

Influência das condições de instalação do sistema predial de água pluvial nas soluções de drenagem na fonte

Influence of the installation conditions of stormwater drainage building systems on source drainage solutions

Ricardo Prado Abreu Reis
Marina Sangoi de Oliveira Ilha

Resumo

Os sistemas de drenagem na fonte vêm ganhando espaço como soluções de desenvolvimento de baixo impacto implantadas em edifícios urbanos. Apesar disso, são poucas as pesquisas que avaliam a influência das condições das instalações dos sistemas prediais de águas pluviais sobre seu desempenho. Este trabalho avalia a influência da adoção de diferentes componentes da instalação do sistema predial de água pluvial no desempenho de sistemas de infiltração. Para tanto, foram executados dois sistemas experimentais, poço de infiltração e jardim de chuva, contendo condutores verticais e horizontais, montados conforme instalações que representam uma edificação vertical. Foram avaliados o escoamento no ramal que direciona a água de chuva para o sistema de infiltração e a ocorrência de retorno de água para pontos de captação posicionados próximos aos sistemas de infiltração. Verificou-se que parte da água passa direto para a tubulação que deságua no sistema urbano de drenagem em determinadas configurações de montagem do ramal que direciona a água de chuva para o sistema de infiltração, reduzindo a eficiência do sistema como um todo. Além disso, ocorreu refluxo em caixas drenantes posicionadas a montante dos sistemas de infiltração, o que indica a necessidade de cautela no posicionamento desses componentes.

Palavras-chave: Drenagem no lote. Sistemas prediais hidráulicos e sanitários. Tubos e conexões. Poço de infiltração. Jardim de chuva.

Abstract

Source drainage systems are gaining importance as low-impact development solutions deployed in built-up areas. However, only limited number of research studies have evaluated the influence of the installation conditions of stormwater drainage building systems on these systems' performance. This paper evaluates the influence of the adoption of different components of installation of stormwater drainage systems on the performance of infiltration systems. With that purpose, two experimental systems were executed: a dry-well and a rain garden, containing vertical and horizontal conductors mounted according to installations that represent a vertical building. The study evaluated the flow in the conductor branch that directs the stormwater to the infiltration system and the occurrence of water return to catchment points positioned near the infiltration systems. The experiment showed that part of the drained volume of stormwater passes directly to the piping that flows into the urban drainage system in certain plumbing fittings configurations that direct the stormwater to the infiltration system, reducing the overall efficiency of the system. In addition, reflux occurred in drainage boxes positioned upstream of the infiltration systems, indicating the need for caution in the positioning of these components.

Keywords: *On-lot drainage. Building systems. Pipes and fittings. Dry-well. Rain garden.*

¹Ricardo Prado Abreu Reis
¹Universidade Federal de Goiás
Goiânia - GO - Brasil

²Marina Sangoi de Oliveira Ilha
²Universidade Estadual de Campinas
Campinas - SP - Brasil

Recebido em 15/01/18
Aceito em 21/05/18

Introdução

Considerando a tendência de adoção de conceitos de desenvolvimento de baixo impacto ambiental, a gestão das águas pluviais no lote tem sido recomendada como uma das estratégias de descentralização das soluções de drenagem que contribuem para a redução do escoamento superficial em meios urbanos (STEPHENS *et al.*, 2003).

Entre as técnicas de drenagem no lote que envolvem soluções de retenção e de detenção, ou soluções mistas, o uso dos sistemas que promovem a infiltração da água de chuva no local de incidência vem sendo amplamente estudado. Poços de infiltração, trincheiras de infiltração, jardins de chuva, pavimentos permeáveis, bacias de retenção são alguns exemplos de aplicação dessa técnica de drenagem. O desempenho desses sistemas em relação ao controle do escoamento superficial é apontado de forma promissora em trabalhos como Reis e Ilha (2014), Zhang e Guo (2014), Locatelli *et al.* (2015), Jia *et al.* (2016), Toran e Jedrzejczyk (2017) e Bockhorn *et al.* (2017).

Tais sistemas normalmente são dimensionados conforme modelos de balanço hídrico e conservação de massas, descontando-se as vazões de entrada, definidas pela chuva de projeto, e os volumes de infiltração e evapotranspiração (GRAHAM *et al.*, 2004).

Os sistemas de infiltração (SI) para a drenagem no lote podem, além de propiciar a infiltração da água de chuva que incide diretamente sobre eles, amortecer o escoamento de águas pluviais provenientes dos telhados e áreas impermeabilizadas das edificações, escoamento este que é conduzido por meio de tubulações do sistema predial de águas pluviais (SPAP). Um exemplo de incentivo a esse tipo de concepção é a Lei nº 9.511 (CÂMARA..., 2014), a qual estabelece critérios para a implantação de sistemas de infiltração de água de chuva em edificações urbanas no município de Goiânia, GO, priorizando a infiltração das águas captadas em telhados e coberturas das edificações.

Assim, a drenagem no lote deve ser concebida considerando a integração dos componentes do SPAP e do SI. Entre os principais componentes desses sistemas, que devem ser pensados de forma sistêmica, estão as superfícies de interceptação da

chuva e os condutores horizontais e verticais que direcionam a água pluvial captada para o SI e os pontos de captação: grelhas, ralos ou caixas de passagem e de areia, interligados na mesma rede que conduz a água aos SI e, também, ao ponto de deságue para o sistema urbano de drenagem quando o SI atinge sua capacidade-limite de projeto. A Figura 1 ilustra os componentes de duas possíveis concepções de SI.

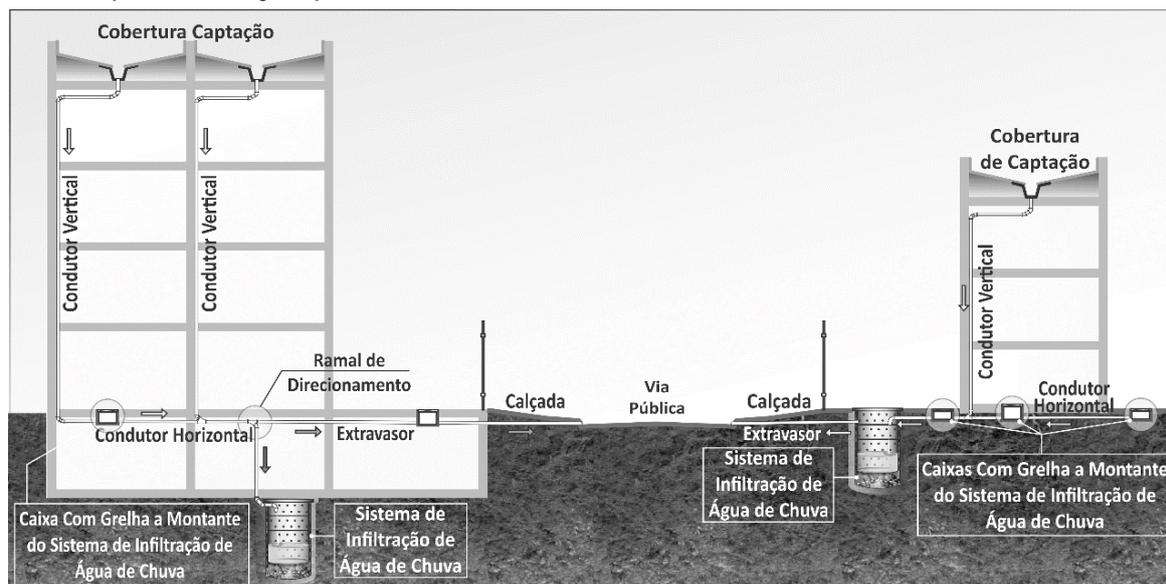
A primeira forma de concepção, representada pela edificação do lado esquerdo, mostra um SPAP contendo um SI instalado no subsolo de uma edificação, situação muito comum em edificações em que não existem áreas suficientes para a instalação dos SI em nível acima da tubulação de extravasamento. Quando o SI é instalado abaixo do nível de extravasamento, o sistema funcionará afogado e sob pressão durante seu total enchimento, direcionando o fluxo excedente para a rede de drenagem urbana por meio de um condutor vertical, que funcionará com seção plena até atingir o nível de extravasamento.

