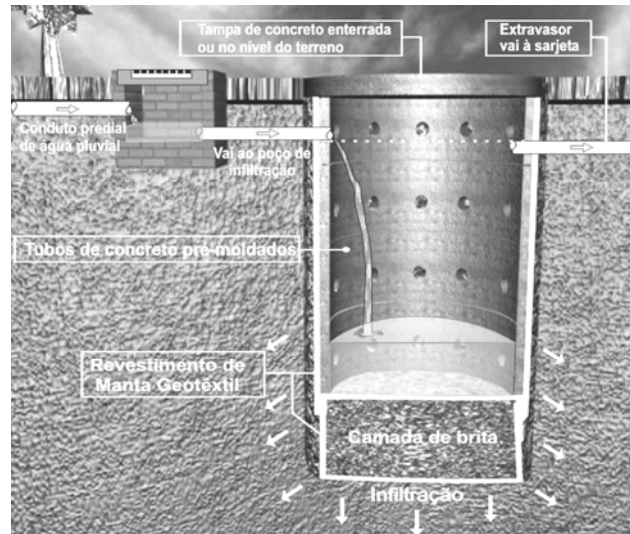


Figura 2 - Poço de infiltração

Nessa solução de drenagem na fonte, toda água de chuva captada pela edificação é lançada inicialmente no poço de infiltração. Somente após a diminuição da capacidade de absorção do solo e total enchimento do poço, a água passa a ser lançada no sistema público de drenagem, por meio de extravasores do próprio poço de infiltração ou em uma caixa de passagem anterior ao sistema. A Figura 3 ilustra esquematicamente um poço de infiltração instalado em uma edificação quando o nível de extravasamento do sistema estiver acima do nível da via pública.

Algumas adaptações na configuração do sistema predial de águas pluviais permitem o emprego dos poços de infiltração em subsolos de edifícios situados abaixo no nível da via pública, conforme apresentado na Figura 4. Nesse caso, as adequações do sistema devem possibilitar que a água pluvial seja conduzida de um nível mais baixo que o da via urbana para o nível de extravasamento mais elevado, após o enchimento do(s) poço(s), sem que haja inundação das áreas comuns do edifício.

Para isso, o poço de infiltração deve ser enterrado a uma profundidade mínima de aterro (solo acima da tampa) que garanta, por meio do seu peso, a estanqueidade na tampa do poço de infiltração. Recomenda-se, também, a utilização de argamassa para assentamento da tampa do poço de infiltração para garantir uma melhor vedação. Na cidade de Goiânia, GO, onde os poços de infiltração vêm sendo executados em áreas edificadas desde o ano 2000, tem-se adotado, empiricamente, uma camada mínima de aterro (solo acima da tampa) de 1,0 m e, até o momento, não foram relatados problemas de deslocamento dessa tampa ou de afloramento de

água na superfície do pavimento subsolo ou em caixas de passagens.

Além da preocupação com a altura de aterro, deve-se executar o poço de infiltração de modo que a sua tampa fique sempre abaixo do nível de fundo das caixas de passagem localizadas no subsolo. Essa recomendação deve-se ao fato de a instalação de poços com tampa acima desse nível poder ocasionar a inundação das caixas de passagem, devido ao encharcamento do solo da área de contorno, e propiciar possíveis afloramentos de água na superfície do subsolo.

Os pontos de coleta de água pluvial dos pavimentos situados abaixo do nível de extravasamento para o sistema público de drenagem e no nível onde forem instalados os poços de infiltração devem ser independentes e, em hipótese alguma, devem ser interligados ao poço de infiltração. Caso haja interligação desses sistemas, durante o enchimento do condutor de redirecionamento de escoamento, haverá transbordamento de água nos pontos de captação de água, tais como caixas de passagem e ralos, dos pavimentos situados abaixo do nível de descarga.

Outra questão que pode interferir no desempenho dos poços de infiltração instalados em subsolos de edifícios é a disposição dos tubos e conexões que direcionam a água pluvial captada para dentro do sistema de infiltração. Dependendo da configuração utilizada, maior ou menor quantidade de água será encaminhada para o poço de infiltração ou diretamente para o sistema público.

A Figura 5 ilustra algumas das possíveis disposições das conexões do condutor de redirecionamento para o poço de infiltração.

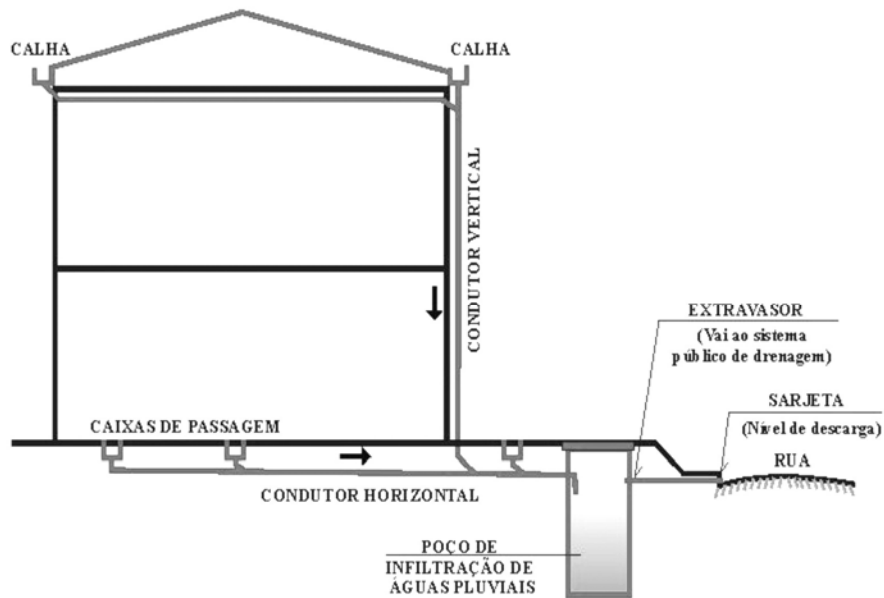


Figura 3 - Drenagem na fonte por poços de infiltração

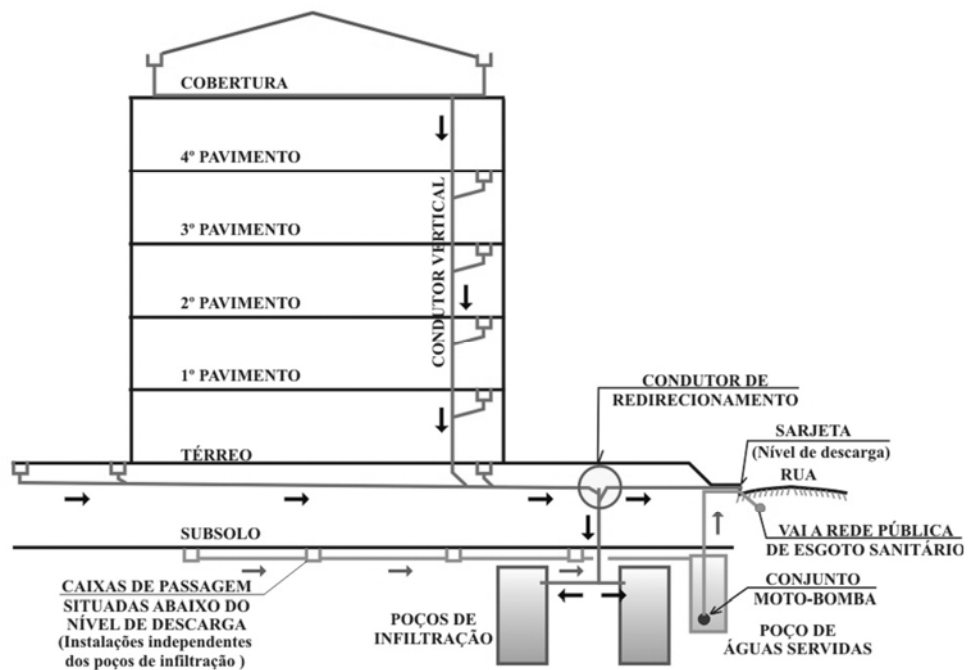


Figura 4 - Poços de infiltração de águas pluviais instalados em subsolos de edifícios

