



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

POÇO DE INFILTRAÇÃO COMO TÉCNICA COMPENSATÓRIA EM DRENAGEM URBANA: DIMENSIONAMENTO, CUSTO DE IMPLANTAÇÃO E AVALIAÇÃO DO SISTEMA

Flavia Manica Siviero – flavia.manica@hotmail.com – Universidade de Caxias do Sul

Geraldo Antônio Reichert – geraldo.603@gmail.com – Universidade de Caxias do Sul

Resumo: O planejamento urbano aliado a sistemas de drenagem sustentáveis podem mitigar impactos ao meio ambiente e à população causados pela impermeabilização de áreas antes infiltráveis. Técnicas compensatórias de drenagem surgem como alternativa para manter o cenário de pós-urbanização o mais próximo ao natural. Nesse contexto, esse trabalho buscou avaliar uma estrutura de contenção de águas pluviais na fonte do tipo poço de infiltração, para um solo típico de um loteamento urbano localizado no município de Caxias do Sul, RS. Para tanto, foi dimensionado e implantado um poço de infiltração no qual foram simuladas diferentes vazões de projeto. A estrutura assumiu as dimensões de base de 2,30 x 2,30 m e 1,09 m de profundidade. Foram simulados 5 cenários, os quais foram repetidos em um dia com características climáticas semelhantes. Os testes indicaram que o poço possuiu capacidade de retenção, no terceiro enchimento, 65,74% superior ao previsto, no primeiro dia de ensaios e 56,92% superior na repetição. Ainda, identificou-se um bom desempenho de esvaziamento, levando de 35 a 51 min para esvaziar completamente. O custo total para a implantação do sistema foi de R\$ 3.730,57, ou ainda, R\$ 645,43 por metro cúbico de volume útil de armazenamento. Pode-se concluir que a estrutura foi capaz de conter a vazão de projeto e infiltrar rapidamente, estando preparada para receber uma nova precipitação, podendo apresentar grande efetividade quando aliada ao sistema de drenagem clássico, para um cenário com solo e situações climáticas semelhantes ao que foi implantada.

Palavras-chave: Drenagem Urbana. Técnicas Compensatórias. Poço de Infiltração.

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375

1. INTRODUÇÃO

A remoção da vegetação existente e impermeabilização de áreas antes infiltráveis para construção de novas edificações ou loteamentos urbanos, aumenta a velocidade de escoamento superficial e consequentemente a erosão dos rios, prejudica a qualidade da água pelo transporte de poluentes, diminui o nível dos lençóis freáticos, aumenta a poluição e causa danos de grande magnitude para a população, como cheias urbanas, proliferação de resíduos e transmissão de doenças (TUCCI, 2016). O ponto chave para a solução ou atenuação desses problemas é o planejamento urbano aliado às técnicas multidisciplinares com o intuito de desenvolver modelos de drenagem sustentáveis. Essa concepção de projeto é tida como um novo modelo de sistema de drenagem urbana, que trabalha com o objetivo de interferir nas causas das inundações e não na consequência, como antes abordado pelo modelo clássico ou convencional (REZENDE; MIGUEZ; VERÓL, 2013).

Os novos princípios de drenagem se baseiam no controle da vazão das chuvas na fonte, ou seja, diminuindo o volume de água transportado para jusante. Além disso, é proposto que os empreendimentos devem garantir cenários onde a contenção, amortecimento e permeabilidade das águas sejam próximos às condições de pré-urbanização. Esse novo modelo visa o planejamento e controle dos impactos considerando o gerenciamento integrado da bacia hidrográfica, do uso do solo e da infraestrutura urbana existente, com o objetivo de otimizar os benefícios das medidas adotadas (VILLANUEVA *et al.*, 2011).

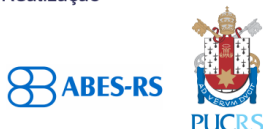
Com o intuito de melhorar o desenvolvimento urbano, garantindo a qualidade de vida da população, bom funcionamento dos sistemas de saneamento dos municípios e o equilíbrio hídrico de pré-urbanização, este trabalho tem como objetivo avaliar uma forma de contenção de águas pluviais ainda pouco utilizada no cenário brasileiro, propondo o uso da técnica de poço de infiltração associado à boca-de-lobo. Essa técnica, conforme sua nomenclatura, se baseia na infiltração da chuva no local da descarga, de forma a minimizar os impactos causados pela urbanização no ciclo hidrológico e atenuar o pico de vazão gerado por esse processo. Esse equipamento, se bem dimensionado, implantado com boas técnicas e recebendo manutenções na frequência determinada, possui a capacidade de reestabelecer a infiltração do terreno natural e evitar o excesso de escoamento superficial (REIS; OLIVEIRA; SALES, 2005).

Nesse contexto, esse trabalho buscou dimensionar, implantar e avaliar o comportamento de um poço de infiltração com paredes de concreto pré-moldadas perfuradas e fundo composto por camada de brita graduada para proporcionar infiltração, como técnica de controle e prevenção de cheias urbanas. Para tanto, foi construída uma estrutura, em tamanho real, em um loteamento residencial em fase de implantação, no município de Caxias do Sul, RS, com parâmetros de projetos pré-definidos de acordo com as normas municipais e as características hidrológicas do local. Após, foram realizadas simulações expondo o sistema a diferentes situações avaliando seu comportamento durante as etapas de enchimento e esvaziamento. Por fim, foi caracterizado o solo local e estimado o custo de implantação do poço de infiltração.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O problema das cheias urbanas é um dos maiores desafios atuais enfrentados pelos gestores municipais. O crescimento da população, principalmente em grandes cidades, aumenta ainda mais a recorrência de grandes inundações e gera impactos negativos a toda população, interferindo na saúde, habitação, transporte, saneamento, entre outros setores (REZENDE; MIGUEZ; VERÓL, 2013). O bom funcionamento dos sistemas de drenagem pluvial adotados por novos empreendimentos é de fundamental importância para garantir o bem-estar social e o bom funcionamento dos setores fundamentais dos municípios.

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

Nesse contexto, os sistemas de drenagem urbana visam a redução dos alagamentos, a integração com o plano urbanísticos dos municípios, integrando soluções de drenagem com a paisagem urbana, a preservação das várzeas e da qualidade das águas escoadas, a conservação das vias e da circulação viária, cuidado com a transferência de problemas para jusante das áreas urbanizadas (MIGUEZ; VERÓL; REZENDE, 2016). Essas estruturas são classificadas por Tucci (2008) como de microdrenagem (sistema a nível de loteamentos ou rede primária urbana), macrodrenagem (sistemas coletores das microdrenagens para áreas de pelo menos 2 km²) e na fonte (escoamento que ocorre no lote individual). Ainda, o autor categoriza de outras duas formas: convencional ou clássico e alternativos ou sustentáveis.