A segunda forma de concepção é representada pela edificação mostrada do lado direito na Figura 1, que ilustra um SI cuja parte superior é instalada acima do nível de extravasamento para o sistema de drenagem urbana. Dessa forma, mesmo cheio, o SI não trabalhará afogado ou sob pressão.

Entre as várias condições de instalação dos sistemas de drenagem no lote (SDL), duas delas assumem papel determinante no desempenho desses sistemas. A primeira diz respeito ao posicionamento do condutor e das conexões utilizadas na montagem do ramal que direciona o fluxo de água pluvial para o SI quando este está situado abaixo do nível de extravasamento. O posicionamento ou a configuração inadequada das conexões utilizadas no ramal que direciona o fluxo de água para o SI podem levar parte da água pluvial captada a escoar diretamente pelo extravasador, sem passar pelo SI.

A segunda condição se refere à localização dos ralos, caixas de drenagem ou grelhas de captação de água de chuva instalados muito próximos do SI, ou no mesmo nível de seu extravasador, onde pode ocorrer refluxo de água durante o enchimento e extravasamento do SI devido ao fato de parte dos condutores trabalhar afogada.

Figura 1 - Representação das duas formas de concepção de sistemas de infiltração integrados aos sistemas prediais de águas pluviais



Segundo Carvalho (2013) e Reis, Ilha e Teixeira (2013), entre os diversos critérios de concepção, quando o SI for posicionado abaixo da linha de extravasamento, deve-se ter maior cuidado quanto à estanqueidade das tubulações e, também, deve ser prevista uma camada de aterro sobre o SI que suporte a pressão da água exercida na tampa. Essa camada de aterro deve suportar no mínimo a pressão resultante da coluna de água no condutor vertical que direciona a água para o SI durante seu extravasamento, situação em que o sistema encontra-se totalmente cheio, trabalhando pressurizado, e o condutor vertical que direciona a água para o SI opera em seção plena.

Além disso, Reis, Oliveira e Sales (2008) alertam sobre a necessidade de se adotar uma configuração adequada do ramal que direciona o fluxo de água de chuva para o SI, de modo que a água escoe preferencialmente para o interior do sistema. Assim, apenas quando o SI atinge sua capacidade máxima de retenção, o fluxo de água passa a ser direcionado para o sistema urbano de drenagem. Em um experimento de campo realizado pelos pesquisadores em que se utilizou um tê interligado ao condutor horizontal no ramal de direcionamento do fluxo de água para o sistema de infiltração, foi observado que uma parcela da água escoava direto para o sistema urbano de drenagem.

Carvalho (2013) e Reis, Ilha e Teixeira (2013) ainda destacam a inviabilidade da ligação de drenos, caixas de passagem ou grelhas muito próximos dos

SI ou abaixo do nível do tubo de descarga¹ e/ou do tubo extravasador², sob o risco de haver refluxo de água nos ambientes internos da edificação.

Visto isso, pode-se dizer que a concepção errada desses componentes pode implicar patologias no SPAP e, indiretamente, na redução de desempenho do SI quanto ao controle do escoamento, independentemente de este ter sido dimensionado corretamente para determinada chuva de projeto.

A partir das definições do enfoque sistêmico (KAUFFMAN JUNIOR, 1980; GNIPPER, 2010), a concepção de todos os componentes do SPAP, incluindo os SI, deve ser pensada de modo integrado, a fim de não afetar de forma negativa o desempenho do SPAP como um todo.

Apesar de inúmeras pesquisas realizadas sobre as diversas formas de concepção, modelagem, avaliação de desempenho hidráulico e hidrológico dos SI, além de aspectos geotécnicos de percolação da água no solo, não são encontradas referências de pesquisas que consideram sua integração com o SPAP.

Assim, devido à falta de dados e diretrizes técnicas referentes aos efeitos da integração entre os componentes dos SPAP e SI, há necessidade do desenvolvimento de pesquisas a respeito das interferências entre essas instalações, o que possibilita uma concepção mais criteriosa e melhor avaliação de desempenho deles.

¹Tubo de descarga: condutor que encaminha o fluxo de água pluvial captada nas áreas de contribuição para o interior do sistema de infiltração, ou seja, tubulação posicionada a montante desse sistema.

²Tubo extravasador: condutor posicionado a jusante do sistema de infiltração, que encaminha o fluxo excedente para a rede urbana de drenagem.

Método

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizadas estruturas experimentais instaladas em um campo de pesquisa: um poço de infiltração e um jardim de chuva. Cada SI experimental encontrava-se interligado a instalações compostas de condutores verticais e horizontais que possibilitavam diferentes montagens, de forma que pudessem representar diversas condições das instalações frequentemente utilizadas em edificações verticais com SI instalados tanto acima quanto abaixo do nível de extravasamento.

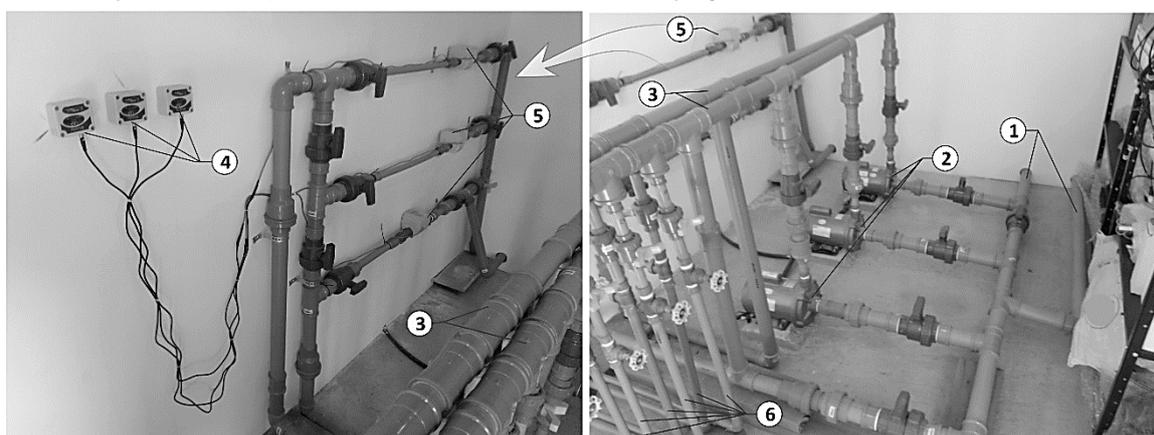
A fim de avaliar o funcionamento das diferentes condições de montagem das instalações, o aparato experimental foi submetido a diferentes vazões de ensaio, com valores entre 2,7 m³/h e 11,2 m³/h. Essas vazões contemplam uma faixa de chuvas de projeto com períodos de retorno inferiores a 2,33 anos, até 30 anos, considerando-se a aplicação da equação de chuva definida por Zuffo e Leme (2005), sob condições compatíveis com a área de contribuição existente e uma chuva com duração de 10 min. Os parâmetros atendem aos critérios estabelecidos pela NBR 10844 (ABNT, 1989), que definem para o dimensionamento de SPAP o uso períodos de retorno entre 1 e 25 anos, e também recomendam a aplicação de equações que representem as condições climáticas do local de instalação dos sistemas, neste caso Campinas, SP.