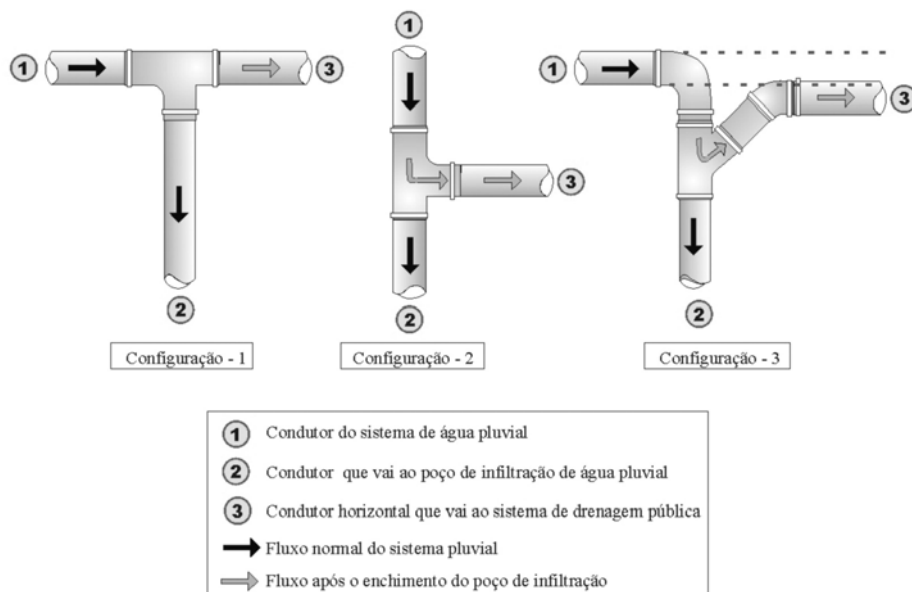


Figura 5 - Condutor de redirecionamento do escoamento para o sistema de infiltração em subsolos de edifícios

Na Figura 5, a configuração 1 representa a solução menos eficiente, pois, devido à velocidade de escoamento da água pluvial no condutor horizontal da edificação, o escoamento tende a seguir o fluxo horizontal. Dessa forma, apenas uma pequena porcentagem de água é redirecionada para o poço de infiltração. Em um teste realizado no sistema experimental, montado no Laboratório de Sistemas Prediais da Escola de Engenharia Civil da UFG, verificou-se que um grande volume de água continua escoando para o sistema público de drenagem, enquanto uma pequena porcentagem do escoamento é conduzida para o poço de infiltração.

As configurações 2 e 3 representam as soluções mais eficientes, pois praticamente todo o escoamento é direcionado para o poço de infiltração e apenas uma pequena porcentagem de água pluvial é encaminhada ao sistema público de drenagem antes da saturação do sistema.

Independentemente do nível de instalação, os poços de infiltração têm a vantagem de ser executados onde a camada de solo superficial é pouco permeável, mas que tenha capacidade de infiltração adequada nas camadas mais profundas (AZZOUT¹ *et al.*, 1994 *apud* SOUZA, 2002). Além disso, por terem uma estrutura pontual e vertical, inserem-se muito bem ao contexto urbano, pois ocupam pouco espaço e podem até passar

despercebidos (CETE, 1989 *apud* SOUZA, 2002). NÃO TEM NA TESE DE SOUZA, 2002.

Lei das “piscininhas” e poços de infiltração de águas pluviais

Os poços de infiltração possuem função semelhante a das “piscininhas” exigidas pela Lei n.º 13.276, de janeiro de 2002, em São Paulo, e por leis semelhantes em Curitiba, Campinas, Campina Grande, Limeira, Rio de Janeiro e outras cidades. Os dois sistemas objetivam amortecer o pico de vazão do hidrograma de escoamento superficial do lote ou da área edificada onde o sistema foi implementado.

A diferença básica entre os dois sistemas encontra-se na forma de amortecer a vazão de escoamento superficial. As “piscininhas”, em geral, são constituídas de reservatórios impermeáveis, que amortecem o pico de vazão por meio da retenção e armazenamento de água pluvial por determinado intervalo de tempo, ou restringem a vazão de escoamento por meio da utilização de tubos de descarga com diâmetros reduzidos. Os poços de infiltração visam restabelecer ou manter o balanço hídrico natural do período de pré-desenvolvimento por meio da infiltração da água pluvial no solo, até que este reduza a sua capacidade de absorção, forçando o poço de infiltração a operar temporariamente como reservatório de amortecimento.

Os dois sistemas possuem um extravasor, que possibilita a descarga para a rede de drenagem urbana do volume de água pluvial que excede a

¹ AZZOUT, Y; BARRAUD, S.; CRES, F. N.; ALFAKIH, E. *Techniques alternatives en assainissement pluvial: choix, conception, réalisation et entretien*. Paris: Lavoisier, 1994.

capacidade de carga dos sistemas. Eles também podem ser agregados a sistemas de aproveitamento de água pluvial, bastando o poço de infiltração ser instalado à jusante de um reservatório, de tal forma a receber a água pluvial que extravasa do poço de infiltração.

Além do menor custo executivo, os poços de infiltração de águas pluviais possuem maior fundamentação ambiental, pois restabelecem pontos de recarga de lençol freático. Em acréscimo, mantêm o balanço hídrico natural e melhoram a qualidade da água pluvial, impedindo que um maior volume escoe pelas vias públicas carregando grande carga poluidora para os leitos dos rios. Por outro lado, os poços de infiltração possuem fatores limitantes, como a impossibilidade de instalação em terrenos com solos colapsíveis, ou seja, aqueles caracterizados pela súbita redução de volume devido ao ganho de umidade com presença ou não de sobrecarga, solos com baixa capacidade de infiltração ou lençol freático elevado.

Apesar de possuírem métodos construtivos distintos, tanto as “piscininhas” como os poços de infiltração de águas pluviais são alternativas viáveis de drenagem pluvial, que colaboram para melhorar a eficiência dos sistemas de drenagem urbana. Não existe um único sistema de drenagem

na fonte que se enquadre como uma solução adequada para todos os casos. As características locais devem ser levantadas e analisadas, e, entre as inúmeras soluções de drenagem na fonte, a escolha da alternativa que melhor se enquadra ao local deve ser feita verificando-se qual solução possibilita maior desempenho quanto ao amortecimento do pico de vazão de escoamento superficial.

Metodologia

A metodologia utilizada para avaliar o desempenho de um poço de infiltração de água pluvial foi a construção de um modelo experimental na área do Laboratório de Sistemas Prediais (LSP) da Escola de Engenharia Civil (EEC) da Universidade Federal de Goiás (UFG), visando obter os parâmetros de projeto necessários para a sua concepção.

Conforme mostram as Figuras 6 e 7, foram instaladas calhas de beiral na cobertura do Laboratório de Sistemas Prediais para a captação e condução da água pluvial para o poço de infiltração. A cobertura do laboratório é constituída por duas águas, perfazendo uma área de contribuição de 107,5 m².



Figura 6 - Dimensões do telhado do LSP-EEC-UFG



Figura 7 - Calha de captação de água de chuva LSP-EEC-UFG

Embora o período de retorno recomendado pela NBR 10844 (ABNT, 1989) para coberturas em sistemas prediais seja de 5 anos, neste trabalho foi adotada para a determinação da vazão de projeto uma chuva com período de retorno de 1 ano e duração de 5 minutos precipitando sobre a área de contribuição do LSP. Essa determinação foi feita avaliando-se a precipitação local dos últimos 8 anos, por se considerar que a vazão resultante para chuvas de 1 ano de período de retorno cobre grande parte das precipitações mais freqüente da região. Para o cálculo do volume do poço de infiltração, foi considerado que a água pluvial descarregada nele infiltraria lentamente durante o

decorrer de uma precipitação; assim sendo, o volume do sistema estudado foi considerado igual ao volume total de água precipitado sobre a área de contribuição.

Para tanto, o poço experimental foi executado com 1,10 m de diâmetro interno e 1,30 m de profundidade, sendo 0,30 m do fundo preenchido com brita nº 1 envolta em manta geotêxtil, formando uma camada filtrante. Foram utilizados dois tubos de concreto perfurados, também envoltos com manta geotêxtil, e preenchimento lateral com brita nº 1 fazendo a interface lateral com o solo, conforme está ilustrado nas Figuras 8 a 11.