O sistema de drenagem urbana clássico é definido por Miguez; Veról; Rezende (2016) como “o conjunto de elementos interligados em um sistema, destinado a captar as águas pluviais precipitadas sobre uma região, conduzindo-as, de forma segura, a um destino final”. Já os sistemas de drenagem não convencionais são caracterizados como aqueles que se diferem do conceito tradicional de canalização do deflúvio superficial, visando implementar a infiltração na fonte, reter os escoamentos em reservatórios, retardar o fluxo nas calhas dos córregos e rios e proteger áreas mais baixas (CANHOLI, 2005). A mudança atual de paradigma do desenvolvimento urbano, com a busca do alcance da sustentabilidade e melhoria do bem-estar da população, visa a associação o sistema de drenagem clássico com técnicas alternativas de controle de cheias urbanas.

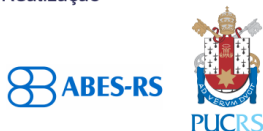
Poços de infiltração são exemplos de técnicas compensatórias em drenagem urbana que visam a infiltração pontual da chuva caída em área limítrofe na camada não saturada e/ou saturada do solo (PARANÁ, 2002). Esses dispositivos ainda não estão difundidos no cenário nacional. Todavia, em países mais desenvolvidos como, por exemplo a França, essa solução de drenagem é empregada desde o século XVIII e muito utilizada até os dias atuais (CASTRO, 2002). Nos Estados Unidos é aplicada em grande escala, como por exemplo em Modesto, na Califórnia, que até o ano de 2005 possuía mais de 11.000 poços instalados no município ou em Millburn, Nova Jersey, que até o ano de 2011 foram estudados, aproximadamente, 1.500 dispositivos ou em Bend, Oregon, que até o ano 2011 foram registrados estudos em mais de 4.580 poços ou, ainda, em Portland, também em Oregon, onde podem ser encontradas 19.000 unidades do método (EDWARDS *et al.*, 2016). Ainda, uma das principais vantagens da utilização dessa técnica é a possibilidade de sua implantação em locais onde não existam redes de drenagem, podendo funcionar de forma independente (QUÉBEC, 2012).

Alguns parâmetros hidrológicos devem ser definidos previamente ao dimensionamento de poços de infiltração, os quais são apresentados por Angelini Sobrinha (2012) como sendo o período de recorrência ou de retorno de chuva, o tempo duração chuva, a intensidade de precipitação no local de implantação do sistema, a área de contribuição, o coeficiente de escoamento superficial, a vazão máxima de projeto e o tempo de funcionamento e descarga da estrutura adotada. Para Lucas *et al.* (2015), uma dificuldade na aplicação de técnicas compensatórias implantadas diretamente no solo é a variabilidade da permeabilidade e das características do local.

Quando avaliado o uso de uma estrutura de drenagem que tem como o princípio principal de funcionamento a infiltração, caracterizar o solo é fundamental para o processo. Para classificar e traçar o perfil do solo onde implantaram um poço de infiltração, Reis; Oliveira; Sales (2008) realizaram análise granulométrica por ensaios de peneiramento e de sedimentação, utilizando amostras retiradas a cada 30 centímetros de profundidade, durante a escavação do poço, resultando na classificação do solo e no seu potencial de colapsabilidade. Já para a avaliação do desempenho de infiltração, os autores realizaram ensaios de permeabilidade em dois dispositivos: o poço de infiltração experimental e um poço escava a trado sem revestimento, afim de comparação, obtendo valores satisfatórios ao final do estudo.

Dessa forma, o objetivo principal desse artigo foi o dimensionamento, implantação e simulação de uma estrutura de poço de infiltração, em escala real, em um loteamento residencial em fase de obras, no município de Caxias do Sul, avaliando seu comportamento. Ainda, foi caracterizado o

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

solo quanto sua composição granulométrica e nível de umidade e estimado o custo de implantação da estrutura para o cenário de 2018 da região estudada.

3. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do estudo foi, primeiramente, delimitada a área de contribuição do poço de infiltração e, então, foram definidos os métodos de cálculo e parâmetros hidrológicos. Dessa forma, foi possível realizar seu dimensionamento seguido de sua implantação e da coleta e ensaio de caracterização do solo local. Então, foram realizados os testes de capacidade e funcionalidade da estrutura e a análise do solo em laboratório. Por fim, os dados coletados durante os ensaios foram digitalizados e analisados.

3.1 Área de estudo

O estudo foi realizado em uma área onde está sendo implantado um loteamento urbano residencial, o qual estava em fase de obras de terraplanagem e abertura de vias durante a implantação e simulações do poço de infiltração.

Esse loteamento está localizado à nordeste do perímetro urbano do município de Caxias do Sul, RS, possuindo acesso principal pela Rodovia BR 453 (Rota do Sol), em uma região de plena expansão. Esse empreendimento compreende uma área total de 457.425,87 m², dos quais, 268.709,75 m² foram reservados para implantação de 577 lotes residenciais e 110.530,20 m² destinados ao sistema viário. Na Figura 1 é possível identificar o perímetro total da área e sua localização em relação ao município de Caxias do Sul.

Figura 1 – Localização da área estudo

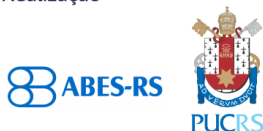


Fonte: adaptado de Google, 2016.

Área de contribuição da estrutura

A área de contribuição do poço de infiltração foi limitada a 1.451,65 m², correspondente à soma das áreas de quatro lotes residenciais localizados ao sul do empreendimento. A soma das testadas dessas unidades totaliza 48,07 m, o que justifica a delimitação da área para dimensionamento, uma vez que, as normas municipais para projetos de drenagem do município de Caxias do Sul regulamentam a distância máxima entre bocas-de-lobo como 50 metros, valor muito próximo ao da soma das testadas.

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

3.2 Métodos de cálculo e parâmetros hidrológicos

Os métodos de cálculo e parâmetros hidrológicos utilizados no estudo foram baseados na bibliografia existente e na normatização atual de Caxias do Sul. Para calcular a vazão de contribuição foi utilizado o Método Racional através da aplicação da Equação (1), sendo “C” o coeficiente de escoamento superficial da bacia hidrográfica, “i” a intensidade média de precipitação sobre toda área da bacia e “A” a área de contribuição do estudo.

$$Q=0,278 \cdot C \cdot i \cdot A \quad (1)$$

O tempo de contenção do dispositivo foi definido como sendo 5 min. Já o coeficiente de escoamento superficial consistiu na diferença entre o coeficiente de um cenário urbanizado (0,6) e do cenário pré urbanização (0,3), assumindo o valor de 0,3 e o tempo ou período de retorno foi de 10 anos. Esses parâmetros foram definidos de acordo com as normas municipais para dispositivos de contenção pluvial atualmente em vigor em Caxias do Sul.

