



UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
ÁREA DO CONHECIMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
E CIÊNCIAS AMBIENTAIS

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE DOIS POÇOS DE INFILTRAÇÃO COM
CARACTERÍSTICAS DISTINTAS COMO MEDIDA DE CONTENÇÃO DE
DRENAGEM URBANA NA FONTE

FLAVIA MANICA SIVIERO

Caxias do Sul

2018

FLAVIA MANICA SIVIERO

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE DOIS POÇOS DE INFILTRAÇÃO COM
CARACTERÍSTICAS DISTINTAS COMO MEDIDA DE CONTENÇÃO DE
DRENAGEM URBANA NA FONTE**

Dissertação apresentada no Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais da Universidade de Caxias do Sul, como requisito parcial para a obtenção de grau de mestre em Engenharia e Ciências Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Geraldo Antônio Reichert

Caxias do Sul

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Universidade de Caxias do Sul
UCS - BICE - Processamento Técnico

S624a Siviero, Flavia Manica, 1987-
Avaliação do desempenho de dois poços de infiltração com características distintas como medida de contenção de drenagem urbana na fonte / Flavia Manica Siviero. – 2018.
164 f. : il ; 30 cm

Apresenta bibliografia.
Dissertação (Mestrado) – Universidade de Caxias do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais, 2018.
Orientação: Prof. Dr. Geraldo Antônio Reichert.

1. Poços. 2. Drenagem. 3. Solos - Permeabilidade. I. Reichert, Geraldo Antônio, orient. II. Título.

CDU 2. ed.: 628.112.3

Índice para o catálogo sistemático:

1. Poços	628.112.3
2. Drenagem	626.863
3. Solos - Permeabilidade	631.432.3

Catalogação na fonte elaborada pela bibliotecária
Ana Guimarães Pereira – CRB 10/1460

“AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE DOIS POÇOS DE INFILTRAÇÃO COM CARACTERÍSTICAS DISTINTAS COMO MEDIDA DE CONTENÇÃO DE DRENAGEM URBANA NA FONTE.”

Flávia Manica Siviero

Dissertação de Mestrado submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais da Universidade de Caxias do Sul, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciências Ambientais, Área de Concentração: Gestão e Tecnologia Ambiental.

Caxias do Sul, 07 de junho de 2018.

Banca Examinadora:

Dr. Geraldo Antônio Reichert
Orientador
Universidade de Caxias do Sul

Dr. André Luiz Lopes da Silveira
Universidade Federal Rio Grande Do Sul

Dr. Juliano Rodrigues Gimenez
Universidade de Caxias do Sul

Dr. Tiago Luis Gomes
Faculdade Dom Bosco

Dedico esse trabalho a todos que buscam um desenvolvimento urbano sustentável, pensando na melhoria da qualidade do bem-estar social e na preservação do meio ambiente.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os colegas, mestres e profissionais que estiveram ao meu lado e me auxiliaram durante o desenvolvimento deste projeto, em especial ao meu orientador Prof. Dr. Geraldo Antônio Reichert, que se fez indispensável durante todo o processo.

Agradeço à empresa AM Pré-Moldados e à Siviero Empreendimentos Imobiliários, que acreditaram e apoiaram este estudo, fornecendo o material e a mão de obra necessárias para a implantação das estruturas avaliadas.

Em especial, agradeço ao meu marido, companheiro e amigo Luís, que esteve ao meu lado durante todo o processo, acreditando em mim, mesmo nos momentos em que tudo parecia estar dando errado.

Por fim, agradeço aos meus pais, que sempre se esforçaram e priorizaram a minha educação para que eu pudesse chegar até aqui.

RESUMO

O avanço do perímetro urbano traz desafios para técnicos e gestores, a fim de que o novo cenário possua características mais próximas ao natural, garantindo que as águas pluviais não causem danos ambientais, sociais e econômicos. Nesse contexto, esse trabalho procurou avaliar a técnica compensatória de infiltração de drenagem na fonte, implantando dois poços de infiltração, com características distintas, ambos com volume útil de 5,78 m³, em uma área de um futuro loteamento residencial, no município de Caxias do Sul, RS. O Poço 1 foi composto por paredes de concreto armado pré-moldadas e perfuradas e o Poço 2 foi escavado e preenchido com brita graduada nº 3. Os sistemas foram testados e monitorados através de testes de vazões reais, demonstrando que possuíam capacidade acima da estipulada em projeto, sendo o Poço 1 capaz de conter um volume 2,9 vezes superior ao dimensionado e o Poço 2 um volume 1,5 maior que o de projeto. O Poço 2 demonstrou eficiência de esvaziamento inferior ao do Poço 1, quando submetidos a volumes semelhantes, levando 3 h 48 min para esvaziar até o nível d'água de 32 cm, enquanto o Poço 1 esvaziou completamente em 50 min. Ainda, foram avaliados os custos de implantação dos sistemas, sendo o Poço 2, 40,8 % mais econômico que o Poço 1. Para locais com características semelhantes às do avaliado, concluiu-se que poços de infiltração são boas alternativas para controle e prevenção de cheias urbanas.

Palavras-chave: Poço de infiltração. Controle de cheias urbanas. Técnicas compensatórias. Infiltração na fonte.

ABSTRACT

The advancement of the urban perimeter brings challenges for technicians and managers so that the new scenario has characteristics closer to the natural, ensuring that rainwater does not cause environmental, social and economic damages. In this context, this work sought to evaluate the compensatory technique of drainage infiltration at the source, implanting two soakaway pits, with distinct characteristics, both with an usable volume of 5.78 m³, in an area of an upcoming residential land division, in the municipality of Caxias do Sul, RS. Pit 1 was composed of preformed and perforated reinforced concrete walls and Pit 2 was excavated and filled with gravel graduated. The systems were tested and monitored through flow simulations, demonstrating that they had capacity above the one stipulated in the project, being Pit 1 capable of containing a volume 2.9 times greater than dimensioned and Pit 2 a volume 1.5 greater than the one projected. Pit 2 showed lower emptying efficiency than Pit 1 when subjected to similar volumes, taking 3 h 48 min to empty to 32 cm water level, while Pit 1 completely emptied in 50 min. Also, the costs of implementing the systems were evaluated, with Pit 2 being 40.8 % more economical than Pit 1. Finally, it was concluded that soakaway pits are good alternatives for the control and prevention of urban floods, for sites with characteristics similar to those of the evaluated one.

Keywords: Soakaway pit. Urban flood control. Compensatory technique. Source infiltration.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Municípios brasileiros que sofreram alagamentos e erosão entre 2009 e 2013	22
Figura 2 – Esquema representativo dos efeitos da urbanização	24
Figura 3 – Representação de um sistema de drenagem clássico posicionado no eixo da via ..	28
Figura 4 – Representação de hidrograma de projeto genérico contendo cenário de pré e pós urbanização e com medida de compensação.....	29
Figura 5 – Representação de um poço de infiltração de águas pluviais não preenchido	35
Figura 6 – Representação de um poço de infiltração em nível de lote.....	36
Figura 7 – Localização de Caxias do Sul em relação ao Brasil e ao Rio Grande do Sul	51
Figura 8 – Representação do município de Caxias do Sul em relação às Bacias Hidrográficas dos Rios Taquari-Antas e do Rio Caí.....	52
Figura 9 – Localização do objeto de estudo	56
Figura 10 – Sistema de drenagem do empreendimento estudado	57
Figura 11 – Etapas realizadas no desenvolvimento do trabalho.....	58
Figura 12 – Delimitação da área para dimensionamento dos poços de infiltração	60
Figura 13 – Localização dos postos pluviométricos estudados.....	62
Figura 14 – Localização dos poços de infiltração	66
Figura 15 – Estaqueamento para abertura de valas	66
Figura 16 – Planta baixa de representação do Poço 1	67
Figura 17 – Detalhes construtivos do Poço 1	67
Figura 18 – Planta baixa de representação do Poço 2	68
Figura 19 – Detalhes construtivos do Poço 2	68
Figura 20 – Detalhe das chaminés de acesso.....	70
Figura 21 – Detalhes das paredes laterais perfuradas e tampa do Poço 1	70
Figura 22 – Características da tampa em grelha para boca-de-lobo padrão SMOSP.....	71
Figura 23 – Detalhamento construtivo das bocas-de-lobo	72
Figura 24 – Fotos das bocas-de-lobo ou caixa coletoras e das tampas em grelha.....	72
Figura 25 – Manta geotêxtil.....	73
Figura 26 – Tubo de PVC perfurado para monitoramento do nível da água do Poço 2.....	74
Figura 27 – Tubo de PVC DN 200 para ligação entre caixa coletora e chaminé de acesso.....	74
Figura 28 – Processo de implantação dos poços de infiltração	76
Figura 29 – Detalhes do processo de implantação do Poço 1	77
Figura 30 – Imagens dos poços após reaterro	77

Figura 31 – Imagens dos testes de medição de vazão e equipamentos utilizados.....	79
Figura 32 – Imagens do interior dos poços durante monitoramento	80
Figura 33 – Processo de preparação das amostras para ensaio de peneiramento	84
Figura 34 – Materiais retidos.....	85
Figura 35 – Umidade do solo local no primeiro dia de ensaios por camada.....	89
Figura 36 – Curva granulométrica das camadas do solo local	90
Figura 37 – Perfil do solo local	91
Figura 38 – Capacidade de retenção dos Poços 1 e 2	92
Figura 39 – Perfil de esvaziamento do Poço 1 no Dia 1.....	94
Figura 40 – Perfil de esvaziamento do Poço 1 no Dia 2.....	94
Figura 41 – Perfil de esvaziamento do Poço 2 nos Dias 1 e 2.....	95
Figura 42 – Perfil de esvaziamento dos Poços 1 e 2 nos Dias 1 e 2.....	97

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Definição do porte das bacias hidrográficas urbanas	26
Tabela 2 – Método de determinação de vazão de projeto em função da área da bacia	26
Tabela 3 – Valores usuais para tempo de retorno de diferentes ocupações	44
Tabela 4 – Valores recomendados para o coeficiente de escoamento superficial	47
Tabela 5 – Área de contribuição definida para dimensionamento dos poços de infiltração	59
Tabela 6 – Equações existentes para intensidade de precipitação para Caxias do Sul.....	61
Tabela 7 – Diâmetros para tubo vertedor de acordo com a vazão de projeto.....	64
Tabela 8 – Resumo do dimensionamento das estruturas	65
Tabela 9 – Ajuste dos parâmetros adotados no dimensionamento	87
Tabela 10 – Comportamento do Poço 1 durante testes	98
Tabela 11 – Comportamento do Poço 2 durante testes	99
Tabela 12 – Quantitativo e custos de materiais e serviços para cada estrutura	101

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Caracterização das medidas de controle não estruturais	31
Quadro 2 – Caracterização das medidas de controle estruturais	32
Quadro 3 – Resumo de técnicas de medidas de controle	34
Quadro 4 – Poços de infiltração avaliados em nível internacional.....	37
Quadro 5 – Estudos realizados em poços de infiltração em nível nacional	38
Quadro 6 – Características principais de métodos para dimensionamento de estruturas de armazenamento ou infiltração de chuva.....	40
Quadro 7 – Classificação dos ensaios de permeabilidade do solo	42
Quadro 8 – Descrição dos métodos para determinação de vazão de projeto	47
Quadro 9 – Composição dos poços de infiltração implantados.....	69
Quadro 10 – Descrição dos testes realizadas no Poço 1.....	81
Quadro 11 – Descrição dos testes realizados no Poço 2.....	82

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABGE	Associação Brasileira de Geologia de Engenharia
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADOPTA	Association pour le Développement Opérationnel et la Promotion des Techniques Alternatives
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
DAEE	Departamento de Água e Energia Elétrica
DEP	Departamento de Esgotos Pluviais
DER	Departamento de Estradas de Rodagem
DN	Diâmetro nominal
EPA	Environmental Protection Agency
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDF	Intensidade-Duração-Frequência
IPH	Instituto de Pesquisas Hidráulicas
NBR	Norma Brasileira
NJDEP	New Jersey Department of Environmental Protection
PDU	Plano Diretor Urbano
PDDU	Plano Diretor de Drenagem Urbana
PDES	Plano Diretor de Esgotamento Sanitário
PMSB	Plano Municipal de Saneamento Básico
PLANSAB	Plano Nacional de Saneamento Básico
PVC	Policloreto de Vinila
SAMAE	Sistema Autônomo Municipal de Água e Esgoto
SEMA	Secretaria Municipal do Meio Ambiente
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SMOSP	Secretaria Municipal de Obras e Serviços Públicos
UCS	Universidade de Caxias do Sul

LISTA DE SÍMBOLOS

I	infiltração ou taxa de infiltração ou escoamento subterrâneo
$V_{\text{infiltrado}}$	volume infiltrado
A_m	área molhada média
Δ_t	intervalo de tempo
I	intensidade de precipitação
T_r	tempo de retorno
T	tempo de duração da chuva, igual ao tempo de concentração
P	precipitação
t_d	tempo de duração da chuva
A	constante que depende da duração precipitação
β	constante que depende da duração da precipitação e da localidade
a, b, c, d	coeficientes de ajuste que variam de acordo com o local
Q	vazão de projeto
C	coeficiente de escoamento superficial
A	área de contribuição
D_f	tempo de funcionamento
$P(D_p, T)$	altura máxima de chuva dada pela intensidade multiplicada pelo tempo
q_s	vazão específica
D_v	tempo de descarga
$DH_{\text{máx}}(q_s, T)$	altura máxima de chuva dada pelo produto da altura máxima precipitada diminuído da altura máxima infiltrada
AEI	área equivalente impermeável
A_i	áreas impermeáveis presentes no lote
t_i	taxa de impermeabilização
V	volume do reservatório ou de detenção

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
2	OBJETIVOS DA PESQUISA.....	20
2.1	OBJETIVO PRINCIPAL.....	20
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
3.1	URBANIZAÇÃO E DRENAGEM	21
3.2	SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA	26
3.2.1	Sistema convencional ou clássico	27
3.2.2	Sistemas alternativos ou não convencionais	28
3.3	MEDIDAS DE CONTROLE DE CHEIAS URBANAS.....	29
3.3.1	Medidas de controle não estruturais	30
3.3.2	Medidas de controle estruturais.....	31
3.3.3	Técnicas alternativas.....	32
3.4	POÇO DE INFILTRAÇÃO COMO TÉCNICA DE CONTROLE DE CHEIAS	35
3.4.1	Caracterização e permeabilidade do solo.....	42
3.4.2	Parâmetros hidrológicos para dimensionamento.....	43
3.4.2.1	Período de retorno	44
3.4.2.2	Tempo de concentração ou duração da chuva	45
3.4.2.3	Chuva de projeto.....	45
3.4.2.4	Coeficiente de escoamento superficial	46
3.4.2.5	Vazão de projeto.....	47
3.4.2.6	Tempo de funcionamento e descarga	48
3.5	REGULAMENTAÇÃO DA DRENAGEM URBANA NO BRASIL	49
4	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	51
4.1	MUNICÍPIO DE CAXIAS DO SUL.....	51
4.1.1	Região hidrográfica.....	52
4.1.2	Situação da drenagem urbana no município de Caxias do Sul.....	52
4.2	OBJETO DE ESTUDO.....	56
5	METODOLOGIA DE PESQUISA	58
5.1	DIMENSIONAMENTO DAS ESTRUTURAS	59
5.1.1	Áreas de contribuição	59
5.1.2	Parâmetros de dimensionamento adotados	60

5.1.2.1	Vazão de projeto.....	60
5.1.2.2	Coeficiente de escoamento superficial	61
5.1.2.3	Intensidade da chuva	61
5.1.2.4	Período de retorno	62
5.1.2.5	Tempo de concentração	63
5.1.2.6	Volume de detenção	63
5.1.3	Dimensões de base para as estruturas	63
5.1.4	Profundidades.....	64
5.1.5	Orifício de extravasamento e de ligação entre boca-de-lobo e poços	64
5.1.6	Dimensões adotadas	64
5.2	IMPLANTAÇÃO DOS SISTEMAS	65
5.2.1	Localização e marcação dos poços de infiltração	65
5.2.2	Configuração de implantação	67
5.2.3	Materiais	69
5.2.3.1	Peças de concreto armado pré-moldado	69
5.2.3.2	Boca-de-lobo ou caixa coletora	71
5.2.3.3	Geotêxtil	73
5.2.3.4	Tubulação de inspeção e de ligação	73
5.2.3.5	Material drenante.....	75
5.2.4	Processo de implantação dos poços.....	75
5.3	TESTE E MONITORAMENTO DOS SISTEMAS	78
5.3.1	Equipamentos e medição da vazão para os testes	78
5.3.2	Monitoramento dos testes.....	80
5.3.3	Testes realizados no Poço 1	81
5.3.4	Testes realizados no Poço 2	82
5.4	CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO DOS SISTEMAS	83
5.5	COLETA E CARACTERIZAÇÃO DO SOLO LOCAL	84
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	86
6.1	CONSIDERAÇÕES SOBRE AS ETAPAS DE IMPLANTAÇÃO E TESTES	86
6.2	CARACTERIZAÇÃO DO SOLO LOCAL.....	88
6.2.1	Teor de umidade natural e higroscópica.....	89
6.2.2	Composição granulométrica.....	90
6.2.3	Perfil do solo local	90
6.3	ANÁLISE DO DESEMPENHO DOS POÇOS	91

6.3.1 Capacidade máxima de detenção das estruturas	91
6.3.2 Tempo de esvaziamento das estruturas.....	93
6.4 VIABILIDADE TÉCNICA DA IMPLANTAÇÃO DOS POÇOS DE INFILTRAÇÃO	98
6.5 CUSTO DE IMPLANTAÇÃO DOS SISTEMAS.....	100
6.6 ARTIGO 1	102
6.7 ARTIGO 2	117
7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	130
REFERÊNCIAS	133
APÊNDICE A – TABELA UTILIZADA PARA INSERÇÃO DE DADOS DURANTE MONITORAMENTO DOS TESTES DOS POÇOS.....	141
APÊNDICE B – DADOS COLETADOS DURANTE OS TESTES DO POÇO 1.....	142
APÊNDICE C – DADOS COLETADOS DURANTE OS TESTES DO POÇO 2	153
ANEXO A – DIRETRIZES TÉCNICAS DO EMPREENDIMENTO ONDE FORAM IMPLANTADOS OS POÇOS	161

1 INTRODUÇÃO

A expansão do perímetro urbano municipal, apesar de ser um indicador de prosperidade, quando acontece de forma desordenada, gera impactos negativos no ciclo hidrológico, causando danos para a população no âmbito social, econômico e ambiental (REIS; ILHA; TEIXEIRA, 2013; VILLANUEVA *et al.*, 2011). A remoção da vegetação existente e impermeabilização de áreas antes infiltráveis para construção de novos loteamentos urbanos e posterior implantação de edificações causam um aumento na velocidade do escoamento superficial e consequentemente a erosão dos rios, prejudicando a qualidade da água pelo transporte de poluentes, diminuindo o nível dos lençóis freáticos, aumentando a poluição e possibilidade de ocorrência de cheias urbanas, proliferação de resíduos e transmissão de doenças (TUCCI, 2016; LUCAS *et al.*, 2015).

O ponto chave para a solução ou atenuação desses problemas é o planejamento urbano associado às técnicas multidisciplinares, a fim de desenvolver modelos de drenagem sustentáveis. Villanueva *et al.* (2011) apontam que a gestão das águas pluviais tem um papel fundamental para indicar medidas de controle de cheias ou combinações de técnicas que melhor se enquadram para solucionar problemas de determinada região de forma efetiva e com baixo custo agregado. 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 chamado modelo de drenagem clássico ou convencional (REZENDE; MIGUEZ; VERÓL, 2013).

De acordo com Tucci (2016), as medidas necessárias após a ocorrência de impactos possuem alto custo de implantação, sendo este um dos fatores para o poder público e privado planejar e executar medidas antes da implantação de novos empreendimentos ou da expansão urbana. Uma das soluções apontadas pelo autor é o aumento de infiltração das águas pluviais nos terrenos, que pode ser dar pela diminuição de áreas impermeáveis ou com a implantação de técnicas compensatórias de controle e infiltração na fonte. Esse novo conceito traz consigo um desafio para técnicos e gestores responsáveis pela tomada de decisão do sistema de drenagem a ser implantado durante o desenvolvimento municipal, necessitando de uma análise aprofundada de seus custos de implantação e manutenção e de seu correto dimensionamento (AGOSTINHO; POLETO, 2012).

O modelo de drenagem urbana convencional se baseia no conceito de coleta e transporte das águas pluviais o mais rápido possível para longe das áreas urbanizadas. Esse sistema, além de gerar grandes problemas à jusante, traz grandes impactos negativos ao ciclo

hidrológico, fundamental para a manutenção do equilíbrio ecológico. Os danos observados à jusante de áreas com esse tipo de sistema são, principalmente, o aumento da ocorrência de alagamentos, acúmulo de resíduos sólidos transportados pelo deflúvio superficial, consequente crescimento de doenças vinculadas à água, aumento dos custos de manutenção e reparos dos danos. Por outro lado, os novos princípios de drenagem se baseiam no controle da vazão das chuvas na fonte, ou seja, diminuindo o volume de água transportado para outras áreas (REIS; ILHA; TEIXEIRA, 2013). Além disso, é proposto que os novos cenários urbanos devam garantir a contenção, amortecimento e permeabilidade das águas o mais próximo às condições de pré-urbanização (VASCONCELOS; MIGUEZ; VAZQUEZ, 2016; REIS; OLIVEIRA; SALES, 2005).

Esse modelo, também definido como sistema de drenagem sustentável, não tem como objetivo a eliminação do sistema convencional, mas sim, sua complementação, buscando otimizar o funcionamento das estruturas existentes (AGOSTINHO; POLETO, 2012). Oliveira *et al.* (2017) indicam que a implantação de pequenas medidas por toda bacia hidrográfica pode suprir a necessidade de grandes estruturas de controle de cheias urbanas, reduzindo custos do sistema.

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 possui o objetivo de avaliar uma alternativa para contenção de águas pluviais, 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).

O poço de infiltração consiste em uma técnica para controle de cheias implantado com a escavação do solo, revestido ou não por paredes de concreto perfuradas, podendo ser preenchido com material drenante ou com seu interior oco, funcionando como reservatório de retenção em períodos de chuvas intensas (REIS; ILHA, 2014). De acordo com Barbassa; Angelini Sobrinha; Moruzzi (2014) esse sistema tem como objetivo atuar os picos de vazão, infiltrando o deflúvio superficial na fonte geradora e, dessa forma, minimizando o volume transportado por redes de drenagem convencionais. Os ganhos dessa técnica podem ser ambientais, econômicos e sociais, auxiliando na recarga do lençol freático, diminuindo a

proliferação de resíduos e de materiais poluentes, reequilibrando o ciclo hidrológico, diminuindo o potencial de cheias urbanas, gastos com macroestruturas de drenagem, entre outros.

As estruturas de poços de infiltração são amplamente utilizadas em nível internacional, mostrando bons resultados no controle de cheias urbanas, como representado por estudos desenvolvidos por Edwards *et al.* (2016), Ellis; Lundy (2016) e Roldin *et al.* (2011; 2012; 2013). Já no Brasil, o uso desse modelo não é muito difundido. A falta de políticas públicas de incentivo, de metodologias e normatizações para dimensionamento, implantação e operação dos sistemas, de estudos para confirmação da sua eficiência, entre outros fatores, pode justificar a não adoção dessa técnica no cenário brasileiro (VASCONCELOS; MIGUEZ; VAZQUEZ, 2016; REIS; ILHA; TEIXEIRA, 2013). Nesse contexto, o trabalho buscou realizar a implantação, monitoramento e a avaliação do desempenho de dois poços de infiltração em escala real – um preenchido internamente com material drenante e outro com o interior oco.

Os poços de infiltração foram construídos no município de Caxias do Sul, em uma área onde, futuramente, será implantado um loteamento residencial, o qual possui projeto urbanístico e de drenagem já aprovados pela Prefeitura Municipal. O pré-dimensionamento do sistema foi realizado de acordo com os parâmetros indicados pela bibliografia, pelo Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDU) do município (SAMAE/IPH, 2001) e pelas exigências atuais da SMOSP (Secretaria Municipal de Obras e Serviços Públicos) para o desenvolvimento de projetos de drenagem pluvial, apresentadas nas diretrizes técnicas fornecidas para o empreendimento e anexadas a esse estudo.

Após a implantação, foram testadas diferentes condições de contorno, com uma vazão fixa através do auxílio de um caminhão pipa, submetendo as estruturas a diferentes situações: solo seco, encharcado e ocorrência de chuvas consecutivas – realizando um novo enchimento dos poços antes de seu esvaziamento total. A fim de garantir a confiabilidade dos resultados obtidos em campo, os testes foram repetidos em um dia diferente, que apresentou condições climáticas semelhantes aos dos primeiros testes, respeitando um intervalo de 72 h entre esses dois momentos. Ainda, no primeiro dia, foram coletadas amostras do solo local, em camadas de 30 cm em 30 cm, até uma profundidade de 3,60 m, para posterior caracterização.

O monitoramento dos sistemas durante os testes foi realizado através do controle do tempo total de enchimento e extravasamento das estruturas e da variação do nível d'água

no seu interior, de um em um minuto, durante seu esvaziamento. Para tanto, fez-se uso de uma tabela desenvolvida para esse fim, trena graduada e cronômetro.

Por fim, o estudo avaliou o comportamento de cada uma das estruturas, sua eficiência e capacidade, comparando os dois poços entre si. Dessa forma, foi possível analisar a viabilidade técnica da implantação de poços de infiltração como método de controle de cheias urbanas em locais com condições climáticas semelhantes às do estudo e, ainda, o custo para implantação dos sistemas.

2 OBJETIVOS DA PESQUISA

Os objetivos da pesquisa estão classificados em principal e específicos e são descritos a seguir.

2.1 OBJETIVO PRINCIPAL

O objetivo principal do trabalho é analisar o desempenho de dois poços de infiltração com características distintas, em escala real, como técnica compensatória de drenagem urbana na fonte, com capacidade de armazenamento e infiltração em solo típico de um loteamento do município de Caxias do Sul.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos do trabalho são:

- a) determinar a capacidade máxima dos poços de infiltração para uma determinada vazão de teste;
- b) identificar o tempo de esvaziamento dos poços;
- c) comparar a capacidade e eficiência entre os dois modelos de poços de infiltração implantados;
- d) analisar a viabilidade técnica da implantação de poços de infiltração como sistemas de controle de cheias urbanas na fonte;
- e) avaliar o custo de implantação dos sistemas.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

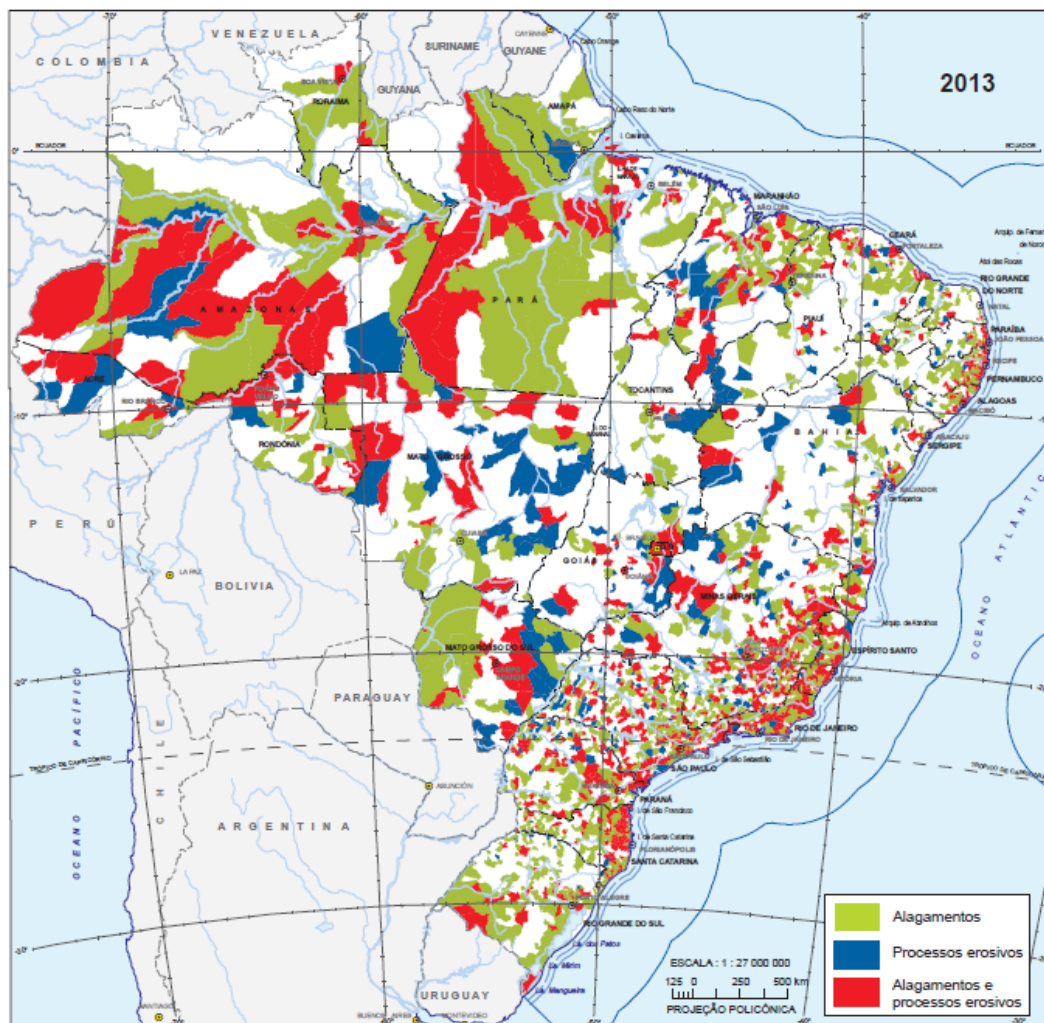
Este capítulo teve como objetivo apresentar conceitos relevantes para o desenvolvimento da pesquisa, justificar a importância do estudo e embasar teoricamente as técnicas propostas, de forma a comparar os dados que serão obtidos com estudos já realizados por outros autores.

3.1 URBANIZAÇÃO E DRENAGEM

O crescimento da população, principalmente em grandes cidades, aumenta 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). Segundo Silva; Cabral (2014), a falta de planejamento das cidades, associada ao crescimento vertical imobiliário, o descumprimento das leis de uso e ocupação do solo e os ineficientes sistemas de coleta e tratamento de esgotos cloacais, pioram ainda mais essa situação. 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.

A ocorrência de inundações no Brasil está cada vez mais frequente, estando diretamente relacionada à crescente urbanização, impermeabilização em grande escala, ocupação de áreas de risco, falta de planejamento e de legislação de controle de impactos na fonte (BRASIL, 2014). Segundo IBGE (2014), a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico publicada em 2008 levantou que, nos cinco anos que antecederam à pesquisa, 37,1% dos municípios brasileiros sofreram alagamentos, destacando que 97,4% dos municípios com população maior que 500.000 habitantes registraram o fenômeno em seu território urbano. Ainda, a pesquisa identificou, no mesmo período, que 20% dos municípios apresentaram processo erosivo – caracterizado pelo desgaste do solo e rocha e seu transporte para regiões topograficamente mais baixas, provocando assoreamento de cursos d'água – e 15% apresentaram os dois eventos. Esses dados confirmam que o país vem enfrentando grande dificuldade no controle e manejo de águas pluviais urbanas, gerando prejuízos ao patrimônio público e privado e reduzindo a qualidade de vida da população. Na Figura 1 é apresentado um mapa do território nacional com os municípios que declararam terem sido atingidos por alagamentos e processos erosivos em sua área urbana, decorrentes de chuvas intensas.

Figura 1 – Municípios brasileiros que sofreram alagamentos e erosão entre 2009 e 2013



Fonte: IBGE, 2014.

Além do aumento na frequência de alagamentos e inundações, causando danos de grande magnitude para a população, o processo de urbanização afeta diretamente o meio ambiente, causa erosão no solo e contaminação das águas pluviais e subterrâneas. A prática de ocupação de fundos de vale por avenidas, somada à canalização de riachos urbanos, são exemplos que alteram o ambiente de forma a causar danos futuros (CRUZ; TUCCI, 2008). Os fenômenos das enchentes também podem ser provocados ou atenuados pela alteração no ciclo hidrológico das áreas à montante das áreas afetadas (POMPÊO, 2000).