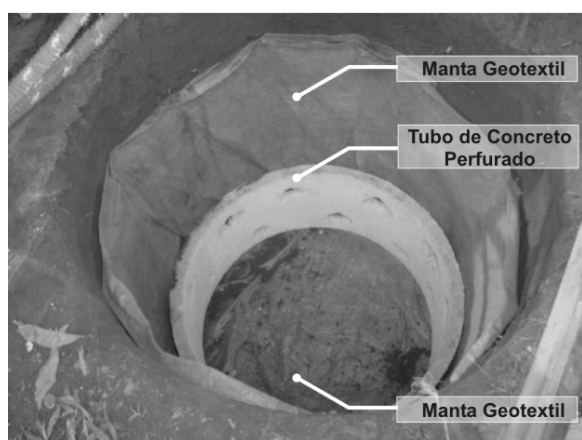


Figura 8 - Instalação dos tubos de concreto sobre a manta geotêxtil

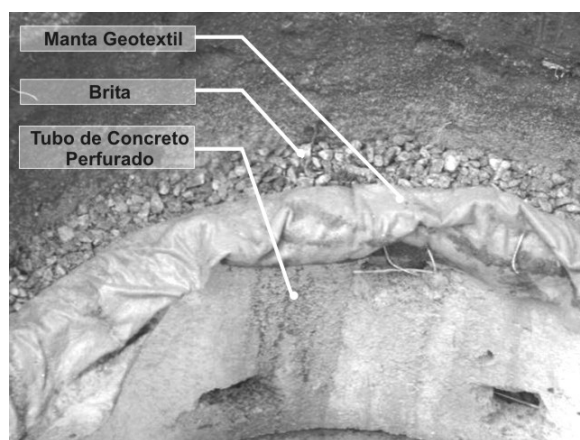


Figura 9 - Interface tubo/manta/solo preenchida com brita nº 1



Figura 10 - Detalhe do poço de infiltração de águas pluviais



Figura 11 - Poço de infiltração acabado (detalhe da bóia de leitura de nível)

Com base nesse modelo experimental, executou-se uma série de ensaios, descritos a seguir, para a análise dos parâmetros locais e para a avaliação de desempenho do sistema quanto à sua capacidade de infiltração de água no solo.

(a) Caracterização do solo

Para a classificação e determinação do perfil característico do solo, foram retiradas amostras a cada 30 cm de profundidade durante a escavação do poço de infiltração. Com as amostras realizou-se a análise granulométrica por meio de ensaios de peneiramento e ensaios de sedimentação pelo método do densímetro. Com os dados obtidos nesses ensaios, pôde-se traçar as curvas granulométricas, o que possibilitou classificar o solo como *Areia Argilosa – SC* – segundo a nomenclatura adotada pelo método de Classificação Unificada. Pode-se dizer também que em todas as amostras analisadas foram encontrados elevados teores de areia fina.

Além da análise granulométrica foram realizados ensaios para a determinação dos limites de consistência: limites de liquidez, limite de plasticidade e índice de plasticidade. A determinação desses limites de consistência auxiliou na classificação do tipo de solo e, juntamente com o teor de umidade, possibilitou a definição do seu potencial de colapsibilidade, utilizando os métodos sugeridos por Guimarães, Carvalho e Pereira (2002). O potencial de colapsibilidade representa uma característica dos solos tropicais em reduzir de volume sobre condições de constante alteração de índices de umidade.

A Figura 12 ilustra o perfil característico do solo na região de instalação do poço experimental de infiltração de águas pluviais.

(b) Monitoramento do nível do lençol freático

O conhecimento do nível do lençol freático é importante para prevenir a contaminação da água subterrânea e para que se possa determinar a profundidade máxima do sistema de infiltração. Dessa forma, executou-se na área de estudo uma perfuração de 10,0 m de profundidade, que foi revestida com um tubo de PVC perfurado, por onde era possível monitorar a variação do nível do lençol freático.

Durante todo o período de avaliação de desempenho do poço de infiltração de água pluvial instalado no LSP-EEC-UFG, monitorou-se o nível do lençol freático local. A profundidade de água do lençol freático foi verificada por meio de uma haste de polietileno de cor preta, introduzida até o fundo do poço de monitoramento do lençol

freático. Ao retirar a haste, media-se o comprimento da superfície molhada e descontava-se o valor da profundidade total do poço.

A Figura 13 mostra os níveis do lençol freático monitorados durante o período de estudo do sistema de infiltração.

Com a análise dos registros dos níveis de lençol freático, verificou-se que a distância mínima de afastamento do fundo do poço de infiltração de água pluvial ao nível do lençol freático monitorado foi de 6,50 m. Devido a esse grande afastamento, pode-se afirmar que o lençol freático não exerce influência sobre a capacidade de infiltração do sistema de drenagem e, também, não propicia risco de contaminação da água subterrânea devido ao possível arraste de carga poluidora infiltrada juntamente com a água pluvial.

(c) Ensaio de permeabilidade

Para a avaliação do desempenho de infiltração do poço de infiltração estudado foram realizados ensaios de permeabilidade utilizando as metodologias e orientações para a execução de ensaios de permeabilidade em campo publicado no Boletim 04 de junho de 1996 da Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE). Essa metodologia foi adotada por se considerar mais adequada às dimensões e à tipologia do sistema estudado do que a metodologia adotada pela NBR 7229 (ABNT, 1993).

Os ensaios de permeabilidade foram realizados no poço de infiltração experimental e em um poço escavado a trado sem revestimento (poço de comparação), executado a pouco mais de 1,0 m de distância do poço de infiltração (Figuras 14 e 15). Apesar de diâmetros diferentes, ambos os poços foram escavados com a mesma profundidade, tentando aplicar a mesma carga hidráulica durante os ensaios de infiltração. A proximidade entre os poços deve-se à tentativa de que eles fossem instalados sobre o mesmo tipo de solo. Por meio dos ensaios realizados traçaram-se os perfis referentes aos coeficientes de permeabilidade (k) e às taxas de infiltração (I) de cada unidade ensaiada. A comparação entre os resultados médios desses perfis possibilitou a avaliação de desempenho de infiltração de cada poço e a verificação de correlações existentes entre as grandezas dos coeficientes analisados.

Foram realizados quatro ensaios de permeabilidade não simultâneos no conjunto poço de infiltração e poço escavado a trado, em diferentes épocas do ano, visando identificar quaisquer alterações nos resultados em decorrência das diferenças entre o período chuvoso e o período de estiagem.

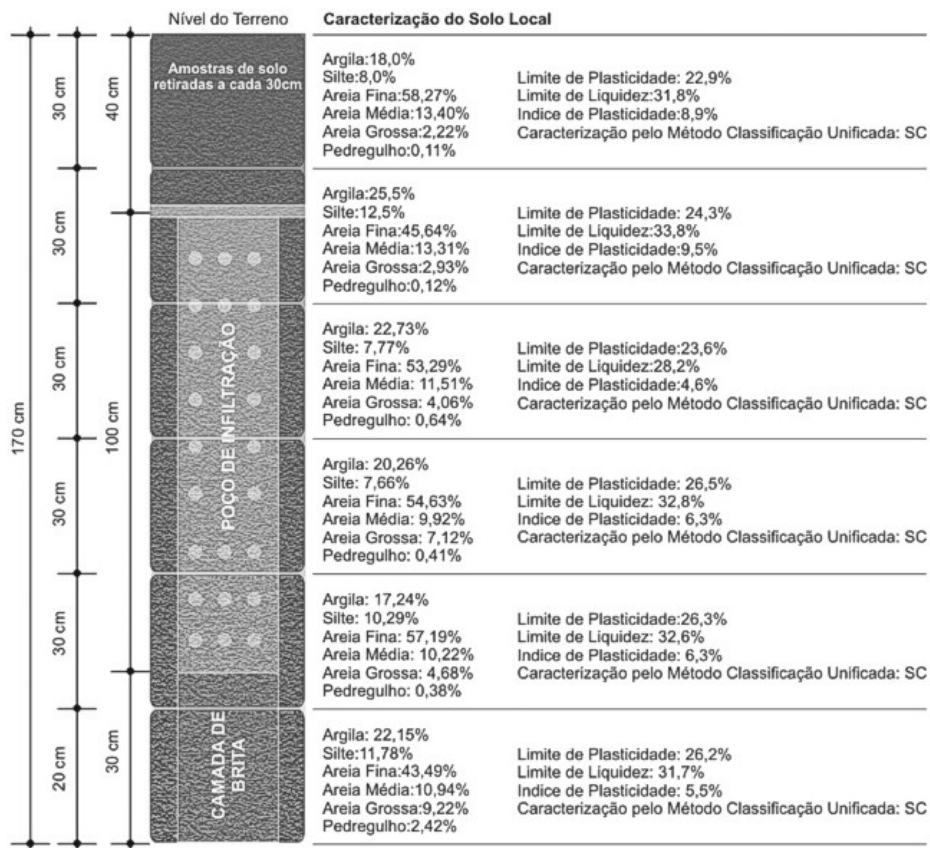


Figura 12 - Perfil característico do solo da região de instalação do poço de infiltração de água pluvial