A intensidade de precipitação foi calculada pelo método da curva IDF (Intensidade-Duração-Frequência) através da Equação (2), desenvolvida por Finotti *et al.* (2009) para a Estação de Nova Palmira, posto localizado na Bacia Hidrográfica do Rio Caí, mesma da área de estudo, sendo “Tr” o tempo de retorno e “t” o tempo de concentração.

$$i = \frac{1,13 \cdot 10^3 \cdot Tr^{0,195}}{(t+11,5993)^{0,8071}} \quad (2)$$

Por fim, pode-se calcular o volume de projeto através da multiplicação da vazão calculada pelo tempo de contenção do dispositivo. Com esse valor foi possível determinar as dimensões de base e profundidade da estrutura.

O Poço foi dimensionado com uma área de base pré-definida pela disponibilidade do fabricante de produtos pré-moldados, assumindo forma quadrada com dimensões internas de 2,30x2,30m e paredes de 10 cm de espessura. A profundidade, por sua vez, foi determinada através da divisão do volume de projeto pela área de base da estrutura.

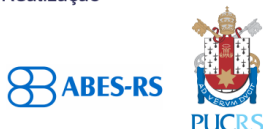
3.3 Implantação

O processo de implantação aconteceu durante 5 dias sendo iniciando com o reconhecimento da área e a demarcação dos vértices do poço e boca-de-lobo, para posterior escavação. No segundo dia foi realizada a abertura da vala com o auxílio de uma retroescavadeira hidráulica. No terceiro dia foi realizada a instalação do Poço, sendo preparada a camada de brita de base e cortada e posicionada a manta geotêxtil sobre o fundo e laterais da vala. Após, a caixa que compunha as paredes laterais e a tampa da estrutura foram posicionadas com auxílio da retroescavadeira hidráulica. Ainda, no mesmo dia, foi realizado o preenchimento lateral com a brita graduada.

No quarto dia de obra, foram posicionadas as chaminés de acesso e boca-de-lobo, com o auxílio da retroescavadeira hidráulica. Nesse dia também foi fixada a tubulação de ligação na boca-de-lobo e na chaminé de acesso, a qual também foi fixada à tampa do poço com argamassa de cimento, areia e cal. Por fim, esperou-se 24 horas até que a fixação da tubulação e da chaminé secassem para então, realizar-se o reaterro da vala. Não foi realizado compactação do solo sobre a estrutura a fim de não diminuir a permeabilidade do solo.

A configuração da implantação em planta do sistema é apresentada na Figura 2. O dispositivo foi implantado próximo ao futuro meio-fio dessa via, possuindo ligação à uma boca-de-lobo

Realização



Correalização



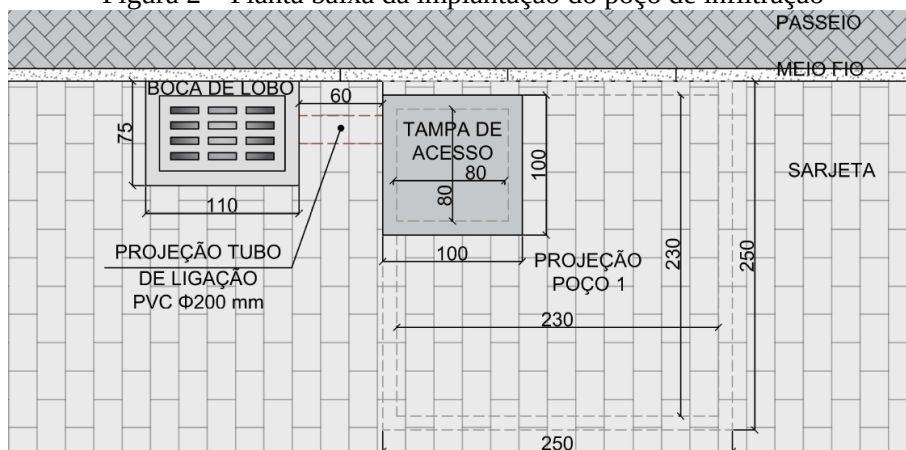
Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



responsável por captar o deflúvio superficial e transferir essa vazão para o poço através de uma tubulação em PVC DN 200.

Figura 2 – Planta baixa da implantação do poço de infiltração



A boca-de-lobo que compõe o sistema possui furação – fechada temporariamente – para futura conexão do poço de infiltração à rede principal de drenagem projetada para o empreendimento, a qual estará posicionada no eixo da via. Essa furação irá receber uma tubulação de concreto que será ligada ao poço de visita e terá como função principal transportar um possível volume que não for capaz de ser detido pelo poço para o sistema clássico de drenagem.

3.4 Custos de implantação do sistema

Para determinar os custos de implantação do sistema foram contabilizados todos os gastos com os materiais que constituíram o poço através dos valores disponibilizados pelos seus fornecedores. Para estimar o valor referente à mão-de-obra e maquinários foi realizada uma avaliação das horas necessárias para a realização dos serviços durante o processo de implantação e tomado os valores das horas técnicas com a empresa prestadora dos serviços.

3.5 Simulação

Os testes das estruturas aconteceram nos dias 9 e 13 de março de 2018. Para ser possível simular vazões de entrada nos poços foi utilizado um caminhão pipa com capacidade de armazenamento de 17.000 L, alimentado por água proveniente de um córrego existente no próprio local do estudo, através de uma bomba de recalque acoplada. A saída do caminhão utilizada nos testes foi a do tubo de ferro da sua traseira, sendo conectado uma mangueira flexível de 3” de diâmetro, cortada no local, com comprimento suficiente para alcançar as entradas das bocas-de-lobo. Dessa forma, retirou-se a grelha das tampas das caixas coletoras e a vazão foi aplicada diretamente nesse dispositivo, sendo transportada para o poço de infiltração pela tubulação de ligação de PVC DN 200.

Cenários simulados

Foram realizadas 5 cinco diferentes simulações, conforme descrição apresentada na Tabela 1. Nos primeiros 3 três testes o poço foi enchido e esvaziado afim de simular a saturação do solo ocorrida por chuvas consecutivas. Esse procedimento foi similar ao apresentado pela NBR 7229 (ABNT, 1993) e sugerido por Reis; Oliveira; Sales (2005) e Carvalho (2008) para esse fim. Então, no quarto teste foi simulada uma chuva sem o esvaziamento total da estrutura, a fim de testar eventos de chuvas



consecutivas, e por fim, a aplicação da vazão durante o tempo necessário para o transbordamento do sistema, com o solo em seu cenário mais desfavorável – já tendo recebido quatro outras chuvas.