O aparato experimental foi montado de forma que fosse possível monitorar (1) a vazão de ensaio em tempo real, (2) o volume que era conduzido para o interior do SI, (3) o volume que extravasava dos SI após seu total enchimento e (4) o volume que passava direto para o extravasor (volume que, devido à configuração de montagem dos tubos e conexões, não foi direcionado e descarregado no interior dos SI). No experimento também foram instaladas caixas com grelha a montante dos SI a fim de possibilitar a avaliação visual de possíveis ocorrências de retorno de água.

Na Figura 2 são apresentados todos os componentes do sistema de bombeamento com vazão regulável e de monitoramento das vazões de ensaio.

As vazões de ensaio foram controladas por meio um sistema de bombeamento montado *in loco*. O conjunto continha três bombas centrífugas interligadas a tubulações DN 50, que direcionavam a água para os SI. O sistema de bombeamento, interligado a um reservatório de 20 m³, permitia o ajuste das vazões até um limite máximo de aproximadamente 11,2 m³/h. A vazão de água encaminhada para o aparato experimental foi registrada em tempo real por meio de hidrômetros ultrassônicos, classe D, com saída pulsada, modelo Hydrus/DIEHL. Os hidrômetros possuíam vazão nominal entre 1,6 m³/h e 16 m³/h, com precisão para toda a faixa de vazões utilizadas nos ensaios.

Figura 2 - Hidrômetros e sistema de bombas centrífugas e tubulações que permitem o ajuste das vazões de ensaio para a simulação de diversas vazões de chuva de projeto



- ① Ramais de sucção (vêm do reservatório externo, de 20 m³)
- ② Bombas centrífugas para simulação de vazão de descarga de acordo com a chuva de projeto
- ③ Ramais de descarga direcionados aos sistemas experimentais de infiltração da área de pesquisa
- ④ Dataloggers para registro das vazões de ensaio em tempo real
- ⑤ Medidores de vazão de água classe D (hidrômetros ultrassônicos de elevada precisão) com saída pulsada
- ⑥ Ramais de retorno para o reservatório utilizados para ajuste da vazão de ensaio

Os volumes retidos no SI, extravasados e que passavam direto pelo ramal de direcionamento ao SI foram determinados por meio de sensores de nível de água posicionados no interior dos SI e de reservatórios com volumes conhecidos, acoplados a jusante do extravasor e do ramal de direcionamento de água para os SI. Para o monitoramento do nível de água foram utilizados medidores de pressão da marca Onset, modelo HOBO U20-001-01, com precisão de 0,5 cm. Por meio da medição da pressão ocasionada pela coluna de água acima do sensor, foi medido o nível de água dentro dos reservatórios e dos SI, determinando-se, assim, o volume contido em cada unidade durante os ensaios.

Para evitar a interferência da turbulência da água durante o enchimento dos reservatórios e dos SI, os sensores de nível de água foram colocados dentro de tubos PVC DN 40, perfurados em toda a sua extensão. Esses tubos atuaram como estabilizadores do nível de água, de forma a evitar grandes oscilações e interferências na leitura dos dados.

Avaliação da influência do ramal de direcionamento sob fluxo de água descarregado no sistema de infiltração

Para a avaliação da influência da configuração de montagem do ramal de direcionamento sob o fluxo de água descarregado nos SI foi utilizado o poço de infiltração experimental.

Para tanto, foi montado um trecho de 3,0 m de condutor horizontal, com declividade ajustável entre 0,5% e 1,0%, em PVC DN 100. O ajuste da declividade desse condutor foi realizado por meio de dois suportes com altura regulável montados em cada uma das extremidades da tubulação. O condutor foi instalado 1,60 m acima do nível do terreno, o qual recebe água diretamente do sistema de bombeamento. Assim, foi possível avaliar condições similares a uma edificação onde o SI é posicionado no subsolo, abaixo do nível de extravasamento. A Figura 3 mostra o esquema do aparato experimental executado para o ensaio de avaliação de influência das configurações de montagem do ramal de direcionamento de água para um sistema de infiltração posicionado abaixo do nível de extravasamento.

Neste ensaio foram consideradas quatro configurações distintas de montagem para o ramal

que faz a transição do condutor horizontal para o condutor vertical e que direciona a água para o poço de infiltração, as quais são ilustradas na Figura 4:

- (a) C1 – composta de um tê de 90° fazendo a transição entre condutor horizontal e vertical;
- (b) C2 – composta de uma junção invertida associada a um joelho de 45°;
- (c) C3 – composta de dois joelhos de 45° seguidos de um tê de 90°; e
- (d) C4 – composta de um joelho de 45° seguido de uma junção, formando um extravasor que trabalha afogado.

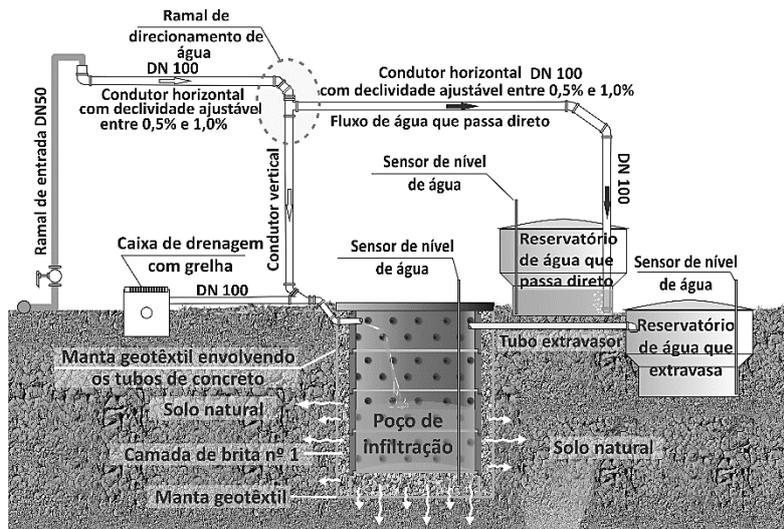
Essas configurações representam soluções empregadas na montagem do ramal de direcionamento quando há SI situados abaixo do nível de extravasamento.

O poço de infiltração possui profundidade de 1,50 m. O fundo é composto de 0,50 m de brita nº 1, envolta em manta geotêxtil da marca Bidim® e modelo RT-7. A lateral do poço também foi preenchida com brita para aterrar o espaço de aproximadamente 0,15 m existente entre os tubos que formam o poço e a superfície do solo escavada. Acima dessa camada de brita foram sobrepostos dois tubos de concreto de diâmetro interno igual a 1,10 m, com 0,50 m de altura cada. Devido à instalação do tubo extravasor, a altura útil acima da camada de brita é igual a 0,87 m (Figura 5).