O ciclo hidrológico pode ser definido como um processo fechado que representa o movimento das águas na superfície terrestre, na atmosfera e no solo (MIGUEZ; VERÓL; REZENDE, 2016; DAEE, 2005) através das etapas de precipitação, evaporação de superfícies líquidas, evapotranspiração (combinação da evaporação de água do solo e da transpiração dos seres vivos), infiltração, interceptação vegetal, retenção em depressões do terreno,

escoamentos superficiais, subsuperficiais e subterrâneos. Quando não há alteração no terreno, a precipitação é retida pela vegetação, infiltrando lentamente no subsolo e escoando de forma gradual pela superfície até encontrar um corpo receptor, mantendo o ciclo constante. Esse fenômeno atenua os picos de vazão do sistema, diminuindo as incidências de inundações (TUCCI, 1995).

Para Vasconcelos; Miguez; Vazquez (2016), as alterações causadas no ciclo hidrológico pelo processo de urbanização geram impactos significativos para a população. Tucci (2005) aponta que isso se dá pela remoção da cobertura vegetal existente, substituída pela intensa impermeabilização do solo. Dessa forma, o autor cita as interferências observadas nesse processo como sendo:

- a) redução da capacidade de infiltração do solo;
- b) aumento do escoamento superficial;
- c) aumento das vazões máximas e médias e antecipação de seus picos;
- d) diminuição do nível do lençol freático, reduzindo o escoamento subterrâneo;
- e) redução da evapotranspiração.

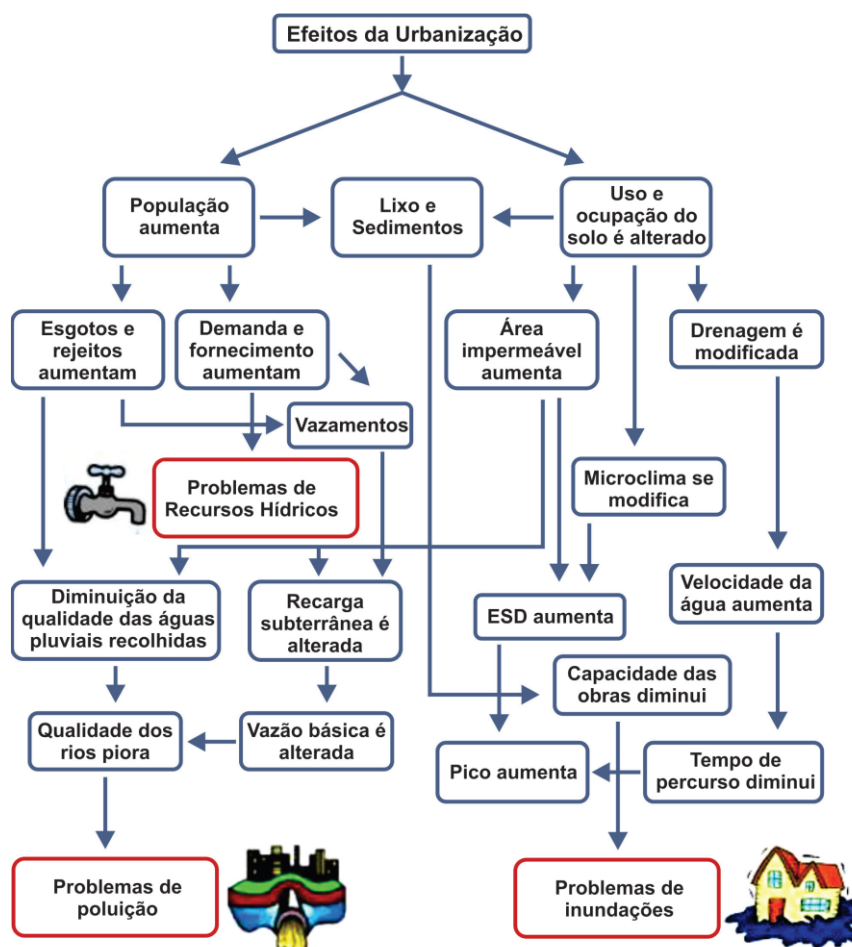
Ainda, Esteves; Silva; Albertoni (2011) salientam que a constante interferência do homem no meio ambiente diminui a infiltração das águas da chuva, em consequência, aumenta as vazões superficiais, causando uma grande interferência no ciclo hidrológico. Essa interferência, segundo os autores, “tende a erodir o solo com maior intensidade, transportando material sedimentar para os rios, que desta forma diminuem sua profundidade e vazão não suportando novas cargas de precipitação e passando a sofrer enchentes frequentes”.

A falta de planejamento, associado ao descumprimento das normas de uso do solo, refletem em problemas drásticos quando o ambiente urbano está densamente ocupado, uma vez que, os órgãos públicos são forçados a investir em infraestruturas de correção que, na maioria das vezes, têm custos muito elevados (TUCCI, 1995). Um ambiente que não sofreu intervenção humana tende a possuir picos de cheia e volumes escoados menores e maior tempo de concentração e vazão de base. Já áreas urbanizadas apresentam um cenário inverso (MIGUEZ; VERÓL; REZENDE, 2016).

Na Figura 2 é apresentado um esquema dos efeitos causados pela urbanização: problemas de recursos hídricos, de poluição e de inundações. Com base na imagem, os problemas de recursos hídricos são causados pelo aumento da poluição e da demanda de consumo de água. Já os problemas relacionados à poluição das águas, além das causas já

citadas, são gerados pelo aumento de esgotos sanitários e rejeitos e por possíveis vazamentos nas redes de esgotamento sanitário, na diminuição da qualidade das águas pluviais que escoam em áreas com maior índice impermeável, que dessa forma, alteram a recarga dos lençóis freáticos e a qualidade dos cursos d'água existentes. As causas diretas dos problemas relacionados às inundações urbanas são destacadas como: aumento dos resíduos sólidos e sedimentos, gerados pelo crescimento da população e pela alteração no uso e ocupação do solo de forma desordenada. As consequências desse processo diminuem a capacidade das obras de drenagem existentes, causando, de forma direta, problemas de inundações. Por outro lado, o uso e ocupação do solo de forma desordenada, aumentam o índice de áreas urbanas impermeáveis e modificam o microclima da região, aumentando o escoamento superficial direto e o pico nos hidrogramas de chuva. Ainda, causam a modificação da drenagem natural, que por sua vez, aumenta a velocidade do escoamento do deflúvio superficial, diminuindo o tempo de percurso desse escoamento, o que também auxilia diretamente no aumento do pico do hidrograma de chuva.

Figura 2 – Esquema representativo dos efeitos da urbanização



Fonte: São Paulo, 2012.

A bacia hidrográfica pode ser definida como uma região geográfica de captação e escoamento natural das águas precipitadas, as quais convergem para um único ponto de saída ou exutório (MIGUEZ; VERÓL; REZENDE, 2016; DAEE, 2005; AZEVEDO NETTO *et al.*, 1998). Essa região é definida por divisores de água e pontos altos que separam as águas pluviais entre duas vertentes.

A principal importância da análise da bacia hidrográfica, onde está localizada determinada área a ser implantado o sistema de drenagem pluvial, é considerar que a atenuação dos impactos de uma determinada região não deve transferir o problema para jusante (TUCCI, 2005). Para Pompêo (2000), essa análise, apesar de muitas vezes ignorada, é a unidade mínima para qualquer estudo hidrológico e Miguez; Veról; Rezende (2016) apontam as características das bacias hidrográficas que são de interesse para elaboração de projetos pluviais, como sendo:

- a) a área de drenagem da bacia, que define as chuvas de projeto;
- b) o comprimento do rio principal ou linhas principais de escoamento concentrados, suas extensões e padrões gerais de escoamento superficial, que são parâmetros fundamentais para a definição do tempo de concentração da bacia;
- c) declividade do curso d'água principal, importante para definição da velocidade de escoamento superficial;
- d) uso de solo e cobertura vegetal, que permitem quantificar qual parcela do escoamento continua sendo superficial, a velocidade que o volume precipitado chegará até o exutório e o potencial de transporte de sedimentos.

Dessa forma, quando é analisada determinada topografia para controle do escoamento superficial e tomada a decisão de qual sistema e quais métodos de drenagem serão adotados para um empreendimento, não se deve apenas estudar a área isoladamente, e sim como parte de um conjunto que compõe a bacia hidrográfica a qual está inserida. Esse processo visa atenuar os possíveis impactos à jusante das áreas impermeabilizadas que recebem o sistema de drenagem.

Segundo Dias; Antunes (2010), as bacias urbanas podem ser definidas como apresentado na Tabela 1. Bacias de pequeno e médio porte são geralmente ocupadas para o desenvolvimento urbano. A definição da magnitude da bacia é importante para que seja definido o método adequado para cálculo da vazão de projeto.

Tabela 1 – Definição do porte das bacias hidrográficas urbanas

Porte da bacia	Tempo de Concentração (h)	Área de Drenagem (km ²)
Pequeno	menor que 1	menor que 2,5
Médio	Entre 1 e 12	entre 2,5 e 1.000
Grande	superior a 12	superior a 1.000 ²

Fonte: adaptado de Dias; Antunes, 2010.

A Norma IP-DE-H00/001 (DER, 2005), por exemplo, orienta que em bacias com área de drenagem inferiores a 50 km², a vazão de projeto deve ser determinada por métodos indiretos, baseados em estudos de curvas IDF (Intensidade-Duração-Frequência). Na Tabela 2 são apresentados os métodos indicados para cálculo em função da área da bacia hidrográfica.

Tabela 2 – Método de determinação de vazão de projeto em função da área da bacia

Método	Área da Bacia Hidrográfica (km ²)
Racional	menor que 2
Vem Te Chow, I Pai Wu ou Triangular	entre 2 e 50
Estatístico Direto	maior que 50

Fonte: adaptado de DER, 2005.

Dessa forma, pode-se concluir que as alterações nas condições originais da bacia, como remoção de vegetação e impermeabilização do solo, desequilibram o processo de ciclo hidrológico, aumentando a probabilidade de cheias urbanas, diminuindo a recarga dos aquíferos e, ainda, contaminando e causando erosão dos cursos d'água pelo aumento da velocidade de escoamento e do transporte de materiais presentes na superfície.

3.2 SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA

Dentre os principais objetivos dos sistemas de drenagem urbana, pode-se destacar a redução dos alagamentos; integração com o plano urbanístico dos municípios, integrando soluções de drenagem com a paisagem urbana; preservação das várzeas e da qualidade das águas escoadas; conservação das vias e da circulação viária e cuidado com a transferência de problemas para jusante (MIGUEZ; VERÓL; REZENDE, 2016). Nesse contexto, os sistemas de drenagem urbana são classificados por Tucci (2008) como:

- a) microdrenagem: sistema a nível de loteamentos ou rede primária urbana;
- b) macrodrenagem: são os sistemas coletores das microdrenagens (áreas de pelo menos 2 km²);
- c) na fonte: escoamento que ocorre no lote individual.

Esses sistemas trabalham em conjunto com o objetivo de reduzir os riscos à população causados por inundações, garantindo o bem-estar social e a minimização de impactos ao meio ambiente. As falhas no dimensionamento da microdrenagem ou na drenagem na fonte, em geral, causam danos de menor magnitude do que quando ocorrem falhas na macrodrenagem, que são, normalmente, resultado de eventos hidrológicos extremos (MIGUEZ; VERÓL; REZENDE, 2016). Ainda, os autores classificam essas falhas da seguinte forma:

- a) alagamentos: ocorrem quando o sistema não é capaz de captar e transportar o deflúvio com eficiência e geralmente causam impactos mais localizados, de menor magnitude;
- b) inundações: são os extravasamentos de rios e canais pela falha dos sistemas de macrodrenagem e podem ter uma longa duração e atingir grandes áreas causando impactos de maior magnitude à população;
- c) enxurradas: são eventos com potencial de causar grandes impactos com rápida velocidade de ocorrência e acontecem, geralmente, em vales fluviais com alta declividade.

Os sistemas de drenagem urbana também podem ser classificados de duas formas: convencional ou clássico e alternativos ou sustentáveis. A mudança atual de paradigma do desenvolvimento urbano, com a busca do alcance da sustentabilidade e melhoria do bem-estar da população, visa à associação do sistema de drenagem clássico com técnicas alternativas de controle.

3.2.1 Sistema convencional ou clássico

Miguez; Veról; Rezende (2016) definem o sistema de drenagem urbana clássico 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”. Ainda, os autores apontam as fases do projeto desse modelo de sistema como, primeiramente, o lançamento do traçado da rede de drenagem em função da topografia da bacia de contribuição, o cálculo das vazões originadas das chuvas de projeto e, por fim, o dimensionamento dos condutos.

Segundo Baptista; Nascimento; Barraud (2005), a rede de drenagem clássica é constituída por sarjetas (conduzem o deflúvio superficial até o dispositivo de captação), bocas-de-lobo (responsáveis pela captação das águas) e condutos de concreto (transportam as águas até seu destino final). Os condutos são enterrados e sua posição é definida de acordo com as leis municipais, podendo ser no passeio, no terço da via ou, ainda, no eixo, e deve ser compatibilizada com outras redes de saneamento presentes no local. Na Figura 3 é representado o sistema de drenagem urbana clássico, posicionado no eixo da via, com demais redes de saneamento instaladas no passeio.

Figura 3 – Representação de um sistema de drenagem clássico posicionado no eixo da via



Fonte: Krolow, 2010.

3.2.2 Sistemas alternativos ou não convencionais

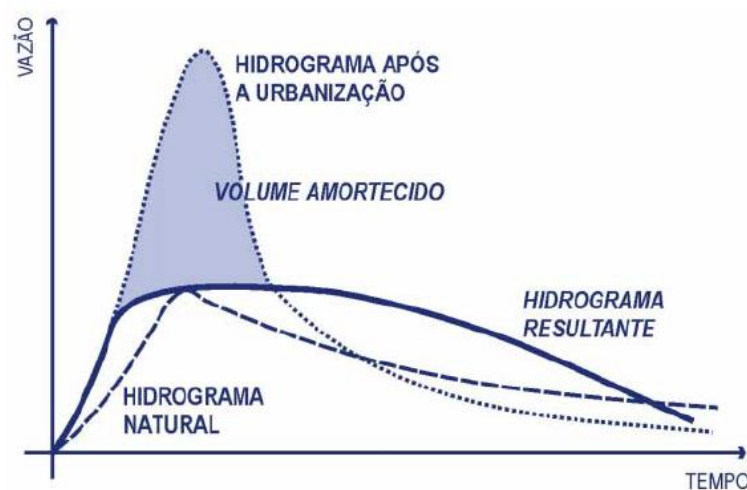
Os sistemas de drenagem definidos como alternativos ou não convencionais são aqueles que se diferem do conceito tradicional de canalização do deflúvio superficial. Essas medidas visam implementar a infiltração, reter os escoamentos em reservatórios, retardar o fluxo nas calhas dos córregos e rios e proteger áreas mais baixas (CANHOLI, 2005). Com a finalidade de otimizar o funcionamento, essas alternativas de controle de cheias podem estar associadas ao sistema clássico.

Nos próximos itens desse capítulo, os sistemas alternativos de controle de cheia serão abordados com mais detalhes. No item 3.3.3, serão apresentadas medidas estruturais e não-estruturais que diferem do modelo clássico de drenagem e possuem o objetivo de minimizar os impactos causados por cheias urbanas, empregando técnicas de controle na fonte.

3.3 MEDIDAS DE CONTROLE DE CHEIAS URBANAS

O objetivo principal das medidas de controle de cheias é atenuar o pico do hidrograma de vazões, de forma a tornar a situação de pós-urbanização mais próxima do cenário natural. Na Figura 4 é apresentado um hidrograma de projeto – vazão por tempo – representando três cenários: pré-urbanizado, pós-urbanizado e pós-urbanizado associado com medida de controle. Nota-se que, após o processo de urbanização, é acentuado o pico de cheia, fenômeno responsável pelas inundações. Com a implantação de medidas de contenção, no caso do hidrograma da figura um reservatório, a curva resultante atenua o pico de vazão, reduzindo os impactos gerados pela urbanização.

Figura 4 – Representação de hidrograma de projeto genérico contendo cenário de pré e pós urbanização e com medida de compensação



Fonte: Paraná, 2002.

Silva; Cabral (2014) apontam que medidas de controle em nível de bacia têm mais eficácia no amortecimento de cheias a jusante. Holz; Tassi (2007), em seus estudos, concluíram que o uso de técnicas não convencionais no controle de cheias é de grande eficácia, contribuindo na diminuição dos impactos causados ao meio ambiente e à população, além de, muitas vezes, serem opções com custo acessível ao empreendedor.

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. Dessa forma, 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, pode reduzir os custos investidos pelo poder público em reparos no sistema, da população com perdas

originas de inundações, além de proporcionar uma melhoria na qualidade de vida e uma diminuição dos riscos causados à saúde por águas contaminadas.

As medidas de controle podem ser classificadas, segundo sua natureza como estruturais e não estruturais, ou ainda, uma combinação de ambas (CANHOLI, 2005; TUCCI, 2008). É importante ressaltar que, para um retorno mais eficaz, as medidas de controle necessitam de ações combinadas de vários setores da sociedade: técnico, social, econômico e administrativo.

3.3.1 Medidas de controle não estruturais

Os sistemas não estruturais podem ser definidos como aqueles que não contemplam obras civis para controle da drenagem urbana. Esses métodos utilizam meios naturais para reduzir o volume do escoamento e a carga poluidora à jusante, podendo ser caracterizados como técnicas de controle na fonte, estabelecendo critérios de uso e ocupação do solo nessas áreas (RIGUETTO, 2009). Segundo Canholi (2005), a implementação de normas, leis, regulamentos, e programas para conscientização da população em relação à drenagem urbana, são tipos de medidas de controle não estruturais.

Tucci; Bertoni (2003) exemplificam as medidas não estruturais como: sistemas alertas de inundações, zoneamento de áreas de risco, seguros contra inundações e medidas de proteção individuais. Ainda, os autores apontam que países mais desenvolvidos optam por técnicas de drenagem não estruturais, uma vez que estas se mostram mais econômicas e ecologicamente mais vantajosas. Para Canholi (2013) “as medidas não estruturais procuram disciplinar ou adequar a ocupação territorial, o comportamento da população frente a questão da drenagem e as atividades econômicas”.

Riguetto (2009) categoriza medidas de controle não estruturais conforme consta no Quadro 1. O autor apresenta seis categorias: educação pública, planejamento e manejo das águas pluviais, uso de materiais e produtos químicos, manutenção dos dispositivos, controle de conexão ilegais de esgoto e reuso das águas pluviais coletadas. Todas as técnicas citadas pelo autor contam com a cooperação social ou com a integração de medidas na paisagem urbana. A elaboração de Planos Diretores de Drenagem Urbana (PDDU), por corpo técnico qualificado, é uma ferramenta de suma importância para regulamentar o planejamento, uso e manutenção dos equipamentos e águas urbanas dos municípios.

Contudo, as medidas não estruturais possuem maior eficácia quando associadas a outras técnicas de controle de cheias. Estas por sua vez, se caracterizam pela implantação de

obras civis e são chamadas de medidas de controle estruturais e serão abordadas no próximo item.

Quadro 1 – Caracterização das medidas de controle não estruturais

Categoria	Medidas não estruturais
Educação Pública	▪ Educação pública e disseminação do conhecimento
Planejamento e manejo da água	▪ Equipe técnica capacitada ▪ Superfícies com vegetação ▪ Áreas impermeáveis desconectadas ▪ Telhados verdes ▪ Urbanização de pequeno impacto
Uso de materiais e produtos químicos	▪ Uso de produtos alternativos não poluentes ▪ Práticas de manuseio e de armazenamento adequadas
Manutenção dos dispositivos de infiltração nas vias	▪ Varrição das ruas ▪ Coleta de resíduos sólidos ▪ Limpeza dos sistemas de filtração ▪ Manutenção das vias e dos dispositivos ▪ Manutenção dos canais e cursos d'água
Controle de conexão ilegal de esgoto	▪ Medidas de prevenção contra a conexão ilegal ▪ Fiscalização: detecção, retirada e multa ▪ Controle do sistema de coleta de esgoto e de tanques sépticos
Reuso da água pluvial	▪ Jardinagem e lavagem de veículos ▪ Sistema predial ▪ Fontes e lagos

Fonte: adaptado de Riguetto, 2009.

3.3.2 Medidas de controle estruturais

Segundo Tucci (2008), as medidas estruturais são definidas como obras de engenharia, que modificam o sistema fluvial, sendo estas de alto custo – muitas vezes economicamente inviáveis – podendo dar a população uma falsa sensação de segurança, uma vez que, áreas potencialmente inundáveis tornam-se ocupadas, potencializando os problemas com inundações futuras. Para Miguez; Veról; Rezende (2016), as medidas de controle estruturais podem ser classificadas de acordo com sua posição ou sobre o hidrograma da bacia hidrográfica, da seguinte forma:

- a) distribuídas: em praças, lotes e passeios;
- b) na microdrenagem: controle sobre o hidrograma de um ou mais loteamentos;
- c) na macrodrenagem: controle sobre rios e canais urbanos;
- d) aumento da eficiência de escoamento: implantação de condutos e canais, drenando áreas alagadiças ou canalizando rios;

- e) armazenamento: implantação de reservatórios de retenção com o objetivo de diminuir o pico dos hidrogramas de chuva de projeto;
- f) infiltração ou percolação: criação de condições de infiltração afim de retardar e minimizar o volume do escoamento superficial.

As medidas de controle estruturais podem, ainda, ser classificadas como extensivas ou intensivas. As técnicas extensivas são através de obras na bacia, como por exemplo, canalização do deflúvio, implantação de reservatórios de retenção e retenção. Já as medidas intensivas, se dão pelo controle em nível de rio, com a recomposição da cobertura vegetal e controle de erosão no solo (CANHOLI, 2005; TUCCI; BERTONI, 2003). Riguetto (2009), por sua vez, categoriza essas técnicas estruturais conforme consta no Quadro 2. O autor aponta cinco categorias: retenção, áreas inundáveis, dispositivos de infiltração, filtros e tecnologias alternativas.

Quadro 2 – Caracterização das medidas de controle estruturais

Categoria	Medidas estruturais
Detenção do escoamento	▪ Bacia de retenção ou de atenuação de cheia ▪ Bacia de retenção com infiltração
Área inundável	▪ Terreno adaptado a alagamento
Dispositivos de infiltração	▪ Vala de infiltração ▪ Bacia de infiltração ▪ Pavimento poroso
Filtros orgânicos e de areia	▪ Filtro superficial de areia ▪ Filtro subterrâneo
Tecnologias alternativas	▪ Será abordado no Item 3.3.3

Fonte: adaptado de Riguetto, 2009.

Tanto as técnicas estruturais, quanto as técnicas não estruturais, ou ainda, a combinação de ambas, podem ser definidas como técnicas alternativas de controle de cheias urbanas. Essas medidas serão abordadas com mais detalhamento no próximo item desse capítulo.

3.3.3 Técnicas alternativas

Técnicas alternativas de controle de cheias urbanas visam amortecer o pico de vazão gerada, entre outros fatores, pela urbanização e consequente impermeabilização do solo, de modo a conter as águas ainda na fonte geradora, não transferindo o problema para áreas à jusante (LUCAS *et al.*, 2015). Existem diversas técnicas, que quando associadas,

podem apresentar resultados satisfatórios na eliminação de possíveis imprevistos causados por enchentes. Vasconcelos; Miguez; Vazquez (2016), por exemplo, encontraram resultados satisfatórios na aplicação de reservatórios de contenção em lote, combinado com jardim rebaixado, contribuindo significativamente na vazão efluente. Segundo Reis; Oliveira; Sales (2005), não existe uma única técnica de controle de cheias que se adapte a todos os cenários urbanos, sendo imprescindível a análise das características do local e a consequente escolha da técnica, ou combinação, que possibilite o melhor desempenho na atenuação do pico de vazão do escoamento superficial.

Para Lucas *et al.* (2015), uma dificuldade na aplicação de técnicas compensatórias implantadas diretamente no solo é a variabilidade da permeabilidade, tipo do solo, profundidade do lençol freático e os materiais carregados para o interior dos dispositivos. Os autores ainda afirmam que “a colmatação do solo, dada pelo carregamento de finos, é o principal responsável pela diminuição da taxa de infiltração na fase de operação dos sistemas, podendo comprometer o funcionamento e a vida útil das estruturas”.

Analizando a aplicação de técnicas compensatórias que funcionam por infiltração, Holz; Tassi (2007) encontraram dificuldades na aplicabilidade de sistemas em terrenos com relevo bastante acidentado e solo com grande dimensão de camada impermeável, concluindo que dispositivos que funcionavam com camadas mais superficiais de drenagem possuíam maior viabilidade de implantação. Já Reis; Oliveira; Sales (2005) apontam as vantagens de técnicas de compensatórias baseadas em infiltração na fonte. Para os autores essas técnicas reduzem o volume de descarga nas galerias pluviais e sarjetas, reestabelecem o balanço hídrico, criam pontos de descarga do lençol freático, minimizam a ocorrência de enxurradas, melhoram a qualidade da água superficial e, em consequência, a qualidade de vida da população.

Um dos limitadores para implantação de técnicas compensatórias é o custo agregado à construção dos sistemas. Uma alternativa para atenuar essa situação é a combinação de ações do poder público e privado. Além de técnicas aplicadas diretamente ao lote individual, a utilização de áreas públicas para armazenamento temporário de águas pluviais, configurando paisagens multifuncionais, pode ser visto como uma possibilidade de aplicação integrada das técnicas (VASCONCELOS; MIGUEZ; VAZQUEZ, 2016). Além disso, para que seja possível a implantação de dispositivos alternativos de controle de cheias, o sistema de drenagem deve ser do tipo separador absoluto, ou seja, com redes independentes para esgotamento cloacal e pluvial, contando ainda com a existência de Planos Diretores de Drenagem Urbana que regulamentem a implantação dessas técnicas (HOLZ; TASSI, 2007).

No Quadro 3 são apresentadas algumas técnicas compensatórias alternativas de controle de cheias, usualmente empregadas em novos sistemas urbanos de drenagem. Todas elas possuem vantagens e desvantagens e trabalham com o princípio de infiltração na fonte ou detenção de vazão, a fim de atenuar o pico do hidrograma de projeto e não transferir o deflúvio superficial para áreas à jusante.

Quadro 3 – Resumo de técnicas de medidas de controle

Medidas	Características	Variantes	Função	Efeito	Princípio
Pavimento Poroso	Pavimento com camada de base porosa como reservatório	Revestimento superficial permeável ou impermeável, com injeção pontual na camada de base porosa. Esgotamento por infiltração no solo ou para um exutório	Armazenamento temporário da chuva no local do próprio pavimento. Áreas externas ao pavimento podem também contribuir	Retardo e/ou redução do escoamento pluvial gerado pelo pavimento e por eventuais áreas externas	Infiltração
Trincheiras de Infiltração	Reservatório linear escavado no solo preenchido com material poroso	Trincheiras de infiltração no solo ou de retenção, com esgotamento por um exutório	Infiltração no solo ou retenção, de forma concentrada e linear, da água da chuva caída em superfície limítrofe	Retardo e/ou redução do escoamento pluvial gerado em área adjacente	Infiltração
Vala de Infiltração	Depressões lineares em terreno permeável	Vala de infiltração efetiva no solo ou vala de retenção sobre solo pouco permeável	Infiltração no solo, ou retenção, no leito da vala, da chuva caída em áreas marginais	Retardo e/ou redução do escoamento pluvial gerado em área vizinha	Infiltração
Poço de Infiltração	Reservatório vertical e pontual escavado no solo	Revestido com material poroso ou sem preenchimento. Efetivamente de infiltração ou de injeção no freático	Infiltração pontual, na camada não saturada e/ou saturada do solo, da chuva caída em área limítrofe	Retardo e/ou redução do escoamento pluvial gerado em área contribuinte ao poço	Infiltração
Micro-reservatórios	Reservatório de pequenas dimensões tipo caixa d'água	Vazio ou preenchido com material poroso. Com fundo em solo ou vedado, tipo cisterna	Armazenamento temporário do esgotamento pluvial de áreas impermeabilizadas próximas	Retardo e/ou redução do escoamento pluvial de áreas impermeabilizadas	Detenção
Telhados Verdes	Telhado com função de reservatório	Vazio ou preenchido com material poroso	Armazenamento temporário da chuva no telhado da edificação	Retardo do escoamento pluvial da própria edificação	Detenção
Bacia de Detenção	Reservatório vazio (seco)	Sobre leito natural ou escavado. Com leito em solo permeável ou impermeável, ou com leito revestido	Armazenamento temporário e/ou infiltração no solo do escoamento superficial da área contribuinte	Retardo e/ou redução do escoamento pluvial da área contribuinte	Infiltração ou Detenção
Bacia de Retenção	Reservatório com água permanente	Reservatório com leito permeável (freático aflorante) ou com leito impermeável	Armazenamento temporário e/ou infiltração no solo do escoamento superficial da área contribuinte	Retardo e/ou redução do escoamento pluvial da área contribuinte	Infiltração ou Detenção
Bacia Subterrânea	Reservatório coberto, abaixo do nível do solo	Reservatório vazio, tampado e estanque. Reservatório preenchido com material poroso	Armazenamento temporário e/ou infiltração no solo do escoamento superficial da área contribuinte	Retardo e/ou redução do escoamento pluvial da área contribuinte	Infiltração ou Detenção
Condutos de Armazenamento	Condutos e dispositivos com função de armazenamento	Condutos e reservatórios alargados. Adicionais em paralelo	Armazenamento temporário do escoamento no próprio sistema pluvial	Amortecimento do escoamento afluente à macrodrenagem	Detenção
Faixas Gramadas	Faixas de aterro marginais a corpos d'água	Faixas gramadas ou arborizadas	Áreas de escape para enchentes	Amortecimento de cheias e infiltração de contribuições laterais	Infiltração

Fonte: adaptado de Paraná, 2002.

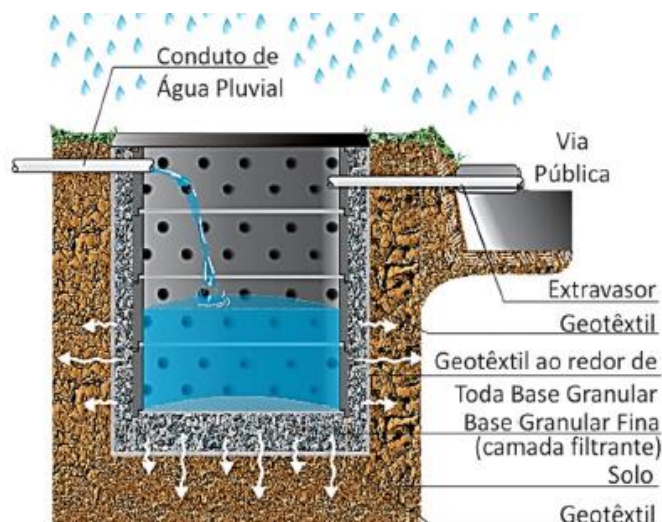
Dentre as técnicas de controle apresentadas, o poço de infiltração se caracteriza por ser um sistema que ocupa pouco espaço físico e depende do nível de infiltração do solo do local ao qual será implantado. Essa medida é abordada com maior nível de detalhe no próximo item.

3.4 POÇO DE INFILTRAÇÃO COMO TÉCNICA DE CONTROLE DE CHEIAS

O poço de infiltração é um dispositivo pontual que recebe as águas pluviais, tanto por escoamento direto – difuso – ou por meio de uma rede de drenagem – localizado – e as dissipa diretamente no subsolo ou ainda, pela injeção direta no freático. Esses equipamentos podem ser preenchidos, ou não, com material poroso e seu principal objetivo é atenuar as vazões de pico e diminuir as vazões destinadas às redes de drenagem clássica. Em alguns países essa técnica é utilizada apenas para a recarga do lençol freático (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2005). Ainda, Reis; Ilha; Teixeira (2013) apontam que os poços de infiltração podem trabalhar como reservatórios de retenção em períodos prolongados de precipitação, quando o solo atingir seu estado de saturação, possuindo ligação com o sistema convencional de drenagem para extravasar uma possível vazão, caso o dispositivo atinja sua capacidade máxima de armazenamento.