Tabela 1 – Descrição das simulações realizadas no Poço

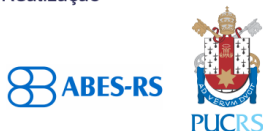
Simulação	Situação do solo no início do ensaio	Situação do poço no início do ensaio	Objetivo do teste	Parâmetros monitorados
Teste 1	Seco (nenhum ensaio realizado)	Vazio	- Monitorar o tempo de enchimento e esvaziamento totais da estrutura; - Capacidade de armazenamento.	- Vazão de entrada; - Tempo de enchimento; - Tempo de esvaziamento; - Taxa de infiltração em intervalos de 1 minuto.
Teste 2	Parcialmente úmido (1 ensaio realizado)	Vazio	- Monitorar o tempo de enchimento e esvaziamento totais da estrutura; - Capacidade de armazenamento.	- Vazão de entrada; - Tempo de enchimento; - Tempo de esvaziamento; - Taxa de infiltração em intervalos de 1 minuto.
Teste 3	Parcialmente encharcado (2 ensaios já realizados)	Vazio	- Monitorar o tempo de enchimento total; - Monitorar o tempo de esvaziamento parcial; - Capacidade de armazenamento; - Preparar o nível d'água para o próximo ensaio.	- Vazão de entrada; - Tempo de enchimento; - Tempo de esvaziamento parcial; - Taxa de infiltração em intervalos de 1 minuto.
Teste 4	Encharcado (3 ensaios já realizados)	Parcialmente cheio	- Monitorar o tempo de enchimento total do poço parcialmente cheio; - Monitorar o tempo de esvaziamento total; - Capacidade de armazenamento da estrutura simulando chuvas consecutivas.	- Vazão de entrada; - Tempo de enchimento; - Tempo de esvaziamento; - Taxa de infiltração em intervalos de 1 minuto.
Teste 5	Encharcado (4 ensaios já realizados)	Vazio	- Monitorar o tempo de enchimento até o transbordamento da estrutura; - Monitorar o tempo de esvaziamento total; - Capacidade máxima da estrutura com o solo no cenário mais crítico.	- Vazão de entrada; - Tempo de enchimento até transbordamento; - Tempo de esvaziamento completo; - Taxa de infiltração em intervalos de 1 minuto.

Os cinco testes foram repetidos três dias após o primeiro dia de simulações afim de avaliar se houveram variações significativas em algum dos monitoramentos e para garantir a confiabilidade dos resultados. Ainda, no segundo dia, o Teste 5 foi realizado duas vezes pois houve a possibilidade de executar a repetição, trazendo uma complementação para os resultados desse ensaio. Os dias nos quais foram executadas as simulações possuíram condições climáticas semelhantes, não havendo relatos de precipitações por pelo menos 48 horas antes do início dos testes.

Monitoramento

Os testes realizados visaram avaliar o tempo de enchimento e esvaziamento da estrutura com a aplicação de uma vazão constante, através do monitoramento da variação da lâmina d'água em seu interior durante processo de esvaziamento. As medições foram possíveis pela chaminé de acesso, de forma visual, com o auxílio de uma trena graduada rígida, cronômetro e formulário para registro do

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



rebaixamento do nível d'água desenvolvido para esse estudo. Em todos os testes foram monitorados tanto o tempo necessário para seu enchimento e/ou transbordamento, quanto a variação da lâmina d'água, em intervalos de 1 em 1 minuto, durante o total esvaziamento ou, no caso do Teste 3, até seu esvaziamento parcial.

3.6 Caracterização do solo local

Para realizar a caracterização do solo no qual foi implantado o poço de infiltração foram coletadas amostras no primeiro dia da realização dos ensaios, a cada 30 centímetros até uma profundidade de 360 centímetros, totalizando 12 camadas. Essas amostras foram levadas ao laboratório onde uma parte foi submetida imediatamente ao ensaio de umidade por secagem em estufa, conforme NBR 6457 (ABNT, 2016) e o restante preparado de acordo com orientações da mesma normatização. Depois de secas as amostras foram submetidas à análise granulométrica por peneiramento conforme etapas apresentadas pela NBR 7181 (ABNT, 2016). Os ensaios possibilitaram classificar o solo, de acordo com a NBR 6502 (ABNT, 1995), como sendo constituído, em sua maioria, por partículas de pedregulhos e areias grossas. O perfil resultante dos ensaios de umidade e peneiramento é apresentado na Figura 3.

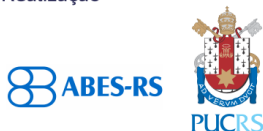
Figura 3 – Perfil do solo no qual foi implantado a estrutura

MEIO FIO	0,00	AREIAS			PEDREGULHO	ARGILAS E SILTES	UMIDADE	
		Fina	Média	Grossa			Natural	Higroscópica
155	C1: 30 cm	9%	8%	11%	68%	5%	19,47%	3,07%
	C2: 60 cm	9%	8%	12%	66%	5%	22,62%	4,90%
	C3: 90 cm	10%	9%	14%	62%	5%	23,23%	5,16%
	C4: 120 cm	12%	10%	16%	56%	6%	22,38%	3,30%
264	C5: 150 cm	9%	9%	16%	62%	4%	20,87%	10,18%
	C6: 180 cm	9%	10%	19%	57%	5%	22,44%	10,58%
	C7: 210 cm	9%	8%	16%	63%	4%	18,79%	9,07%
	C8: 240 cm	11%	9%	16%	58%	6%	18,52%	7,46%
10	C9: 260 cm	8%	7%	16%	65%	5%	20,89%	7,97%
	C10: 290 cm	5%	4%	7%	80%	3%	19,75%	10,49%
	C11: 320 cm	12%	9%	14%	57%	7%	19,61%	9,95%
	C12: 360 cm	14%	8%	9%	61%	8%	16,28%	6,92%

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Apresenta-se a seguir os resultados obtidos no desenvolvimento desse trabalho. Foram apresentadas as dimensões adotadas para a estrutura, os custos de implantação do sistema, sua capacidade máxima de armazenamento e tempo necessário para esvaziamento total.