Cada vazão foi ensaiada pelo menos quatro vezes para cada uma das configurações de montagem do ramal de direcionamento, considerando declividades de 0,5% e 1,0% para o condutor horizontal. Essas declividades foram selecionadas entre as recomendadas pela NBR 10844 (ABNT, 1989) por serem as mais frequentemente utilizadas para os condutores horizontais do SPAP localizados em subsolos, dada a possibilidade de interferência com as tubulações de esgoto e também de modo a evitar transtornos à circulação de pessoas e veículos e impedir o lançamento da água pluvial no nível da sarjeta.

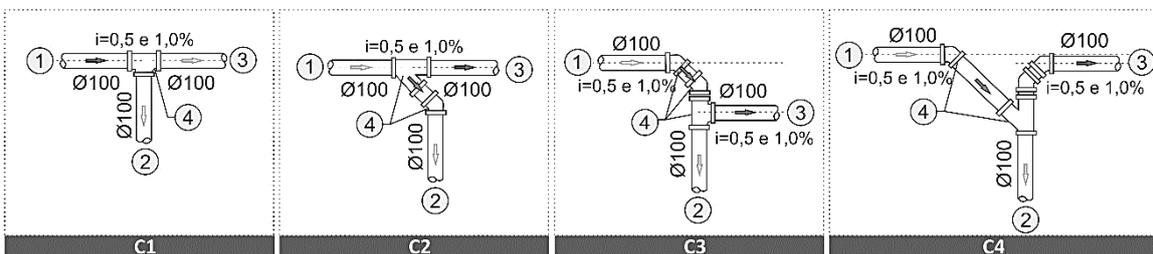
Os resultados foram apresentados por meio de curvas que indicam a porcentagem do volume que passa direto pelo ramal de direcionamento de água para o SI considerando as vazões de descarga utilizadas nos ensaios relacionadas com as condições de montagens avaliadas.

Figura 3 - Aparato experimental e a instalação de campo utilizada para a execução dos ensaios



- ① Ramal de direcionamento de fluxo de água
- ② Poço de infiltração experimental
- ③ Reservatório de coleta de água que passa direto pelo ramal de direcionamento
- ④ Nível de água para ajuste da declividade do condutor horizontal
- ⑤ Tubo de altura regulável para ajuste da declividade
- ⑥ Caixa de drenagem com grelha situada a montante do poço de infiltração
- ⑦ Tubos de concreto (tipo zimbra) perfurado
- ⑧ Tubo de descarga de água no interior do poço de infiltração
- ⑨ Tubos para a inserção de sensores de nível de água

Figura 4 - Configurações de montagem do ramal de direcionamento



LEGENDA:

- ① Condutor horizontal - conduz a água proveniente do sistema de bombeamento.
- ② Condutor vertical - direciona a água para o sistema de infiltração.
- ③ Extravasador - direciona a água para o reservatório de captação de água que passa direto ou quando o sistema de infiltração atinge sua capacidade limite de operação.
- ④ Conexões do ramal de direcionamento - responsável pelo desvio do fluxo de água para o sistema de infiltração e/ou direcionamento para o extravasador.

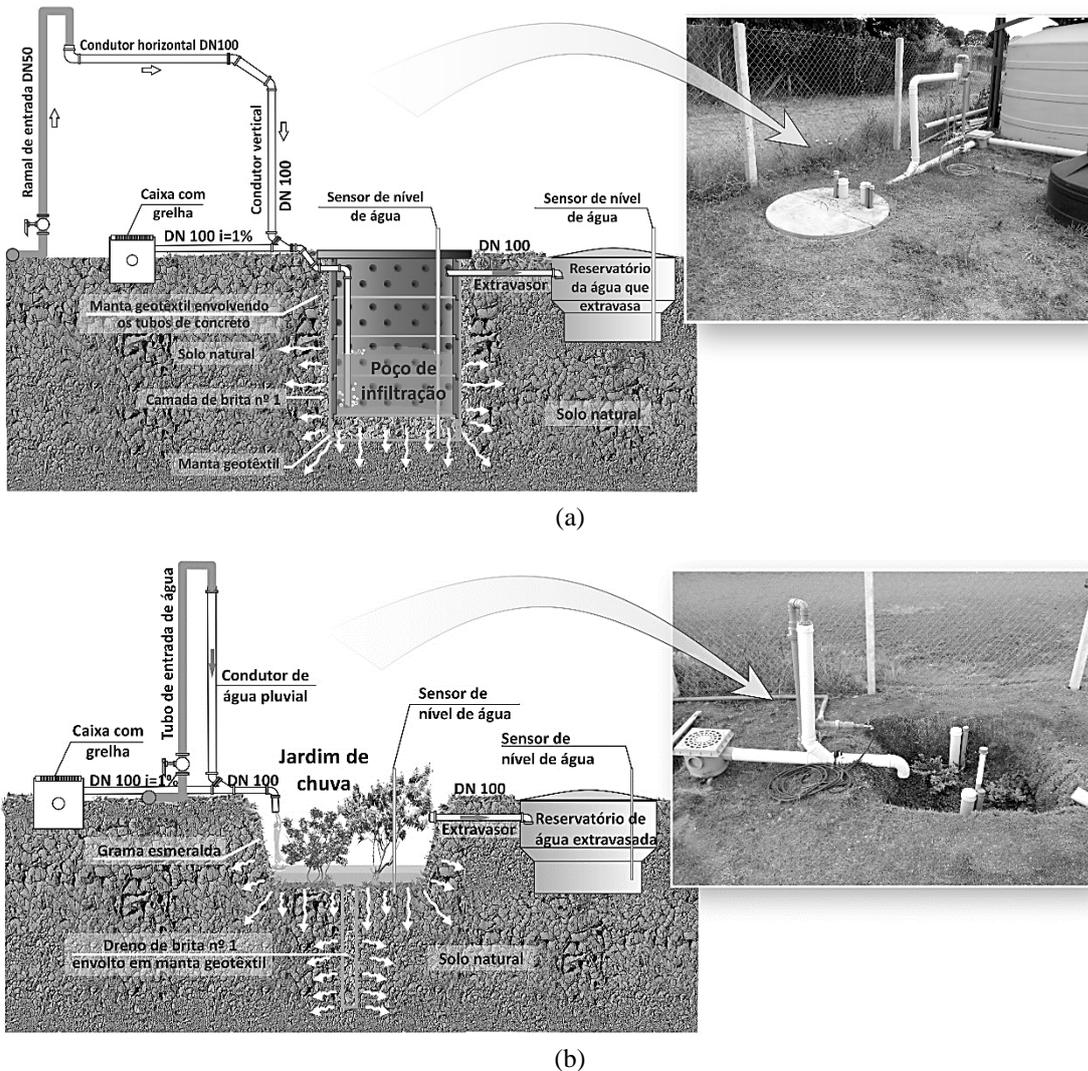
Verificação da ocorrência de refluxo de água em caixas de drenagem posicionadas próximas aos sistemas de infiltração

Para a verificação da ocorrência de refluxo de água em caixas de drenagem posicionadas a montante dos SI foi feita uma modificação na configuração do ramal de direcionamento de forma que todo o volume de descarga, definido para o ensaio, fosse direcionado impreterivelmente para o interior dos SI estudados. Assim, a ocorrência de refluxo foi verificada visualmente durante os ensaios de enchimento das unidades experimentais, utilizando-

se o poço de infiltração e o jardim de chuva. As Figuras 5a e 5b mostram os esquemas do aparato experimental e as instalações de campo utilizadas para a execução dessa verificação.