Na Figura 5 é representado um dispositivo não preenchido, composto por anéis de concreto perfurados, que permitem a percolação da água para o solo. As laterais, assim como a base, são revestidas de material granular e de manta geotêxtil, permitindo a infiltração. Nesse exemplo, o poço recebe a vazão proveniente de um conduto de drenagem e possui um extravasor ligado diretamente na sarjeta.

Figura 5 – Representação de um poço de infiltração de águas pluviais não preenchido

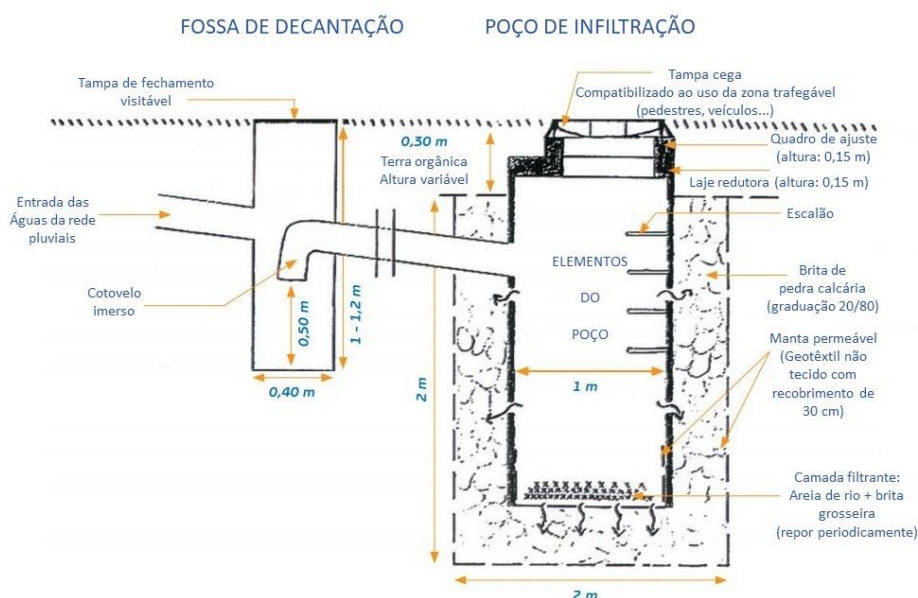


Fonte: Reis; Ilha; Teixeira, 2013.

Apesar de antiga, a técnica de poço de infiltração é ainda pouco difundida no Brasil. Por outro lado, em países mais desenvolvidos como, por exemplo, na França, essa solução de drenagem é empregada desde o século XVIII e muito utilizada até os dias atuais

(CASTRO, 2002). Na Figura 6, por exemplo, é apresentado um dispositivo com capacidade de contenção e infiltração em nível de lote, desenvolvido por uma empresa francesa. Nesse modelo, as águas pluviais, provenientes de telhados de residências, ao chegarem ao sistema passam por uma fossa de decantação e, então, através de uma tubulação de PVC, são transportadas ao poço de infiltração. Esse dispositivo, por sua vez, não possui enchimento interno, seu fundo é composto por leito filtrante de areia e brita, as paredes são perfuradas e revestidas com camada de brita graduada e manta geotêxtil.

Figura 6 – Representação de um poço de infiltração em nível de lote



Fonte: adaptado de ADOPTA, 2006.

No Quadro 4 é apresentada uma coletânea de estudos realizados para poços de infiltrações, em nível internacional, com o local e ano de implantação, quantidade de poços de infiltração, características construtivas e monitoramento realizado nos sistemas. Percebe-se que diversos municípios dos Estados Unidos adotam essa técnica em grande escala. Modesto, na Califórnia, por exemplo, até o ano de 2005, possuía mais de 11.000 poços instalados no município. Até o ano de 2011, em Millburn, Nova Jersey, foram estudados, aproximadamente, 1.500 sistemas. Já em Bend, Oregon, até o ano 2011, foram registrados estudos em mais de 4.580 poços e em Portland, também em Oregon, 19.000 unidades do método.

Quadro 4 – Poços de infiltração avaliados em nível internacional

Localização, data e referência	Nº de Poços	Modelo do Poço de Infiltração	Condições da Superfície	Uso do Solo	Monitoramento dos sistemas
Valência, França, 1996 Barraud <i>et al.</i> (1999)	1	Câmara perfurada de 1m de diâmetro, 3m de profundidade	A sub subterrânea é aluvia e áspera, o lençol freático está a menos de 1 m abaixo do poço de infiltração	Residencial	Coletado amostras de 9 chuvas e coletas contínuas dentro do poço de infiltração assim como amostras de compostos sedimentares coletados ao fim do período de monitoramento.
Reino Unido, 2007 Chen <i>et al.</i> (2007)	10	Anéis de concreto pré-moldados com vários diâmetros e profundidades	Variável	Comercial, industrial, residencial	Amostra coletada de sedimentos e água dentro e abaixo do poço de infiltração
Pima County, Arizona, EUA, 1986–1989 Wilson <i>et al.</i> (1990)	4	Poços com profundidade entre 7,6 e 10,6m, preenchidos com cascalho e conectados a câmara de sedimentação de concreto	A sub subterrânea é predominantemente composta de areia grossa e cascalho com um baixo percentual de limo e argila. Profundidade do lençol freático variando entre 130 e 76,2m	Comercial, industrial, residencial	Amostra de água da chuva coletada na entrada da câmara de sedimentação, amostra de sedimento coletado abaixo da câmara de sedimentação. Amostra de água coletada na zona de Vadose através de furos e amostras de águas subterrâneas coletadas de três locais
Tucson, Arizona, EUA, 1987 Olson (1987)	149	Câmara de sedimentação de concreto com 1,2m de diâmetro e entre 4,6 e 7,6m de profundidade	A superfície subterrânea composta por caliche com areia e argila misturados	Comercial, industrial, residencial	Amostras de sedimentos coletadas dos primeiros 10cm da câmara de sedimentação; amostra de água da chuva de cada local; amostras da zona de vadose em locais industriais coletadas cada 1,5m até o fundo do poço
Los Angeles, Califórnia, EUA, 2001–2007, Dallman e Sponberg (2012)	2	Poço dimensionado para deter entre 19mm.h ⁻¹ e 51 mm.h ⁻¹ de águas pluviais (detalhes de projeto não indicados)	-	Comercial e residencial	Amostras de águas da chuva, zona de vadose e águas subterrâneas coletadas de 12 chuvas durante 6 anos em zonas comerciais e 6 chuvas em 3 anos para zonas residenciais e amostras de águas subterrâneas coletadas no outono e primavera
Modesto, Califórnia, EUA, 2003–2005, Jurgens <i>et al.</i> (2008)	Mais de 11.000	Furos perfurados de 1m de diâmetro entre 15m a 25m de profundidade, preenchidos com pedras revestidas por capa perfurada de diâmetro de 15cm e comprimento de 6m	Aquífero não confinado composto por camadas de areia e cascalho com camadas não contínuas de argila. Aquíferos empoleirados, superficiais, com profundidades profundas a intermediárias, variando entre 8,5m, 29m, 51m e 100m	Rural e urbano	Monitoramento de 23 poços com profundidade variando entre 4,9m a mais de 91,4m. Amostras de águas da chuva em zonas urbanas coletadas próximas de dois poços durante o inverno e de irrigação por aspersão durante o verão. Todos poços tiveram de 1 a 5 coletas feitas durante 1 ano e amostras profundas coletadas do poço de utilização pública
Missoula, Montana, EUA, 1987, Wogslund (1988)	2.700	Canos de pequeno diâmetro e comprimento de 1,2m colocados ao fundo de recipiente de coleta de águas da chuva	Aquífero não confinado estendendo por entre 30,5 e 61m abaixo da superfície, composto de camadas de pedregulho, pedras, cascalho, areia, limo e argila	Comercial e residencial	Amostras de águas pluviais coletadas de bocas-de-lobo e quatro áreas de estacionamento, amostras de água da zona de vadose coletadas de lisímetros instalados em dois locais com poço de infiltração, amostras de águas subterrâneas coletadas de dois locais a jusante dos poços
Millburn, Nova Jersey, EUA, 2011, Pitt <i>et al.</i> (2012)	1.500	Revestimento de concreto sem fundo e perfurado, com diâmetro de 1,8m e profundidade de 0,6m	Solo de superfície pouco permeável acima de camadas de superfície subterrânea de alta permeabilidade	Residencial	Amostras coletadas da região abaixo do filtro imediatamente após chuva, em 10 eventos por ano. Amostras coletadas do escoamento de cisterna
Bend, Oregon, EUA, 2006–2011, Brody-Heine <i>et al.</i> (2011)	Mais de 4.580	Poço escavado de 1,2m de diâmetro, perfurado, variando entre 1,2m a 5,8m de profundidade com fundo fechado	Superfície subterrânea composta de fluxo de lava grosso e basáltico com aproximadamente 3m de sedimento grosso misturado	Comercial, industrial, residencial	Amostras de águas pluviais coletadas em 8 poços de infiltração e 2 bocas-de-lobo entre 2006 e 2011, 10 amostras coletadas em cada poço durante a primavera de 2011
Portland, Oregon, EUA, 2006–2014	19.000	Bueiro de concreto com 3 m de profundidade e 1,2m de diâmetro, conectado a poço de infiltração escavado de 1,2m de diâmetro com profundidade variando entre 0,2m a 12,2m	Superfície subterrânea é de depósitos sedimentares grãos grossos e finos, cascalho cimentado misturado com areia e limo	Comercial, industrial, residencial	Monitoramento ocorreu por 10 anos: durante 1º ano 30 poços foram monitorados, 15 desses alternavam locações e amostras coletadas nas 5 chuvas que ocorreram no ano. No 2º ano 41 poços foram monitorados da mesma forma, com mais 10 poços adicionais próximos de fontes água potável. Do 3º ao 10º ano 1 foram analisados diferentes poços coletando amostras de água de chuvas na entrada até a câmara sedimentar.
Pierce County, Washington, EUA, 1990–1995, Adolfson e Clark (1991) e Adolfson (1995)	1	Poço de sedimentação de DN 1,2m e h:1,7m conectado a poço de infiltração de DN 1,2m e h:2,7m, envolto em filtro de tecido e revestimento de concreto perfurado, com fundo aberto preenchido com rocha	Solo de baixa permeabilidade no norte do município, Areia grossa e cascalho de alta permeabilidade no sul. A superfície subterrânea alterna entre estratos glaciais e não glaciais	Comercial	Amostras de sedimentos coletado uma vez, amostras de compostos coletados em 16 chuvas e mais amostras coletadas através de um tubo que se estendia até o fundo do poço de infiltração
Park Ridge, Wisconsin, EUA, 1996–1998, Lindemann (1999)	14	Cano perfurado com profundidade entre 1,5 e 2,4m com entrada de cascalho e fundo aberto com drenagem em cascalho	Superfície subterrânea raso consiste de cascalho e depósitos de areia acima de uma base de rocha	Residencial	3 amostras de águas pluviais coletadas abaixo das grades de entrada dos poços, em 5 poços e 3 valas. Sedimentos coletados abaixo dos poços e 10 coletas de águas subterrâneas durante 10 anos a montante dos poços

Fonte: adaptado de Edwards *et al.*, 2016.

Já a nível nacional, estudos realizados por Reis; Oliveira; Sales (2005; 2008), Araújo (2010), Peixoto (2011), Angelini Sobrinha (2012) e Canholi (2013), avaliam o desempenho de poços de infiltração e parâmetros necessários para projeto, implantando estruturas em escala real, pré-dimensionadas através de curvas IDF dos respectivos locais de estudo. No Quadro 5 são apresentadas algumas dessas pesquisas, suas premissas de dimensionamento (tempo de retorno, tempo de concentração e área drenada), as dimensões das estruturas (diâmetro da base e profundidade), seus principais detalhes construtivos e monitoramentos realizados pelos autores.

Quadro 5 – Estudos realizados em poços de infiltração em nível nacional

Localização do poço	T _r (anos)	TC (min)	Área (m ²)	Dimensões DN x h (m)	Detalhes construtivos	Referência (ano)
São Carlos - SP	2	10	241,80	1,7 x 1,35	O poço foi construído com anéis de concreto pré-moldados, com 8 furos laterais de 50 mm de diâmetro cada. Os anéis foram assentados por blocos de concreto e lateralmente foram instalados blocos cerâmicos. Tanto nas laterais, quanto no fundo, instalou-se uma manda geotêxtil. O poço possuía uma tampa com uma peneira, sobreposta por uma camada de areia e manda geotêxtil	Barbassa; Angelini Sobrinha; Moruzzi (2014)
Goiânia - GO	1	5	107,50	1,10 x 1,30	O poço foi construído com anéis de concreto pré-moldados, com furos laterais. O fundo do poço foi preenchido com uma camada de 0,30 m de brita graduada nº 1. Tanto as laterais, quanto o fundo, foram revestidos com manda geotêxtil	Reis; Oliveira; Sales (2008)
Goiânia - GO	variável	variável	variável	0,60 a 3,50 x 3,10	O poço foi construído com anéis de concreto pré-moldados, com furos laterais. Tanto as laterais, quanto o fundo, foram revestidos com manda geotêxtil e uma camada de brita graduada	Araújo (2010)

Fonte: elaborado pela autora, 2018.

Reis; Oliveira; Sales (2008) implantaram duas estruturas: uma em escala real, composta por anéis de concreto perfurado com diâmetro interno de 1,10 m e outra apenas escavada a trado, sem nenhum revestimento interno, com diâmetro de 0,15 m. Ambas possuíam a mesma profundidade. Como resultado, os pesquisadores obtiveram uma média de infiltração constante ao longo do tempo para o poço de infiltração, no valor de 1,70 m³ a cada 50 min, após o terceiro enchimento consecutivo. Além disso, observaram que o desempenho do poço escavado a trado durante os ensaios de permeabilidade foi de 4 a 19 vezes inferior ao poço de concreto perfurado. Além disso, os autores avaliaram o desempenho da manta geotêxtil que revestia as paredes do sistema. Após 10 meses de observações, a manta diminuiu sua capacidade de infiltração em 31,47%, todavia, não afetou o desempenho do

equipamento, uma vez que, apesar da diminuição de sua eficiência, ainda manteve uma taxa de infiltração superior ao solo estudado.

A implantação de poços de infiltração como medidas de controle de cheias deve ser previamente avaliada, conforme características do local. Baptista; Nascimento; Barraud (2005) e Paraná (2002) recomendam que:

- a) o poço não pode estar localizado em zona de infiltração controlada;
- b) águas escoadas não podem ser potencialmente poluidoras;
- c) o subsolo deve ser permeável em profundidades não muito grandes para que o poço não precise ser muito profundo;
- d) o subsolo deve suportar presença de água sem desestruturar-se;
- e) o aporte de sedimentos finos e poluição não deve ser excessivo;
- f) não é aconselhável a implantação de poços em encostas.

NJDEP (2016) sugere que ao planejar um poço de infiltração, devem-se considerar as características do solo, a profundidade do lençol freático, as características ambientais da região e a qualidade da água de entrada do sistema. Nesse contexto, Reis; Oliveira; Sales (2008) concluíram em seus estudos, que para que os poços de infiltração tenham maior desempenho, economia de implantação e funcionamento, alguns parâmetros locais devem ser previamente determinados, 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;
- determinação e quantificação de carga poluidora das águas escoadas superficialmente;
- f) índices pluviométricos do local.

Para garantir o bom funcionamento do sistema é de suma importância que sejam feitas manutenções periódicas para limpeza, inspeção dos equipamentos, desobstrução de encanamentos e filtros, entre outras atividades. NJDEP (2016) aponta uma rotina de manutenção que consiste em inspecionar os elementos estruturais pelo menos uma vez ao ano

e os componentes de filtração e retenção de detritos pelo menos 4 vezes ao ano. Para tanto, as estruturas devem possuir ponto de acesso e a manutenção deve ser feita por profissional qualificado.

O dimensionamento dos poços, ou de qualquer estrutura de contenção de chuva, depende de parâmetros hidrológicos – intensidade de precipitação, duração e frequência da tormenta, tempo de funcionamento e esvaziamento do sistema – e, também, do solo local, como por exemplo, taxa de infiltração ou permeabilidade. Existem diversos métodos para determinar as características hidrológicas necessárias para o dimensionamento de poços de infiltração. Baptista; Nascimento; Barraud (2005) apresentam os métodos utilizados para dimensionamento de estruturas de armazenamento e infiltração de águas pluviais em dois grupos: simplificados – métodos das chuvas e dos volumes – e conceituais – método de Puls. No Quadro 6 são apresentadas essas metodologias com uma breve caracterização, hipóteses a serem analisadas para a escolha do método, dados necessários e suas vantagens e limitações.

Quadro 6 – Características principais de métodos para dimensionamento de estruturas de armazenamento ou infiltração de chuva

Método	Características	Hipóteses	Dados	Vantagens	Limitações
Método das Chuvas	• Fornece o volume máximo de armazenamento e a estimativa de tempo de descarga e de funcionamento do sistema • Pode ser utilizado para o dimensionamento de estruturas individuais ou associadas	• Vazão de saída e coeficiente de contribuição constantes • A transferência da chuva à obra de retenção é instantânea	• Curvas IDF do local relativas a longos períodos	• Facilidade de utilização	• Subestima volumes em relação ao Método dos Volumes para uma mesma série de dados
Método dos Volumes	• Fornece o volume máximo de armazenamento e a estimativa de tempo de descarga do sistema • Utilizado para o dimensionamento de estruturas individuais	• Vazão de saída e coeficiente de contribuição constantes • A transferência da chuva à obra de retenção é instantânea	• Dados pluviométricos de longa duração	• Facilidade de utilização • Fornece volumes mais precisos que o método das chuvas para uma mesma série de dados	• Difícil utilização quando há associação de estruturas
Puls	• Fornece um ou vários hidrogramas de saída das estruturas, a evolução dos volumes e alturas de água nas estruturas e um volume máximo de armazenamento e tempo de descarga necessário • Permite o planejamento, diagnósticos de sistema e dimensionamento de estruturas individuais ou associadas	• Vazões de saída variáveis	• Deve ser associado a modelos hidrológicos ou hidrogramas de entrada • Dados de chuva de projeto ou histórico de chuvas	• É adaptado a uma grade gama de problemas e permite a simulação dinâmica de enchimento de estruturas e do funcionamento de bacias controladas	• Difícil utilização para modelagem de estruturas não controladas por dispositivos específicos (infiltração) • Escolha da chuva de projeto representativa

Fonte: adaptado de Baptista; Nascimento; Barraud, 2005.

Castro (2002) aponta em seu trabalho as desvantagens do poço de infiltração como sendo: a possibilidade de colmatção das superfícies de infiltração, a necessidade de

manutenção regular, o risco de poluição do lençol freático e a baixa capacidade de armazenamento. Por outro lado, sugere que os poços de infiltração podem ser implantados associados a outras técnicas compensatórias, diminuindo, dessa forma, as dimensões dos equipamentos, a frequência de manutenção do sistema e o risco de poluição das águas subterrâneas. O autor também apresenta diversas vantagens do uso desse dispositivo:

- a) redução dos volumes drenados pela rede de drenagem clássica;
- b) ganho financeiro, com a redução das dimensões das tubulações de drenagem;
- c) baixos custos de investimento;
- d) boa integração com o meio urbano;
- e) não necessita de exutório;
- f) boa utilização no caso de solos superficiais pouco permeáveis e camadas profundas com grande capacidade de infiltração;
- g) recarga do aquífero;
- h) permite o desenvolvimento de vegetação próxima ao poço;
- i) não apresenta grandes restrições em função da topografia.

Ainda, Québec (2012) aponta como vantagem a possibilidade de implantação desses sistemas em locais onde não existam redes de drenagem, podendo funcionar de forma independente. Como desvantagem, é ressaltada a necessidade de boa taxa de permeabilidade do solo, o que pode comprometer drasticamente o desempenho do equipamento. Para Moura (2004) as principais vantagens do uso de poço de infiltração são sua possível integração com a paisagem urbana e a realimentação do lençol subterrâneo.

A necessidade de manutenção regular se dá pela possível colmatagem das superfícies de infiltração, sendo aconselhável que o poço seja visitável para que haja possibilidade de limpeza e remoção de materiais indesejáveis (ADOPTA, 2006). Além disso, o risco de poluição do lençol freático é minimizado quando se conhece a procedência e a qualidade das águas pluviais que infiltram pelo poço (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2005). Outra solução para minimizar as possíveis desvantagens, é a implantação de equipamentos filtrantes na entrada do sistema, com a finalidade de reter os sólidos grosseiros em um dispositivo primário.

Nos próximos itens serão abordadas as características e métodos de ensaios de permeabilidade de solos e os parâmetros hidrológicos necessários para o dimensionamento de uma estrutura de poço de infiltração.

3.4.1 Caracterização e permeabilidade do solo

A permeabilidade do solo pode ser determinada por métodos teóricos, com fórmulas e parâmetros já analisados por outros autores, por estudos diretamente no local específico a ser implantado o equipamento, ou ainda, por ensaios de laboratório. A ABGE (2013) classifica os ensaios de permeabilidade em solos de acordo com o conteúdo do Quadro 7. Para poços de infiltração instalados acima do lençol freático, podem ser realizados ensaios de infiltração com aplicação de carga, pelos métodos de sondagens, poços e cavas.

Quadro 7 – Classificação dos ensaios de permeabilidade do solo

Maneira de Realização	Pressão Aplicada	Denominação do Ensaio	Método de Prospecção
Nível constante	Carga	Infiltração	Sondagens, poços e cavas
	Descarga	Bombeamento	Poços e sondagens
Nível variável	Carga	Rebaixamento	Sondagens e poços
	Descarga	Recuperação	Poços e sondagens

Fonte: ABGE, 2013.

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 cm de profundidade, durante a escavação do poço, resultando na classificação do solo e no seu potencial de colapsibilidade. Já para a avaliação do desempenho de infiltração, os autores realizaram ensaios de permeabilidade de acordo com as metodologias da ABGE, em dois dispositivos: o poço de infiltração experimental e um poço escava a trado sem revestimento, a fim de comparação. As estruturas distavam 1 m entre si e possuíam a mesma profundidade, com o intuito de manter a mesma carga hidráulica nas duas.

Os pesquisadores realizaram quatro ensaios, em diferentes épocas do ano, com o auxílio de dois reservatórios de 1.000 litros cada um, simulando eventos de enchimento completo dos sistemas. Para promover a saturação do solo, antes dos ensaios, os poços foram cheios e esvaziados por três vezes. Então, foram observados os tempos de rebaixamento do nível da água nos dois dispositivos. Os ensaios permitiram o traçado das taxas de infiltração (I), que por sua vez, se deram pela aplicação da Equação 1.

$$I = \frac{V_{\text{infiltrado}}}{A_m \cdot \Delta t}$$

Equação 1

Sendo:

I: taxa de infiltração ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$);

$V_{\text{infiltrado}}$: volume infiltrado no intervalo Δt (m^3);

A_m : área molhada média no intervalo Δt (m^2);

Δt : intervalo de tempo (s).

Para avaliar a infiltração da água no solo em poços, EPA (2012) conduziu testes de permeabilidade nesses equipamentos em duas fases, em sistemas já implantados. A primeira etapa encheu poços secos com água proveniente de hidrantes municipais e os níveis de água decrescentes foram sendo registrados, conforme ocorria o esvaziamento. A segunda etapa se deu pelo monitoramento contínuo do nível de água em poços secos durante vários períodos de chuvas, por mais de um ano de observações. As medidas de infiltração foram realizadas continuamente, de 10 min em 10 min, utilizando equipamentos específicos para esse fim, instalados nos poços ainda secos.

Barbassa; Angelini Sobrinha; Moruzzi (2014) avaliaram a permeabilidade do solo onde instalaram um sistema de poço de infiltração, em laboratório, com corpos de prova coletados oito meses após a instalação do equipamento. Inicialmente, os pesquisadores analisaram a permeabilidade do filtro instalado na tampa do poço, ajustando esses dados pelo método de Puls, com o objetivo de determinar a taxa de infiltração no solo. De acordo com Angelini Sobrinha (2012), o método de Puls é o mais difundido quando se trata de simulação de propagação de cheias em reservatórios.

A ABGE (2013) apresenta procedimentos para ensaio de permeabilidade de solos em poços através da implementação do ensaio denominado *Slung Test*. Esse teste consiste na avaliação da variação instantânea do nível d'água no interior do poço pela introdução de um cilindro rígido (podendo ser utilizado um tubo de PVC perfurado) provocando uma elevação no nível d'água no interior do poço, então, é imediatamente medido o rebaixamento desse nível em intervalos de tempo determinados. Esse método apresenta diversas vantagens, como por exemplo, simplicidade, rapidez, baixo custo, não necessidade de bombeamento e compatibilidade com outros métodos.

3.4.2 Parâmetros hidrológicos para dimensionamento

O dimensionamento e implantação de poços de infiltração requerem parâmetros hidrológicos, definidos por Angelini Sobrinha (2012) e Reis; Ilha; Teixeira (2013) como sendo:

- a) período de recorrência ou de retorno de chuva;
- b) tempo de concentração da bacia;
- c) intensidade de precipitação;
- d) área de contribuição;
- e) coeficiente de escoamento superficial;
- f) vazão máxima de projeto;
- g) tempo de funcionamento e descarga.

Reis; Ilha; Teixeira (2013) também ressaltam que sistemas de drenagem na fonte baseados na infiltração da água da chuva devem avaliar o nível do lençol freático, o perfil e as características do solo até a profundidade do dispositivo e o potencial poluidor e de sedimentos do deflúvio superficial. A seguir são apresentadas as definições dos parâmetros hidrológicos apontados pelos autores.

3.4.2.1 Período de retorno

O período de retorno é definido por Villela; Mattos (1975), Tucci; Bertoni (2003) e Baptista; Nascimento; Barraud (2005) como o intervalo médio de tempo em que uma determinada vazão de pico da chuva de projeto seja igualada ou superada. Na Tabela 3 são apresentados valores usuais de tempo de retorno empregados para diferentes áreas de ocupação tanto para obras de microdrenagem, quanto de macrodrenagem.

Tabela 3 – Valores usuais para tempo de retorno de diferentes ocupações

Obra	Ocupação da Área	Tempo de Retorno (anos)
Microdrenagem	Residencial	2
	Comercial	5
	Edifícios de serviços públicos	5
	Aeroportos	2 a 5
	Áreas comerciais e arteriais de tráfego	5 a 10
Macrodrenagem	Comercial e residencial	50 a 100
	Áreas de importância específica	500

Fonte: adaptado de DAEE/CETESB, 1980.

Estudos recentes, realizados para implantação de poços de infiltração como obras de microdrenagem, utilizam esses valores como referência Barbassa; Angelini Sobrinha; Moruzzi (2014), por exemplo, pré-dimensionaram um poço de infiltração para implantação e avaliação do sistema em escala real, para um período de retorno de 2 anos. Já Reis; Ilha (2014) calcularam a chuva de projeto para pré-dimensionamento para esse tipo de sistema, para um período de retorno de 5 anos.

3.4.2.2 Tempo de concentração ou duração da chuva

O tempo de concentração da bacia ou duração da chuva é definido por Canholi (2005), como “o tempo de percurso da água desde o ponto mais afastado da bacia até a seção de interesse, a partir do início da precipitação”.

3.4.2.3 Chuva de projeto

A determinação da chuva de projeto é um dos parâmetros mais importantes para os projetos de drenagem pluvial. Para os sistemas tradicionais, a vazão, determinada pelo pico do deflúvio, associado à precipitação crítica e um fator de risco, é suficiente para o dimensionamento das galerias e componentes.

Já nos projetos de controle de precipitação, reservatórios de detenção ou retenção da chuva, estudos mais específicos são necessários, como a obtenção de um hietograma de precipitação – precipitação em função do tempo. Além disso, o dimensionamento de um determinado equipamento de contenção, a partir de uma determinada chuva de projeto, tem como objetivo que suas dimensões sejam suficientes para proteger a área de drenagem, de eventos com a mesma recorrência dessa precipitação (CANHOLI, 2005). Para tanto, é importante que sejam assumidas algumas hipóteses, tais como:

- a) a tormenta de projeto terá o mesmo volume de uma chuva observada com a mesma recorrência;
- b) a distribuição temporal adotada será a mesma de uma tormenta ocorrida;
- c) o reservatório estará vazio quando receber a entrada da chuva de projeto;
- d) a chuva de projeto é considerada uniformemente distribuída na bacia.

Existem várias metodologias e formas para determinação da chuva de projeto. Canholi (2005) cita os principais como sendo:

- a) Curva IDF (Intensidade-Duração-Frequência);
- b) Bloco de Tormenta (Block Rainstorm);
- c) Método de Sifalda;
- d) Método Chicago;
- e) Método dos Blocos Alternados;
- f) Método Yen e Chow;
- g) Método de Huff.

A intensidade de precipitação, por sua vez, consiste na relação da altura da chuva pela sua duração (AZEVEDO NETTO *et al.*, 1998). Segundo Denardin; Freitas (1982), Schwab *et al.* (1966) e Villela; Mattos (1975), a Equação 2, derivada da Equação 3, denominada Equação de Pfafstetter (1957), é a mais utilizada para determinação da intensidade de precipitação. As variáveis de ambas as equações irão depender do local de estudo.

$$i = \frac{a \cdot T_r^b}{(t + c)^d} \quad \text{Equação 2}$$

Sendo:

i: intensidade de precipitação ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$);

T_r : tempo de retorno (anos);

t: tempo de duração da chuva (min), igual ao tempo de concentração;

a, b, c, d: coeficientes de ajuste que variam de acordo com o local.

$$P = T_r^{\alpha + \frac{\beta}{T_r^{0.25}}} \cdot (a \cdot t_d + b \cdot \log(1 + c \cdot t_d)) \quad \text{Equação 3}$$

Sendo:

P: Precipitação máxima (mm);

T_r : tempo de retorno (anos);

t_d : tempo de duração da chuva (h);

α : constante que depende da duração de precipitação;

β : constante que depende da duração da precipitação e da localidade;

a, b, e c: constantes que dependem da localidade.

3.4.2.4 Coeficiente de escoamento superficial

O coeficiente de escoamento superficial ou *runoff* é definido por Baptista; Nascimento; Barraud (2005) como “o coeficiente que mede o rendimento global da chuva (fração da chuva que chega realmente ao exutório da bacia considerada por meio do escoamento superficial)”. DEP (2005) define que o coeficiente de escoamento superficial consiste na “relação entre o volume total escoado superficialmente e o volume precipitado”. DAEE (2005) aponta que esse coeficiente é determinado pelo grau de impermeabilização ou urbanização da bacia. DAEE (1994) recomenda, de forma simplificada, como consta na Tabela 4, valores para o coeficiente de escoamento superficial de acordo com o nível de urbanização da bacia.

Tabela 4 – Valores recomendados para o coeficiente de escoamento superficial

Uso do Solo ou Grau de Urbanização	Valores de C	
	Mínimos	Máximos
Área totalmente urbanizada	0,50	1,00
Área parcialmente urbanizada	0,35	0,50
Área predominantemente de plantações, pastos etc.	0,20	0,35

Fonte: adaptado de DAEE, 1994.

3.4.2.5 Vazão de projeto

A vazão de projeto pode ser determinada por diferentes métodos, agrupados genericamente por Azevedo Netto *et al.* (1998) como: empíricos, estatísticos, hidrometeorológicos e racional. O Quadro 8 apresenta uma síntese da descrição de cada um desses grupos.

Quadro 8 – Descrição dos métodos para determinação de vazão de projeto

Método	Descrição
Empíricos	- Vazão é função de características físicas da bacia (área) e grandezas ligadas às precipitações (altura, intensidade, duração, recorrência); - Necessita estudos locais, o que limita sua validade.
Estatísticos	- São elaborados estudos de probabilidade de ocorrência baseados nas vazões máximas observadas em cada ano, de uma série grande de anos; - Quanto maior o número de anos, maior a chance da probabilidade se aproximar da frequência; - Associa-se, então um fator de risco de recorrência (fator de risco) de acordo com a vida útil provável da obra.
Hidrometeorológico	- Baseiam-se na avaliação da máxima precipitação provável em uma área, através da análise das condições meteorológicas críticas devidas à máxima umidade atmosférica capaz de transformar em precipitação; - Depende de um grande número de dados hidrológicos e meteorológicos; - Sua complexidade só justifica o uso para obras de grande responsabilidade.
Racional	- Consiste na aplicação de uma equação em função de uma intensidade de precipitação, da área drenada e de um coeficiente de escoamento superficial; - Este método é recomendado para aplicação em bacias de até 500 ha e Período de Retorno de até 50 anos; - Necessita dados de precipitação da bacia.