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375

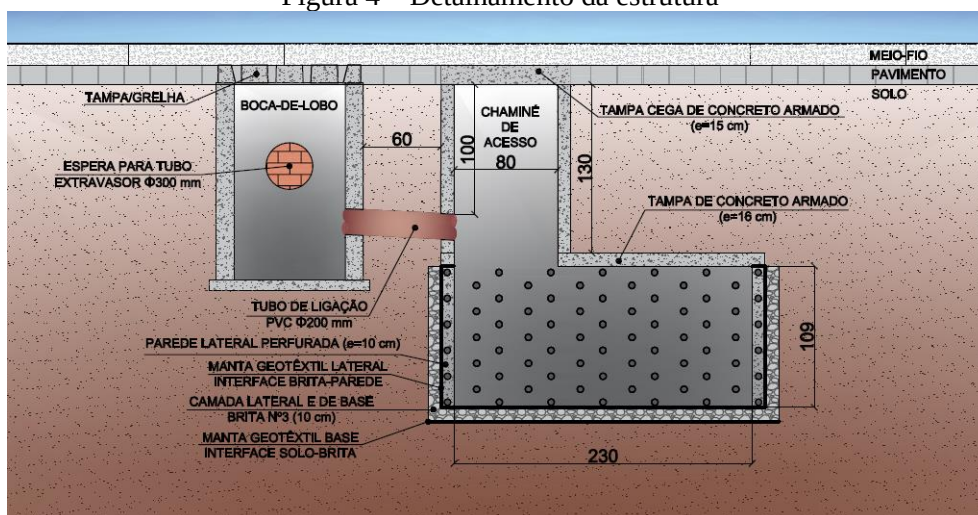


4.1 Dimensões e características do sistema

O sistema foi composto por uma boca-de-lobo de paredes em concreto pré-moldado com espessura de 10 cm, dimensões internas de 90 x 55 cm e profundidade de 174 cm, conectada ao poço por uma tubulação de PVC DN 200. O poço de infiltração propriamente dito, foi composto por paredes perfuradas de concreto pré-moldadas com 10 cm de espessura, uma tampa de 16 cm de espessura também em concreto pré-moldados, com espera para encaixe da chaminé de acesso que, por sua vez, possuiu dimensões internas de 80 x 80 cm, profundidade de 130 cm e paredes de concreto armado pré-moldado de 10 cm de espessura.

As dimensões internas do poço de infiltração, pré-dimensionadas para suportar o volume de projeto, assumiram os valores de base de 2,30 x 2,30 m e profundidade de 1,09 m, sendo capaz de deter 5,78 m³ durante 5 min de precipitação com intensidade de 158,99 m³.s⁻¹.ha⁻¹. A Figura 4 apresenta o detalhamento da estrutura com as dimensões adotadas para implantação.

Figura 4 – Detalhamento da estrutura



4.2 Avaliação da capacidade de retenção do dispositivo

Para identificar a capacidade máxima de retenção do poço foi analisado o tempo de enchimento de cada teste realizado. Dos Testes 1 ao 4 não foram aplicados os volumes máximos até o transbordamento do sistema, já nos testes 5 e 5.1 a vazão foi aplicada até a identificação do transbordamento, a fim de determinar sua capacidade máxima. Todavia, no primeiro dia de teste, a vazão foi aplicada somente até o cobrimento do tubo de ligação no interior do poço e no segundo dia a vazão foi aplicada até que o nível d'água no interior da boca-de-lobo atingisse o tubo extravasor que liga o sistema à rede principal – momento propriamente dito no qual a estrutura entra em estado de transbordamento.

Na Figura 5 são apresentados os volumes suportados durante cada um dos testes realizados, em ambos os dias, com os tempos de duração da simulação. Percebe-se que a capacidade de retenção foi diminuindo conforme foram sendo aplicadas as vazões e, também, apresentou uma pequena redução no segundo dia de ensaios. Todavia, avaliando o Teste 3, quando a estrutura já havia recebido dois enchimentos e esvaziamentos, percebeu-se que o poço foi capaz de suportar um volume superior ao dimensionado em ambos os dias.

No Teste 4 simulou-se o comportamento da estrutura quando um possível evento de precipitação intensa acontecesse antes de seu esvaziamento completo. Adotou-se, tanto no primeiro,



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

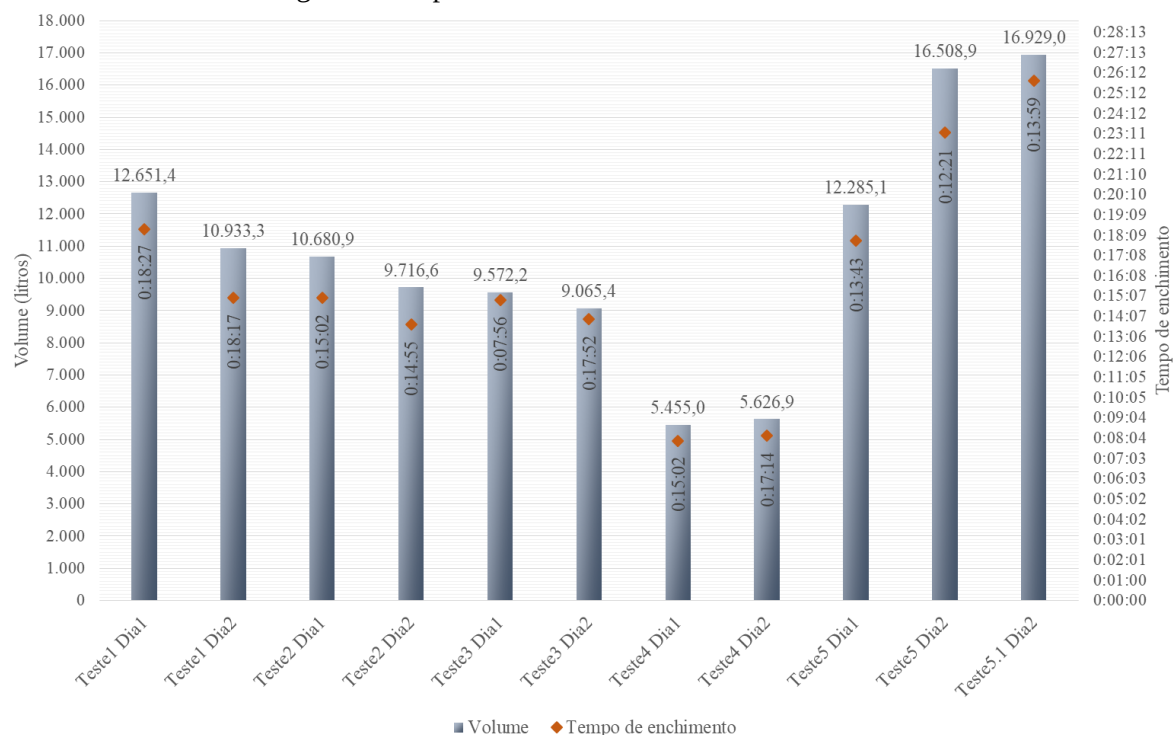
02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

quanto no segundo dia, o nível d'água inicial de 43 cm, ou seja, a estrutura ainda estava armazenando um volume de 2.274,7 L quando aplicada a nova vazão. Dessa forma, a estrutura suportou, em simulações de eventos de chuvas consecutivas, o volume total de 7.729,7 L no primeiro dia e 7.901,6 L no segundo dia de ensaios.

Figura 5 – Capacidade de armazenamento da estrutura

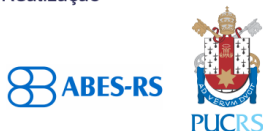


No segundo dia, quando realizado o Teste 5 e 5.1, o volume suportado pelo poço, até atingir o nível do tubo extravasor que ligava a boca-de-lobo à tubulação principal, foi superior ao volume do tanque do caminhão pipa, ou seja, os testes foram interrompidos quando terminada a água do tanque do caminhão. Por essa razão não foi possível determinar qual era o volume máximo suportado pelo poço, todavia identificou-se que esse valor seria próximo aos 17.000 L, pois o sistema estava próximo a atingir o estado de transbordamento.