A instalação estudada contava com uma caixa de drenagem com grelha instalada a montante do ponto de interligação com o ramal de direcionamento. Conforme a Figura 5a, o poço de infiltração continha um tubo de descarga que ficava afogado durante todo o seu enchimento. Já no jardim de chuva o tubo de descarga ficava afogado apenas durante seu extravasamento quando o sistema estava completamente cheio.

Figura 5 - Aparato experimental utilizado para a verificação da ocorrência de refluxo na caixa de drenagem localizada a montante do (a) poço de infiltração e do (b) jardim de chuva



O jardim de chuva possui forma trapezoidal, com a base maior da seção medindo 1,90x1,40 m, e a base menor medindo 1,30x0,80 m. A profundidade total em relação ao nível natural do terreno é de 0,60 m, sendo a altura útil até a geratriz inferior do tubo extravasor igual a 0,43 m. No fundo do jardim de chuva existe um dreno de 100 mm de diâmetro, preenchido com brita nº 1 e envolto em manta geotêxtil, instalado a uma profundidade de 1,0 m. O fundo do jardim é composto de uma camada de aproximadamente 0,15 m com casca de pinus. Nas paredes laterais inclinadas foi plantada grama esmeralda (*Zoysia japonica*), e, no fundo, duas mudas de pingo-de-ouro (*Duranta repens* L. "Aurea").

Resultados e discussão

A Figura 6 apresenta a correlação entre as vazões de ensaio e as porcentagens do volume que passa direto pelo ramal de direcionamento de água para o SI, considerando as configurações de montagem C1, C2 e C3. No caso da configuração 4, para todas as vazões e declividades ensaiadas, 100% do volume escoado foi direcionado para o SI, não sendo apresentada nenhuma perda de água durante seu enchimento.

Considerando que a NBR 10844 (ABNT, 1989) estabelece como capacidade de escoamento em condutores horizontais de 100 mm (mesmo diâmetro utilizado nos ensaios) uma vazão máxima de 12,24 m³/h para a declividade de 0,5% e de 17,22 m³/h para a declividade de 1,0%, verifica-se que na configuração C1, cuja curva ainda apresenta trajetória ascendente na maior vazão de ensaio (11 m³/h), pode-se perder acima de 23% de eficiência de retenção de água de chuva devido à configuração inadequada de montagem das conexões que compõem o ramal de direcionamento de água.

Considerando as quatro configurações estudadas, para vazões superiores a 6,0 m³/h, o uso de uma conexão do tipo tê de 90° no ramal de direcionamento (configuração C1) resultou nas maiores porcentagens de volume escoado diretamente para a rede urbana, sem passar pelo sistema de infiltração.

Os resultados são ligeiramente maiores para a declividade de 1,0%, pois correspondem a um escoamento com maior velocidade. Nesse caso foi observada uma perda máxima de 23,1% para a vazão de 10,43 m³/h.

Por sua vez, a simples troca do tê de 90° por uma junção invertida associada a um joelho de 45° (configuração 2) reduziu a porcentagem do volume que passa direto para aproximadamente 2,0% para a vazão de ensaio de 10,86 m³/h.

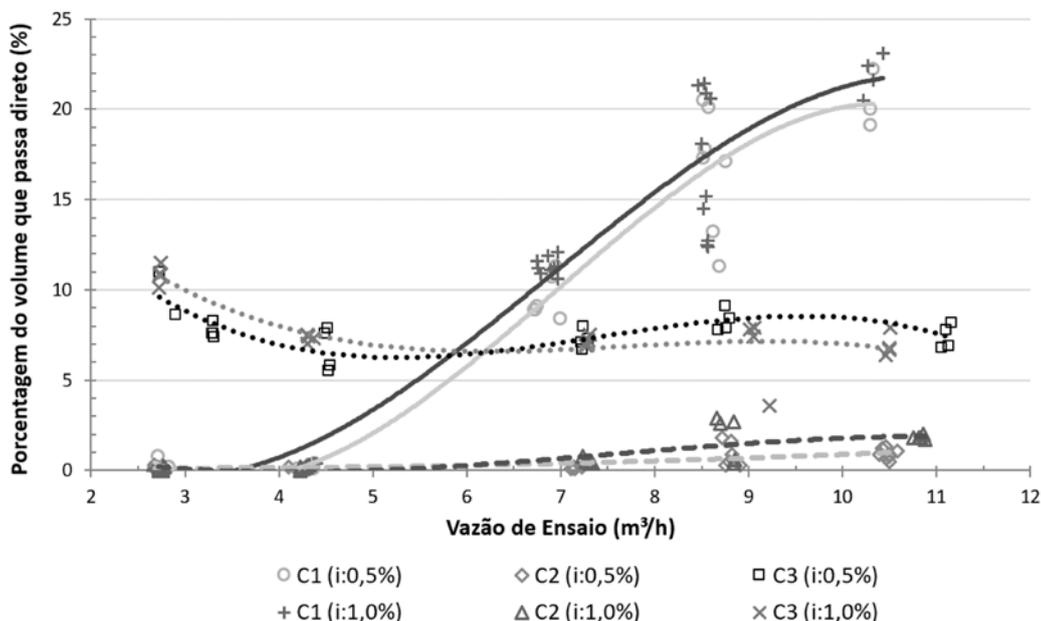
Pode-se dizer que tanto na configuração C1 como na configuração C2 o volume de água que passa direto para o ramal extravasor é ocasionado pela velocidade de escoamento no condutor horizontal situado a montante da conexão que direciona o fluxo para o sistema de infiltração. Essa situação é ilustrada nas Figuras 7a e 7b.

A configuração C3, composta de dois joelhos de 45° seguidos de um tê de 90°, que serve de extravasor, resultou em uma perda de escoamento por coesão quando o fluxo de água atingiu esse tê, conforme ilustrado na Figura 8. Para essa configuração, a perda oscilou entre 3,6% e 11,5% para ambas as declividades dos condutores horizontais, e a maior perda ocorreu para a menor vazão de escoamento, onde se pressupõe que o efeito da tensão superficial tenha sido maior devido ao menor peso ocasionado pela menor lâmina de água que escoou junto à parede do tubo.

Diante do exposto, é importante ressaltar que a configuração de montagem do ramal de direcionamento seja pensada de forma a conduzir o fluxo preferencial de água sempre para o SI e, a partir dele, a haver uma derivação para o ramal de extravasamento. Caso contrário, conforme observado para as três primeiras configurações de montagem investigadas, mesmo que o SI tenha sido dimensionado adequadamente para determinada vazão de projeto, ele poderá contribuir de maneira menos satisfatória para o amortecimento do volume de escoamento superficial gerado no lote.

Em complementação, foi observado que o condutor vertical situado a jusante do ramal de direcionamento de água pluvial também servia para a saída de ar do SI durante seu enchimento. Essa característica da instalação pode contribuir para que um maior volume de água passe direto, sem ser direcionado para o sistema de infiltração, pois o ar que tenta sair do SI dificulta a entrada de água que vem no sentido contrário do fluxo. Para tanto, recomenda-se que, além da escolha mais adequada da configuração de montagem do ramal de direcionamento de água, o SI contenha um ramal independente que facilite a saída de ar durante seu enchimento, conforme ilustrado na Figura 9.