Fonte: adaptado de Azevedo Netto *et al.*, 1998.

O Método Racional é muito utilizado para cálculo de vazões de projeto de microdrenagem urbana, comparando os valores de pré e pós-urbanização (TASSI, 2005). Introduzido no ano de 1889, esse método, quando adequadamente aplicado, pode fornecer resultados satisfatórios para a transformação de intensidade de precipitação em vazão (SÃO PAULO, 1999).

Vários autores divergem em relação à área de drenagem máxima as quais o método pode ser empregado. Azevedo Netto *et al.* (1998) apresenta o valor da bacia na ordem

de 500 hectares, já Tucci (2005) afirma que o valor máximo da área da bacia deve ser de 200 hectares e São Paulo (1999), por sua vez, trabalha com o valor de 300 hectares. De toda forma, para uso de dimensionamento de sistemas em nível de lote e de loteamento, o tamanho da área de drenagem limitado pelo método não é um problema, já que as áreas são, em sua maioria, menores que os valores estipulados, como demonstrado por Silva; Cabral (2014) que fizeram uso do Método Racional em seu estudo comparativo de técnicas para atenuar picos de vazão em hidrogramas de projeto. Conforme São Paulo (1999) e Tucci (2005), o método consiste na aplicação da Equação 4.

$$Q = 0,278 \cdot C \cdot i \cdot A \quad \text{Equação 4}$$

Sendo:

Q: vazão de projeto ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$);

C: coeficiente de escoamento superficial da bacia hidrográfica;

i: intensidade média de precipitação sobre toda área da bacia, com duração igual ao tempo de concentração em ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$);

A: área de contribuição (ha).

3.4.2.6 Tempo de funcionamento e descarga

O tempo de funcionamento corresponde ao tempo de enchimento do poço e o tempo de descarga o tempo para seu esvaziamento. Esses parâmetros podem ser determinados pela Equação 5 e pela Equação 6, respectivamente (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2005).

$$D_f = \frac{P(D_{p,T})}{q_s} \quad \text{Equação 5}$$

Sendo:

D_f : tempo de funcionamento (min);

$P(D_{p,T})$: altura máxima de chuva (mm) dada pela intensidade multiplicada pelo tempo;

q_s : vazão específica ($\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$).

$$D_v = \frac{DH_{\text{máx}}(q_{s,T})}{q_s} \quad \text{Equação 6}$$

Sendo:

D_v : tempo de descarga (mm);

$DH_{\text{máx}}(q_{s,T})$: altura máxima de chuva (mm) dada pelo produto da altura máxima precipitada diminuído da altura máxima infiltrada;

q_s : vazão específica ($\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$).

3.5 REGULAMENTAÇÃO DA DRENAGEM URBANA NO BRASIL

Como já abordado anteriormente, o crescimento da população e consequente desenvolvimento das cidades, trazem consigo problemas diversos, dentre eles pode-se destacar as falhas no sistema de drenagem. A falta regulamentação, planos de drenagem e de controle de enchentes e legislações adequadas às funções hidrológicas, intensifica ainda mais esses impactos. Tucci (2016) aponta os níveis de regularização para drenagem como nacional, estadual, plano de bacia hidrográfica e municipal.

Nesse contexto, em nível nacional, a evolução do conceito de planejamento urbano, aliado a práticas de controle e preservação do meio ambiente, se deu a partir da criação da SISNAMA (Sistema Nacional do Meio Ambiente), pela Lei 6.938 de 1981 (BRASIL, 1981). Todavia, foi com a Constituição Federal de 1988 (BRASIL, 1988) que esse sistema se fortaleceu, assim como, a integração municipal nas políticas de meio ambiente, o planejamento urbano como princípio constitucional, com o intuito de ordenar o desenvolvimento das funções sociais das cidades e garantir o bem-estar dos habitantes (CARMO; MARCHI, 2013).

No que diz respeito especificamente à drenagem urbana, o Estatuto da Cidade, em 2001, regulamentou que municípios com 20.000 habitantes ou mais deveriam elaborar um Plano Diretor Urbano. Um dos requisitos básicos desse plano é a garantia de um adequado sistema de drenagem urbana ou ainda o controle e manejo das águas pluviais. Dessa forma, surgiu a necessidade, por parte dos municípios, do desenvolvimento de Planos Diretores de Drenagem Urbana (BRASIL, 2001).

Todavia, foi com a Lei Federal 11.445 de 05 de janeiro de 2007 (BRASIL, 2007), a qual estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, que houve um marco relevante para a drenagem urbana no Brasil. Essa legislação incluiu o sistema de drenagem pluvial como elemento básico da infraestrutura urbana, definindo saneamento básico como um conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais, compostos por:

- a) abastecimento de água potável;
- b) esgotamento sanitário;
- c) limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos;
- d) drenagem e manejo das águas pluviais.

Outro ponto relevante trazido pela Lei Federal 11.445 foi a previsão de elaboração do Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB) o qual deveria possuir horizonte de projeto de 20 anos, com avaliação anual e revisão a cada 4 anos (BRASIL, 2007). A elaboração do PLANSAB iniciou-se em 2009 e teve sua versão final aprovada em 2013, pelo Decreto Presidencial nº 8.141 e pela Portaria Interministerial nº 571, prevendo, de forma multidisciplinar, três diferentes cenários futuros de saneamento básico para o país e estabelecendo metas de curto (2018), médio (2023) e longo (2033) prazo, propostas e estratégias. Em relação ao investimento financeiro necessário ao setor de drenagem, o plano previu a necessidade de investimento de 68,7 bilhões de reais entre os anos de 2014 e 2033, sendo destes 30% destinados à expansão e 70% à reposição do sistema (BRASIL, 2014).

O PLANSAB, inicialmente, procurou caracterizar a situação do saneamento básico no Brasil, identificando que dentre os componentes do saneamento básico definidos pela Lei 11.445, os serviços de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas foram os que apresentam maior carência de políticas e organização institucional. O plano destacou, no âmbito de programas federais, a existência dos Programas de Drenagem Urbana e Controle de Erosão Marítima e Fluvial e de Prevenção e Preparação para Emergências e Desastres, ambos coordenados pelo Ministério da Integração Nacional, sendo o primeiro voltado a desenvolver obras de drenagem urbana em consonância com as políticas de desenvolvimento urbano e de uso e ocupação do solo, e o segundo com o objetivo de prevenir danos e prejuízos provocados por desastres naturais e antropogênicos (BRASIL, 2014).

Em 2016, com a inclusão do Artigo 36 na Lei 11.445, foi regularizada a cobrança pela prestação do serviço público de drenagem em todos os lotes urbanos, considerando os percentuais de impermeabilização e a existência de dispositivos de amortecimento ou de retenção de água de chuva, bem como podendo considerar o nível de renda da população da área atendida e as características dos lotes urbanos e as áreas que podem ser neles edificadas (BRASIL, 2016).

Nesse contexto, o sistema de drenagem urbana tornou-se essencial como parte da infraestrutura dos municípios, contemplando não apenas as galerias pluviais clássicas, mas também sistemas de amortecimento de picos de vazão. Entretanto, as normas para a implantação de sistemas de drenagem pluvial variam de acordo com as leis municipais e cabe a cada cidade elaborar seu PDDU e fiscalizar a implantação e manutenção dos equipamentos de drenagem.

4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo será realizado em uma área ainda não urbanizada, onde será implantado um loteamento residencial. Esse, por sua vez, estará localizado na área urbana do município de Caxias do Sul. A seguir são apresentadas as características do município e da área reservada para implantação da estrutura de controle de cheias.

4.1 MUNICÍPIO DE CAXIAS DO SUL

O município de Caxias do Sul está localizado no estado do Rio Grande Sul, extremo sul do território brasileiro, com latitude sul de 29°10'25'' e longitude oeste de 51°12'21'', distando 135 km da capital do estado, conforme Figura 7. De acordo com IBGE (2010), possui área territorial de 1.652,308 km², população estimada de 435.564 habitantes, resultando em uma densidade demográfica de 264,89 hab.km⁻².

Figura 7 – Localização de Caxias do Sul em relação ao Brasil e ao Rio Grande do Sul

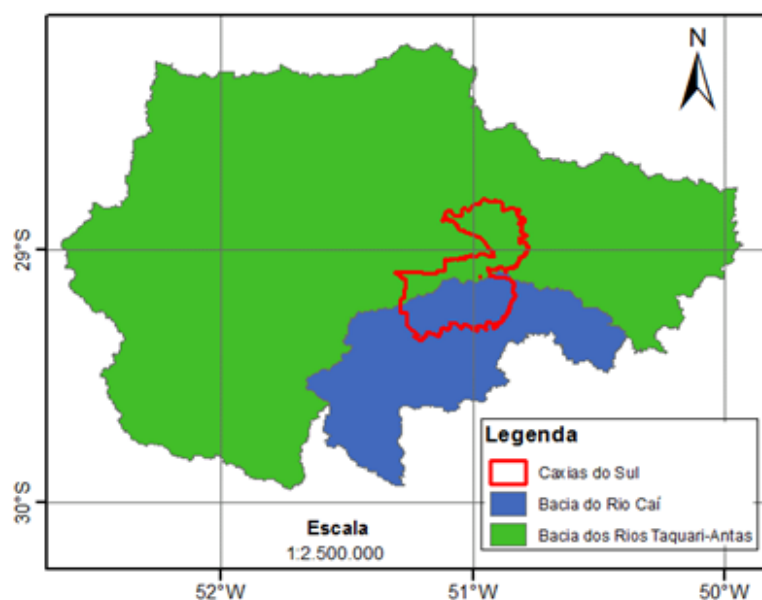


Fonte: Caxias2014, 2017.

4.1.1 Região hidrográfica

O estado do Rio Grande do Sul é dividido em três regiões hidrográficas: Guaíba, Litoral e Uruguai. Essas regiões hidrográficas, por sua vez, são divididas em 25 bacias (RIO GRANDE DO SUL, 2012). O município de Caxias do Sul está inserido na Região Hidrográfica do Guaíba e sob um divisor de águas entre a Bacia Hidrográfica Taquari-Antas, ao norte e a Bacia Hidrográfica do Rio Caí, ao sul, conforme Figura 8.

Figura 8 – Representação do município de Caxias do Sul em relação às Bacias Hidrográficas dos Rios Taquari-Antas e do Rio Caí



Fonte: SAMAE, 2017.

A bacia hidrográfica dos rios Taquari-Antas está localizada na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul, abrangendo uma área de 26.415 km². Sua divisa a norte se dá com a bacia do rio Pelotas, a oeste e ao sul com a bacia do rio Jacuí e a leste com as bacias dos rios Caí e Sinos (RIO GRANDE DO SUL, 2012). A bacia hidrográfica do rio Caí, por sua vez, possui uma área de drenagem de 4.983,38 km² e limites a oeste e a norte com a Bacia dos rios Taquari-Antas e ao sul com as Bacia Baixo Jacuí e Sinos (SEMA, 2008).

4.1.2 Situação da drenagem urbana no município de Caxias do Sul

De acordo com IBGE (2010), o município de Caxias do Sul possui 91,9% de domicílios com esgotamento sanitário adequado e 58,3% de domicílios urbanos em vias

públicas com urbanização adequada (presença de bueiro, calçada, pavimentação e meio-fio). Em relação ao sistema de drenagem urbana, especificamente, existem dados do ano de 2001, elaborados pelo PDDU de Caxias do Sul, que por sua vez, ainda não foi encontrado regulamentado por lei.

O sistema sanitário de Caxias do Sul, anteriormente à Lei nº 189, de 2002, que aprovou o Plano Diretor de Esgotamento Sanitário (PDES) do município, era misto. A legislação regulamentou os lançamentos de esgotos cloacais e pluviais em redes distintas, instituindo, dessa forma, o sistema sanitário municipal como separador absoluto (CAXIAS DO SUL, 2002).

SAMAE/IPH (2001) alertam que o sistema sanitário misto dificulta o gerenciamento do controle da drenagem urbana, causa odores desagradáveis ao longo da cidade nos períodos de estiagem, onde o escoamento é totalmente de esgoto sanitário, além de, nos períodos de chuvas intensas, quando ocorrem possíveis inundações, possibilitam uma maior probabilidade de proliferação de doenças vinculadas à água.

Ainda, os autores apresentam algumas características, referentes ao processo de urbanização do município, que afetam os sistemas de drenagem urbana:

- a) espaços para ocupação reduzidos devido ao relevo muito acentuado, que, por sua vez, também contribui para que as inundações sejam rápidas;
- b) poucas áreas públicas de lazer;
- c) lotes urbanos reduzidos com grande área impermeabilizada;
- d) número significativo de ruas pavimentadas com paralelepípedo, o que contribui na retenção e infiltração de parte do escoamento superficial.

Essas características foram identificadas na elaboração do Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDU) de Caxias do Sul, no ano de 2001. Apesar desse estudo ter sido desenvolvido para implementar o sistema de drenagem municipal, até a data do presente trabalho, ainda não havia sido regulamentado pelo município.

No âmbito legal, Caxias do Sul possui uma lei que define as zonas de águas municipais, definindo as áreas pertencentes às Bacias de Captação, com o intuito de garantir o abastecimento de água adequado para a população, restringindo o uso e ocupação do solo nesses locais (CAXIAS DO SUL, 2005). O Plano Diretor Urbano (PDU), por sua vez, foi regulamentado em 2007, pela Lei nº 290. Em relação aos sistemas de drenagem, o plano prevê que o saneamento ambiental deve ser feito de forma integrada, por mecanismos de gestão, que

contemplem o abastecimento de água potável, a coleta e tratamento do esgoto sanitário, a drenagem das águas pluviais, o manejo dos resíduos sólidos, o controle de vetores, de resíduos e de efluentes industriais, tendo como objetivos a melhoria das condições da saúde pública e o desenvolvimento sustentável do município. Ainda, incentiva que sejam criados mecanismos para o reuso das águas servidas e para o aproveitamento das águas de chuva, pelos usuários (CAXIAS DO SUL, 2007a).

O PDU regulamenta a elaboração do Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB), a fim de estipular diretrizes para o regramento do abastecimento de água, esgotamento sanitário, resíduos sólidos, limpeza urbana, drenagem urbana, manejo e reuso de águas pluviais. O plano previu que a drenagem urbana deveria ser compatibilizada ao PDES, considerando a implantação de reservatórios de amortecimento de água de chuva, bem como a realização de outras obras civis necessárias, com o objetivo de minimizar os riscos de inundações, em equilíbrio com as questões ambientais e a segurança e bem-estar dos habitantes (CAXIAS DO SUL, 2007a).

No ano de 2007, a Lei do Parcelamento de Solo foi regulamentada, com a finalidade de ordenar o espaço físico do município de Caxias do Sul, equilibrando o surgimento de novos loteamentos urbanos com o ambiente ao qual serão implantados, orientando agentes públicos e privados. Essa legislação define o sistema de drenagem urbana como parte fundamental da infraestrutura básica do município, instituindo que é de responsabilidade do empreendedor a implantação ou ampliação do mesmo. Ainda, proíbe o parcelamento de solo de áreas alagadiças e sujeitas a inundações, ao menos que sejam implantados mecanismos para assegurar o escoamento dessas águas. Prevê, também, que os novos loteamentos não poderão interferir no escoamento natural das águas pluviais e que, a critério do município, os empreendedores deverão reservar áreas destinadas à instalação de sistemas de retenção de águas pluviais (CAXIAS DO SUL, 2007b).

Por sua vez, a Lei Complementar nº 513 de 2016 alterou o Código de Obras de Caxias do Sul, instituindo que novos empreendimentos, que possuírem área impermeabilizada superior a 800 m², deverão dispor de reservatórios de armazenamento de água de chuva (CAXIAS DO SUL, 2016). Antes, o Código de Obras apenas regulamentava que novos empreendimentos residenciais com mais de 8 unidades condominiais ou famílias e comerciais, com mais de 500 m² de área construída, deveriam dispor desse sistema (CAXIAS DO SUL, 2010) não dispondo de nenhuma diretriz construtiva ou de dimensionamento. Já a nova lei apresenta como características para o dimensionamento e implantação dessas estruturas os seguintes itens:

- a) taxas de impermeabilização:
 - i. asfalto, concreto, basalto ou outros revestimentos selados: 100%;
 - ii. paralelepípedos: 95%;
 - iii. concreto poroso: 90%;
 - iv. concregrama ou similar: 30%;
 - v. brita: 10%;
 - vi. grama ou cobertura vegetal: 0%;
- b) a área equivalente impermeável (AEI), efetiva para cálculo de reservação, deverá ser calculada de acordo com a Equação 7;
- c) o volume do reservatório deve ser definido pela aplicação da Equação 8;
- d) as águas pluviais deverão ser captadas nos telhados, coberturas ou terraços e conduzidas até o reservatório que, por sua vez, deverá armazená-las por 2 h após a cessação da chuva, para então poder despejar essa volume na rede pública de drenagem (CAXIAS DO SUL, 2016).

$$AEI = \Sigma(A_i \cdot t_i) \quad \text{Equação 7}$$

Sendo:

AEI: área equivalente impermeável (m²);

A_i: áreas impermeáveis presentes no lote (m²);

t_i: taxa de impermeabilização.

$$V = 0,5 \% \cdot AEI \quad \text{Equação 8}$$

Sendo:

V: volume do reservatório (m³);

AEI: área equivalente impermeável (m²).

Tanto os poços de infiltração quanto os reservatórios propostos pela lei municipal possuem a mesma função: atenuar o pico de vazão do hidrograma de escoamento superficial da área impermeabilizada por novos empreendimentos. A grande diferença entre eles, como já apresentado nos itens anteriores, é que os poços de infiltração, além de funcionarem temporariamente como reservatórios de amortecimento, também possuem o objetivo de reestabelecer ou manter o balanço hídrico de pré-urbanização, através da infiltração da água no solo.

4.2 OBJETO DE ESTUDO

O estudo de caso será realizado em uma área onde está sendo implantado um loteamento residencial denominado Caminhos do Sol, no município de Caxias do Sul, Rio Grande do Sul. Esse empreendimento está em fase de implantação e já possui projetos urbanísticos e de drenagem pluvial aprovados pela Prefeitura Municipal e pela Secretaria Municipal de Obras e Serviços Públicos (SMOSP) de Caxias do Sul.

Mais precisamente, a área estudada está localizada a nordeste do perímetro urbano de Caxias do Sul, possuindo acesso principal pela Rodovia BR 453 (Rota do Sol), em uma região de plena expansão do município. Na Figura 9 é apresentada a localização e o perímetro da área em questão.

Figura 9 – Localização do objeto de estudo



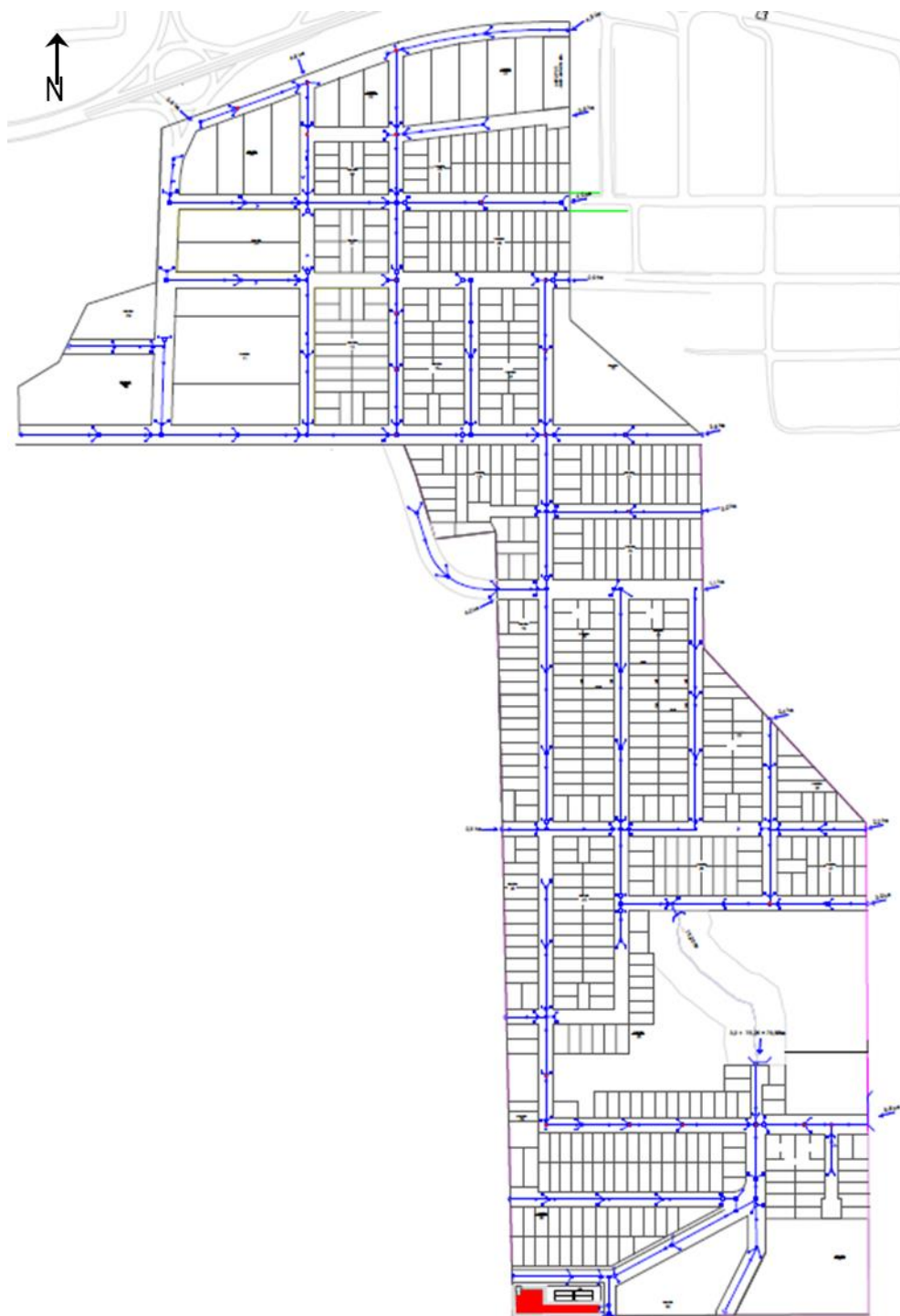
Fonte: adaptado de Google, 2016.

O loteamento possui uma área total de 45,74 ha, dos quais, 26,87 ha foram reservados para implantação de 577 lotes residenciais e 11,05 ha destinados ao sistema viário. Durante o desenvolvimento deste estudo, o empreendimento encontrava-se em fase de obras de terraplanagem e abertura de vias, e seu sistema de drenagem seria implantado após a conclusão dessa etapa.

O sistema de drenagem projetado para o empreendimento foi desenvolvido de acordo com as normas municipais, combinando o modelo clássico – composto por tubulação

de concreto pré-fabricado, bocas-de-lobo, sarjetas, caixas de passagem e poços de visita, também em concreto pré-moldados – com uma técnica de amortecimento de pico de vazão – bacia de contenção do tipo lago aberto. Na Figura 10 é possível identificar os lotes e vias quem compõem o empreendimento e a projeção do traçado da rede de drenagem, em azul com a área destinada à implantação da bacia de contenção, em vermelho.

Figura 10 – Sistema de drenagem do empreendimento estudado

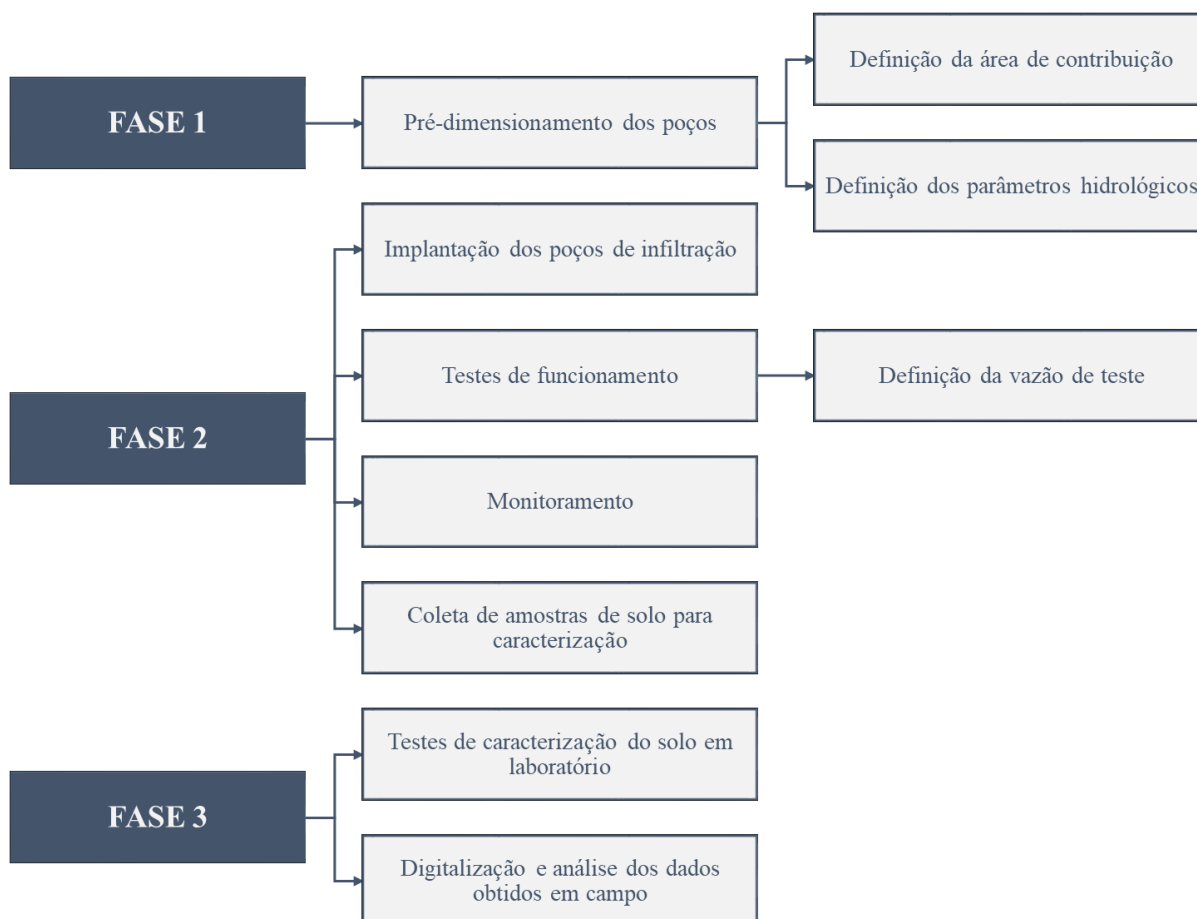


Fonte: adaptado de Siviero Empreendimentos Imobiliários, 2016.

5 METODOLOGIA DE PESQUISA

O desenvolvimento do estudo foi dividido em três fases conforme apresentado na Figura 11. Na Fase 1 foi realizado o pré-dimensionamento dos poços de infiltração para definição das dimensões para a etapa de implantação que, por sua vez, foi realizada na Fase 2. Também nessa fase foram realizados os testes e monitoramento do comportamento das estruturas, além da coleta de amostras de solo para posterior caracterização. Por fim, a Fase 3 foi composta pelas análises do solo, realizadas em laboratório, a digitalização dos dados coletados durante os testes e a análise dos resultados obtidos. Na sequência deste capítulo foram descritos todos os métodos utilizados em cada uma das fases citadas.

Figura 11 – Etapas realizadas no desenvolvimento do trabalho



Fonte: elaborado pela autora, 2018.

5.1 DIMENSIONAMENTO DAS ESTRUTURAS

O dimensionamento dos sistemas de poços de infiltração foi desenvolvido para estimar um valor de referência para as dimensões dos equipamentos, considerando um dos poços preenchidos com material granular drenante e outro com seu interior totalmente livre para armazenamento de água. Para tanto, foi determinada a vazão de projeto e a intensidade de precipitação de acordo com a área de drenagem e o tempo de detenção dos poços. Paraná (2002) sugere que o dimensionamento dos equipamentos seja feito através da fixação de um valor inicial de dimensões da base e, então, a determinação da sua profundidade de acordo com os demais parâmetros. Nesse projeto foram avaliados o espaço físico disponível nas vias, os materiais usuais disponíveis no mercado, as características individuais de cada estrutura, a legislação existente e os parâmetros exigidos pela Prefeitura Municipal de Caxias do Sul para projetos de sistemas de drenagem urbana de novos loteamentos residenciais.

5.1.1 Áreas de contribuição

A área de contribuição para os poços de infiltração foi limitada a 1.451,65 m², correspondente a quatro lotes residenciais, com dimensões detalhadas na Tabela 5. A determinação do uso de quatro lotes como área de drenagem foi baseada na distância máxima entre bocas-de-lobo definida pela SMOSP para projetos de drenagem do município de Caxias do Sul, no valor de 50 m. Sendo assim, a soma das testadas dos lotes foi de 48,07 m, sendo muito próxima ao valor de referência.

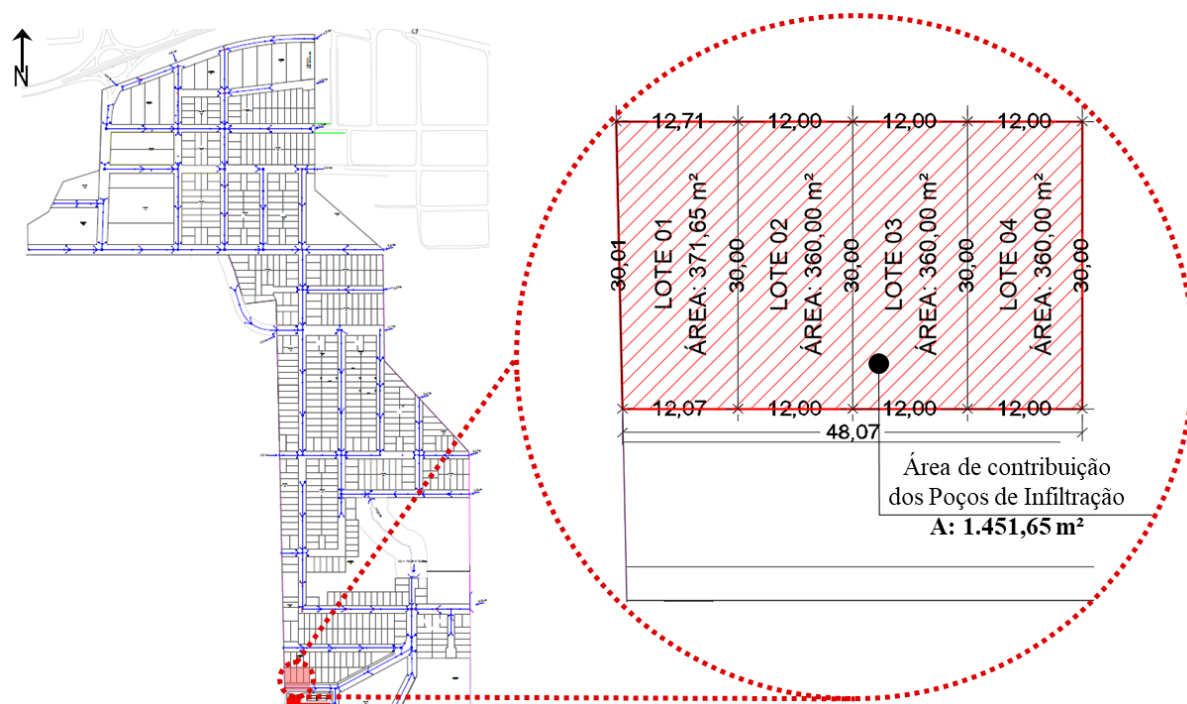
Tabela 5 – Área de contribuição definida para dimensionamento dos poços de infiltração

Lote	Dimensões (m): testada x fundo x laterais	Área (m ²)
1	12,07 x 12,71 x 30,01 x 30,00	371,65
2	12,00 x 12,00 x 30,00 x 30,00	360,00
3	12,00 x 12,00 x 30,00 x 30,00	360,00
4	12,00 x 12,00 x 30,00 x 30,00	360,00
Área total		1.451,65

Fonte: elaborado pela autora, 2018.