4.3 Taxa de esvaziamento

A taxa de esvaziamento da estrutura foi traçada através dos dados coletados do rebaixamento do nível d'água em seu interior, no intervalo de tempo de um em um minuto. O Poço apresentou perfis de esvaziamento muito semelhantes em ambos os dias de testes, conforme apresentado na Figura 6 para o primeiro dia e na Figura 7 para o segundo dia. Quando realizado o Teste 5, pior cenário para o solo, a permeabilidade da estrutura mostrou-se capaz de infiltrar o volume de 12,29 m³ no intervalo de 50 min, no primeiro dia e de 16,93 m³ no intervalo de 51 min, no segundo dia de ensaios. Esses valores podem ser considerados bastante expressivos quando comparados com o estudo realizado por Reis; Oliveira; Sales (2008), por exemplo, que obtiveram o valor de 1,70 m³ sendo infiltrados no intervalo de tempo de 50 min por sua estrutura de teste. Todavia, o estudo desses autores foi realizado em um poço com dimensões menores que as aplicadas para o presente trabalho e um formato distinto, possuindo forma cilíndrica, com 1,10 m de diâmetro interno e 1,30 m de profundidade, totalizando um volume de armazenamento de 1,23 m³, aproximadamente 5 vezes menor que a do poço estudado.

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

Figura 6 – Esvaziamento da estrutura no dia 1

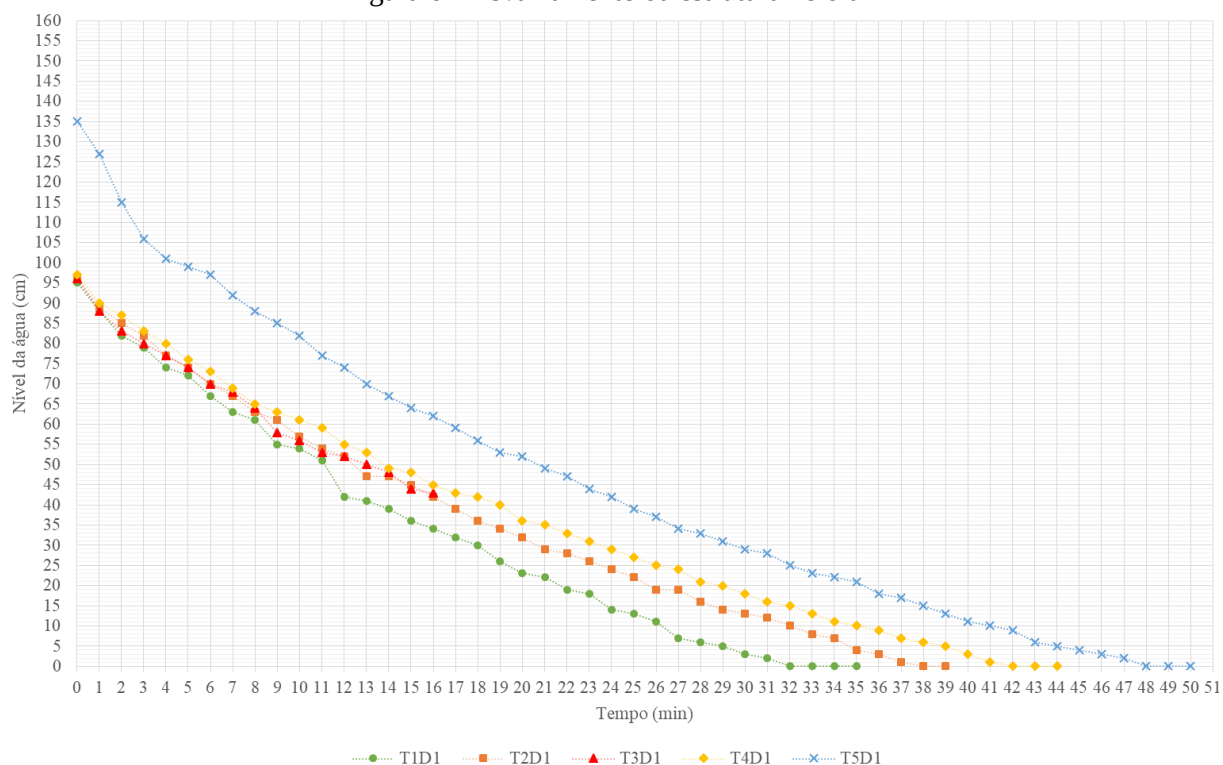
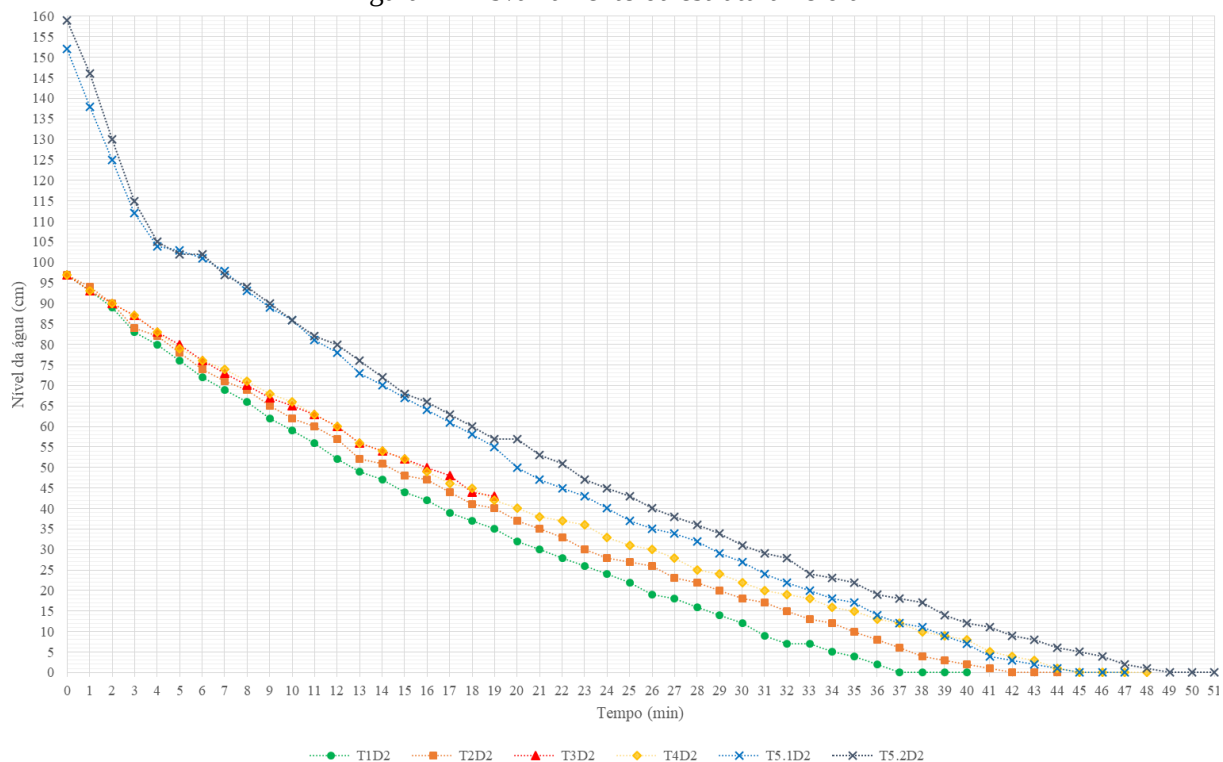
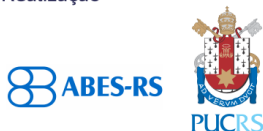