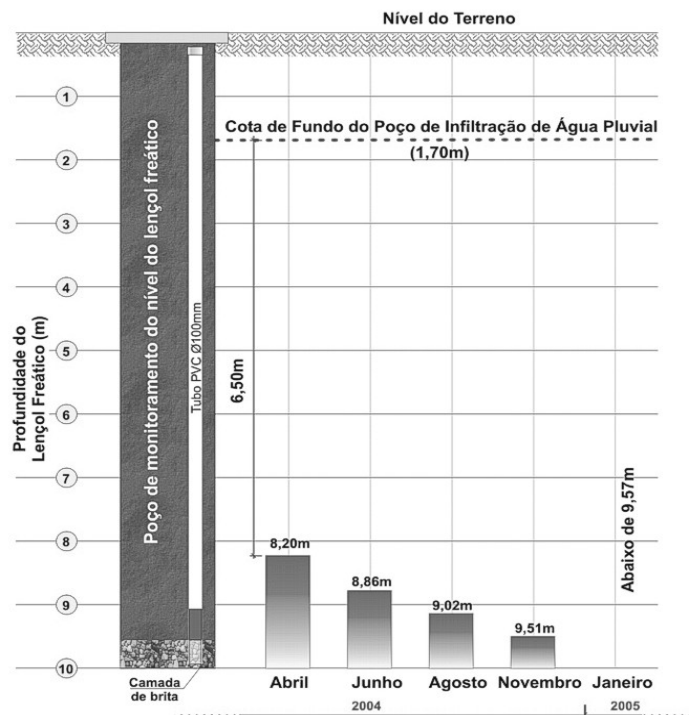


Figura 13 - Perfil de monitoramento do nível do lençol freático



Figura 14 - Detalhe do poço escavado a trado afastado 1,0 m do poço de infiltração



Figura 15 - Ensaio de permeabilidade - bóia indicando o nível de rebaixamento de água no poço escavado a trado

Apesar de o poço de infiltração estar conectado ao sistema de captação de água pluvial da cobertura do LSP-UFG, para os ensaios de permeabilidade foram utilizados dois reservatórios de 1.000 L cada para a descarga de água dentro dos poços, pois não havia como prever as chuvas que encheriam completamente os poços.

A fim de promover o encharcamento (“saturação”) do solo de contorno do sistema de infiltração, optou-se por encher e esvaziar os poços por três vezes antes da realização dos ensaios de permeabilidade. Esse procedimento é similar ao sugerido pela NBR 7229 (ABNT, 1993) nos ensaios de determinação da taxa de infiltração de um solo e objetivou submeter o poço sob as condições mais desfavoráveis de operação, tentando simular o encharcamento do solo devido a chuvas consecutivas.

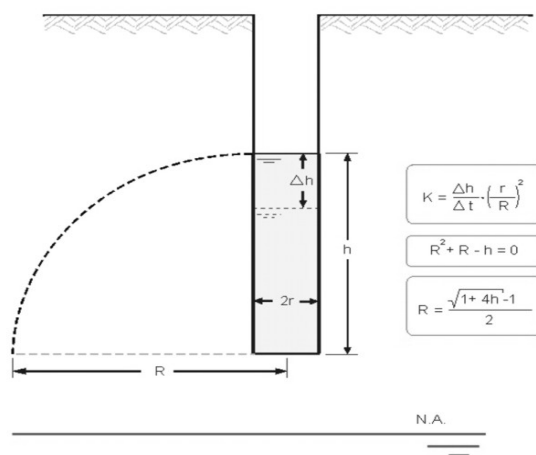
Para a realização dos ensaios de permeabilidade (k) dos poços do sistema de infiltração estudado, usou-se inicialmente a metodologia empregada por Rodio S.A. (1960), conforme os procedimentos do Boletim 04 da ABGE (1996). Esse método é recomendado para ensaios de permeabilidade por rebaixamento de nível d’água em furos de sondagem sem revestimento, e seus cálculos são feitos conforme o esquema da Figura 16. Para isso, após a realização dos procedimentos de encharcamento do solo de contorno, monitorou-se o intervalo de tempo de rebaixamento do nível de

água no poço de infiltração e no poço escavado a trado.

Analisando-se os perfis dos coeficientes de permeabilidade (k) obtidos pelos ensaios de permeabilidade executados no poço escavado a trado, nota-se que os valores possuem ordem de grandezas próximas a 1×10^{-3} cm/s. Segundo o Boletim 04 da ABGE (1996), esses são valores característicos de areias finas siltsas e argilosas. Por outro lado, a ordem de grandeza apresentada pelos perfis dos coeficientes de permeabilidade (k) do poço de infiltração apresentou-se próximo a 1×10^{-1} cm/s, valor típico de areias grossas.

Como a caracterização do solo local classificou-o como SC – *Areia Argilosa* –, consideraram-se os resultados, obtidos pelos ensaios do poço escavado a trado, satisfatórios. Em contrapartida, foi decidido empregar uma nova equação para verificar a veracidade dos valores dos coeficientes de permeabilidade encontrados nos ensaios do poço de infiltração.

Segundo o Boletim 04 da ABGE (1996), a nova equação escolhida para a verificação dos coeficientes “k” do poço de infiltração de água pluvial foi desenvolvida para a realização de ensaios de permeabilidade em poços situados acima do nível d’água, e foi elaborada por Eletricité de France em 1970 e pode ser conferida na Figura 17.

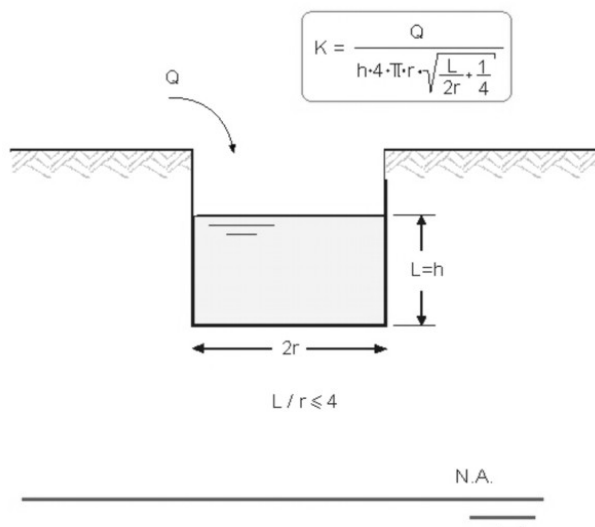


MÉTODO – A

RODIO S.A. (1960)

Nota: k = coeficiente de permeabilidade (m/s); Δh = rebaixamento monitorado em um intervalo de tempo (m); Δt = intervalo de tempo (s); r = raio do poço (m); R = fator que correlaciona o escoamento com uma parábola cujo vértice está no centro do furo, na altura do nível de água inicial (m); h = altura da lâmina d'água (m).

Figura 16 - Método de ensaio de permeabilidade realizado no poço escavado a trado e no poço de infiltração



MÉTODO – B

ELETRICITÉ DE FRANCE (1970)

Fonte: ABGE, 1996

Nota: k = coeficiente de permeabilidade (m/s); Q = Vazão de rebaixamento (m^3/s); h e L = altura da lâmina d'água (m); r = raio do poço (m).