Na Figura 12 é possível identificar a localização da área em relação ao projeto urbanístico do loteamento. Os lotes estão posicionados ao sul do empreendimento e possuem previsão de instalação de sistema de drenagem composto por tubos de concreto armado DN 600 e poços de visita localizados nos eixos das vias e bocas-de-lobo nos meios fios, em ambos os lados da tubulação principal.

Figura 12 – Delimitação da área para dimensionamento dos poços de infiltração



Fonte: adaptado de Siviero Empreendimentos Imobiliários, 2016.

5.1.2 Parâmetros de dimensionamento adotados

Os parâmetros de projeto para dimensionamento respeitaram a normatização da SMOSP de Caxias do Sul. Esses parâmetros são apresentados a seguir e também podem ser encontrados no Anexo A – Diretrizes Técnicas do empreendimento onde foram implantados os poços.

5.1.2.1 Vazão de projeto

A vazão de projeto consiste no volume produzido pela bacia urbanizada afluente ao sistema de contenção e a ser controlada por esta estrutura (MIGUEZ; VERÓL; REZENDE, 2016). Para determinar o volume de contenção das estruturas foi necessária a determinação desse parâmetro. Para tanto, adotou-se a equação do Método Racional, mesma metodologia sugerida no PDDU (SAMAE/IPH, 2001) e nas diretrizes técnicas emitidas pela SMOSP.

O Método Racional consiste na aplicação da Equação 4, apresentada anteriormente, que por sua vez, depende dos valores do coeficiente de escoamento superficial, da área de drenagem e da intensidade de precipitação. Esses parâmetros foram definidos e

calculados de acordo com a região onde foi implantado o sistema e são apresentados, detalhadamente, nos próximos itens.

5.1.2.2 Coeficiente de escoamento superficial

O coeficiente de escoamento adotado foi o indicado pela SMOSP para projetos de obras de controle de cheias, correspondendo à diferença entre o cenário pré-urbanização, o qual assume um valor de 0,60 e o de pós-urbanização que corresponde ao valor de 0,30. Dessa forma, para fins de dimensionamento das estruturas, esse parâmetro assumiu o valor de 0,30.

5.1.2.3 Intensidade da chuva

A intensidade de chuva do projeto foi determinada pelo método da curva IDF, com os coeficientes ajustados para o local de implantação das estruturas. É importante ressaltar que não foram encontrados estudos recentes referentes à determinação dessa equação para Caxias do Sul, sendo o mais atual um estudo de 2009, como apresentado na Tabela 6.

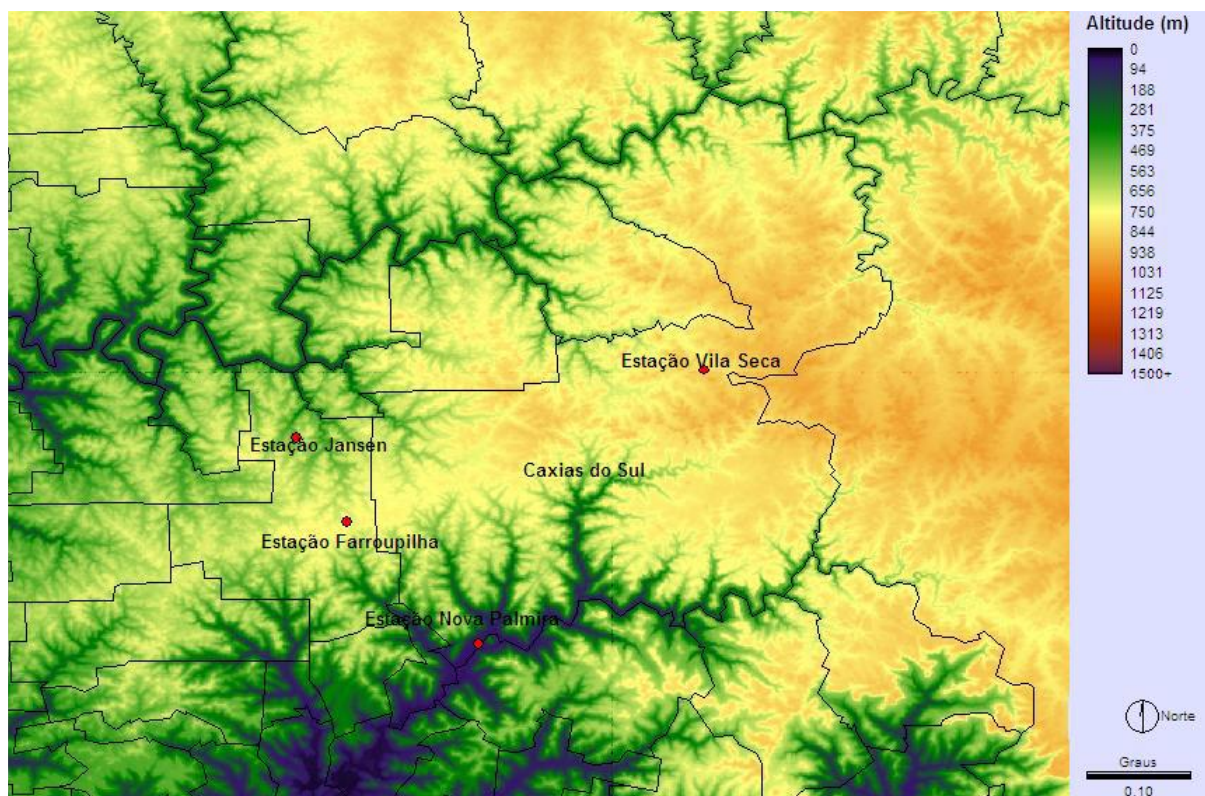
Tabela 6 – Equações existentes para intensidade de precipitação para Caxias do Sul

Posto	Fórmula	Série histórica	Referência (ano)
Caxias do Sul	$i = \frac{702,71 \cdot Tr^{0,24}}{(t + 8,85)^{0,74}}$		Denardin; Freitas (1982)
Vila Seca	$i = \frac{1,14 \cdot 10^3 \cdot Tr^{0,2215}}{(t + 11,5993)^{0,8071}}$	30 anos	Finotti <i>et al.</i> (2009)
Farroupilha	$i = \frac{1,06 \cdot 10^3 \cdot Tr^{0,1975}}{(t + 11,5993)^{0,8071}}$	41 anos	Finotti <i>et al.</i> (2009)
Jasen	$i = \frac{1,06 \cdot 10^3 \cdot Tr^{0,1997}}{(t + 11,5993)^{0,8071}}$	40 anos	Finotti <i>et al.</i> (2009)
Nova Palmira	$i = \frac{1,13 \cdot 10^3 \cdot Tr^{0,195}}{(t + 11,5993)^{0,8071}}$	52 anos	Finotti <i>et al.</i> (2009)

Fonte: elaborado pela autora, 2018.

As cinco equações para a determinação da intensidade de chuva de projeto apresentadas foram adaptadas para postos próximos ao empreendimento estudado. A primeira é referente ao estudo de Denardin; Freitas (1982) e usada até hoje em projetos de drenagem no município de Caxias do Sul. As outras quatro equações foram desenvolvidas mais recentemente por Finotti *et al.* (2009), com dados pluviométricos de postos próximos ao perímetro urbano de Caxias do Sul, analisando séries históricas de precipitação de 30 anos ou mais. As localizações das estações desse estudo são apresentadas na Figura 13.

Figura 13 – Localização dos postos pluviométricos estudados



Fonte: Finotti *et al.*, 2009.

Os poços de infiltração deste projeto foram dimensionados com a aplicação da Equação 9, desenvolvida por Finotti *et al.* (2009) para a Estação de Vila Seca, uma vez que, esse estudo apresenta a data mais recente em comparação ao de Denardin; Freitas (1982). A escolha do posto de Vila Seca se deu por este ser o mais próximo do empreendimento e por estar localizado na mesma Bacia Hidrográfica, sendo esta, a Bacia Hidrográfica dos Rios Taquari-Antas.

$$i = \frac{1,14 \cdot 10^3 \cdot T_r^{0,2215}}{(t + 11,5993)^{0,8071}} \quad \text{Equação 9}$$

Sendo:

i: intensidade de precipitação ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$);

T_r : período de retorno (anos);

t: tempo de concentração (min).

5.1.2.4 Período de retorno

O PDDU para Caxias do Sul (SAMA/IPH, 2001) elaborou hidrogramas de projeto para os tempos de retorno de 2 e 10 anos. De acordo com o plano, 10 anos é o

período utilizado para dimensionar sistemas de macrodrenagem e 2 anos para obras de microdrenagem. Além do plano, a SMOSP indica o período de retorno de 10 anos para dimensionamento de redes de drenagem pluvial de novos empreendimentos, como conta nas diretrizes técnicas do loteamento estudado. Por essa razão, o dimensionamento dos poços de infiltração foi realizado para um período de retorno de 10 anos, seguindo a normatização atual do local de estudo.

5.1.2.5 Tempo de concentração

O tempo de concentração utilizado no dimensionamento levou em consideração a literatura, o valor adotado no PDDU (SAMAE/IPH, 2001) e o valor indicado pela SMOSP para dimensionamento de sistemas de drenagem. Dessa forma, o valor adotado para essa variável foi fixado em 10 min.

5.1.2.6 Volume de detenção

O volume de detenção foi dimensionado a fim de garantir que as estruturas tivessem capacidade suficiente de armazenar 5 min da chuva de projeto. Para obtenção do valor do volume mínimo do sistema foi aplicada a Equação 10.

$$V = Q \cdot 5 \text{ min} \cdot 60 \text{ seg.min}^{-1} \quad \text{Equação 10}$$

Sendo:

V: volume de detenção (m^3);

Q: vazão de projeto ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$).

5.1.3 Dimensões de base para as estruturas

O poço de infiltração constituído por paredes de concreto (Poço 1) foi dimensionado com uma área de base pré-definida, disponibilizada pelo fabricante de produtos pré-moldados, assumindo formato quadrado de dimensões internas de 2,30 x 2,30 m. Esses valores são os mesmos padronizados pelo município de Caxias do Sul para poços de visita que recebem tubulação pluvial de DN 1500.

O poço de infiltração preenchido com material drenante (Poço 2) assumiu dimensões de base de 2,80 x 2,60 m, mantendo o formato próximo ao do Poço 1, com o intuito de não interferir na comparação da funcionalidade entre as estruturas. Esse valor foi

determinado em campo durante a abertura da vala e instalação da estrutura, uma vez que não foram previstas fôrmas com o formato do poço para contenção lateral das paredes.

5.1.4 Profundidades

Com o volume de retenção e áreas de base definidos foi possível determinar a profundidade necessária de cada estrutura. Para o poço sem preenchimento o valor foi definido com a divisão do volume de projeto pela área da base da estrutura. Já para o poço preenchido, foi necessário considerar a porosidade do material de preenchimento, obtendo o volume de retenção disponível no dispositivo (MIGUEZ; VERÓL; REZENDE, 2016). Dessa forma, garantiu-se que ambas as estruturas possuíssem a mesma capacidade de armazenamento.

5.1.5 Orifício de extravasamento e de ligação entre boca-de-lobo e poços

Além da definição do volume de amortecimento e dimensionamento de base e profundidade dos reservatórios, foi necessária a definição da geometria de um orifício de saída (MIGUEZ; VERÓL; REZENDE, 2016). Esse componente teve função de transportar a água aplicada na boca-de-lobo até o poço de infiltração e, também, garantir o fluxo contrário, caso ocorresse alguma falha no funcionamento do equipamento que, por consequência, ocasionaria o transbordamento do sistema. O diâmetro nominal (DN) do vertedor de segurança das estruturas foi definido com base nos valores apresentados na Tabela 7, assumindo o valor de 200 mm.

Tabela 7 – Diâmetros para tubo vertedor de acordo com a vazão de projeto

Vazão (L.s ⁻¹)	DN (mm)
12 a 54	200
32 a 154	300
64 a 320	400
108 a 530	500
174 a 870	600

Fonte: Azevedo Netto *et al.*, 1998.

5.1.6 Dimensões adotadas

Na Tabela 8 são apresentados os valores obtidos no dimensionamento das estruturas avaliadas nesse estudo. São apresentadas tanto as dimensões de base e as

profundidades, quanto os volumes de detenção para os dois poços de infiltração, considerando um período de retorno de 10 anos e um tempo de detenção de 5 min.

No Poço 2, preenchido com material drenante, foi utilizado brita graduada nº 3, que possui um valor de porosidade de 50% (ARAÚJO; TUCCI; GOLDENFUM, 2000). Dessa forma, para que os dois poços tivessem a mesma capacidade de armazenamento, foi adotado para o Poço 2 dimensões tais que garantissem que seu volume seria 2 vezes maior que o do Poço 1.

Tabela 8 – Resumo do dimensionamento das estruturas

Estrutura	Volume total do dispositivo (m³)	Volume disponível (m³)	Dimensões de base (m)	Área de base (m²)	Profundidade (m)
Poço 1	5,78	5,78	2,30 x 2,30	5,29	1,09
Poço 2	11,55	5,78	2,80 x 2,60	7,28	1,60

Fonte: elaborado pela autora, 2018.

5.2 IMPLANTAÇÃO DOS SISTEMAS

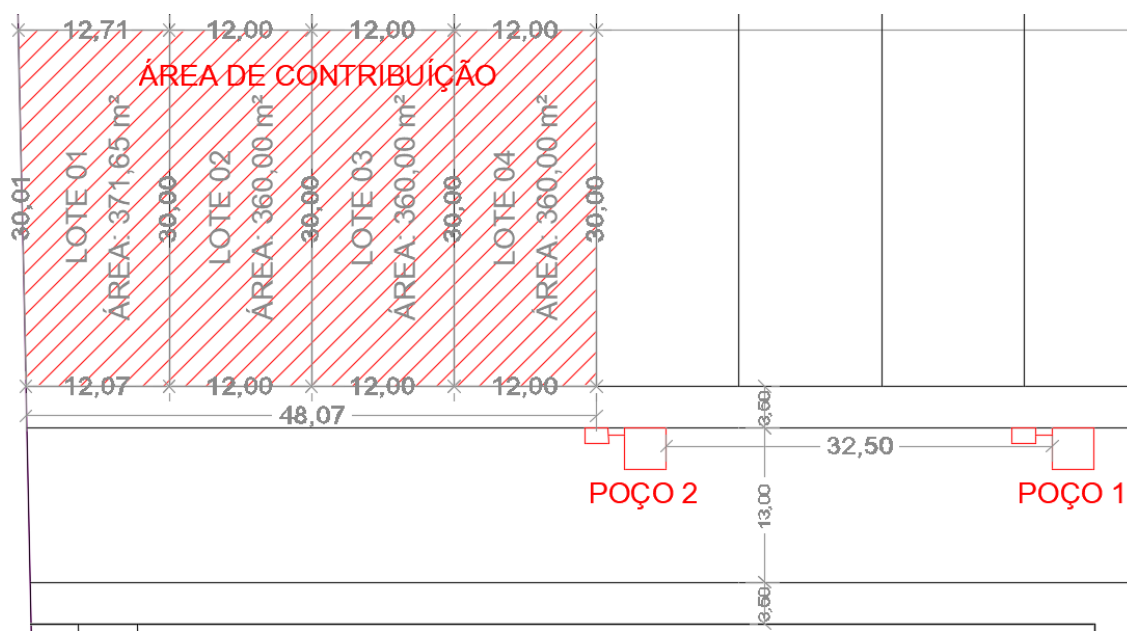
Como o estudo teve como objetivo principal a avaliação do desempenho da técnica compensatória em drenagem urbana na fonte de poço de infiltração, foram implantadas duas estruturas – com e sem preenchimento interno – com locais e dimensões previamente definidos. O processo de implantação ocorreu durante o mês de fevereiro de 2018 e levou 6 dias para ser finalizado. Para tanto, contou-se com o auxílio de uma escavadeira hidráulica e com a equipe de trabalho do loteamento.

5.2.1 Localização e marcação dos poços de infiltração

Os poços de infiltração foram implantados com uma distância suficiente para que a infiltração da vazão de um não modifique as propriedades de permeabilidade do solo do outro. ADOPTA (2006) sugere que os poços de infiltração sejam instalados a uma distância mínima igual a sua profundidade. Já Québec (2012) limita a implantação dos poços a uma distância mínima de 4 m das fundações do edifício mais próximo.

Dessa forma, definiu-se que os equipamentos seriam instalados nos locais apresentados na Figura 14, distando entre si, aproximadamente, 32,50 m. Para estabelecer essas posições também foi avaliada a concordância com os locais previstos pelo projeto de drenagem para as bocas-de-lobo dessa via.

Figura 14 – Localização dos poços de infiltração



Fonte: adaptado de Siviero Empreendimentos Imobiliários, 2016.

Para posicionar a marcação para escavação utilizou-se como referência inicial estacas que demarcavam o limite entre as testadas dos lotes e o início dos passeios. Esses marcos haviam sido anteriormente posicionados por uma equipe de topografia contratada pelo empreendedor. Com essa informação e o uso de uma trena foi possível definir a posição onde seriam escavadas as valas, iniciando, precisamente, a uma distância de 3,50 m da estaca de referência, ou ainda, onde seriam implantados os meios-fios do loteamento. Então, foram cravadas no solo estacas de madeira, representando os quatro cantos das caixas coletoras e os quatro cantos dos Poços 1 e 2, conforme apresentado na Figura 15 (a) e (b), respectivamente.

Figura 15 – Estaqueamento para abertura de valas



(a) Estaqueamento Poço 1



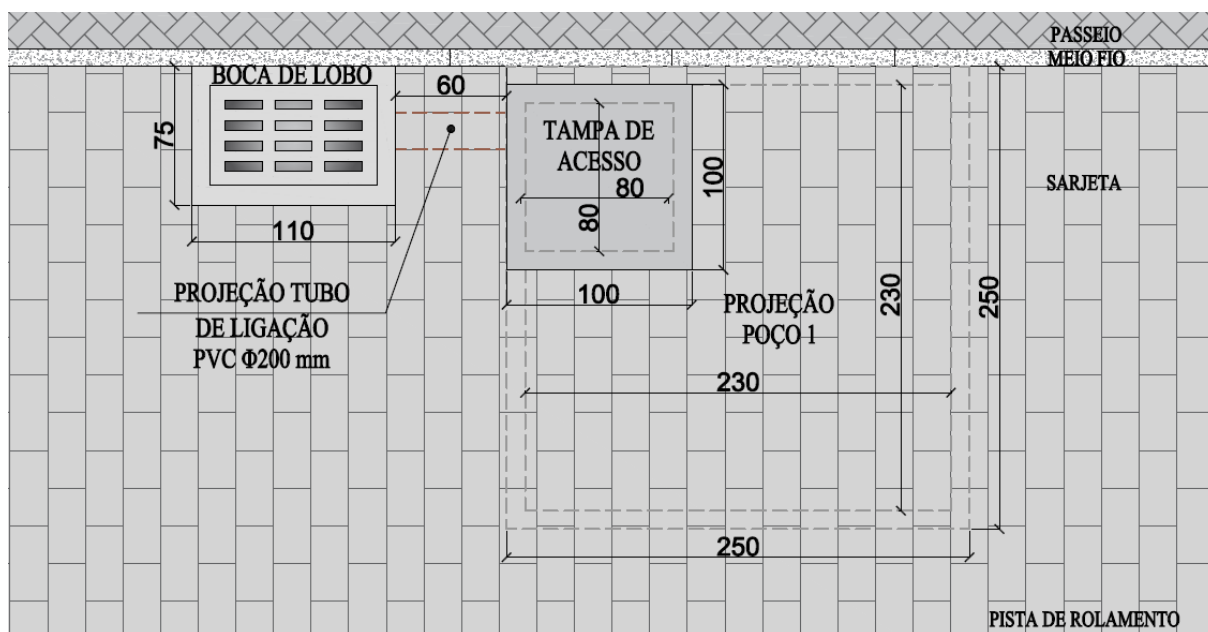
(b) Estaqueamento Poço 2

Fonte: fotos da autora, 2018.

5.2.2 Configuração de implantação

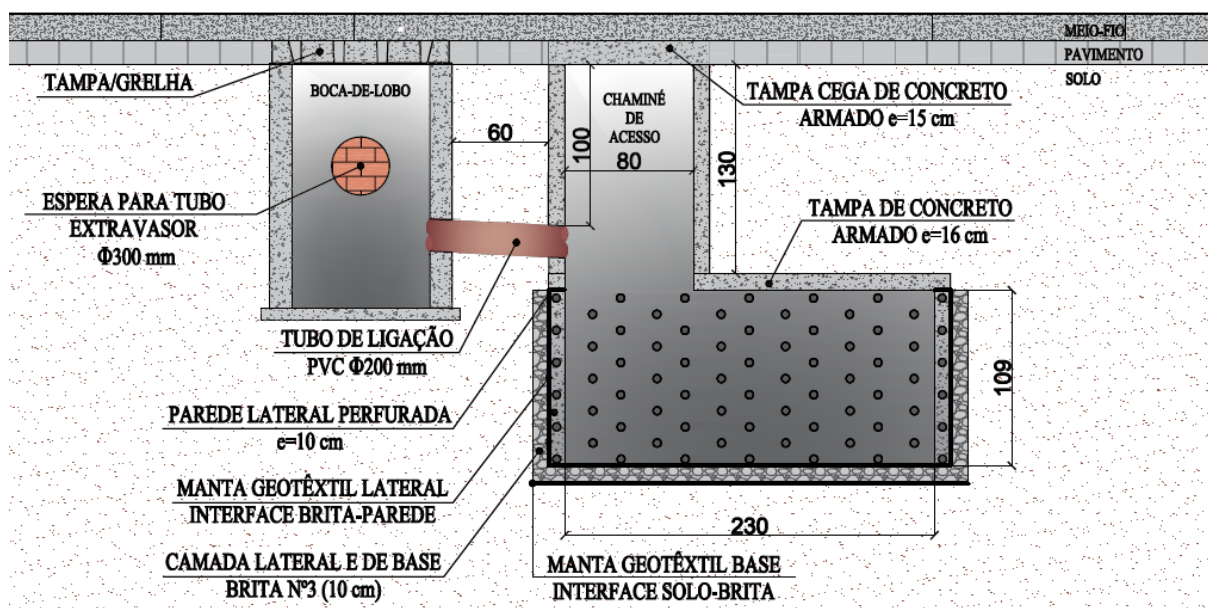
A implantação do Poço 1 se deu conforme planta baixa representada na Figura 16. A estrutura, composta por paredes e tampa em concreto armado, possui as laterais perfuradas e uma chaminé de acesso apoiada sobre a tampa, sendo conectada paralelamente a uma boca-de-lobo por uma tubulação de PVC DN 200 de 60 cm de comprimento. Na Figura 17 são apresentados os detalhes dessa estrutura contendo suas dimensões e componentes.

Figura 16 – Planta baixa de representação do Poço 1



Fonte: elaborado pela autora, 2018.

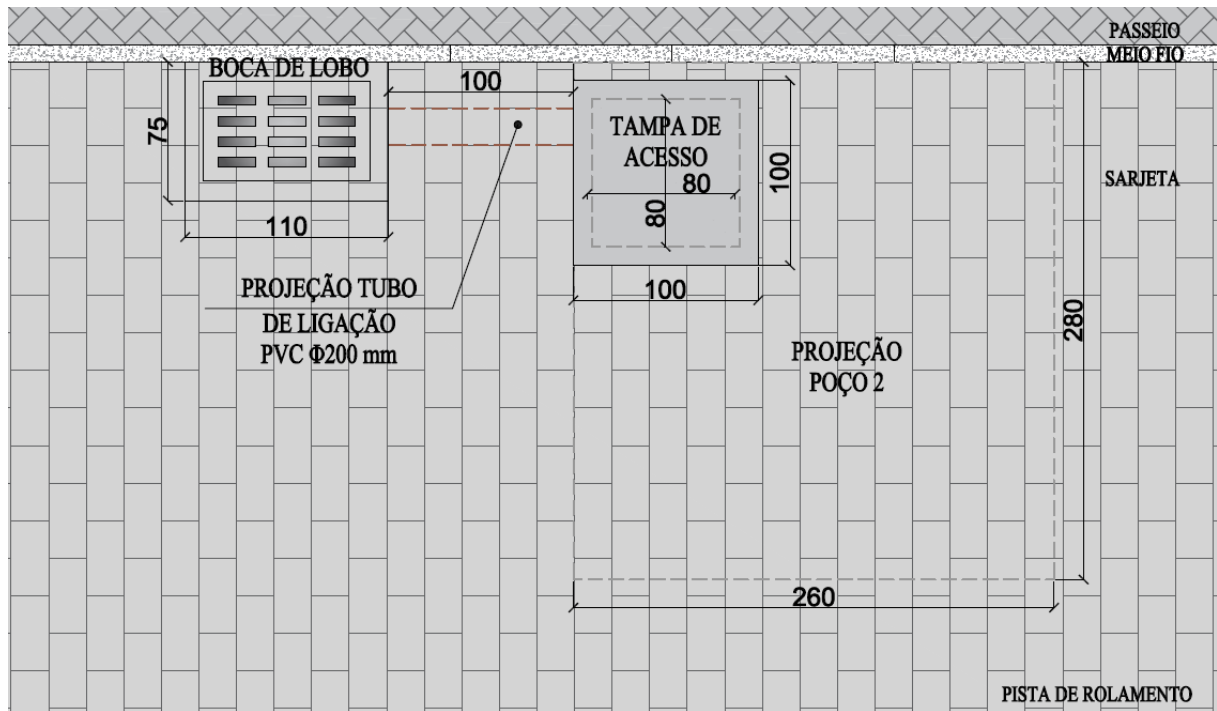
Figura 17 – Detalhes construtivos do Poço 1



Fonte: elaborado pela autora, 2018.

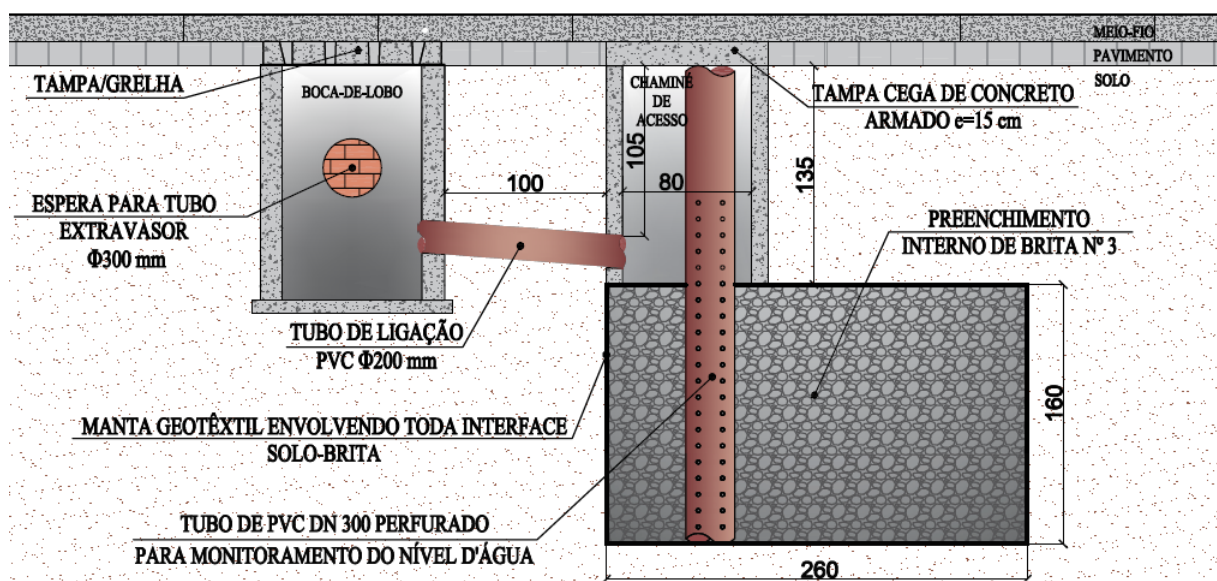
Já o Poço 2 assumiu sua forma através do preenchimento com brita graduada, onde a chaminé de acesso foi diretamente apoiada. Sua configuração de implantação está detalhada, em planta, na Figura 18 e, em corte na Figura 19. O tubo de ligação dessa estrutura, também em PVC DN 200, possuiu comprimento de 160 cm.

Figura 18 – Planta baixa de representação do Poço 2



Fonte: elaborado pela autora, 2018.

Figura 19 – Detalhes construtivos do Poço 2



Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

A furação para ligação na rede de drenagem principal, em ambas as estruturas, foi provisoriamente fechada com tijolos até que a rede principal seja instalada. As tampas de acesso às estruturas e as grelhas das bocas-de-lobo foram instaladas no nível do pavimento e junto aos meios-fios que serão implantados no empreendimento.

5.2.3 Materiais

Os materiais utilizados na composição dos Poços de Infiltração 1 e 2 são apresentados no Quadro 9. Esses materiais são detalhados no decorrer deste item.

Quadro 9 – Composição dos poços de infiltração implantados

Estrutura	Descrição
Poço 1	▪ Paredes de concreto pré-moldado com furos de 50 mm de diâmetro; ▪ Camada lateral de brita graduada nº 3; ▪ Fundo falso e camada de brita graduada nº 3; ▪ Manta geotêxtil nas interfaces solo-brita- e sobre a camada de brita; ▪ Chaminé de acesso para monitoramento, inspeção e manutenção; ▪ Sem preenchimento interno.
Poço 2	▪ Paredes laterais e fundo compostos pelo solo natural; ▪ Manta geotêxtil das paredes laterais e fundo entre a interface solo-brita; ▪ Chaminé de acesso para monitoramento, inspeção e manutenção; ▪ Tubo de PVC DN 300 perfurado para monitoramento durante os ensaios; ▪ Preenchimento interno de brita graduada nº 3.

Fonte: elaborado pela autora, 2018.

5.2.3.1 Peças de concreto armado pré-moldado

Tanto as chaminés de acesso, quanto as paredes laterais e tampa do Poço 1 foram pré-moldados em uma indústria que produz caixas coletoras e poços de vista em concreto armado pré-moldado no padrão exigido pela Prefeitura de Caxias do Sul. Esses equipamentos, assim como as bocas-de-lobo implantadas nesse estudo, chegaram prontos para a instalação, sendo retirados do veículo de transporte e posicionados no seu local determinado com o auxílio de uma escavadeira hidráulica. As chaminés possuíam dimensões internas de 0,80 x 0,80 m e paredes de 10 cm de espessura, com furação lateral para encaixe do tubo de ligação. No Poço 1 esse equipamento foi posicionado sobre a tampa, conforme apresentado na Figura 20 (a), e fixado com argamassa de cimento, areia e cal no traço de 3:1:1 a fim de evitar que houvesse deslocamento ou percolação do solo no interior do tanque. Já no Poço 2, a chaminé foi posicionada sobre a camada superior de brita, sobre a manta geotêxtil, sem a necessidade de outras fixações, conforme apresentado na Figura 20 (b). Ambas as estruturas receberam fechamento por uma tampa cega, também em concreto pré-moldado, com espessura de 15 cm.

Figura 20 – Detalhe das chaminés de acesso



(a) Chaminé de acesso posicionada sobre tampa do Poço 1



(b) Chaminé de acesso posicionada e tampada no Poço 2

Fonte: fotos da autora, 2018.

As paredes laterais perfuradas do Poço 1 foram construídas em formato de uma caixa sem fundo, com espessura de 10 cm, com fechamento por uma tampa de concreto armado, já com furação de espera para encaixe da chaminé de acesso. As dimensões desse equipamento respeitaram o detalhamento do projeto. Nas fotos da Figura 21 são apresentados os detalhes das paredes laterais com as furações (a) e a tampa de fechamento com abertura para chaminé (b).