Figura 7 – Esvaziamento da estrutura no dia 2



Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



4.4 Avaliação do sistema

Na fase de simulação não foi possível atingir a vazão de projeto de 19 L.s^{-1} pois a bomba acoplada ao caminhão pipa utilizado no teste não possuía potência suficiente para tanto. Para que os resultados do trabalho pudessem ser interpretados de forma a atenderem a vazão média atingida pelo caminhão, de 12 L.s^{-1} , foram definidos 3 cenários que garantiram as dimensões da estrutura implantada, alterando o tempo de retorno da chuva ou a área de contribuição do sistema ou, ainda, ambos os parâmetros. Na Tabela 2 são apresentados os valores que sofreram alteração nos três cenários e, também, os valores utilizados no projeto de dimensionamento das estruturas, chamado na tabela de Cenário Base.

Tabela 2 – Cenários de ajustes dos parâmetros adotados no dimensionamento

Cenários	Tr (anos)	Área de Contribuição (m^2)	Intensidade ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}.$ ha $^{-1}$)	Tempo de Detenção (min)	Vazão (L.s^{-1})	Volume (m^3)
Base	10	1.451,65	158,99	5	19,2	5,78
C1	1,2	1.451,65	99,41	8	12,0	5,78
C2	2	1.295,00	111,32	8	12,0	5,78
C3	10	905,00	158,99	8	12,0	5,78

Nos três cenários apresentados foi necessário fixar o tempo de detenção ou funcionamento da estrutura em 8 min, o qual havia sido definido em projeto como sendo 5 min. O Cenário 1 (C1) propõe a mudança apenas do tempo de retorno da chuva, este passando de 10 anos para 1,2 anos. Já no Cenário 2 (C2) é proposta a interpretação dos dados para um tempo de retorno de 2 anos, sendo necessária também a redução de $156,65 \text{ m}^2$ da área de contribuição. Entende-se que esse tempo de retorno é aceitável para as estruturas, uma vez que, o PDDU do município indica, para obras de microdrenagem, o tempo de retorno de 2 anos. Como os poços de infiltração foram dimensionados para áreas menores que 2 km^2 , como indicado por Tucci (2008), podem ser consideradas obras de microdrenagem. O Cenário 3 (C3), por sua vez, mantém o tempo de retorno pré-definido em projeto reduzindo apenas a área de contribuição da estrutura. Todavia, essa redução acontece de forma muito mais expressiva que no C2, assumindo uma diferença do Cenário Base de $546,65 \text{ m}^2$.

Dessa forma, apesar dos resultados do trabalho poderem ser interpretados para os três cenários identificados, assume-se que o C2 é o mais próximo ao proposto inicialmente, necessitando de uma pequena redução na área de contribuição da estrutura e atendendo ao valor indicado pelo PDDU de Caxias do Sul para o tempo de retorno de obras de drenagem do porte de poço de infiltração. Por essa razão, as interpretações dos resultados desse trabalho foram realizadas com base nos valores definidos pelo C2.

De acordo com o pré-dimensionamento, o poço deveria deter $5,78 \text{ m}^3$ em 8 min de precipitação de intensidade de $111,32 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}.\text{ha}^{-1}$, equivalente a uma vazão média de 12 L.s^{-1} . Quando simulada a chuva de projeto pela terceira vez, identificou-se que a estrutura era capaz de suportar um volume 65,74% superior ao dimensionado no primeiro dia e 56,92% superior na repetição do ensaio. Isso se deu porque enquanto a vazão era aplicada no dispositivo, além do volume de detenção útil no seu interior, a água ia infiltrando no solo, sendo possível, consequentemente a aplicação de um tempo de chuva maior.

Ainda, pode-se perceber que mesmo com a simulação de chuvas consecutivas de projeto realizadas pelos Testes 4, o Poço apresentou um comportamento positivo quanto ao armazenamento e infiltração, sendo capaz de deter, além do volume de $2,27 \text{ m}^3$ ainda presente em seu interior, um volume de $5,45 \text{ m}^3$ no primeiro dia e $5,63 \text{ m}^3$ no segundo dia de testes. Apesar do fato da estrutura ter suportado um volume um pouco menor que o de pré-dimensionamento, ainda possuía capacidade de armazenamento e funcionamento pois não havia atingido estado de transbordamento, como nos Testes



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

5 e 5.1. Por esse motivo, supõe-se que mesmo em eventos onde ocorram precipitações intensas em intervalos de tempo curtos, o sistema seria capaz de deter o volume estipulado em projeto.

Além do resultado positivo quanto ao volume capaz de deter em um determinado período de precipitação intensa, o Poço mostrou-se bastante eficaz quanto ao tempo necessário para esvaziamento completo. Em média, a estrutura levou 40 min para esvaziar totalmente durante as simulações realizadas.

4.5 Custos de implantação

Na Tabela 3 são apresentados os quantitativos e custos de materiais e serviços para a estrutura implantada com os valores unitários e totais de cada item. Como as bocas-de-lobo já fazem parte do sistema tradicional de drenagem adotado no empreendimento, seu custo não foi contabilizado.

Não foram encontradas composições de custos referentes à implantação de poços de infiltração no cenário brasileiro, por isso, acredita-se que os valores apresentados nesse trabalho serão de grande importância quanto à avaliação do custo-benefício da utilização dessa técnica. Todavia, para utilização desses valores em outros estudos, deve-se levar em consideração as variações referentes à região ao qual será implantado e o seu volume de detenção pré-dimensionado.

A estrutura com as características e dimensões definidas no projeto de dimensionamento desse trabalho custou o valor total de R\$ 3.730,57 para ser implantada, ou ainda, R\$ 645,43 por metro cúbico de volume útil de armazenamento. Acredita-se que a avaliação da viabilidade financeira da implantação de poços de infiltração deve levar em conta a possível diminuição das tubulações principais da rede de drenagem clássica, sendo esse o maior ganho em questão de custos da utilização dessa técnica.