Figura 17 - Método de ensaio de permeabilidade realizado no poço de infiltração para a verificação dos coeficientes de permeabilidade

Em virtude de o primeiro método de ensaio empregar a mesma equação para a determinação dos coeficientes de permeabilidade e taxas de infiltração do poço de infiltração e do poço escavado a trado, os perfis para a comparação com os resultados obtidos pela nova equação foram mantidos.

Para efeito de comparação dos perfis referentes aos coeficientes de permeabilidade do poço de infiltração, adotou-se para a equação desenvolvida por Rodio S.A. (1960) apud ABGE (1996) a nomenclatura “Método – A”, e para a equação desenvolvida por Eletricité de France (1970) apud ABGE (1996) a nomenclatura “Método – B”.

Pelo tratamento dos dados registrados durante o ensaio de campo, foi possível traçar os perfis dos coeficientes de permeabilidade e das taxas de infiltração dos poços analisados. Devido à imprecisão dos dados coletados no início e no final dos ensaios de rebaixamento, os resultados registrados nos primeiros e últimos 10,0 cm da análise foram desconsiderados. Como o poço de infiltração foi executado 40,0 cm abaixo do nível do terreno, o traçado de seus perfis inicia-se abaixo dessa profundidade.

Para o cálculo da taxa de infiltração (I) dividiu-se o volume infiltrado pela área molhada em relação a determinado intervalo de tempo, expressa pela Equação 1.

$$I = \frac{V_{\text{infiltrado}}}{A_m \times \Delta t} \quad (1)$$

onde:

I = taxa de infiltração (m³/m².s);

V_{infiltrado} = volume infiltrado em um intervalo Δt (m³);

A_m = área molhada média no intervalo Δt (m²); e

Δt = intervalo de tempo (s).

(d) Ensaio de colmatação

Para a verificação do grau de colmatação da manta geotêxtil (modelo Bidin RT-10) utilizada no revestimento da camada de brita executada no fundo do poço de infiltração de água pluvial, após 10 meses de operação, foi retirada uma amostra correspondente ao diâmetro do poço de infiltração, conforme ilustra a Figura 18.

Visualmente constatou-se que a deposição de sujeira propagou-se de forma heterogênea sobre a

superfície da amostra da manta geotêxtil retirada do poço. Por esse motivo, foi decidido dividir a amostra em quatro partes, conforme mostra a Figura 19.

Para avaliar a influência da colmatação sobre a permeabilidade da manta geotêxtil, realizaram-se ensaios para a verificação da capacidade de vazão em cada pedaço da amostra do geotêxtil retirada do poço de infiltração.

A metodologia do ensaio empregado para se avaliar o grau de colmatação da amostra de manta geotêxtil retirada do poço de infiltração foi similar à empregada por Ishizaki, Imbe e Takeshima (1996), que utilizou colunas de água com pressão inicial fixa na determinação do grau de colmatação de trincheiras de infiltração.

Para o ensaio de colmatação das amostras de manta geotêxtil foram utilizados os mesmos reservatórios e tubulações de descarga usados para a realização dos testes de permeabilidade do poço de infiltração, conforme mostram as Figuras 20 e 21. Cada amostra foi submetida a uma descarga de água com pressão inicial constante durante um intervalo de tempo de 2 minutos. Após cada intervalo era quantificado o volume escoado pela amostra. Cada amostra foi ensaiada seis vezes, e a capacidade média de vazão de cada uma das amostras retiradas do poço de infiltração foi comparada com resultados de duas amostras da mesma manta geotêxtil sem utilização.

Visando verificar a possibilidade de recuperação da capacidade de vazão através da limpeza por lavagem com água da manta já utilizada, realizou-se novamente o ensaio após a lavagem da amostra, que tinha apresentado o maior grau de colmatação.

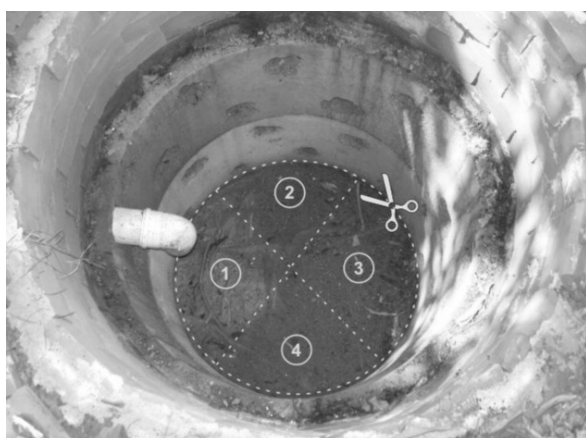


Figura 18 - Esquema de corte da amostra de manta geotêxtil retirada do poço de infiltração

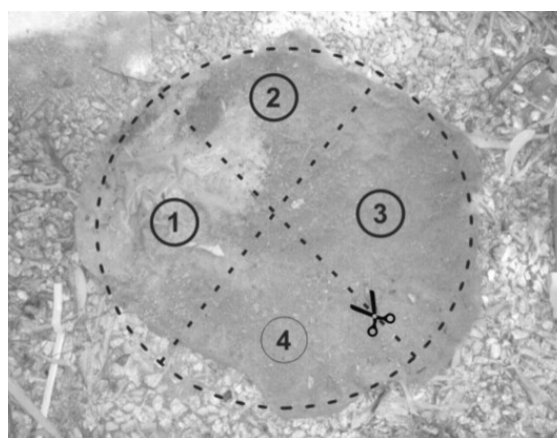


Figura 19 - Delimitação das quatro subdivisões feitas na amostra da manta geotêxtil retirada do fundo do poço de infiltração



Figura 20 - Instalação utilizada no ensaio de verificação do grau de colmatção da manta geotêxtil

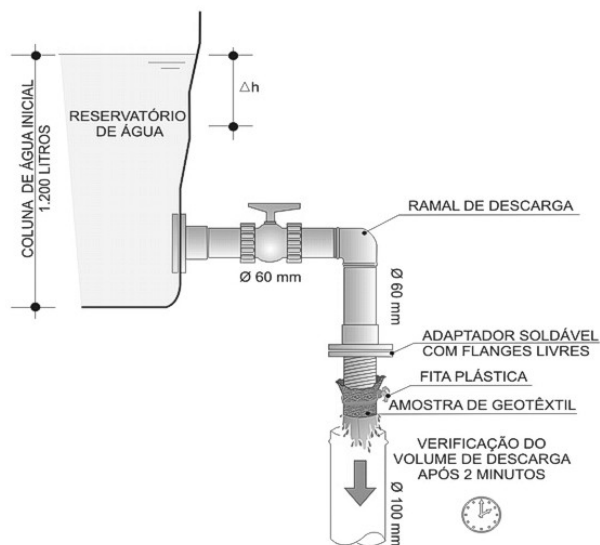


Figura 21 - Delimitação das quatro subdivisões feitas na amostra da manta geotêxtil retirada do fundo do poço de infiltração

Resultados e discussão

Observando os dados obtidos dos ensaios de permeabilidade realizados no poço de infiltração e no poço a trado nos meses de março, maio, julho e agosto de 2004 e janeiro de 2005, notou-se que a permeabilidade do poço de infiltração comportou-se de forma constante ao longo do tempo, sendo capaz de infiltrar em média $1,70 \text{ m}^3$ de água em intervalos de 50 minutos, após o terceiro enchimento consecutivo.

Por meio do monitoramento do tempo de esvaziamento do poço de infiltração e do poço a trado, foi possível observar comportamentos distintos das capacidades de infiltração. Através desses ensaios, pôde-se calcular e comparar os coeficientes de permeabilidade (k) e as taxas de infiltração (I) de cada poço analisado. Em todos os ensaios realizados o desempenho do poço de infiltração mostrou-se superior ao do poço escavado a trado. Os gráficos das Figuras 22 a 25 correspondem aos resultados do 1º e do 4º ensaios realizados nos poços.

Considerando-se a média dos resultados obtidos, pode-se dizer que os valores de “ \bar{K} ” do poço de infiltração, obtidos durante o período chuvoso (1º ensaio), mostraram-se aproximadamente 19 vezes maiores que os obtidos no poço escavado a trado, e aproximadamente 4 vezes maiores durante o período de estiagem (4º ensaio).