Figura 21 – Detalhes das paredes laterais perfuradas e tampa do Poço 1



(a) Paredes perfuradas

Fonte: fotos da autora, 2018.



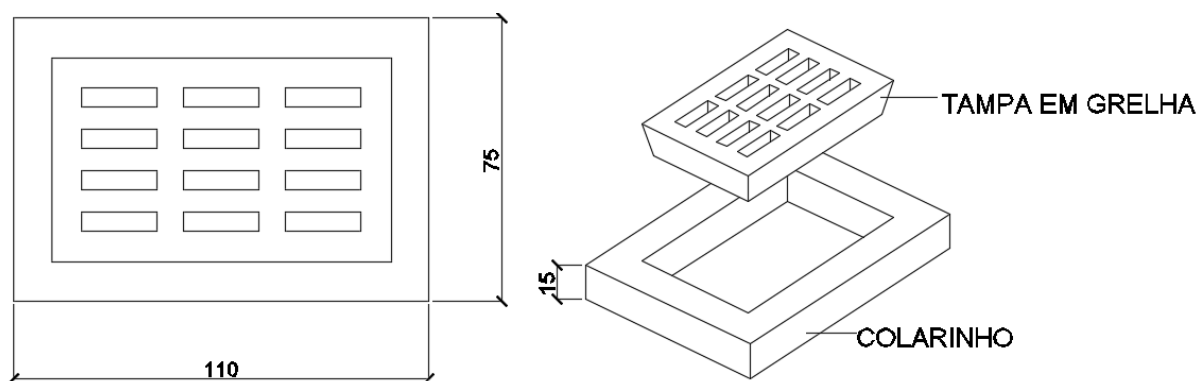
(b) Tampa

5.2.3.2 Boca-de-lobo ou caixa coletora

Ambos os sistemas foram conectados a uma boca-de-lobo ou caixa coletora padrão SMOSP, constituída de paredes laterais e fundo em concreto armado pré-moldado. Esse dispositivo foi responsável por captar a vazão e conduzir até o poço de infiltração através de uma tubulação de ligação em PVC. Além da ligação com o poço de infiltração, a boca-de-lobo possuiu uma furação para conexão com a futura rede principal de drenagem que se dará através de um tubo de concreto DN 300, com a função de conduzir a vazão de extravasamento do poço de infiltração, caso esta ocorra. Essa furação foi provisoriamente fechada com tijolos e argamassa de assentamento durante os testes por ainda não estar conectada ao poço de visita previsto no sistema de drenagem do loteamento.

Em ambas as bocas-de-lobo foram instaladas tampas em concreto armado pré-moldado, compostas por colarinho e grelha, com a função de reter a entrada de sólidos grosseiros e possibilitar o acesso para remoção de materiais que possam colmatar no fundo da estrutura após algum tempo de funcionamento. As dimensões desse dispositivo seguiram os padrões da SMOSP e são apresentadas na Figura 22.

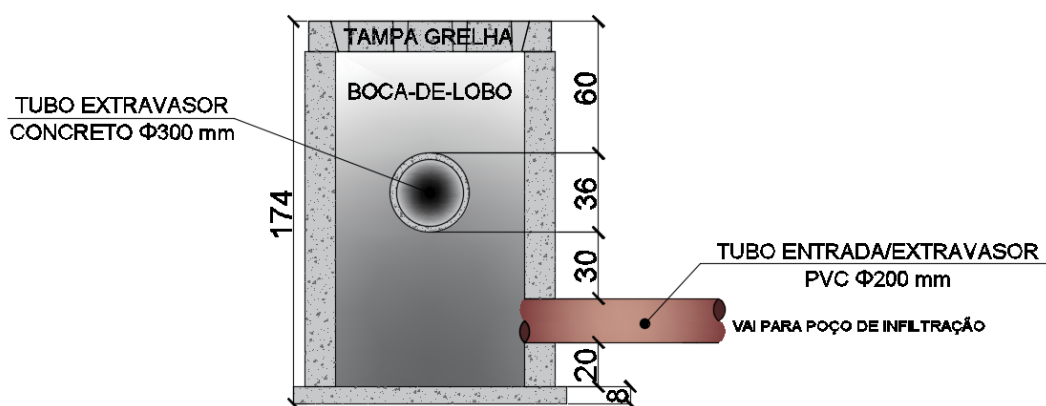
Figura 22 – Características da tampa em grelha para boca-de-lobo padrão SMOSP



Fonte: elaborado pela autora, 2018.

A profundidade das caixas coletoras foi definida garantindo o recobrimento mínimo de 60 cm, desde a geratriz superior do tubo DN 300, até o pavimento e, também, a distância de 30 cm entre a geratriz inferior dessa tubulação e a geratriz superior do tubo de PVC e, ainda, a distância de 20 cm entre a geratriz inferior da tubulação de PVC e o fundo, este, que por sua vez, possui espessura de 8 cm. Dessa forma, a profundidade total deste dispositivo foi definida como sendo 174 cm, conforme detalhado na Figura 23.

Figura 23 – Detalhamento construtivo das bocas-de-lobo



Fonte: elaborado pela autora, 2018.

As bocas-de-lobo foram implantadas sobre uma camada de brita regularizadora, respeitando as especificações do projeto. Na Figura 24 são apresentadas fotos feitas durante a implantação das tampas em grelha (a) e das caixas coletoras (b, c), sendo possível visualizar os detalhes construtivos de ambos os equipamentos individualmente e após o posicionamento da caixa sobre a camada de brita e da tampa sobre a boca-de-lobo (d).

Figura 24 – Fotos das bocas-de-lobo ou caixa coletoras e das tampas em grelha



(a) Tampa composta por colarinho e grelha



(b) Interior da caixa coletora



(c) Caixa coletora sem tampa com detalhe de furações



(d) Caixa coletora já posicionada sobre camada de brita e com tampa em grelha

Fonte: fotos da autora, 2018.

5.2.3.3 Geotêxtil

Foi instalada nos poços uma manta geotêxtil com a finalidade de não permitir a percolação de solo no interior das estruturas, sem interferir na passagem da água do interior para o solo (ANGELINI SOBRINHA, 2012; CARVALHO, 2008). A manta, conforme fotos apresentadas na Figura 25, era constituída 100% em poliéster, com gramatura de 150 gr.m^{-2} e espessura de 1,2 milímetros, fornecida em rolo de 2,10 m de largura (a) e cortada conforme necessidade de moldagem nos poços (b). Segundo estudos realizados por Reis; Oliveira; Sales (2008) a instalação de manta geotêxtil não interfere no desempenho da infiltração da água no solo, por possuir um índice de permeabilidade elevado.

Figura 25 – Manta geotêxtil



(a) Rolo de manta geotêxtil



(b) Corte da manta geotêxtil

Fonte: fotos da autora, 2018.

5.2.3.4 Tubulação de inspeção e de ligação

Para ser possível o monitoramento do nível da água no interior do Poço 2 durante os ensaios, foi posicionado um tudo de PVC DN 300, com acesso pela chaminé. Esse tubo foi perfurado com furos de 2 cm de diâmetro de 15 cm em 15 cm. As fotos apresentadas na Figura 26 mostram a visão no interior desse dispositivo após instalação (a) e antes de seu posicionamento, podendo ser visualizada a perfuração até a altura útil (b) e a broca utilizada na obra (c) para realizar a furação com auxílio de uma furadeira.

Figura 26 – Tubo de PVC perfurado para monitoramento do nível da água do Poço 2



(a) Vista do interior do tubo de PVC já instalado no Poço 2



(b) Tubo de PVC DN 300 perfurado até altura útil do sistema



(c) Broca utilizada para furação do tubo

Fonte: fotos da autora, 2018.

Além do tubo para monitoramento, foram instalados nos dois Poços, tubos de ligação em PVC DN 200, conforme dimensionamento. Esses tubos foram fixados nas caixas coletoras e nas chaminés de acesso com argamassa de cimento, areia e cal, com traço de 3:1:1. Na Figura 27 são apresentadas fotos do tubo fazendo a ligação entre a boca-de-lobo e a chaminé de acesso do Poço 2 (a) e um detalhe do resultado da sua fixação nas caixas de concreto (b).

Figura 27 – Tubo de PVC DN 200 para ligação entre caixa coletora e chaminé de acesso



(a) Tubo de PVC ligando boca-de-lobo e chaminé



(b) Detalhe da fixação do tubo de PVC nas caixas de concreto

Fonte: fotos da autora, 2018.

5.2.3.5 Material drenante

Optou-se por utilizar como material drenante para preenchimento do Poço 2 e camadas laterais e de base do Poço 1, brita graduada nº 3. Segundo estudos realizados por Araújo; Tucci; Goldenfum (2000), esse material possui porosidade na ordem de 40% a 50%, permitindo que a água percorra por esses vazios até infiltração no solo.

5.2.4 Processo de implantação dos poços

O processo de implantação das estruturas seguiu as etapas representadas na Figura 28. No primeiro dia foi realizado o reconhecimento da área e a demarcação dos vértices dos poços e bocas-de-lobo, conforme já descrito no item 5.2.1, para posterior escavação. No segundo dia foi realizada a abertura das valas dos dois poços com o auxílio de uma retroescavadeira hidráulica.

No terceiro dia foi realizada a instalação do Poço 2. Primeiramente, a manta geotêxtil foi cortada e posicionada sobre o fundo e as laterais da vala. Então, o tubo de monitoramento foi posicionado para ser possível o preenchimento com o material drenante. A brita foi sendo distribuída, aos poucos, com a escavadeira hidráulica e sendo uniformizada manualmente.

As bocas-de-lobo, paredes e tampa de concreto armado pré-moldado do Poço 1 foram recebidos no quarto dia quando, também, foi realizada a instalação dessa estrutura. Esse processo se iniciou com a implantação do fundo da estrutura composto por camada de brita, envolta em manta geotêxtil e pelo corte e posicionamento da manta também nas laterais. 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. Esse processo pode ser visualizado nas fotos apresentadas na Figura 29.

Após o quarto dia de obra foi feita uma pausa de 12 dias – de 05 a 23 de fevereiro de 2018. Isso aconteceu, pois houveram dias de chuva, feriados e atraso na entrega das chaminés de acesso. Durante esse período, as estruturas que já estavam instaladas, foram tampadas, não afetando o processo e o resultado da implantação.

No quinto dia foram recebidas as chaminés de acesso e posicionadas as bocas-de-lobo com auxílio da retroescavadeira hidráulica. Nesse dia, também foram fixadas as

tubulações de ligação em ambas as estruturas e a chaminé de acesso do Poço 1 à sua tampa, com argamassa de cimento, areia e cal.

Por fim, esperou-se 24 h até que as fixações das tubulações e da chaminé secassem, para então, no sexto e último dia de obra, ser realizado o reaterro das valas. Não foi feita compactação do solo sobre as estruturas, a fim de não diminuir a permeabilidade no local.

Figura 28 – Processo de implantação dos poços de infiltração



Fonte: elaborado pela autora, 2018.

Figura 29 – Detalhes do processo de implantação do Poço 1



(a) Camada de fundo



(b) Paredes sendo transportadas até a vala



(c) Geotêxtil sendo instalada nas laterais



(d) Paredes, tampa e lateral de brita já instaladas

Fonte: fotos da autora, 2018.

As estruturas foram posicionadas de tal forma que, quando executada a via e o passeio previstos para o loteamento, suas tampas estarão alinhadas com o meio fio e niveladas com o pavimento. Dessa forma, os sistemas estarão totalmente integrados à paisagem urbana, não interferindo nem no espaço físico das ruas, nem na mobilidade de veículos e pedestres, como apresentado na Figura 30.

Figura 30 – Imagens dos poços após reaterro



Fonte: fotos da autora, 2018.

5.3 TESTE E MONITORAMENTO DOS SISTEMAS

Os testes das estruturas aconteceram nos dias 09 e 13 de março de 2018. Para ser possível a aplicação das vazões de entrada, 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. O caminhão pipa possuía três saídas de água: uma por mangueira flexível de 2 cm de diâmetro, conectada a uma bomba acoplada ao caminhão; uma por barra para irrigação e outra por tudo de ferro de diâmetro interno de 3 cm, com vazão bombeada diretamente pelo motor do caminhão.

5.3.1 Equipamentos e medição da vazão para os testes

Os testes das estruturas seriam possíveis tanto com a mangueira flexível, quanto com o tubo de ferro do caminhão pipa. Para decidir qual das opções seria mais conveniente, antes da data programada, realizaram-se testes para determinar qual a vazão máxima de cada uma das saídas de água. A mangueira foi testada com o monitoramento do tempo de enchimento de um tonel de 200 L, apresentando uma vazão de $3,27 \text{ L.s}^{-1}$, muito abaixo do valor de projeto de $19,20 \text{ L.s}^{-1}$.

Já para a verificação da vazão máxima do tubo de ferro realizou-se o enchimento completo do caminhão e controlou-se o tempo total de esvaziamento. Percebeu-se que a vazão se manteve constante até atingir o esvaziamento de, aproximadamente, 15.000 L de água, diminuindo seu rendimento após esta marca. Pode-se concluir com esse teste que o caminhão poderia atingir, por essa saída, um valor entre 10 L.s^{-1} e 12 L.s^{-1} . Apesar dessa vazão ser menor que a de projeto, foi muito maior do que a vazão da mangueira flexível. Por essa razão, optou-se por utilizar o tubo de ferro para a realização dos testes. Ainda, como o esvaziamento não se manteve constante, decidiu-se por testar a vazão antes de cada simulação através do controle do tempo de enchimento do tonel de 200 L.

Para aplicar a vazão nos poços foi conectado ao cano de ferro do caminhão uma mangueira flexível de 3 polegadas 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. As imagens apresentadas na Figura 31 apresentam todos os equipamentos utilizados nesse processo.

Figura 31 – Imagens dos testes de medição de vazão e equipamentos utilizados



(a) Teste da mangueira flexível com enchimento do tonel de 200 L



(b) Teste de esvaziamento total pelo tubo de ferro



(c) Tubo de ferro utilizado nos testes



(d) Mangueira acoplada ao tubo de ferro durante testes



(e) Tonel de 200 L para verificação de vazão antes de cada teste



(f) Vazão sendo aplicada na boca-de-lobo

Fonte: fotos da autora, 2018.

5.3.2 Monitoramento dos testes

Os testes realizados visaram avaliar o tempo de enchimento e esvaziamento das estruturas, com aplicação de uma vazão constante e monitoramento da variação da lâmina d'água em seus interiores. As medições foram possíveis pelas chaminés de acesso, de forma visual, com o auxílio de uma trena graduada rígida, cronômetro e formulário para registro do rebaixamento do nível d'água, conforme modelo apresentado no Apêndice A – Tabela utilizada para inserção de dados durante monitoramento dos testes dos poços. Essa forma de controle foi utilizada por Carvalho (2008) e Araújo (2010) em seus ensaios para avaliação de desempenho de poços de infiltração, demonstrando efetividade para esse fim. O Poço 1 foi monitorado pela variação no nível d'água diretamente de seu interior, já no Poço 2 foi monitorada a variação da lâmina d'água no interior do tubo de PVC DN 300 perfurado, previamente instalado, conforme fotos apresentadas na Figura 32 (a) e (b), respectivamente.

Figura 32 – Imagens do interior dos poços durante monitoramento



(a) Visão da chaminé do Poço 1



(b) Visão da chaminé do Poço 2

Fonte: fotos da autora, 2018.

5.3.3 Testes realizados no Poço 1

Foram realizados cinco diferentes testes no Poço 1, conforme descrição apresentada no Quadro 10. Nos primeiros três testes o poço foi cheio e esvaziado a fim de simular a saturação do solo. 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 aplicada uma chuva sem o esvaziamento total da estrutura, com o intuito de simular eventos de precipitações consecutivos, e, por fim, foi realizada a aplicação da vazão durante o tempo necessário para o transbordamento do sistema, com o solo em seu cenário mais desfavorável – já tendo recebido 4 outras chuvas.

Quadro 10 – Descrição dos testes realizadas no Poço 1

Teste	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	Saturado (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	Saturado (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

Fonte: elaborado pela autora, 2018.

Em todos os testes foram monitorados tanto o tempo necessário para seu enchimento e/ou transbordamento, quanto a variação da lâmina d'água em seu interior, em intervalos de um em um minuto, até o total esvaziamento ou, no caso do Teste 3, até seu esvaziamento parcial. Os cinco testes foram repetidos três dias após o primeiro dia de testes, a fim de avaliar se houve 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 em que foram executados os testes, as condições climáticas eram semelhantes, não havendo relatos de precipitações por, pelo menos, 48h antes do início dos testes.

5.3.4 Testes realizados no Poço 2

Os testes no Poço 2 foram realizados nos mesmos dias e simultaneamente aos testes realizados no Poço 1, sendo aplicadas as condições descritas no Quadro 11. Todas as simulações monitoraram o tempo necessário para que o sistema transbordasse e seu esvaziamento de um em um minuto.

Quadro 11 – Descrição dos testes realizados no Poço 2

Teste	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 até transbordamento; ▪ 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)	Nível d'água mínimo observado	▪ Monitorar o tempo de enchimento até transbordamento; ▪ Monitorar o tempo de esvaziamento parcial; ▪ Capacidade de armazenamento da estrutura simulando chuvas consecutivas; ▪ 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 3	Parcialmente saturado (2 ensaios já realizados)	Parcialmente cheio	▪ Monitorar o tempo de enchimento até transbordamento e esvaziamento total; ▪ Capacidade de armazenamento do poço.	▪ Vazão de entrada; ▪ Tempo de enchimento; ▪ Tempo de esvaziamento; ▪ Taxa de infiltração em intervalos de 1 minuto.

Fonte: elaborado pela autora, 2018.

No primeiro dia de teste foi possível realizar apenas o Teste 1, pelas condições de esvaziamento apresentadas pela estrutura, uma vez que, o primeiro enchimento ocorreu após o primeiro teste realizado no Poço 1 e o volume contido no caminhão não foi suficiente para o enchimento completo da estrutura, sendo este desconsiderado. Após 3h de intervalo, o nível d'água no interior do poço ainda estava aproximadamente 22 cm acima do nível mínimo, sendo esta considerada a altura inicial da simulação.

Já no segundo dia foi possível realizar os três testes propostos. No primeiro teste verificou-se que a condição inicial do poço ainda apresentava nível d'água 16 cm acima do nível zero, sendo esta a altura inicial considerada na simulação.

5.4 CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO DOS SISTEMAS

Para determinar os custos de implantação dos sistemas foram contabilizados todos os gastos com os materiais que constituíram os poços, através dos valores disponibilizados pelos seus fornecedores, eliminando os custos referentes às bocas-de-lobo, uma vez que estas já fazem parte do sistema de drenagem clássico. Os custos referentes ao maquinário e funcionários necessários foram compostos pelos serviços de abertura, preparação e reaterro de valas, assentamento e/ou preenchimento do poço e das tubulações de ligação, tomando como referência os valores apresentados na tabela do SINAPI (Sistema Nacional de Custos e Índices da Construção Civil) para o mês de abril de 2018 (Caixa Econômica Federal, 2018). Dessa forma, a estimativa de custos da implantação dos poços foi contabilizada levando em conta as seguintes etapas e materiais para cada estrutura:

- a) escavação, preparação e reaterro das valas com uso de escavadeira hidráulica;
- b) assentamento da estrutura de concreto pré-moldado;
- c) instalação de tubulação de ligação e de chaminé de acesso;
- d) materiais gerais:
 - i. estrutura de concreto pré-moldado com tampa;
 - ii. chaminé de acesso em concreto pré-moldado;
 - iii. tubulação de ligação;
 - iv. material drenante: brita graduada nº 3;
 - v. manta geotêxtil.

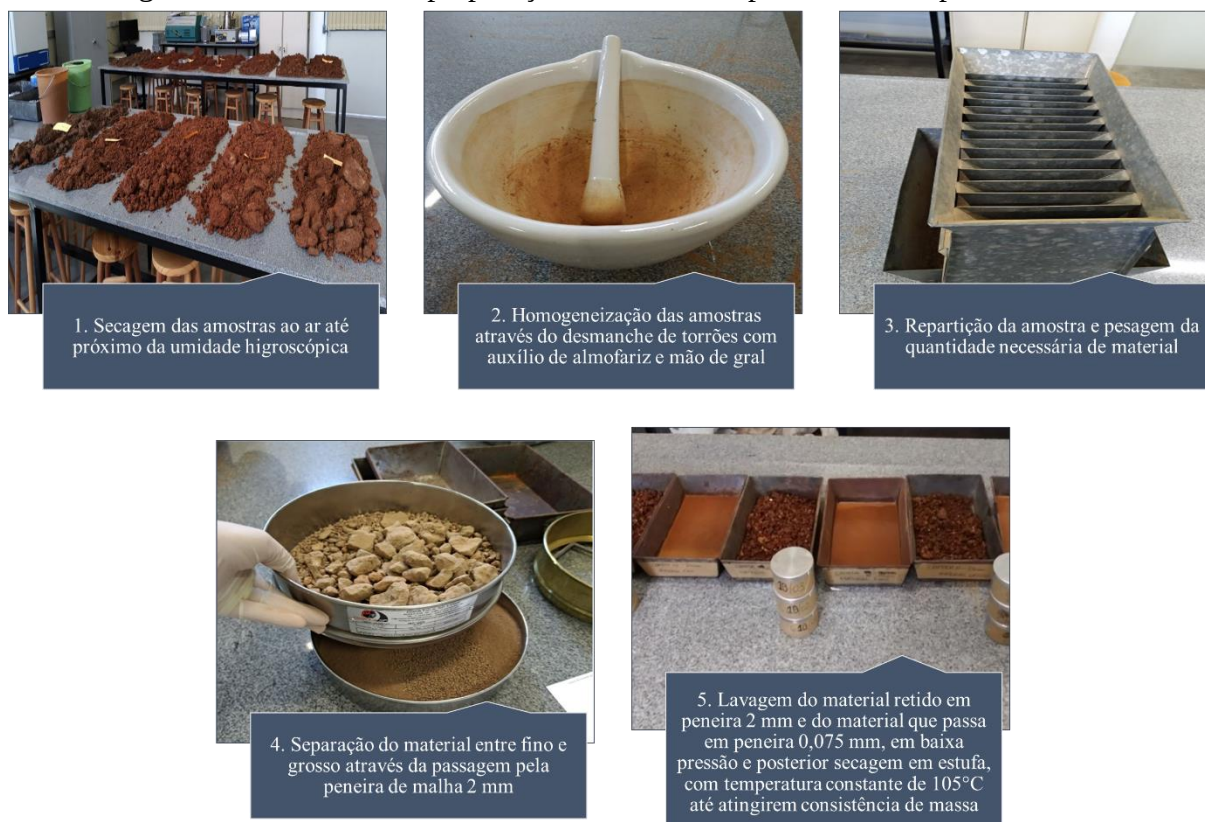
5.5 COLETA E CARACTERIZAÇÃO DO SOLO LOCAL

Para ser possível a classificação do solo do local onde as estruturas foram implantadas, realizou-se coletas de amostras no primeiro dia de testes. Para tanto, escavou-se uma vala entre as duas estruturas e coletaram-se amostras de, aproximadamente, 2 kg cada uma, em camadas de 30 cm, até a profundidade de 360 cm, totalizando 12 camadas. Após as coletas, as amostras foram levadas ao Laboratório de Solos e Pavimentação da Universidade de Caxias do Sul, onde realizaram-se ensaios de umidade e peneiramento.

Para a determinação do teor da umidade foi realizado o método de secagem em estufa, segundo NBR 6457 (ABNT, 2016a). Foram separadas três amostras de, aproximadamente, 100 g cada uma, para cada camada. Essas parcelas foram dispostas em capsulas de alumínio com tampa, sendo pesadas antes de serem levadas à estufa e após o processo de secagem, permanecendo por 48 h em temperatura constante de 105°C.

O restante das amostras foi preparado para posterior ensaio de peneiramento segundo orientações contidas na NBR 6457 (ABNT, 2016a), seguindo as etapas apresentadas na Figura 33. Todos os processos foram realizados para cada uma das camadas separadamente.

Figura 33 – Processo de preparação das amostras para ensaio de peneiramento

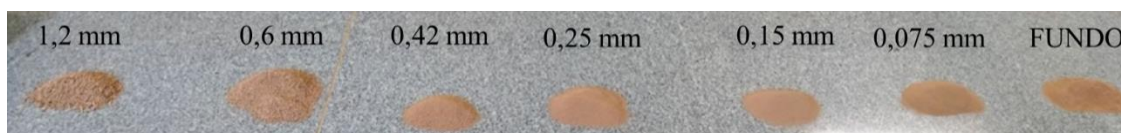


Fonte: elaborado pela autora, 2018.

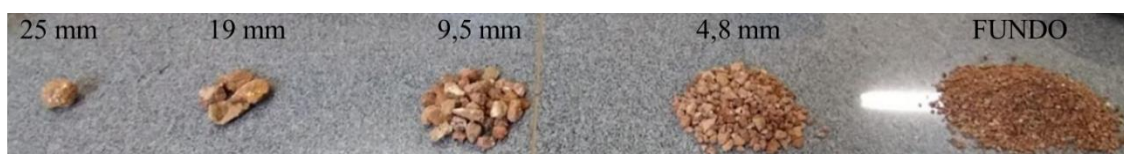
Inicialmente, a parcela de solo referente a cada uma das camadas foi disposta e identificada para secagem ao ar, em temperatura ambiente, até obtenção da umidade higroscópica. Após 10 dias identificou-se, visualmente, que o solo estava pronto. Então, as amostras foram destorroadas com o auxílio de um almofariz e mão de grão emborrachada, com cuidado para evitar quebra de grãos. O processo seguinte consistiu na repartição do material destorroadado, com auxílio de um repartidor e pesagem do material que, posteriormente, foi submetido ao ensaio. Essa parcela de solo foi passada pela peneira de malha 2 mm, a fim de separar o material entre grãos finos e grossos. O material retido na peneira de 2 mm – grãos grossos – foi lavado nessa mesma peneira e levado para secagem em estufa à 105°C. Já o material que passou por essa peneira – grãos finos – foi disposto em uma peneira de malha 0,075 mm, lavado à baixa pressão e também submetido à secagem em estufa a 105°C.

Depois do material seco, até atingir consistência de massa, foram realizados os ensaios de peneiramento propriamente ditos, para cada uma das camadas, de acordo com a NBR 7181 (ABNT, 2016b). O peso total dos materiais finos e grossos totais foi tomado antes de ser passado pelos conjuntos de peneiras. Então, o material fino foi disposto no conjunto de peneiras de 1,2 mm, 0,6 mm, 0,42 mm, 0,25 mm, 0,15 mm e 0,075 mm e agitado mecanicamente por 2 min. O material grosso foi passado pelo conjunto de peneiras de 50 mm, 38 mm, 25 mm, 19 mm, 9,5 mm e 4,8 mm e agitado manualmente, também por 2 min. O material retido em cada peneira foi pesado para posterior plotagem das curvas granulométricas de cada uma das camadas do solo. Na Figura 34 (a) é apresentado o material fino retido em cada peneira do ensaio realizado para a Camada 5 e na Figura 34 (b) o material grosso retido em cada peneira para a Camada 2.

Figura 34 – Materiais retidos



(a) Material fino retido em cada peneira do ensaio da Camada 5



(b) Material grosso retido em cada peneira do ensaio da Camada 2

Fonte: elaborado pela autora, 2018.

No próximo capítulo são apresentados os resultados obtidos após a execução das fases de implantação e testes das estruturas e caracterização do solo local.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos nos processos de implantação e testes dos poços de infiltração e na coleta e caracterização do solo local, acompanhados de uma breve discussão dos dados. Ainda, com o objetivo de atender a normatização do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais da Universidade de Caxias do Sul, foram submetidos à publicação dois artigos científicos, como produto final do conteúdo desenvolvido nesta dissertação, os quais podem ser visualizados na sequência deste capítulo.

6.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE AS ETAPAS DE IMPLANTAÇÃO E TESTES

As implantações, tanto do Poço 1 composto por paredes de concreto perfuradas, quanto do Poço 2 preenchido com brita graduada, respeitaram as características definidas em projeto, todavia, foram identificadas algumas dificuldades durante suas execuções e testes de funcionamento, as quais são listadas abaixo:

- a) para o Poço 2, a não previsão de uma fôrma com as dimensões pré-definidas para o preenchimento com o material drenante e o posicionamento da manta geotêxtil dificultaram a execução e a garantia de seu formato exato. Por isso, recomenda-se, para futuros estudos, que seja previsto um molde para sua implantação, garantindo, dessa forma, que a estrutura manterá as características pré-definidas;
- b) as bocas-de-lobo foram previstas com um espaçamento entre o fundo e o tubo de ligação DN 200 para possível colmatação de materiais, o que ocasionou o acúmulo de água em seu interior. Para que isso não ocorra, recomenda-se o preenchimento desse espaço com brita graduada ou a não utilização de fundo nesse equipamento, apenas uma camada de brita graduada. Outra possibilidade, seria perfurar o fundo, permitindo a infiltração da água que ficaria acumulada;
- c) a vazão definida em projeto não pode ser atingida pelas bombas acopladas ao caminhão pipa utilizado na realização dos testes;
- d) no primeiro dia de testes não foi possível realizar todas as simulações no Poço 2, uma vez que, seu esvaziamento aconteceu de forma muito lenta, assim

como, não foi possível realizar todos os testes aos quais o Poço 1 foi submetido, pelo mesmo motivo apresentado;

- e) observou-se a necessidade de aumentar a distância entre a tubulação de entrada do Poço 2 e a camada superior de brita no interior da estrutura, pois durante todo o enchimento o nível d'água ficou acima desta tubulação.

Como na fase de testes das estruturas não foi possível atingir a vazão pré-definida de 19 L.s^{-1} , pois as bombas acopladas ao caminhão pipa utilizado no teste não possuíam potência suficiente para tanto, os resultados do trabalho foram interpretados de forma a atenderem a vazão média atingida pelo caminhão, de 12 L.s^{-1} . Para isso, foram definidos três cenários que garantiram as dimensões das estruturas implantadas e a vazão testada, alterando o tempo de retorno da chuva ou a área de contribuição do sistema ou, ainda, ambos os parâmetros. Na Tabela 9 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 9 – Ajuste dos parâmetros adotados no dimensionamento

Cenários	Tr (anos)	Área de Contribuição (m^2)	Intensidade ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}.\text{ha}^{-1}$)	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

Fonte: elaborado pela autora, 2018.

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 os poços de infiltração, uma vez que, o PDDU do município indica para obras de microdrenagem, o tempo de retorno de 2 anos (SAMAE/IPH, 2001). 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 na ordem de 546,65 m².

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 poços de infiltração. Por essa razão, as interpretações dos resultados desse trabalho foram realizadas considerando o C2 como o cenário base.

No primeiro dia, quando realizado o primeiro enchimento do Poço 2, como o caminhão pipa já havia sido parcialmente esvaziado para o Teste 1 do Poço 1, o volume não foi suficiente para realizar o enchimento total do dispositivo, sendo descarregado, aproximadamente, 2.080 L na estrutura. Dessa forma, esse primeiro teste foi desconsiderado. Para que ocorresse o esvaziamento desse volume foi feito um intervalo de 3 h. Apesar disso, identificou-se que o nível d'água no interior do Poço 2 estava 22 cm acima do fundo. Barbassa; Angelini Sobrinha; Moruzzi (2014) concluíram em seu estudo que lâminas d'água muito próximas ao fundo de poços de infiltração apresentam uma carga hidráulica muito baixa, reduzindo de forma significativa a capacidade de esvaziamento do sistema, distorcendo os valores finais de eficiência da estrutura. Por essa razão, foram desprezadas lâminas d'água abaixo desse valor.

Após ser realizado o enchimento total do Poço 2, no primeiro dia de ensaios, foi possível acompanhar o esvaziamento de apenas um teste, uma vez que, esse processo aconteceu de forma muito lenta, impossibilitando a leitura quando o sol se pôs e o seu interior ficou muito escuro. No segundo dia a estrutura apresentou um comportamento semelhante de esvaziamento, todavia, foi possível realizar os três testes propostos para o sistema. Todos os resultados obtidos nos testes de funcionamento de ambas as estruturas e nos ensaios de laboratório do solo são apresentados e discutidos detalhadamente nos itens a seguir.