Figura 6 - Correlação entre vazão de ensaio e porcentagem do volume que não é encaminhado para o SI devido às configurações do ramal de direcionamento C1, C2 e C3



Configuração C1 Tê						Configuração C2 Junção + Joelho 45°						Configuração C3 2x Joelhos 45° + Tê 90°					
Vazão		i=1,0%		Vazão		i=0,5%		Vazão		i=1,0%		Vazão		i=0,5%			
m³/h	SI	PD	m³/h	SI	PD	m³/h	SI	PD	m³/h	SI	PD	m³/h	SI	PD	m³/h	SI	PD
2,7	99,9	0,1	2,7	99,2	0,8	2,7	99,9	0,1	2,7	99,9	0,1	2,7	88,5	11,5	2,7	89,0	11,0
2,7	100,0	0,0	2,7	99,8	0,2	2,7	100,0	0,0	2,7	99,9	0,1	2,7	89,1	10,9	2,9	91,4	8,6
2,7	100,0	0,0	2,7	99,8	0,2	2,8	100,0	0,0	2,7	99,7	0,3	2,7	89,2	10,8	3,3	92,6	7,4
2,8	99,7	0,3	2,8	99,8	0,2	2,8	99,8	0,2	2,7	99,9	0,1	2,7	89,9	10,1	3,3	92,4	7,6
4,3	99,8	0,2	2,8	99,8	0,2	4,2	100,0	0,0	4,1	99,8	0,2	4,3	92,6	7,4	3,3	91,7	8,3
4,4	99,6	0,4	4,2	99,9	0,1	4,2	99,8	0,2	4,3	99,7	0,3	4,3	92,5	7,5	3,3	92,4	7,6
4,4	99,6	0,4	4,3	99,9	0,1	4,3	99,9	0,1	4,3	99,8	0,2	4,3	93,0	7,0	4,5	92,4	7,6
6,8	88,4	11,6	4,4	99,9	0,1	4,3	99,8	0,2	4,3	99,9	0,1	4,4	92,7	7,3	4,5	94,5	5,5
6,8	88,8	11,2	4,4	99,6	0,4	4,3	99,7	0,3	4,3	99,9	0,1	7,3	93,0	7,0	4,5	92,1	7,9
6,8	89,1	10,9	6,7	91,1	8,9	7,2	99,2	0,8	7,1	99,9	0,1	7,3	92,5	7,5	4,6	94,2	5,8
6,9	88,2	11,9	6,7	91,1	8,9	7,3	99,5	0,5	7,1	99,8	0,2	7,3	93,1	6,9	7,2	92,9	7,1
6,9	88,8	11,2	6,8	90,9	9,1	7,3	99,6	0,4	7,2	99,9	0,1	7,3	93,1	6,9	7,2	92,0	8,0
6,9	88,9	11,1	6,9	89,3	10,7	7,3	99,6	0,4	7,2	99,8	0,2	7,3	92,8	7,2	7,2	93,3	6,7
6,9	88,8	11,2	7,0	91,6	8,4	7,3	99,6	0,4	8,7	98,2	1,8	9,0	92,2	7,8	7,3	92,7	7,3
7,0	88,7	11,3	7,0	88,7	11,3	7,3	99,5	0,5	8,8	99,7	0,3	9,1	92,1	7,9	8,7	92,2	7,8
7,0	89,4	10,6	8,5	79,5	20,5	7,3	99,5	0,5	8,8	99,1	0,9	9,1	92,6	7,4	8,8	91,6	8,4
8,5	78,6	21,4	8,5	80,4	17,8	7,3	99,6	0,4	8,8	99,5	0,5	9,2	96,4	3,6	8,8	90,9	9,1
8,5	81,9	18,1	8,5	82,7	17,3	8,7	97,1	2,9	8,8	98,4	1,6	10,5	93,3	6,7	8,8	92,1	7,9
8,5	78,7	21,3	8,6	79,9	20,1	8,7	97,4	2,6	8,9	99,7	0,3	10,5	93,2	6,8	11,1	92,2	7,8
8,5	85,5	14,5	8,6	86,8	13,2	8,8	99,6	0,4	10,4	98,8	1,2	10,5	93,6	6,4	11,1	93,2	6,8
8,6	87,3	12,7	8,7	88,7	11,3	8,8	97,3	2,7	10,4	99,1	0,9	10,5	92,1	7,9	11,1	93,1	6,9
8,6	79,1	20,9	8,8	82,9	17,1	8,9	99,4	0,6	10,5	99,1	0,9	---	---	---	11,2	91,8	8,2
8,6	79,4	20,6	10,3	77,7	22,2	10,8	98,2	1,8	10,5	99,5	0,5	---	---	---	---	---	---
8,6	87,6	12,4	10,3	80,0	20,0	10,8	98,2	1,8	10,5	99,2	0,8	---	---	---	---	---	---
8,6	84,8	15,2	10,3	80,9	19,1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
10,2	79,5	20,5	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
10,3	77,6	22,4	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
10,3	78,4	21,6	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
10,4	76,9	23,1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Nota: Legenda:

- SI - Porcentagem do volume retido no sistema de infiltração;
- PD - Porcentagem do volume que passa direto para o sistema de drenagem urbano; e
- i - declividade do ramal de direcionamento.

Figura 7 - Esquema do ramal de direcionamento onde há perda devido à velocidade do escoamento

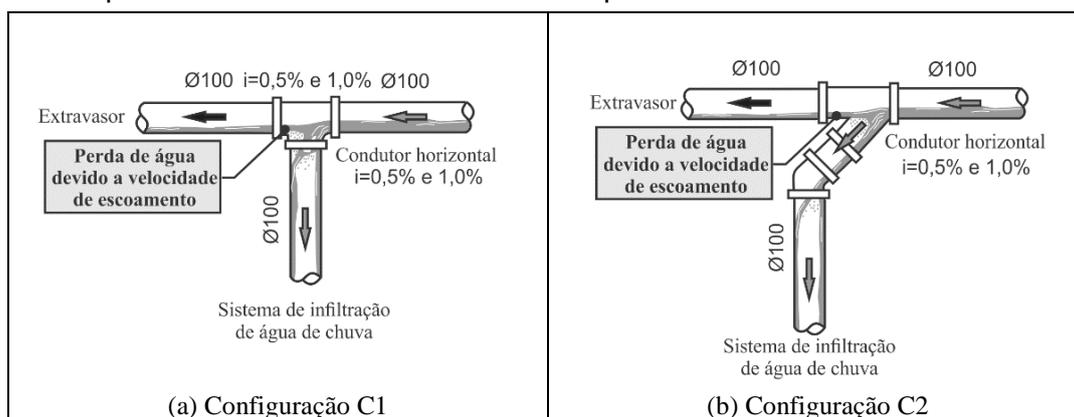
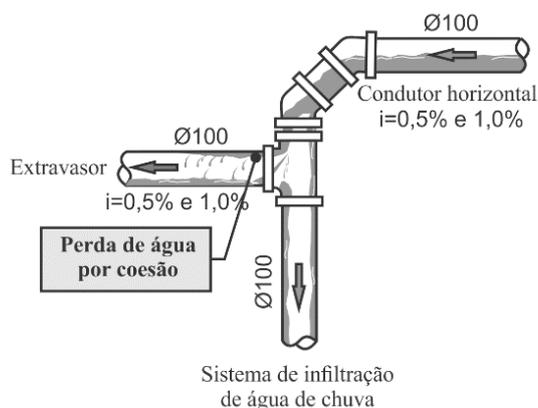