Um fator observado foi o efeito da sazonalidade sobre os valores de “ I ” e “ k ” no poço escavado a trado. Comparando os ensaios de permeabilidade realizados nos meses chuvosos e de estiagem, os valores de “ I ” e “ k ” para o poço de infiltração mantiveram-se praticamente constantes, o que não ocorreu para o poço escavado a trado. Esse efeito foi atribuído ao “fator escala” definido pela proporção do volume de água infiltrada em relação à área de contorno do sistema.

Conforme ilustra a Figura 26, considerando-se uma mesma distância percorrida pela água infiltrada pelas laterais dos poços ensaiados, nota-se que a área de contorno do poço de infiltração por onde a água percola corresponde a uma porcentagem de área proporcionalmente bem menor que a área de contorno do poço escavado a trado.

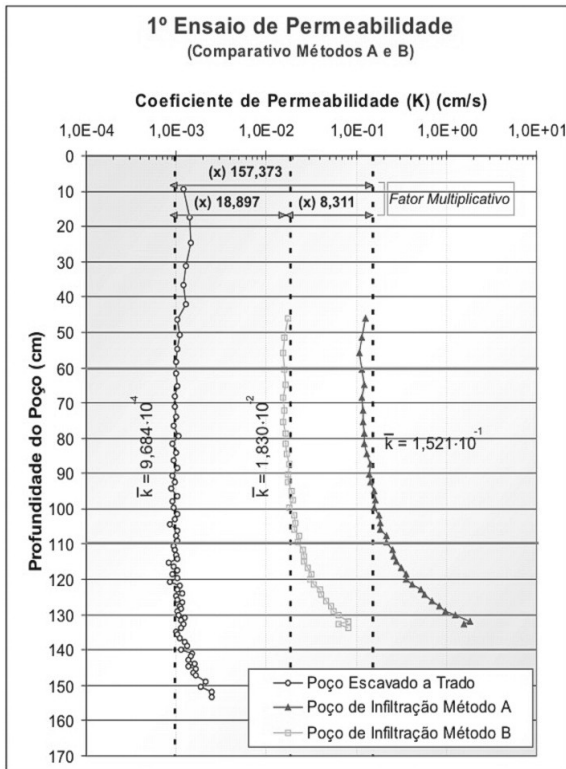


Figura 22 - Comparação dos coeficientes de permeabilidade dos poços no período chuvoso

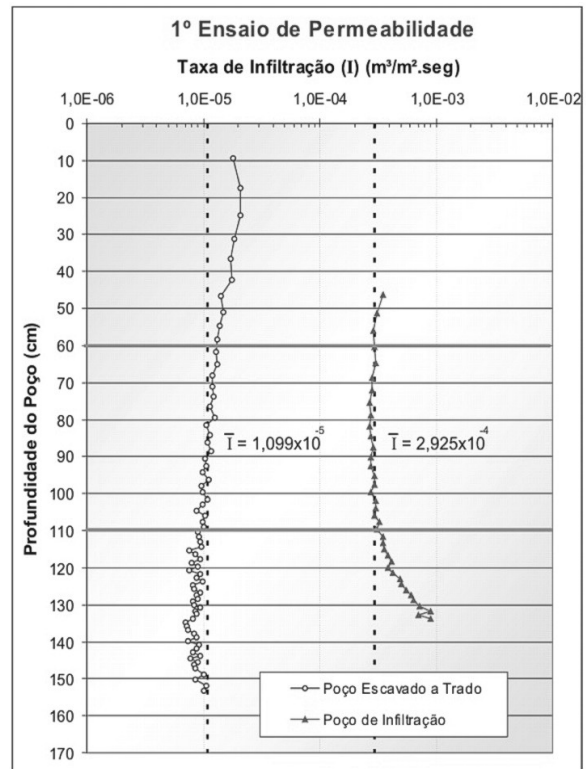


Figura 23 - Comparação das taxas de infiltração dos poços no período chuvoso

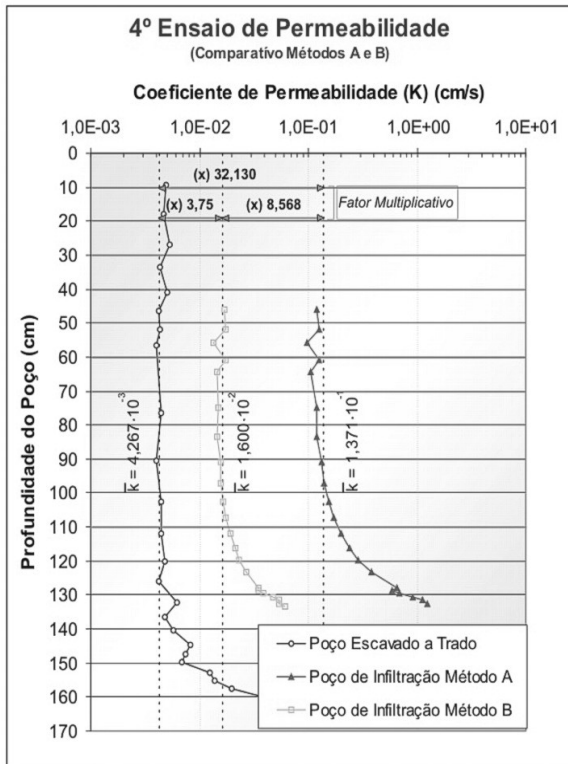


Figura 24 - Comparação dos coeficientes de permeabilidade dos poços no período de estiagem

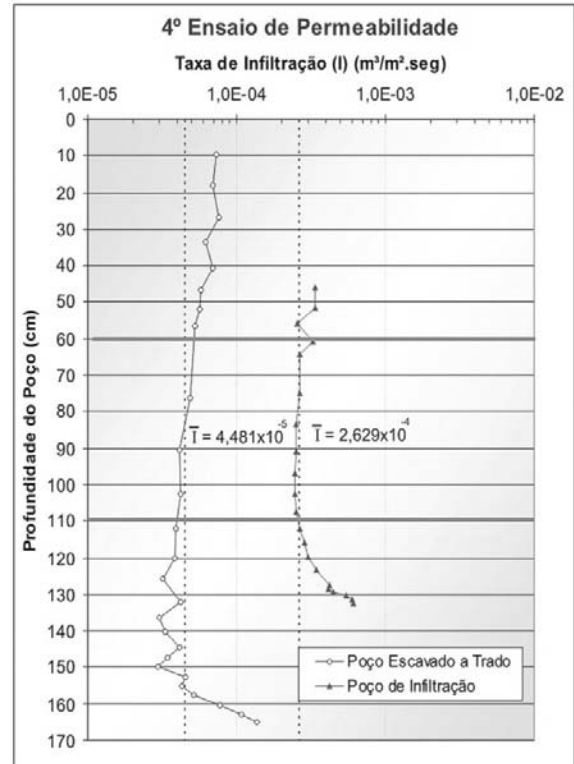


Figura 25 - Comparação das taxas de infiltração dos poços no período de estiagem

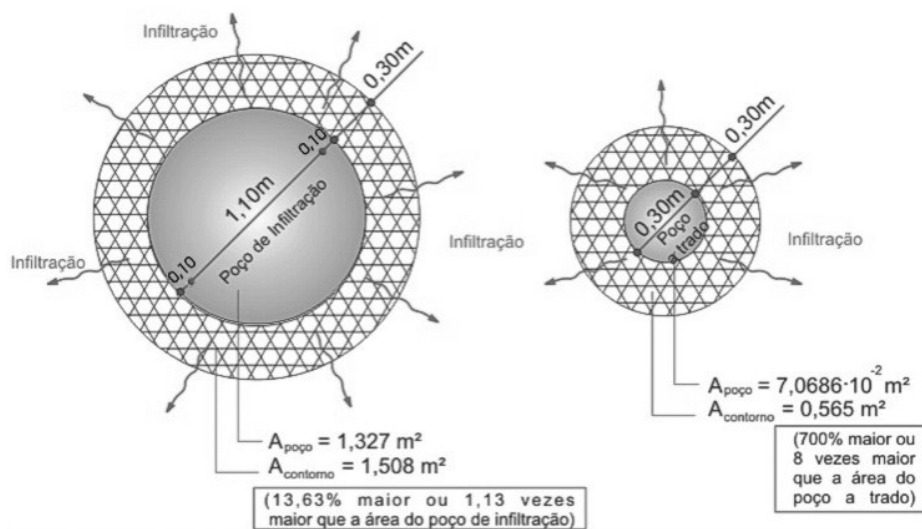


Figura 26 - Efeito escala - proporção entre a área de contorno do poço de infiltração e a do poço escavado a trado

Pode-se dizer que, devido ao “efeito escala”, enquanto um volume maior de água infiltra-se em uma área proporcionalmente menor no poço de infiltração, o mesmo não ocorre no poço escavado a trado, uma vez que um volume menor infiltra-se em uma área proporcionalmente maior. Essa característica torna este último poço muito mais sensível às alterações que possam vir a ocorrer na área de contorno, como, por exemplo, a influência do grau de saturação do solo sobre a sua capacidade de infiltração.