6.2 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO LOCAL

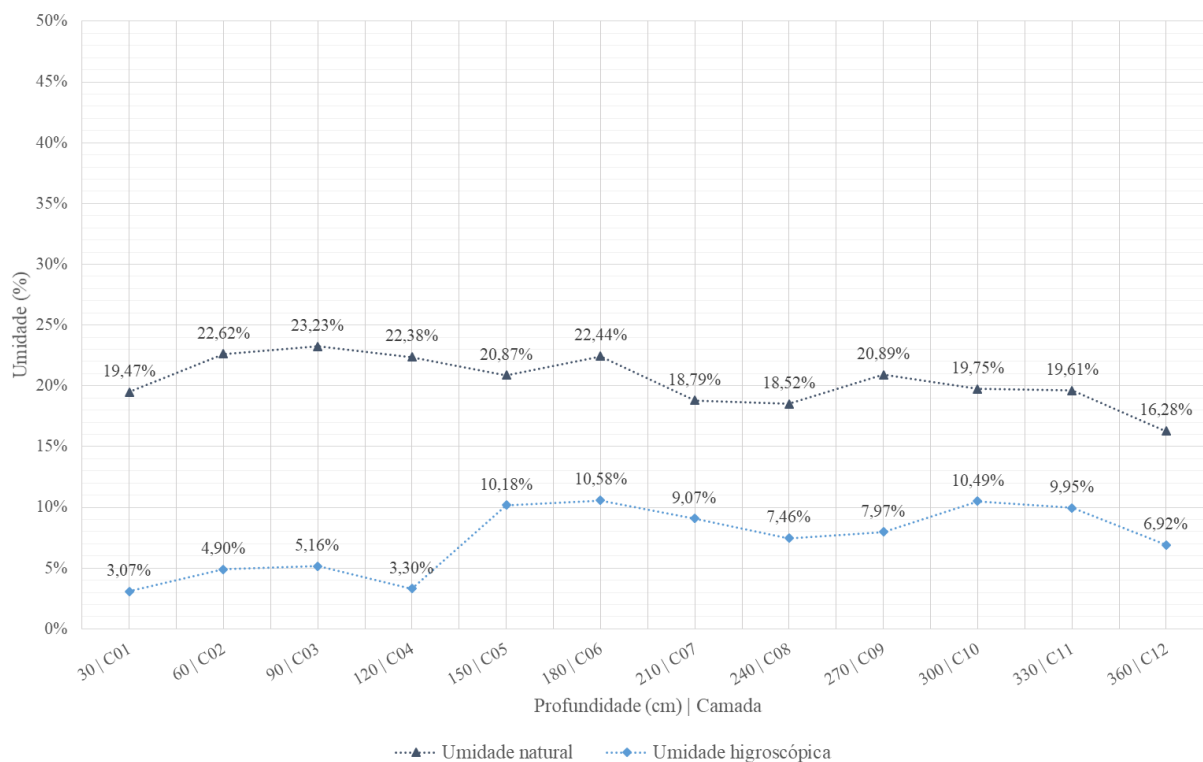
A caracterização do solo foi realizada com a avaliação do teor de umidade natural e higroscópica e da composição granulométrica das camadas. Dessa forma, é possível validar os resultados obtidos nos testes das estruturas para estudos e aplicações futuras, em solos com características semelhantes às apresentadas a seguir.

6.2.1 Teor de umidade natural e higroscópica

Os teores de umidade natural das camadas apresentadas na Figura 35 são referentes ao estado do solo no primeiro dia de testes, quando não haviam sido identificados eventos de precipitação a, pelo menos, 10 dias. Já a umidade higroscópica foi medida após as amostras secarem ao ar até, visualmente, atingirem o estado higroscópico. Observou-se que a umidade natural segue uma tendência bastante homogênea em todas as camadas. Já a umidade higroscópica apresenta um valor mais baixo até a camada C04 e um aumento nas camadas seguintes.

A umidade natural média do perfil do solo foi de 20,41% e a umidade higroscópica média foi de 7,42%. O teor de umidade higroscópica tende a ser maior à medida que o solo for mais argiloso, já nos solos de granulação grossa (areias e pedregulhos) ela é praticamente desprezível.

Figura 35 – Umidade do solo local no primeiro dia de ensaios por camada

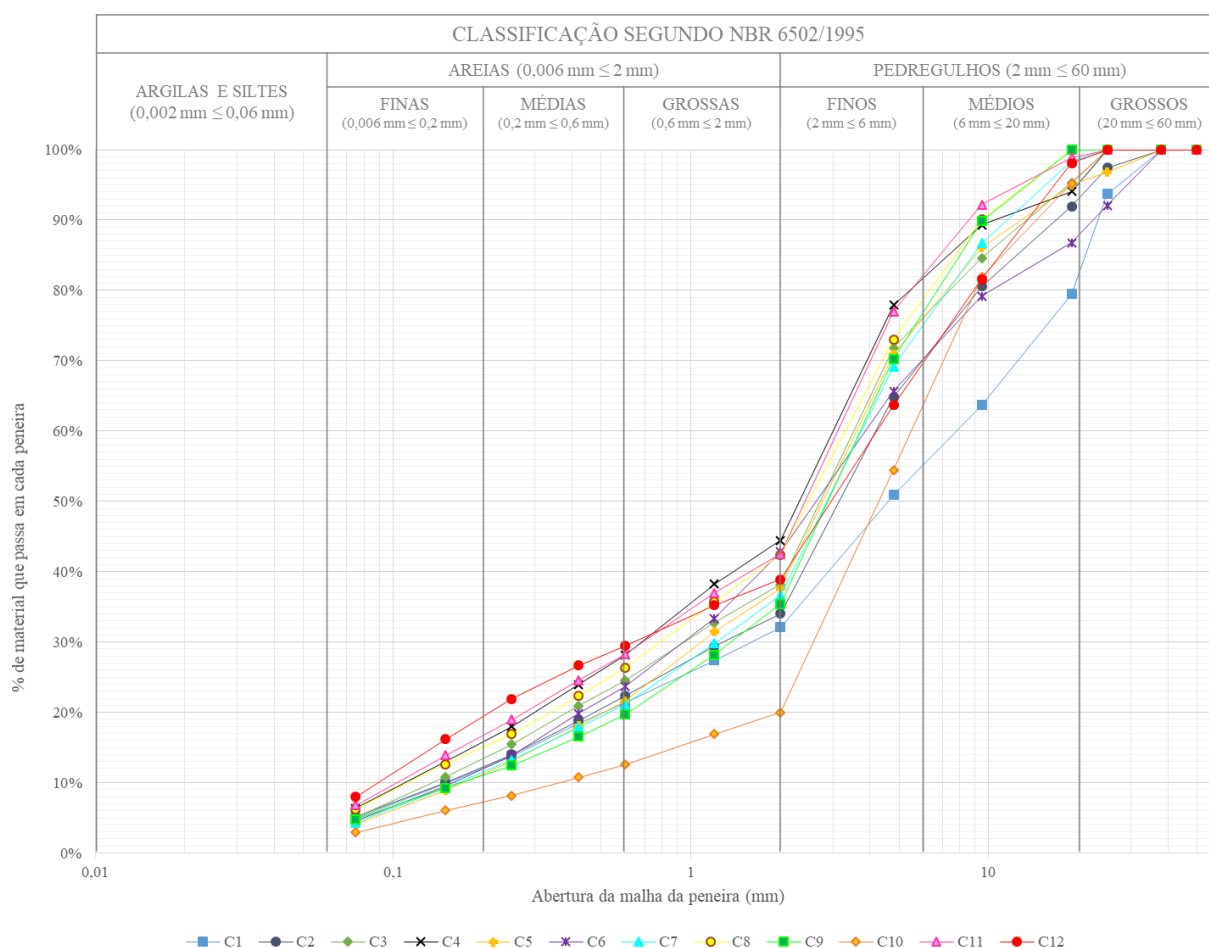


Fonte: elaborado pela autora, 2018.

6.2.2 Composição granulométrica

Os valores obtidos de materiais que passaram em cada peneira durante o ensaio de peneiramento das amostras coletadas do solo local possibilitou a plotagem da curva granulométrica de cada camada do solo, conforme apresentado na Figura 36. Pode-se perceber que o perfil, durante toda sua profundidade, apresentou características bastante homogêneas. Dessa forma, segundo classificação da NBR 6502 (ABNT, 1995), assumiu-se que o solo local, em sua maioria, era composto por pedregulhos e areias grossas, sendo esta caracterização consistente com o valor baixo obtido para a umidade higroscópica.

Figura 36 – Curva granulométrica das camadas do solo local



Fonte: elaborado pela autora, 2018.

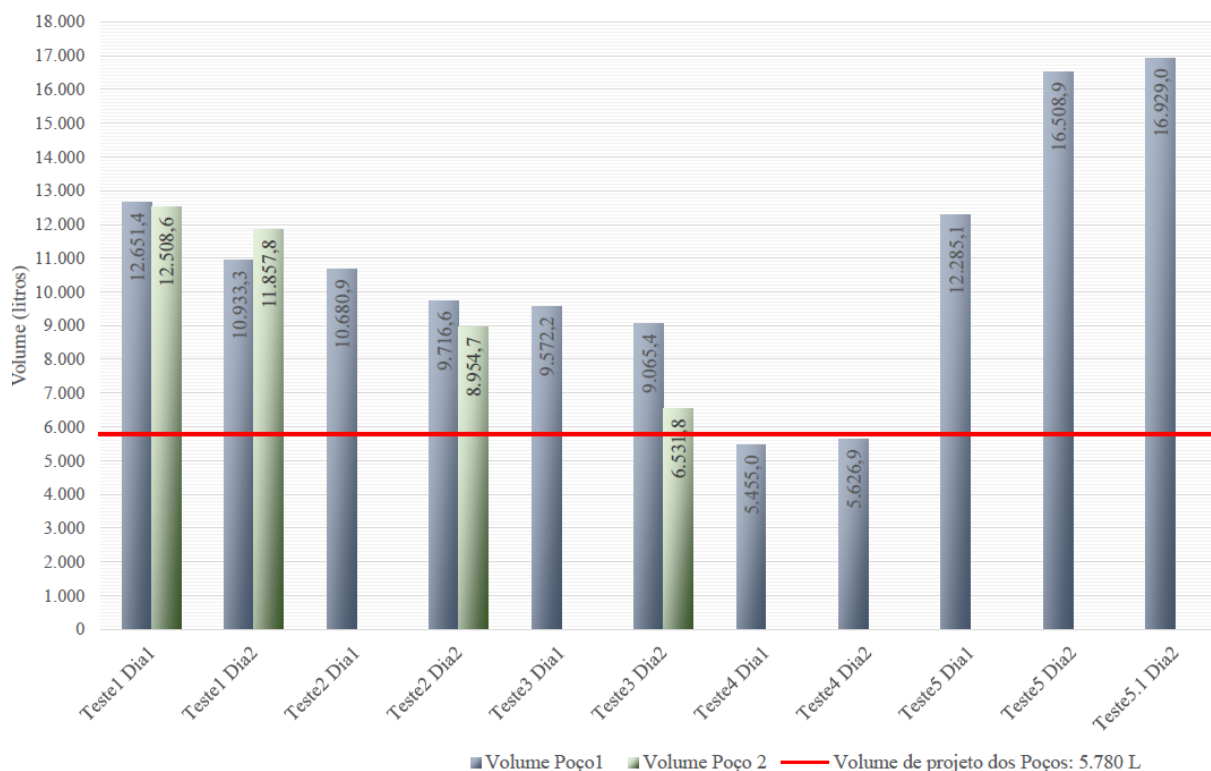
6.2.3 Perfil do solo local

Com os valores de umidade e porcentagem de grãos que passaram em cada peneira foi possível traçar o perfil do solo, com as características de cada uma das camadas,

quando a água atingiu o início da tampa da estrutura (profundidade referente ao volume que o poço foi pré-dimensionado para suportar). 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 38 são apresentados os volumes aplicados nos Poços 1 e 2 durante cada um dos testes realizados, em ambos os dias. Percebe-se que a capacidade de retenção foi diminuindo conforme foram sendo aplicadas as vazões. Ainda, identificou-se uma redução da capacidade de armazenamento do primeiro para o segundo dia de ensaios. O Poço 1 demonstrou uma redução de retenção de 13,6 % no Teste 1, 9,0 % no Teste 2 e 5,3 % no Teste 3 e o Poço 2 uma redução de 5,2 % do armazenamento do Teste 1.

Figura 38 – Capacidade de retenção dos Poços 1 e 2



Fonte: elaborado pela autora, 2018.

No segundo dia, quando realizado pela primeira vez o Teste 5, o volume suportado pelo Poço 1, 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. Por essa razão não

foi possível determinar qual era o volume máximo suportado pelo poço no primeiro teste. Todavia, identificou-se que esse valor seria próximo aos 17.000 L, pois quando repetido o ensaio, no Teste 5.1, a estrutura atingiu sua capacidade máxima quando aplicado 16.929 L. Já no Poço 2 foram aplicadas vazões para extravasamento em todos os testes, sendo identificado o volume máximo suportado pela estrutura como 12.508,6 L, valor referente ao Teste 1 do primeiro dia de ensaio.

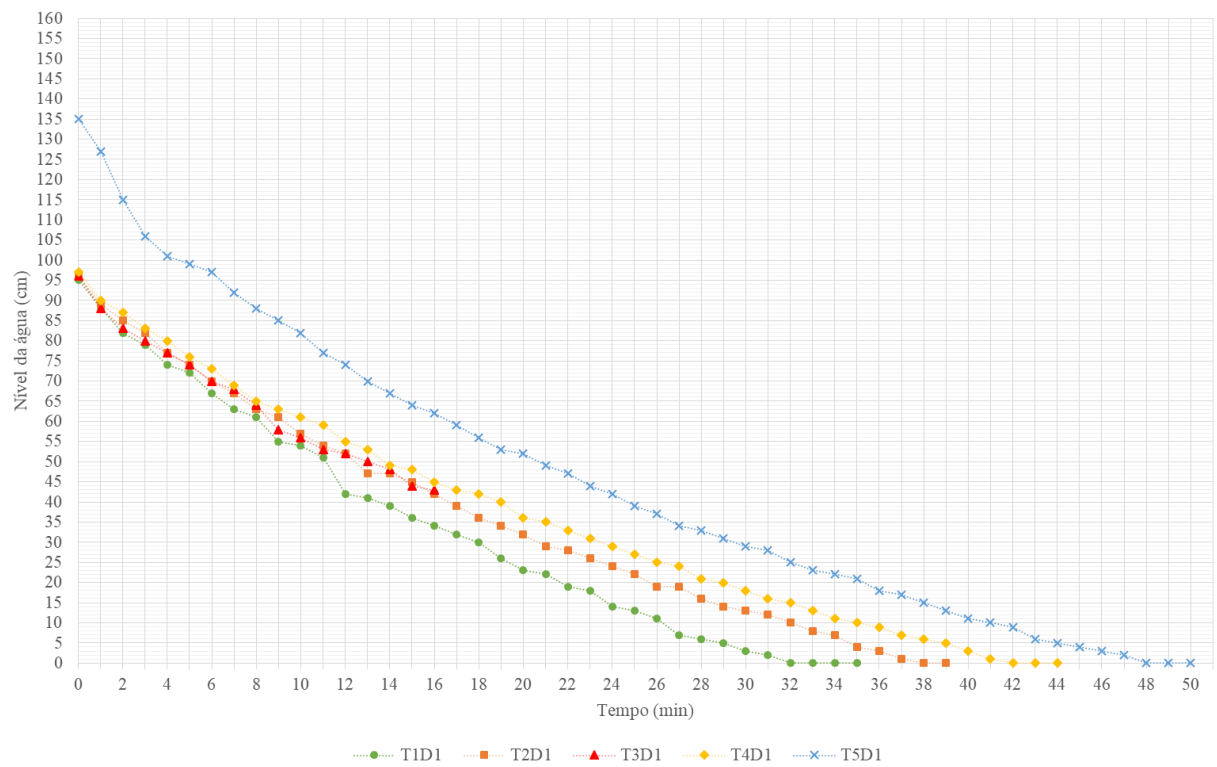
O Teste 4 realizado no Poço 1, em ambos os dias e o Teste 3 realizado no Poço 2 no segundo dia, buscaram simular o comportamento das estruturas quanto a um possível evento de precipitação intensa acontecendo antes de seu esvaziamento completo. Para o Poço 1 adotou-se, tanto no primeiro, quanto no segundo 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. Já o Poço 2 apresentou a capacidade de armazenar, além do volume ainda existente em seu interior no início da simulação, aproximadamente, 2.329,60 L, totalizando um volume de 6.531,8 L.

6.3.2 Tempo de esvaziamento das estruturas

Os tempos de esvaziamento das estruturas foram avaliados através dos dados coletados do rebaixamento do nível d'água no interior dos poços, no intervalo de tempo de um em um minuto. O Poço 1 apresentou perfis de esvaziamento muito semelhantes em ambos os dias de testes, conforme apresentado na Figura 39 para o primeiro dia e na Figura 40 para o segundo dia.

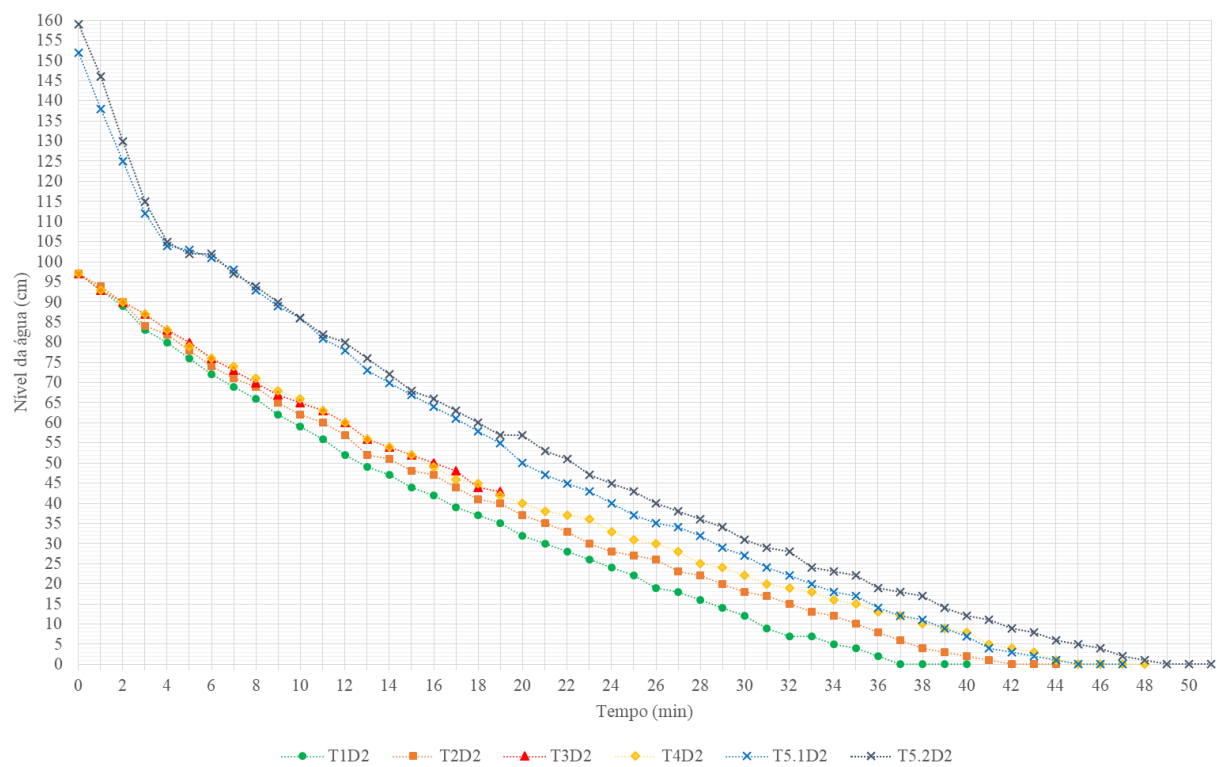
No primeiro dia, quando realizado o Teste 5, pior cenário para o solo, o Poço 1 mostrou-se capaz de esvaziar completamente no intervalo de 50 min, após ser aplicado um volume de 12,29 m³ em seu interior. No segundo dia de ensaios, quando realizado o mesmo teste e aplicado um volume de 16,93 m³, a estrutura eliminou toda água de seu interior no intervalo de 51 min. 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 por sua estrutura de teste, no intervalo de tempo de 50 min. Considerando que o sistema avaliado pelo presente estudo possuiu volume interno de 5,78 m³, pode-se de dizer que apresentou eficiência de esvaziamento 3,5 vezes superior ao estudo supracitado.

Figura 39 – Perfil de esvaziamento do Poço 1 no Dia 1



Fonte: elaborado pela autora, 2018.

Figura 40 – Perfil de esvaziamento do Poço 1 no Dia 2



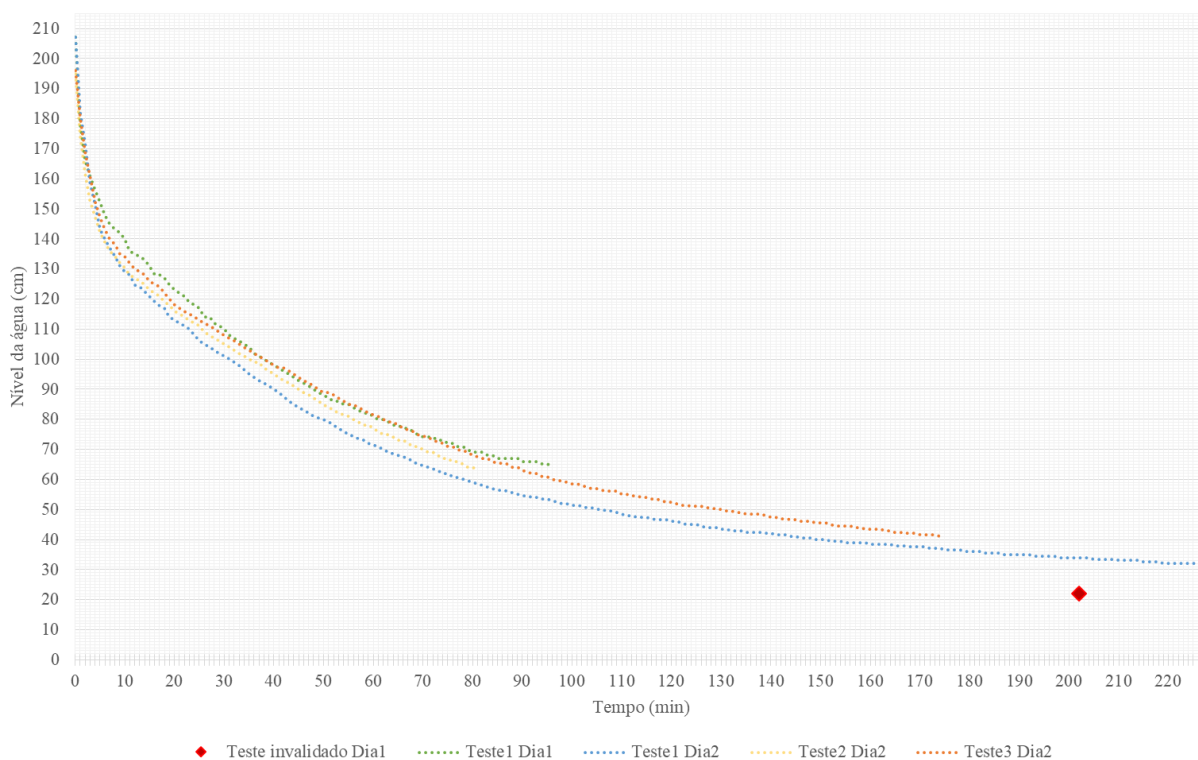
Fonte: elaborado pela autora, 2018.

Mesmo a altura da água do poço avaliado por Reis; Oliveira; Sales (2008), no valor de 1,30 m, ser maior que a do poço avaliado por esse estudo, de 1,09 m, a velocidade de infiltração identificada foi menor. Por isso, pode-se supor que, para estruturas com características semelhantes às do Poço 1, a área de infiltração ou área molhada pode ser diretamente relacionada com a velocidade na qual o volume será capaz de infiltrar no solo.

O Poço 2, por sua vez, apresentou um comportamento de esvaziamento significativamente mais lento que o do Poço 1. Na Figura 41 são apresentadas as curvas de esvaziamento do Poço 2 para os dois dias de testes e o tempo necessário para o esvaziamento do primeiro teste, realizado no Dia 1 até o nível de 22 cm, o qual foi desconsiderado.

No segundo dia de testes, quando aplicado o volume de 12,51 m³, no Teste 1, a estrutura levou 3 h 48 min para que o nível d'água ficasse 32 cm acima do esvaziamento total. Quando realizado o Teste 3, ou seja, quando já havia recebido outras duas simulações de eventos de precipitação, a estrutura precisou de 2 h 55 min para chegar no nível de 41 cm, demonstrando uma redução na eficiência de esvaziamento de, aproximadamente, 17,1 %. A estrutura apresentou o mesmo comportamento de esvaziamento em todos os testes realizados, infiltrando mais rapidamente na primeira 1 h 30 min, aproximadamente, e depois mantendo um padrão cada vez mais lento.

Figura 41 – Perfil de esvaziamento do Poço 2 nos Dias 1 e 2



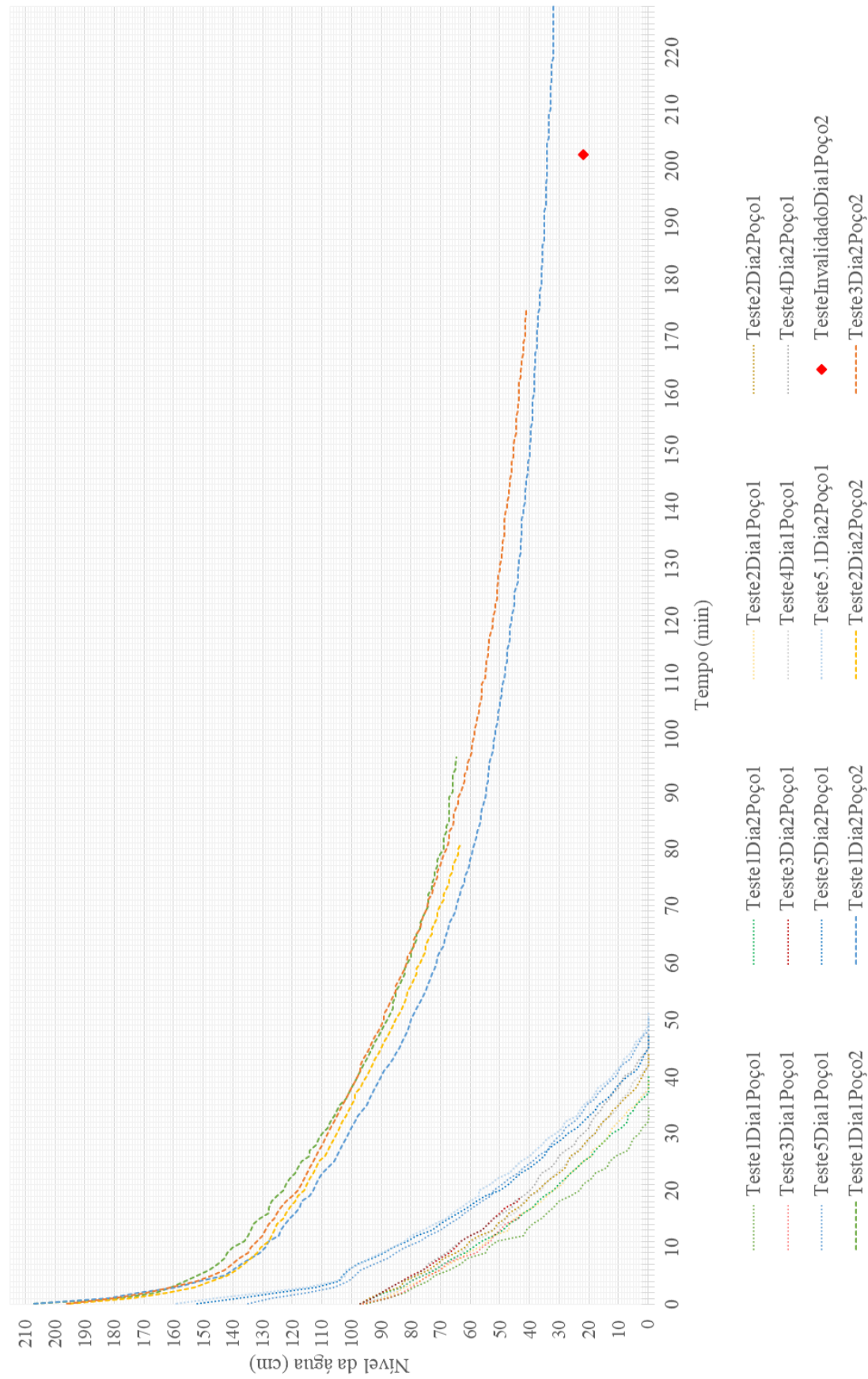
Fonte: elaborado pela autora, 2018.

De acordo com estudos realizados por Lucas *et al.* (2015) para avaliar as condições de operação de um poço de infiltração, assim como, o comportamento da manta geotêxtil, o transporte de finos para dentro da estrutura interfere diretamente na permeabilidade tanto do solo, quanto da manta geotêxtil. Como a brita utilizada para o preenchimento do Poço 2 não passou por processo de lavagem antes de sua utilização, pode-se atribuir a perda de eficiência da infiltração a não remoção dos finos desse material, que podem ter acumulado no interior do sistema. Ainda, supõem-se que o atraso no esvaziamento desta estrutura, em relação ao tempo observado para o Poço 1, pode ser explicado pelo fenômeno de percolação da água em meios porosos.

Os tempos de esvaziamento de poços de infiltração é um parâmetro de grande importância a ser avaliado quando dimensionada a estrutura e definido qual o seu objetivo principal. Durante sua vida útil, a capacidade de infiltração dos sistemas pode variar pela colmatção de materiais finos em seu interior ou, ainda, apresentar tempos de esvaziamento muito menores aos estipulados em projetos, passando a funcionar como estruturas de detenção e diminuindo sua eficiência no controle de cheias (BARBASSA; ANGELINI SOBRINHA; MORUZZI, 2014). Por isso, é extremamente importante que sejam feitas manutenções frequentes dos sistemas e avaliações da capacidade de infiltração do solo e da manta geotêxtil, a fim de garantir sua funcionalidade.

Conforme apresentado na Figura 42 pelas curvas de esvaziamento plotadas para ambas as estruturas, nos dois dias de ensaios, o Poço 2 apresentou uma eficiência de infiltração muito menor que a do Poço 1, levando um tempo até 4,5 vezes maior para esvaziar quando aplicado um volume semelhante. No primeiro teste realizado, por exemplo, quando ambos dispositivos receberam um volume aproximado de 12,6 m³, enquanto o poço sem preenchimento esvaziou completamente em 35 min, a estrutura preenchida com material drenante após 1 h 36 min de monitoramento ainda estava 65 cm acima do nível mínimo de água em seu interior. Esse comportamento se repetiu em todos os testes realizados nas estruturas, como demonstrado no gráfico.

Figura 42 – Perfil de esvaziamento dos Poços 1 e 2 nos Dias 1 e 2



Fonte: elaborado pela autora, 2018.

6.4 VIABILIDADE TÉCNICA DA IMPLANTAÇÃO DOS POÇOS DE INFILTRAÇÃO

A análise da viabilidade técnica da implantação dos poços de infiltração foi possível através da comparação dos dados coletados em campo com os valores teóricos do Cenário 2. De acordo com o pré-dimensionamento, os poços deveriam deter 5,78 m³ em 8 min de precipitação com intensidade de 111,32 m³.s⁻¹.ha⁻¹, equivalente a uma vazão média de 12 L.s⁻¹. Quando simulada a chuva de projeto, identificou-se que o Poço 1 era capaz de suportar um volume superior ao dimensionado, consequentemente, um tempo de chuva maior. 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.