Figura 8 - Esquema do ramal de direcionamento onde há perda devido à coesão - configuração C3



Quando o SI é enterrado e situado abaixo do nível de descarga para o sistema urbano de drenagem, ou seja, quando o extravasamento desse sistema for formado por um conduto que funcionará afogado, conforme ilustrado na Figura 9, o ramal ventilador também irá auxiliar no extravasamento de água para a rede de drenagem urbana após o sistema atingir sua capacidade máxima de projeto. Nesse caso, é importante ressaltar que o peso das duas colunas de água deve ser considerado para o cálculo correto da camada de aterro sobre a tampa do sistema de infiltração (REIS, 2005; CARVALHO; 2013). Essa consideração visa evitar o deslocamento da superfície situada acima do sistema de infiltração devido à força da água que pressiona as paredes dele durante o extravasamento.

De sua vez, durante a realização dos ensaios de enchimento do poço de infiltração e do jardim de chuva, verificou-se em vários momentos o retorno de água para as caixas de drenagem instaladas a montante.

Observou-se que esse fenômeno ocorria quando o SI atingia sua capacidade máxima de armazenamento e a tubulação que descarregava água no interior dele ficava total ou parcialmente

submersa, mesmo estando o condutor horizontal acima do nível de extravasamento. Esse fenômeno foi observado para todas as vazões de ensaio entre 2,7 m³/h e 11,2 m³/h e foi devido exclusivamente à configuração da tubulação de descarga de água para o SI, sendo que o fenômeno independe das condições de infiltração ou do tempo de duração do ensaio. Essa situação foi observada no caso do jardim de chuva e do poço de infiltração, cuja extremidade da tubulação de descarga era constituída respectivamente por uma curva de 90° e por uma seção de tubo cortada.

Acredita-se que a causa desse retorno de água seja o fato de que o escoamento em seção livre, ao encontrar um trecho momentaneamente submerso e com seção plena, tenha resultado no aprisionamento de ar, cujo fluxo passou a ser contrário ao fluxo de descarga de água no SI, ocasionando redução na vazão de descarga. Assim, considerando o princípio de fluidos incompressíveis, a causa principal do refluxo de água para trechos a montante do SI foi associada ao balanço de volumes (entrada de água e saída de ar), fenômeno que possivelmente ocasionou uma elevação da lâmina de água no trecho final do tubo de descarga.

A redução da ocorrência desse fenômeno pode ser conseguida por meio da adoção de um ramal de ventilação na extremidade da tubulação de descarga. No caso do jardim de chuva, com a substituição da curva de 90° do ramal de descarga por um tê de 90° e com uma das extremidades situada acima do condutor horizontal que encaminhava água para o SI, criou-se um ramal de ventilação, verificou-se visualmente que o refluxo não mais ocorreu (Figura 10).

Por sua vez, como os SI situados abaixo do nível de extravasamento operam momentaneamente afogados quando atingem sua capacidade máxima de projeto, recomenda-se não interligar drenos de superfície próximos aos ramais de direcionamento e de ventilação – e nem abaixo do nível de extravasamento –, a fim de evitar retorno de água

nesses pontos da instalação, conforme ilustra a Figura 11.

Conclusões

O desempenho do SPAP associado aos sistemas de drenagem no lote, incluindo os SI estudados neste trabalho, foi diretamente influenciado pela configuração do ramal que direciona o fluxo de água do SPAP para tais sistemas.

A escolha de inadequada de configurações de montagem do ramal de direcionamento resultou em reduções do desempenho de retenção dos SI entre 1% e 23% devido à passagem direta da água para o sistema de drenagem urbana. Essa perda ocorre independentemente da adequabilidade do dimensionamento do SI.

Figura 9 - Adição de ramal independente interligando o SI ao condutor horizontal de extravasamento para facilitar a saída de ar durante o seu enchimento

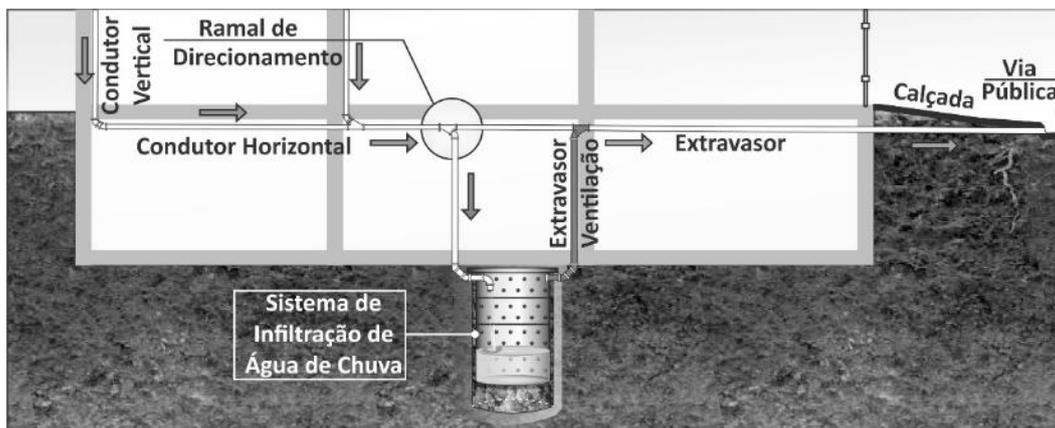


Figura 10 - Criação de um ramal de ventilação na extremidade da tubulação de descarga para a redução da ocorrência de refluxo de água para componentes do sistema de drenagem situados a montante