Considerando que, durante a preparação dos ensaios de permeabilidade, o procedimento empregado para se elevar o grau de saturação do solo de contorno dos poços era enchê-los por três vezes, é possível afirmar que o volume infiltrado em relação à área de contorno no poço de infiltração foi proporcionalmente bem maior que o volume infiltrado pelo poço escavado a trado. Atribui-se a esse motivo uma maior elevação do grau de “saturação” do solo de contorno do poço de infiltração, que proporcionou uma maior constância dos valores registrados de “k” e “I”, independentemente da estação do ano.

Por outro lado, a proporcionalidade da área de contorno do poço escavado a trado em relação ao volume de água infiltrada durante a preparação dos ensaios de permeabilidade contribuiu para que este poço apresentasse coeficientes “k” e “I” bem mais próximos aos do poço de infiltração, durante o período de estiagem (4º ensaio).

Apesar de não ser possível estabelecer uma correlação definitiva entre os coeficientes de permeabilidade dos poços ensaiados, que possa ser utilizada no dimensionamento de outros poços de infiltração, pode-se dizer que o poço de infiltração

experimental apresentou um elevado desempenho de infiltração. Esse resultado foi motivado por uma melhora significativa na capacidade de infiltração do solo natural, promovida pelo arranjo do sistema de infiltração. Entretanto, cada caso deve ser analisado segundo as suas particularidades. No caso do poço de infiltração estudado, o elevado desempenho da capacidade de infiltração pode estar relacionado à presença de uma camada de cascalho existente no terreno natural, situada no local de instalação do poço de infiltração. Juntamente com o “fator escala”, essa particularidade pode ter proporcionado um melhor desempenho de permeabilidade do poço de infiltração em relação ao poço escavado a trado.

Quanto à avaliação do processo de colmatção, por meio dos resultados obtidos do ensaio da manta geotêxtil de revestimento do fundo do poço de infiltração, foi obtida a Tabela 1.

Comparando os resultados das amostras ensaiadas, pode-se dizer que a manta geotêxtil utilizada no revestimento da camada de brita do fundo do poço de infiltração apresentou, em geral, redução de sua permeabilidade, confirmando assim a ocorrência do processo de colmatção do sistema de infiltração.

A vazão obtida nos ensaios da amostra 1 retirada do poço apresentou-se próximo aos resultados obtidos pelos ensaios das mantas novas 1 e 2. Sugere-se, assim, a inexistência do processo de colmatção sobre essa região da manta. O resultado deve-se à proximidade da região de retirada da amostra 1 do poço com o ponto de descarga de água de chuva. Ao colidir com o fundo do poço de infiltração, a água criava um sentido de escoamento que carregava a sujeira para as regiões

mais afastadas, proporcionando, assim, menor acúmulo de sujeira sobre a superfície onde ocorria a colisão da água de chuva e maior deposição de material sólido nas áreas adjacentes.

As demais amostras retiradas do poço, 2, 3 e 4, apresentaram reduções da capacidade de vazão de acordo com a quantidade de material sólido sedimentado sobre a manta. Entre elas, a amostra identificada como 3P obteve o maior percentual de redução da capacidade de vazão, chegando a menos 65,88% do valor referência. Visualmente, a região dessa amostra era a que continha maior deposição de resíduos sólidos.

Entretanto, o valor da vazão obtido pelo ensaio da amostra 3, após a sua lavagem com água no sentido inverso, sugeriu que a manta pode ser recuperada e reutilizada. Nesse caso, após a lavagem, a amostra que anteriormente apresentava uma redução de 65,88% da sua capacidade de

vazão inicial restabeleceu uma vazão dentro dos limites obtidos nos ensaios das mantas novas.

De uma forma geral, ao se compararem os resultados, pode-se afirmar que após 10 meses de funcionamento houve uma redução de 31,47% da capacidade de vazão inicial da manta geotêxtil utilizada no revestimento do fundo do poço de infiltração.

Entretanto, apesar de os ensaios de colmatação realizados na manta geotêxtil retirada do fundo do poço de infiltração indicarem uma redução na sua capacidade de vazão, durante todos os ensaios de permeabilidade, a taxa de infiltração do sistema de drenagem mostrou-se constante. Esse fenômeno leva-nos a supor que a capacidade de vazão remanescente na manta geotêxtil ainda era superior à capacidade de infiltração do solo e, dessa forma, o desempenho de infiltração do poço ainda não tinha sido afetado.

| | <i>Ensaio</i> | <i>nº</i> | <i>1</i> | <i>2</i> | <i>3</i> | <i>4</i> | <i>5</i> | <i>6</i> | Valores médios | Análise comparativa dos resultados | | | |
|------------------------------|---------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------------------|--|------------------|-------------|---|
| | <i>ΔT</i> | <i>seg.</i> | <i>120</i> | <i>120</i> | <i>120</i> | <i>120</i> | <i>120</i> | <i>120</i> | | Valor Referência | | | |
| Amostra 1 Nova | Volume | (litros) | 215 | 210 | 195 | 200 | 190 | 200 | 201,67 | Valor Referência Média aritmética da vazão | 1,70 | l/s | |
| | Vazão | (l/s) | 1,79 | 1,75 | 1,63 | 1,67 | 1,58 | 1,67 | 1,68 | | | | |
| Amostra 2 Nova | Volume | (litros) | 230 | 200 | 200 | 210 | 200 | 200 | 206,67 | | | | |
| | Vazão | (l/s) | 1,92 | 1,67 | 1,67 | 1,75 | 1,67 | 1,67 | 1,72 | | | | |
| Amostra 1 Poço | Volume | (litros) | 200 | 195 | 210 | 215 | 200 | 210 | 205,00 | | Aumento de vazão | 0,59 | % |
| | Vazão | (l/s) | 1,67 | 1,63 | 1,75 | 1,79 | 1,67 | 1,75 | 1,71 | | | | |
| Amostra 2 Poço | Volume | (litros) | 145 | 150 | 150 | 150 | 145 | 150 | 148,33 | Redução de vazão | 27,06 | % | |
| | Vazão | (l/s) | 1,21 | 1,25 | 1,25 | 1,25 | 1,21 | 1,25 | 1,24 | | | | |
| Amostra 3 Poço | Volume | (litros) | 90 | 65 | 60 | 55 | 75 | 70 | 69,17 | Redução de vazão | 65,88 | % | |
| | Vazão | (l/s) | 0,75 | 0,54 | 0,50 | 0,46 | 0,63 | 0,58 | 0,58 | | | | |
| Amostra 4 Poço | Volume | (litros) | 133 | 125 | 115 | 150 | 160 | 130 | 135,50 | Redução de vazão | 33,53 | % | |
| | Vazão | (l/s) | 1,11 | 1,04 | 0,96 | 1,25 | 1,33 | 1,08 | 1,13 | | | | |
| Amostra 3 Lavada Poço | Volume | (litros) | 220 | 220 | 210 | 190 | 180 | 195 | 202,50 | Redução de vazão | 0,59 | % | |
| | Vazão | (l/s) | 1,83 | 1,83 | 1,75 | 1,58 | 1,50 | 1,63 | 1,69 | | | | |

Tabela 1 - Resultado dos ensaios de verificação do grau de colmatação da amostra de manta geotêxtil retirada do poço de infiltração

Parâmetros necessários ao projeto

Antes da execução de poços de infiltração, recomenda-se o levantamento de parâmetros locais, tais como caracterização dos solos, índices pluviométricos regionais e verificação do nível do lençol freático no maior nível sazonal da região a ser implantado o sistema, além do arraste de carga poluidora junto com águas de escoamento superficiais, tais como óleos e graxas, metais pesados, sólidos suspensos e demais substâncias que possam causar qualquer tipo de alteração no meio (solo e lençol freático).