Tabela 3 – Quantitativo e custos de materiais e serviços

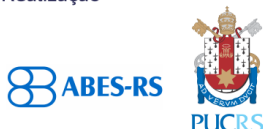
Descrição	Quantidade	Unidade	Custo Unitário	Custo Total
Estrutura de concreto pré moldado perfurado com tampa	1	pç.	R\$ 2.100,00	R\$ 2.100,00
Chaminé de acesso	1	pç.	R\$ 450,00	R\$ 450,00
Tubulação de ligação	0,60	m	R\$ 58,50	R\$ 35,10
Brita nº 3	1,86	m³	R\$ 38,70	R\$ 72,08
Manta Geotêxtil	26,94	m²	R\$ 4,58	R\$ 123,39
Mão de obra e maquinário	5	horas	R\$ 190,00	R\$ 950,00
Custo total para implantação de 1 unidade: R\$ 3.730,57				

5. CONCLUSÕES

O uso de técnicas não convencionais no controle de cheias é de grande eficácia na diminuição dos impactos causados ao meio ambiente e a população, além de, muitas vezes, serem opções com custo acessível ao empreendedor (HOLZ; TASSI, 2007). Para Tucci (2016) o custo para correção de impactos causados após a urbanização é muito elevado comparado ao custo do planejamento e implantação de técnicas para controle de cheias na concepção de novos empreendimentos. Pode-se dizer que o estudo preliminar da área, associado à escolha do sistema de drenagem mais adequado para captar, conter e transportar as águas pluviais precipitadas em determinado local, podem reduzir os custos investidos pelo poder público em reparos no sistema, da população com perdas originadas por inundações, além de proporcionar uma melhoria na qualidade de vida e uma diminuição dos riscos causados à saúde por águas contaminadas.

O poço de infiltração desse estudo foi dimensionado a fim de deter a vazão proveniente de quatro lotes residências, totalizando uma área de contribuição de 1.451,65 m², de um loteamento em fase de obras, localizado no município de Caxias do Sul. Para essas características, as dimensões da estrutura foram definidas como 2,30 x 2,30 m de base e 1,09 m de profundidade, sendo capaz de deter

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

5,78 m³ de uma chuva de projeto com intensidade de 111,32 m³.s⁻¹.ha⁻¹ com um tempo de duração de 8 min. Os custos avaliados sua implantação totalizaram R\$ 3.730,57, ou ainda, R\$ 645,43 por metro cúbico de volume útil.

Após dois dias de simulações, sendo realizados cinco testes cada dia, pode-se concluir que o poço de infiltração dimensionado foi capaz de deter e infiltrar uma precipitação 65,74% a cima de sua capacidade de projeto no Dia 1 e 59,92% superior no Dia 2. Ainda, seu esvaziamento ocorreu de forma bastante eficiente, mesmo após serem realizados testes anteriores, levando de 35 a 51 min para esvaziar completamente.

Por fim, admite-se que, para regiões com tipologia de solo e clima semelhantes ao do local estudado, o poço de infiltração se mostrou como uma boa alternativa de técnica para controle e prevenção de cheias urbanas. Ainda, é importante ressaltar que para outros tipos de solos ou outras condições de precipitação, a estrutura deve ser reavaliada e redimensionada para garantir sua efetividade.

REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6457**: amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 7181**: solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 6502**: rochas e solos. Rio de Janeiro, 1995.

_____. **NBR 7229**: projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro, 1993.

ANGELINI SOBRINHA, L. A. **Monitoramento e modelagem de um poço de infiltração de águas pluviais em escala real e com filtro na tampa**. 2012. 149 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2012.

CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. 302 p.

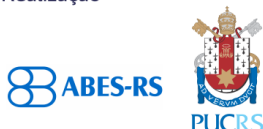
CASTRO, L. M. A. **Proposição de indicadores para a avaliação de sistemas de drenagem urbana**. 2002. 133 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2002.

CARVALHO, E. T. L. **Avaliação de elementos de infiltração de águas pluviais na Zona Norte da cidade de Goiânia**. 2008. 222 p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia e Construção Civil). Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2008.

EDWARDS, E. C.; HARTER, T.; FOGG, G. E.; WASHBURN, B.; HAMAD, H. Assessing the effectiveness of drywells as tools for stormwater management and aquifer recharge and their groundwater contamination potential. **Journal of Hydrology**, v. 539, p. 539-553, jun. 2016.

FINOTTI, A. R.; SILVA, M. A.; CEMIN, G.; SCALCO, F.A. Curvas IDF para Caxias do Sul e região. In: ENCONTRO DE JOVENS PESQUISADORES DA UCS, 18., 2009, Caxias do Sul. **Anais...** Caxias do Sul: UCS, 2009.

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

GOOGLE. Google Earth. Versão Pro. 2017. **Imagem de satélite do município de Caxias do Sul.** 2016.

HOLZ, J.; TASSI, R. Usando estruturas não convencionais em grandes áreas: o caso do Loteamento de Monte Bello. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17., 2007, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2007. p. 1-19.

LUCAS, A. H.; ANGELINA SOBRINHA; L.; MORUZZI, R. B.; BARBASSA, A. P. **Avaliação da construção e operação de técnicas compensatórias de drenagem urbana: o transporte de finos, a capacidade de infiltração, a taxa de infiltração real do solo e a permeabilidade da manta geotêxtil.** Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 20, n. 1, p. 17-28, jan./mar. 2015.

MIGUEZ, M. G.; VERÓL, A. P.; REZENDE, O. M. **Drenagem urbana: do projeto tradicional à sustentabilidade.** 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016. 366 p.

PARANÁ. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos/Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (SUDERHSA). **Manual de Drenagem Urbana: Região Metropolitana de Curitiba-PR.** 2002.

QUÉBEC. Ministère du Développement Durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs/Ministère des Affaires Municipales, des Régions et de l'Occupation du Territoire (MDDEFP/MAMROT). **Guide de gestion des eaux pluviales.** 2012. 386 p.

REIS, R. P. A.; OLIVEIRA, L. H. de; SALES, M. M. IX-13 – Proposição de parâmetros de dimensionamento e avaliação de poço de infiltração de água pluvial. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23., 2005, Campo Grande. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005. p. 1-9.

_____. 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.

REZENDE, O. M.; MIGUEZ, M. G.; VERÓL, A. P. Manejo de águas urbanas e sua relação com o desenvolvimento urbano em bases sustentáveis integradas – Estudo de caso dos Rios Pilar-Calombé, em Duque de Caxias/RJ. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, n. 2, p. 149-163, abr./jun. 2013.

TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 97-112, 2008.

_____. Regulamentação da drenagem urbana no Brasil. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, Porto Alegre, v. 13, n. 1, p. 29-42, jan./jun. 2016.

VILLANUEVA, A. O. N.; TASSI, R.; ALLASIA, D. G.; BEMFICA, D.; TUCCI, C. Gestão da drenagem urbana, da formulação à implementação. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, Porto Alegre, v. 8, n. 1, p. 5-18, jan./jun. 2011.

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375