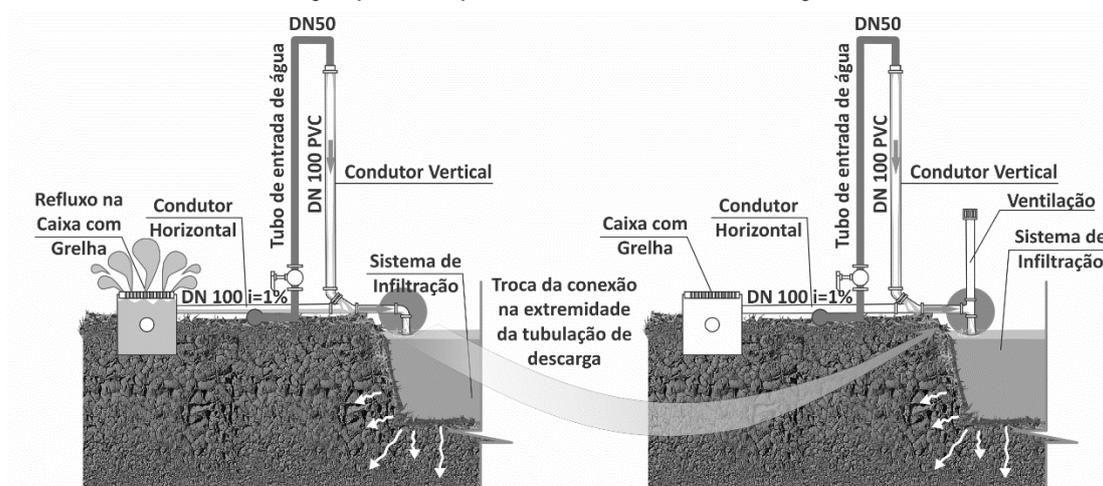
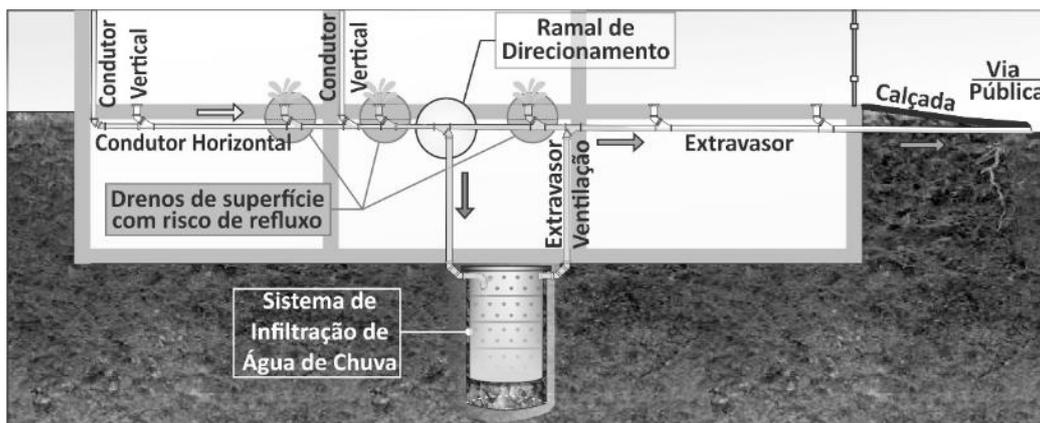


Figura 11 - Possibilidade de ocorrência de refluxo de água em drenos de superfície interligados próximos ao ramal de direcionamento e de ventilação ou abaixo do nível de extravasamento



Além disso, verificou-se a ocorrência de refluxo de água nas caixas de drenagem posicionadas a montante, próximo aos condutores de descarga de água nos sistemas de infiltração. Esse fenômeno poderia ser minimizado com a inserção de um ramal de ventilação na tubulação de descarga. Apesar disso, recomenda-se não instalar caixas de drenagem abaixo ou no mesmo nível do ramal utilizado para seu extravasamento, nem no condutor que conduz água para os SI, de modo a evitar essa patologia.

Por fim, os fenômenos observados neste trabalho, sob o ponto de vista da influência das condições de instalações integradas de SI em SPAP, podem auxiliar no estabelecimento de critérios mais rigorosos de concepção deles.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10844**: instalações prediais de águas pluviais: procedimento. Rio de Janeiro, 1989.

BOCKHORN, B. *et al.* Factors Affecting the Hydraulic Performance of Infiltration Based SUDS in Clay. **Urban Water Journal**, v. 14, n. 2, p. 125-133, 2017.

CÂMARA MUNICIPAL DE GOIÂNIA. **Lei nº 9.511**, de 15 de dezembro de 2014, que estabelece regras de controle de águas pluviais e drenagem urbana e dá outras providências. Goiânia, 2014.

CARVALHO, E. T. L. **Avaliação Geotécnica de Poços de Infiltração de Águas Pluviais**. Distrito Federal, 2013. 316 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2013.

GNIPPER, S. F. **Diretrizes Para Formulação de Método Hierarquizado Para Investigação de Patologias em Sistemas Prediais Hidráulicos e Sanitários**. Campinas, 2010. 283 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

GRAHAM, P. *et al.* The Role of Water Balance Modelling in the Transition to Low Impact Development. **Water Quality Research Journal of Canada**, v. 39, n. 4, p. 331-342, 2004.

JIA, Z. *et al.* Small Scale Green Infrastructure Design to Meet Different Urban Hydrological Criteria. **Journal of Environmental Management**, v. 171, p. 92-100, 2016.

KAUFFMAN JUNIOR, D. L. J. R. **Systems One: an introduction to systems thinking**. St. Paul, MI: Future Systems; TLH Associates, 1980. (The Future Systems Series).

LOCATELLI, L. *et al.* Determining the Extent of Groundwater Interference on the Performance of Infiltration Trenches. **Journal of Hydrology**, v. 529, p. 1360-1372, 2015.

REIS, R. P. A. **Proposição de Parâmetros de Dimensionamento e Avaliação de Desempenho de Poço de Infiltração de Água Pluvial**. Goiânia, 2005. 228 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2005.

REIS, R. P. A.; ILHA, M. S. de O. Comparação de Desempenho Hidrológico de Sistemas de Infiltração de Água de Chuva: poço de infiltração e jardim de chuva. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 2, p. 79-90, abr./jun. 2014.

REIS, R. P. A.; ILHA, M. S. O.; TEIXEIRA, P. C. Sistemas Prediais de Infiltração de Água de Chuva: aplicações, limitações e perspectivas. **Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 7, n. 3, p. 55-67, 2013.

REIS, R. P. A.; OLIVEIRA, L. H.; SALES, M. M. Sistemas de Drenagem na Fonte Por Poços de Infiltração de Águas Pluviais. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 99-117, abr./jun. 2008.

STEPHENS K. A. *et al.* Re-Inventing Urban Hydrology in British Columbia: runoff volume management for watershed protection. In: NATIONAL CONFERENCE ON URBAN STORM WATER: ENHANCING PROGRAMS AT THE LOCAL LEVEL, 2003, Chicago, 2003. **Proceedings...** Chicago, 2003.

TORAN, L.; JEDRZEJCZYK, C. Water Level Monitoring to Assess the Effectiveness of Stormwater Infiltration Trenches. **Environmental & Engineering Geoscience**, v. 23, n. 2, p. 113-124, 2017.

ZHANG, S.; GUO, Y. SWMM Simulation of the Storm Water Volume Control Performance of Permeable Pavement Systems. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 20, n. 8, p. 06014010, 2014.

ZUFFO, A. C.; LEME, P. E. Gradex e Santa Barbara: método híbrido para cálculo de vazão de projeto para macrodrenagem urbana. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 16., João Pessoa, 2005. **Anais...** João Pessoa, 2005.

Ricardo Prado Abreu Reis

Departamento de Construção Civil, Escola de Engenharia Civil e Ambiental | Universidade Federal de Goiás | Praça Universitária, 1488, Bloco A, Sala 5, Setor Universitário | Goiânia - GO - Brasil | CEP 74605-220 | Tel.: (62) 3209-6084 | E-mail: ricardoprado.reis@outlook.com

Marina Sangoi de Oliveira Ilha

Departamento de Construção Civil, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo | Universidade Estadual de Campinas | Rua Albert Einstein, 951, Cidade Universitária | Campinas - SP - Brasil | Caixa Postal 6021 | CEP 13083-852 | Tel.: (19) 3521-2387 | E-mail: milha@fec.unicamp.br

Revista Ambiente Construído

Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3º andar, Centro

Porto Alegre - RS - Brasil

CEP 90035-190

Telefone: +55 (51) 3308-4084

Fax: +55 (51) 3308-4054

www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido

E-mail: ambienteconstruido@ufrgs.br



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License.