Esses parâmetros mostraram-se necessários devido à inexistência de critérios de dimensionamento específicos para esse tipo de sistema de drenagem. A adoção de poços de infiltração sem o estudo adequado dos parâmetros locais pode resultar em um sistema sem finalidade, já que ele possui uma série de limitações relacionadas com as particularidades locais.

Assim, a definição prévia dos parâmetros locais necessários ao dimensionamento e execução de poços de infiltração busca suprir as limitações desse sistema de drenagem, propiciando maior desempenho, dimensionamento econômico e funcional, além do cumprimento do propósito para o qual foi projetado, que é o restabelecimento do balanço hídrico local. Com esse objetivo, propõe-se neste trabalho que sejam levantados parâmetros locais de projeto, tais como:

- (a) nível do lençol freático mais elevado no período sazonal;
- (b) classificação e caracterização dos índices físicos do solo local;
- (c) perfil do solo até a profundidade correspondente ao sistema de infiltração;
- (d) coeficiente médio de permeabilidade (k) e taxa média de infiltração (I) do solo;
- (e) potencial de colapsibilidade do solo;
- (f) tempo de retorno (T) e tempo de concentração (tc);
- (g) índices pluviométricos regionais (i);
- (h) áreas de contribuição e coeficiente de escoamento superficial (c);
- (i) vazão de projeto (Q); e
- (j) determinação e quantificação da carga poluidora das águas de escoamento superficiais.

A determinação dos parâmetros propostos fornece os subsídios necessários à definição da concepção do sistema de infiltração, tais como:

- (a) diâmetro do poço de infiltração;
- (b) profundidade máxima do sistema de drenagem;
- (c) número de unidades necessárias;
- (d) capacidade de amortecimento; e
- (e) tempo de esvaziamento.

Somente a partir da observação desses parâmetros locais podem-se definir os riscos de contaminação do solo e do lençol freático, de estabilidade da estrutura do solo com a indução da infiltração de água pluvial e fixar dados essenciais ao dimensionamento do sistema de infiltração, além de determinar a viabilidade da sua implantação em determinado local.

Por se tratar de um sistema que induz a infiltração, alguns cuidados com a contaminação do lençol freático devem ser tomados. Dessa forma, não se deve infiltrar água pluvial contaminada por substâncias químicas tóxicas ou com carga poluidora elevada, e, segundo a NBR 7229 (1993), deve-se sempre manter o afastamento do fundo do poço de infiltração a no mínimo 1,50 m do nível mais elevado do lençol freático.

Para a verificação de viabilidade de execução de poços de infiltração, é necessário que o terreno tenha coeficiente de permeabilidade suficiente para infiltrar a vazão de projeto em poucas horas após o término da precipitação. Esse coeficiente deve garantir o esvaziamento do poço mesmo com elevado índice de saturação do solo e, assim, garantir a operação do sistema durante chuvas consecutivas e evitar a proliferação de vetores de doenças.

Conclusões

Entre os sistemas de drenagem sustentáveis e de controle na fonte, os poços de infiltração de águas pluviais destacam-se pelo seu potencial em contribuir para o restabelecimento do equilíbrio hídrico da microbacia de uma área edificada.

Por meio da operação de um poço de infiltração experimental executado na Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás, pôde-se observar que, durante a realização dos ensaios de permeabilidade, ele apresentou um desempenho na capacidade de infiltração de água de chuva de 4 a 19 vezes maior que a de um poço de comparação sem revestimento e escavado a trado, com a mesma profundidade. Observou-se, também, que, após 10 meses de avaliação, a manta geotêxtil que revestia a camada de britas do fundo do poço de infiltração sofreu um processo de colmatação, acarretando uma diminuição de 31,47% na sua capacidade de vazão. Entretanto, esse processo de colmatação não afetou o desempenho do poço, pois a capacidade de vazão

remanescente na manta geotêxtil ainda era superior à capacidade de infiltração do solo na região de instalação do poço de infiltração.

Além da avaliação do desempenho de infiltração do poço experimental é importante salientar que a determinação de parâmetros locais, tais como potencial de colapsibilidade do solo, nível do lençol freático, índices pluviométricos regionais, taxa de infiltração, tempo de esgotamento, entre outros, é indispensável para um dimensionamento criterioso de um sistema de infiltração de águas pluviais.

Ressalta-se, também, que esses sistemas de infiltração de águas pluviais são soluções que complementam os sistemas de drenagem urbana, proporcionando redução do volume de água pluvial descarregado nas sarjetas e nas galerias pluviais. Entretanto, esses sistemas não têm o compromisso de controle total do escoamento superficial, podendo ocorrer extravasamentos para o sistema público. O dimensionamento de sistemas de infiltração com fator de falha “zero” aumenta drasticamente as suas dimensões, tornando-os onerosos e inviáveis.

Sugere-se como forma de gestão de drenagem urbana que a aplicação de sistemas alternativos de drenagem na fonte, entre eles o poço de infiltração, seja introduzida de forma a impedir que a cada nova intervenção de ocupação de um meio natural ocorra a ampliação do pico de vazão do hidrograma do escoamento superficial.

A integração de conceitos de sustentabilidade com elementos convencionais de drenagem urbana possibilitaria a descentralização das formas de tratamento do escoamento superficial, proporcionando, assim, melhoria na qualidade do saneamento ambiental e preservação da saúde pública.

Referências

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Construção e instalações de fossas sépticas e disposição dos efluentes finais**: procedimento - NBR 7229. Rio de Janeiro, 1993.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA. **Ensaio de Permeabilidade em Solos: Orientações para sua Execução no Campo**: procedimentos – Boletim 04. São Paulo, 1996. 34 p.

CRUZ, Marcus A. S.; ARAÚJO, Paulo R.; SOUZA, Vladimir C. B. **Estruturas de controle do escoamento urbano na microdrenagem**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS

HÍDRICOS, 13., 1999, Porto Alegre, RS. **Anais...** Porto Alegre: UFRGS-IPH, 1999. 21 p.

GUIMARÃES, Renato C.; CARVALHO, José C.; PEREIRA, José Henrique F. Contribuição à análise dos solos porosos do Distrito Federal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 13., São Paulo. **Anais...** 20 a 24 de outubro 2002, São Paulo. 11 p.

ISHIZAKI, K.; IMBE, M.; NI, G.; TAKESHIMA, M. Background of rainwater infiltration technology. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN STORM DRAINAGE, 1996, Hannover. **Proceedings...** Hannover, 1996. p. 377-382.

LUCA, Sérgio J.; VÁSQUEZ, Sérgio G. Qualidade do ar e das chuvas. In: TUCCI, Carlos E. M.; MARQUES, David M. L. da Motta (Org.). **Avaliação e controle da drenagem urbana**. Porto Alegre: Ed. Universidade. 2000. Capítulo 4.2, p. 219-226.

MAY, Simone; PRADO, Racine T. A. Estudo da qualidade da água de chuva para consumo não potável em edificações. In: CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, 1., ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., São Paulo. **Anais...**, jul. 2004. ISBN 85-89478-08-4. 8 p. CD-ROM.

PERIAGO, E. López; DELGADO, A. Núñez; DÍAZ-FIERROS F. Attenuation of groundwater contamination caused by cattle slurry: a plot-scale experimental study. **Bioresource Technology**, Elsevier Science Ltd., Coruña, Espanha, n. 84, p. 105-111, 2002.

REIS, Ricardo P. A. **Proposição de parâmetros de dimensionamento e avaliação de desempenho de poço de infiltração de água pluvial**. 2005. 228 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2005.

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

TUCCI, Carlos E. M.; PORTO, Rubem La Laina; BARROS, Mario T. (Org.). **Drenagem urbana**. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS; ABRH, 1995. 428 p.