Quando realizado o terceiro enchimento, momento no qual a estrutura já havia recebido dois eventos de precipitação, o Poço 1 demonstrou uma capacidade de armazenamento 65,57 % superior à de projeto no primeiro dia e 56,92 % superior no segundo dia de ensaios. O comportamento da estrutura durante os testes, quanto ao tempo de duração da chuva de projeto, volume armazenado, volume excedente ao de projeto e tempo de esvaziamento total, para todos os testes realizados no Poço 1, são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Comportamento do Poço 1 durante testes

Teste	Dia	Tempo de simulação da chuva (min)	Volume recebido (m ³)	Volume excedente ou faltante (m ³)	Tempo de esvaziamento (min)	Observações
1	1	18,27	12,65	6,87	32	-
	2	15,02	10,93	5,15	37	-
2	1	15,02	10,68	4,90	38	-
	2	13,43	9,72	3,94	42	-
3	1	14,55	9,57	3,79	16	Esvaziamento parcial
	2	13,59	9,07	3,29	19	Esvaziamento parcial
4	1	7,56	5,45	-0,33	42	Volume inicial de 2,27 m ³
	2	8,11	5,63	-0,15	45	Volume inicial de 2,27 m ³
5	1	17,52	12,29	6,51	42	-
	2	23,15	16,51	10,73	38	-
5.1	2	25,49	16,93	11,15	42	-

Fonte: elaborado pela autora, 2018.

Pode-se perceber que, mesmo com a simulação de chuvas consecutivas de projeto realizadas nos Testes 4, o Poço 1 apresentou um comportamento positivo quanto ao armazenamento e infiltração, sendo capaz de deter, além do volume de 2,27 m³ ainda presente em seu interior, um volume de 5,45 m³ no primeiro dia e 5,63 m³ 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 chegado em estado de transbordamento, como nos Testes 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 1 mostrou-se bastante eficaz quanto ao tempo necessário para esvaziamento completo, demorando, em média, 40 min para esvaziar completamente. Segundo Reis; Ilha; Teixeira (2013), estruturas de drenagem na fonte baseadas na infiltração das águas pluviais, devem garantir sua descarga total entre 6 h a 12 h, garantindo sua efetividade em períodos de chuvas consecutivas e evitando a proliferação de insetos em seu interior.

O Poço 2, por sua vez, também apresentou uma capacidade de retenção superior a prevista em projeto. No Teste 2 do segundo dia, a estrutura suportou um volume 54,84 % maior que o projetado. Todavia, o poço indicou uma eficiência de esvaziamento muito mais baixa que a da estrutura sem preenchimento. Quando aplicado um volume de 11,86 m³, por exemplo, o sistema precisou de 3 h 48 min para atingir o nível d'água de 32 cm, ou seja, ainda não esvaziando completamente. Acredita-se que, em eventos de chuvas consecutivas, esse dispositivo venha a funcionar com menor capacidade de retenção que o Poço 1, por possuir um tempo de esvaziamento expressivamente maior. Por outro lado, a estrutura apresenta tempos de esvaziamento dentro do limite estipulado pela literatura. Dessa forma, pode-se supor que suas características construtivas apresentam viabilidade na utilização para controle de cheias urbanas, mesmo sendo menos eficiente que o sistema sem preenchimento. O comportamento do Poço 2 durante os ensaios é detalhado na Tabela 11.

Tabela 11 – Comportamento do Poço 2 durante testes

Teste	Dia	Tempo de simulação da chuva (min)	Volume recebido (m ³)	Volume excedente (m ³)	Tempo de esvaziamento (min)	Nível d'água no fim do monitoramento (cm)
1	1	18,17	12,51	6,73	96	65
	2	17,14	11,86	6,08	228	32
2	2	12,21	8,95	3,17	81	63
3	2	9,25	6,53	0,75	175	41

Fonte: elaborado pela autora, 2018.

Avaliando a efetividade do funcionamento das estruturas como técnica de controle de cheias urbanas, pode-se supor que a associação de poços de infiltração com as características construtivas semelhantes ao do Poço 1, para um solo com taxa de infiltração próxima aos do local de estudo, seria satisfatória. Como apontado por Reis; Oliveira; Sales

(2008), a verificação da viabilidade técnica da implantação de poço de infiltração deve avaliar a capacidade de esvaziamento da estrutura mesmo após um elevado índice de saturação do solo, garantindo a eficiência do sistema durante chuvas consecutivas, como realizado nos Testes 5 e 5.1, nos quais o rendimento de esvaziamento da estrutura não diminuiu.

Além disso, constatou-se que a implantação de poços de infiltração é facilmente integrável ao cenário urbano, uma vez que, após o reaterro das valas, as estruturas puderam ser identificadas apenas pela tampa cega da chaminé de acesso. Sendo assim, garantindo que estejam afastadas suficientemente para não interferirem em fundações de edifícios próximos e estejam niveladas com o pavimento, acredita-se que essas estruturas não causam nenhum prejuízo à paisagem urbana ou à circulação e utilização das vias públicas por veículos e pedestres.

6.5 CUSTO DE IMPLANTAÇÃO DOS SISTEMAS

Além da capacidade de funcionamento dos poços de infiltração, também foram avaliados os custos para sua implantação. Não foram encontradas composições de custos referentes à implantação dessa estrutura 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.

O custo total para implantação do Poço 1, composto por paredes de concreto armado perfuradas, foi contabilizado em R\$ 3.284,88 e para o Poço 2, preenchido com brita graduada, em R\$ 1.944,40. Esses valores correspondem a estruturas dimensionadas para armazenar um volume útil de 5,78 m³. Sendo assim, pode-se estimar que o custo para implantação de uma estrutura com as características do Poço 1 seria de R\$ 568,32 por m³ de volume útil armazenado e para uma estrutura com as características do Poço 2 de R\$ 336,40 por m³ de volume útil armazenado.

Na Tabela 12 são apresentados os quantitativos e custos de materiais e serviços para cada uma das estruturas implantadas, com os valores unitários e totais de cada item. A composição dos custos de mão de obra e maquinário foi realizada de acordo com a tabela SINAPI (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2018) com os valores base para o mês de abril de 2018, considerando os valores dos seguintes serviços:

- a) servente: R\$ 13,74 por hora trabalhada;
- b) pedreiro: R\$ 16,56 por hora trabalhada;

- c) abertura de vala com escavadeira hidráulica: R\$ 11,22 por m³ escavado;
 d) reaterro de vala com escavadeira hidráulica: R\$ 6,29 por m³ de reaterro.

Tabela 12 – Quantitativo e custos de materiais e serviços para cada estrutura

Descrição	Quantidade		Unidade	Custo Unitário R\$	Custo Total R\$	
	Poço 1	Poço 2			Poço 1	Poço 2
Paredes e tampa de concreto	1	0	pç	2.100,00	2.100,00	-
Chaminé de acesso	1	1	pç	450,00	450,00	450,00
Tubulação de ligação	0,60	1,00	m	58,50	35,10	58,50
Brita nº3	1,86	11,65	m ³	38,70	72,08	450,78
Manta Geotêxtil	26,94	30,14	m ²	4,58	123,39	138,04
Mão de obra e maquinário	-	-	-	-	504,31	847,08
Custo total para implantação de 1 unidade:					3.284,88	1.944,40

Fonte: elaborado pela autora, 2018.

Apesar do custo do Poço 2 ser 40,8 % mais baixo do que o custo do Poço 1, deve-se avaliar suas capacidades de armazenamento e esvaziamento, facilidade de instalação e espaço físico disponível, já que o poço preenchido possui dimensões maiores para garantir o mesmo volume de armazenamento. Ainda não foi contabilizado custos com fôrmas para estabilização do Poço 2 durante escavação e preenchimento da vala, a qual julgou-se necessário durante o processo de instalação da estrutura, devendo este ser avaliado.

Ainda, é importante ressaltar 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. Acredita-se que esse seria o maior ganho em questão de custos da utilização dessa técnica.

Além disso, segundo Moura (2004), um dos custos mais significativos na utilização de poços de infiltração em sistemas de drenagem urbana são os referentes à manutenção dos dispositivos. Esses equipamentos precisam de limpezas frequentes, a fim de evitar processos de colmatção de finos e poluição do lençol freático e possuem uma vida útil de funcionamento, definida pela autora, como 15 anos para uma estrutura do tipo preenchida com brita. O presente trabalho não teve o objetivo de avaliar os custos com a manutenção dos sistemas, podendo esse ser objeto de estudo para trabalhos futuros.

Nos itens a seguir são apresentados os artigos desenvolvidos como produto final desta dissertação, de forma a atender a normatização do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais da UCS.

6.6 ARTIGO 1

O primeiro artigo, apresentado a seguir, foi submetido ao 11º Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental, que acontecerá de 02 a 04 de outubro de 2018, em Porto Alegre, RS, com o título: “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 – gareichert@cpovo.net – 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 colapsibilidade. 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



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

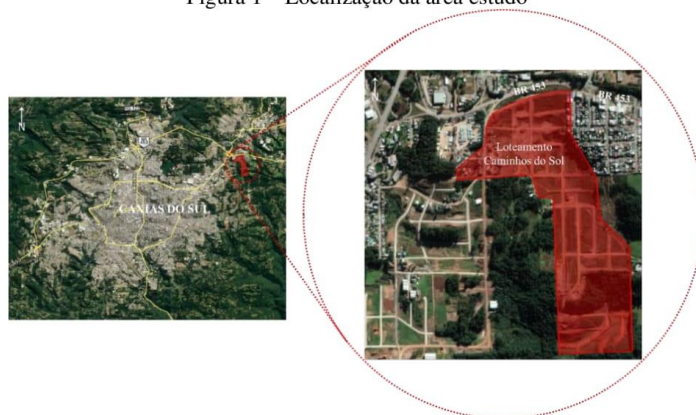
Para o desenvolvimento do estudo foi, primeiramente, delimitada a área de contribuição do poço de infiltração e, então, foram definidos os métodos de cálculo e parâmetros hidrológicos. Dessa forma, foi possível realizar seu dimensionamento seguido de sua implantação e da coleta e ensaio de caracterização 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



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



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

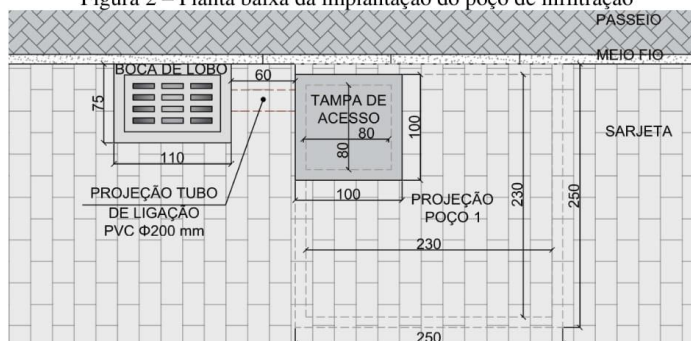
02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

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

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

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 possuíam 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



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

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



TEMA
meio ambiente,
política & economia

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					UMIDADE	
		Fina	Média	Grossa	PEDREGULHO	ARGILAS E SILTES	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



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

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



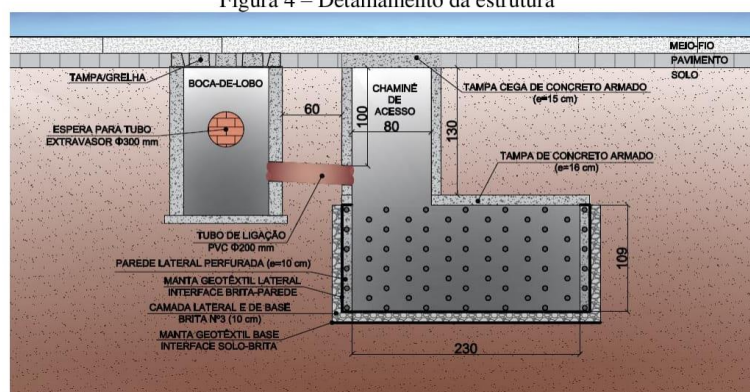
TEMA
meio ambiente,
política & economia

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,

Realização



Correalização



Informações:

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



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

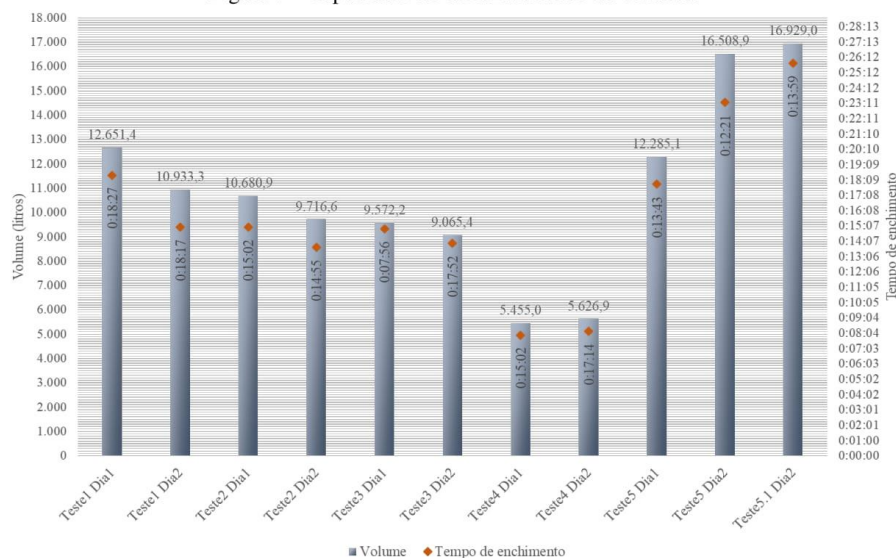
02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

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

Figura 6 – Esvaziamento da estrutura no dia 1

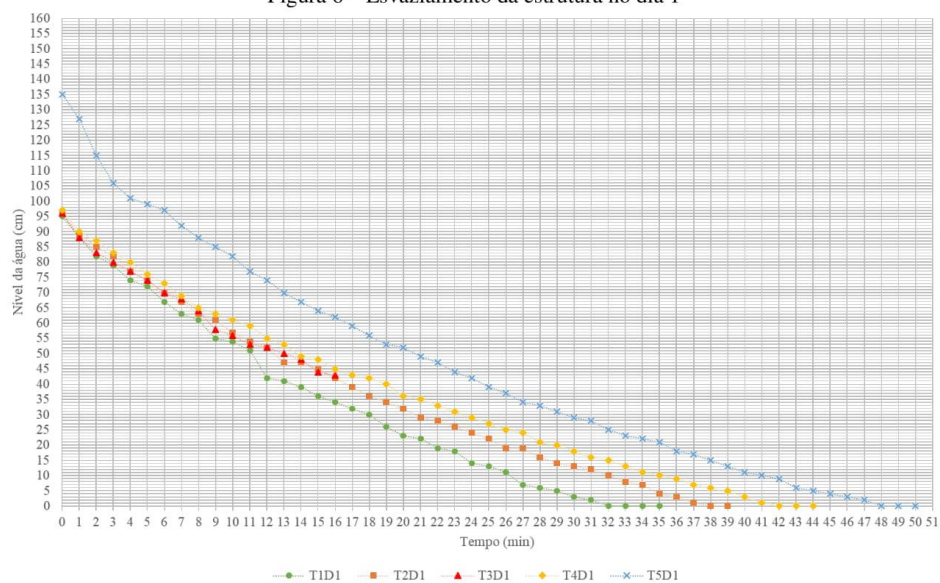
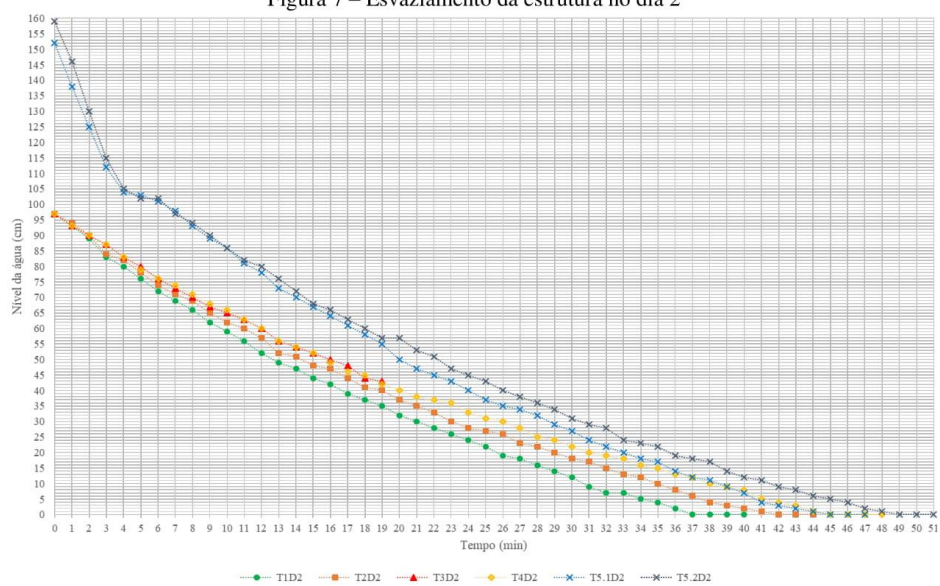


Figura 7 – Esvaziamento da estrutura no dia 2



Realização



Correalização



Informações:

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



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

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



TEMA
meio ambiente,
política & economia

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 ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}.\text{ha}^{-1}$)	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

Realização

ABES-RS



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 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



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.; HARTE, 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

6.7 ARTIGO 2

O segundo artigo foi submetido à Revista Brasileira de Recurso Hídricos (RBRH), publicada pela Associação Brasileira de Recurso Hídricos (ABRH), no mês de maio de 2018. Com o título de “Desempenho de dois poços de infiltração com características distintas como medida de contenção de drenagem urbana na fonte”, o artigo contemplou todos os resultados obtidos no estudo e é apresentado a seguir.

Desempenho de dois poços de infiltração com características distintas como medida de contenção de drenagem urbana na fonte

Performance of two soakaway pits with distinct characteristics as an compensatory technique of drainage at the source

Flavia Manica Siviero¹; Geraldo Antônio Reichert²

¹ Enga. Civil, Mestranda em Engenharia e Ciências Ambientais pela Universidade de Caxias do Sul, Programa de Pós Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais, Caxias do Sul – RS.

flavia.manica@hotmail.com

² Eng. Civil, Mestre em Engenharia, Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Professor do Programa de Pós Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais da Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul – RS.

garichert@cpovo.net

RESUMO

O avanço do perímetro urbano traz desafios para técnicos e gestores, a fim de que o novo cenário possua características mais próximas ao natural, garantindo que as águas pluviais não causem danos ambientais, sociais e econômicos. Nesse contexto, esse trabalho procurou avaliar a técnica compensatória de infiltração de drenagem na fonte, implantando dois poços de infiltração, com características distintas, ambos com volume útil de 5,78 m³, em uma área de um futuro loteamento residencial, no município de Caxias do Sul, RS. O Poço 1 foi composto por paredes de concreto armado pré-moldadas e perfuradas e o Poço 2 foi escavado e preenchido com brita graduada nº 3. Os sistemas foram testados e monitorados através de simulações de vazões, demonstrando que possuíam capacidade acima da estipulada em projeto, sendo o Poço 1 capaz de conter um volume 2,9 vezes superior ao dimensionado e o Poço 2 um volume 1,5 maior que o de projeto. O Poço 2 demonstrou eficiência de esvaziamento inferior ao do Poço 1, quando submetidos a volumes semelhantes, levando 3 h 48 min para esvaziar até o nível d'água de 32 cm, enquanto o Poço 1 esvaziou completamente em 50 min. Ainda, foram avaliados os custos de implantação dos sistemas, sendo o Poço 2, 40,8 % mais econômico que o Poço 1. Para locais com características semelhantes às do avaliado, concluiu-se que poços de infiltração são boas alternativas para controle e prevenção de cheias urbanas.

Palavras-chave: POÇO DE INFILTRAÇÃO, CONTROLE DE CHEIAS URBANA, TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS, INFILTRAÇÃO NA FONTE.

ABSTRACT

The advancement of the urban perimeter brings challenges for technicians and managers so that the new scenario has characteristics closer to the natural, ensuring that rainwater does not cause environmental, social and economic damages. In this context, this work sought to evaluate the compensatory technique of drainage infiltration at the source, implanting two soakaway pits, with distinct characteristics, both with an usable volume of 5.78 m³, in an area of an upcoming residential land division, in the municipality of Caxias do Sul, RS. Pit 1 was composed of preformed and perforated reinforced concrete walls and Pit 2 was excavated and filled with gravel graduated. The systems were tested and monitored through flow simulations, demonstrating that they had capacity above the one stipulated in the project, being Pit 1 capable of containing a volume 2.9 times greater than dimensioned and Pit 2 a volume 1.5 greater than the one projected. Pit 2 showed lower emptying efficiency than Pit 1 when subjected to similar volumes, taking 3 h 48 min to empty to 32 cm water level, while Pit 1 completely emptied in 50 min. Also, the costs of implementing the systems were evaluated, with Pit 2 being 40.8 % more economical than Pit 1. Finally, it was concluded that soakaway pits are good alternatives for the control and prevention of urban floods, for sites with characteristics similar to those of the evaluated one.

Keywords: SOAKAWAY PIT, URBAN FLOOD CONTROL, COMPENSATORY TECHNIQUE, SOURCE INFILTRATION.

INTRODUÇÃO

A expansão do perímetro urbano municipal, apesar de ser um indicador de prosperidade, quando acontece de forma desordenada, gera impactos negativos no ciclo hidrológico, causando danos para a população no âmbito social, econômico e ambiental (REIS; ILHA; TEIXEIRA, 2013; VILLANUEVA et al., 2011). A remoção da vegetação existente e impermeabilização de áreas antes infiltráveis para construção de novos loteamentos urbanos e posterior implantação de edificações causam um aumento na velocidade do escoamento superficial e consequentemente a erosão dos rios, prejudicando a qualidade da água pelo transporte de poluentes, diminuindo o nível dos lençóis freáticos, aumentando a poluição e possibilidade de ocorrência de cheias urbanas, proliferação de resíduos e transmissão de doenças (TUCCI, 2016; LUCAS et al., 2015).

O ponto chave para a solução ou atenuação desses problemas é o planejamento urbano associado às técnicas multidisciplinares, a fim de desenvolver modelos de drenagem sustentáveis. Villanueva et al. (2011) apontam que a gestão das águas pluviais tem um papel fundamental para indicar medidas de controle de cheias ou combinações de técnicas que melhor se enquadram para solucionar problemas de determinada região de forma efetiva e com baixo custo agregado. 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 chamado modelo de drenagem clássico ou convencional (REZENDE; MIGUEZ; VERÓL, 2013).

De acordo com Tucci (2016), as medidas necessárias após a ocorrência de impactos possuem alto custo de implantação, sendo este um dos fatores para o poder público e privado planejar e executar medidas antes da implantação de novos empreendimentos ou da expansão urbana. Uma das soluções apontadas pelo autor é o aumento de infiltração das águas pluviais nos terrenos, que pode ser dada pela diminuição de áreas impermeáveis ou com a implantação de técnicas compensatórias de controle e infiltração na fonte. Esse novo conceito traz consigo um desafio para técnicos e gestores responsáveis pela tomada de decisão do sistema de drenagem a ser implantado durante o desenvolvimento municipal, necessitando de uma análise aprofundada de seus custos de implantação e manutenção e de seu correto dimensionamento (AGOSTINHO; POLETO, 2012).

O modelo de drenagem urbana convencional se baseia no conceito de coleta e transporte das águas pluviais o mais rápido possível para longe das áreas urbanizadas. Esse sistema, além de gerar grandes problemas à jusante, traz grandes impactos negativos ao ciclo hidrológico, fundamental para a manutenção do equilíbrio ecológico. Os danos observados à jusante de áreas com esse tipo de sistema são, principalmente, o aumento da ocorrência de enchentes, acúmulo de resíduos sólidos transportados pelo deflúvio superficial, consequente crescimento de doenças vinculadas à água, aumento dos custos de manutenção e reparos dos danos. Por outro lado, os novos princípios de drenagem se baseiam no controle da vazão das chuvas na fonte, ou seja, diminuindo o volume de água transportado para outras áreas (REIS; ILHA; TEIXEIRA, 2013). Além

disso, é proposto que os novos cenários urbanos devam garantir a contenção, amortecimento e permeabilidade das águas o mais próximo às condições de pré-urbanização (VASCONCELOS; MIGUEZ; VAZQUEZ, 2016; REIS; OLIVEIRA; SALES, 2005).

Esse modelo, também definido como sistema de drenagem sustentável, não tem como objetivo a eliminação do sistema convencional, mas sim, sua complementação, buscando otimizar o funcionamento das estruturas existentes (AGOSTINHO; POLETO, 2012). Oliveira et al. (2017) indicam que a implantação de pequenas medidas por toda bacia hidrográfica pode suprir a necessidade de grandes estruturas de controle de cheias urbanas, reduzindo custos do sistema.

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 possui o objetivo de avaliar uma nova forma de contenção de águas pluviais, 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).

O poço de infiltração consiste em uma técnica para controle de cheias implantado com a escavação do solo, revestido ou não por paredes de concreto perfuradas, podendo ser preenchido com material drenante ou com seu interior oco, funcionando como reservatório de retenção em períodos de chuvas intensas (REIS; ILHA, 2014). De acordo com Barbassa; Angelini Sobrinha; Moruzzi (2014) esse sistema tem como objetivo atuar os picos de vazão, infiltrando o deflúvio superficial na fonte geradora e, dessa forma, minimizando o volume transportado por redes de drenagem convencionais. Os ganhos dessa técnica podem ser ambientais, econômicos e sociais, auxiliando na recarga do lençol freático, diminuindo a proliferação de resíduos e de materiais poluentes, reequilibrando o ciclo hidrológico, diminuindo o potencial de cheias urbanas, gastos com macroestruturas de drenagem, entre outros.

As estruturas de poços de infiltração são amplamente utilizadas em nível internacional, mostrando bons resultados no controle de cheias urbanas, como representado por estudos desenvolvidos por Edwards et al. (2016), Ellis; Lundy (2016) e Roldin et al. (2011; 2012; 2013). Já no Brasil, o uso desse modelo não é muito difundido. A falta de políticas públicas de incentivo, de metodologias e normatizações para dimensionamento, implantação e operação dos sistemas, de estudos para confirmação da sua eficiência, entre outros fatores, pode justificar a não adoção dessa técnica no cenário brasileiro (VASCONCELOS; MIGUEZ; VAZQUEZ, 2016; REIS; ILHA; TEIXEIRA, 2013). Nesse contexto, o trabalho buscou realizar a implantação, monitoramento e avaliação de dois poços de infiltração em escala real – um preenchido internamente com material drenante e outro com o interior oco.

Os poços de infiltração foram construídos no município de Caxias do Sul, em uma área onde, futuramente, será implantado um loteamento residencial, o qual possui projeto urbanístico e de drenagem já aprovados pela Prefeitura Municipal. O pré-dimensionamento do sistema foi realizado de acordo com os parâmetros indicados pela bibliografia, pelo Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDU) do município (SAMAE/IPH, 2001) e pelas exigências atuais da SMOSP (Secretaria Municipal de Obras e Serviços Públicos) para o desenvolvimento de projetos de drenagem pluvial, apresentadas nas diretrizes técnicas fornecidas para o empreendimento e anexadas a esse estudo.

Após a implantação, foram simuladas diferentes condições de contorno, com uma vazão fixa através do auxílio de um caminhão pipa, submetendo as estruturas a diferentes situações: solo seco, encharcado e ocorrência de chuvas consecutivas – realizando um novo enchimento dos poços antes de seu esvaziamento total. A fim de garantir a confiabilidade dos resultados obtidos em campo, as simulações foram repetidas em um dia diferente, que apresentou condições climáticas semelhantes aos dos primeiros testes, respeitando um intervalo de 72 h entre esses dois momentos. Ainda, no primeiro dia, foram coletadas amostras do solo local, em camadas de 30 cm em 30 cm, até uma profundidade de 3,60 m, para posterior caracterização.

O monitoramento dos sistemas durante a simulação foi realizado através do controle do tempo total de enchimento ou extravasamento das estruturas e da variação do nível d'água no seu interior, de um em um minuto, durante seu esvaziamento. Para tanto, fez-se uso de uma tabela desenvolvida para esse fim, treina graduada e cronômetro.

Por fim, o estudo avaliou o comportamento de cada uma das estruturas, sua eficiência e capacidade de armazenamento, comparando os dois poços entre si. Dessa forma, foi possível analisar a viabilidade técnica da implantação de poços de infiltração como método de controle de cheias urbanas em locais com características climáticas e de solo semelhantes às do estudo e, ainda, foi possível estimar o custo de implantação dos sistemas.

MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento do estudo foi dividido em três fases. Na Fase 1 foi realizado o pré-dimensionamento dos poços de infiltração para definição das dimensões para a etapa de implantação que, por sua vez, foi realizada na Fase 2. Também nessa fase foram realizados os testes e monitoramento do comportamento das estruturas, além da coleta de amostras de solo para posterior caracterização. Por fim, a Fase 3 foi composta pelas análises de solo realizadas em laboratório, a digitalização dos dados coletados durante as simulações e a análise dos resultados obtidos.

Dimensionamento das estruturas

O dimensionamento dos sistemas de poços de infiltração foi desenvolvido para estimar um valor de

referência para as dimensões dos equipamentos, considerando um dos poços preenchidos com material drenante e outro com seu interior totalmente livre para armazenamento de água. Para isso, de acordo com Angelini Sobrinha (2012), foi necessário avaliar uma série de parâmetros hidrológicos, sendo eles: período de recorrência ou de retorno de chuva, tempo de concentração ou duração da chuva, intensidade de precipitação, área de contribuição, coeficiente de escoamento superficial, vazão máxima de projeto e o tempo de funcionamento e descarga da estrutura.

Além dos parâmetros hidrológicos, foram avaliados o espaço físico disponível nas vias, os materiais usuais disponíveis no mercado, as características individuais de cada estrutura, a legislação existente e parâmetros exigidos pela Secretaria Municipal de Obras e Serviços Públicos (SMOSP) de Caxias do Sul para sistemas de drenagem urbana de novos loteamentos residenciais.

Inicialmente, delimitou-se a área de contribuição para os poços de infiltração como sendo 1.451,65 m², correspondente a quatro lotes residenciais. Essa definição foi baseada na distância máxima entre bocas-de-lobo, regulamentada pela SMOSP para projetos de drenagem do município de Caxias do Sul, no valor de 50 m. Sendo assim, a soma das testadas dos lotes selecionados foi de 48,07 m, sendo muito próxima ao valor de referência.

As estruturas foram dimensionadas a fim de armazenar um volume equivalente à 5 min da vazão de projeto. Sendo assim, calculou-se a vazão de projeto pelo Método Racional, aplicando-se a Equação 1.

$$Q = 0,278 \cdot C \cdot i \cdot A \quad \text{Equação 1}$$

Sendo: “Q” a vazão de projeto em m³·s⁻¹; “C” o coeficiente de escoamento superficial da bacia hidrográfica, definido pela diferença entre o cenário pré-urbanizado, o qual assume um valor de 0,6 e o de pós-urbanizado, que corresponde ao valor de 0,3; “i” a intensidade média de precipitação sobre toda área da bacia, com duração igual ao tempo de concentração em m³·s⁻¹·ha⁻¹; “A” a área de contribuição em ha.

A intensidade de precipitação foi definida pelo método da curva IDF (Intensidade-Duração-Frequência), com os coeficientes ajustados para o local de implantação das estruturas através da aplicação da Equação 2, desenvolvida por Finotti et al. (2009), com dados pluviométricos de um posto próximo à localização dos poços.

$$i = \frac{1,14 \cdot 10^3 \cdot Tr^{0,2215}}{(t + 11,5993)^{0,8071}} \quad \text{Equação 2}$$

Sendo: “Tr” o período de retorno, definido como 10 anos e “t” o tempo de concentração da bacia definido como sendo 10 min.

Para o Poço 1 adotou-se dimensão de base quadrada, disponibilizada pelo fornecedor, assumindo valores de 2,30 x 2,30 m. Para o Poço 2 adotou-se uma base retangular de 2,80 x 2,60 m. As profundidades calculadas para atenderem o volume útil de armazenamento de 5,78 m³ foram, respectivamente, de 1,09 m e 1,60 m. O preenchimento do Poço 2 foi realizado com brita graduada nº 3 que, de acordo

com Araújo; Tucci; Goldenfum (2000), possui porosidade na ordem de 50 %. Por esse motivo, o volume total do poço foi duas vezes o valor do volume útil, garantindo que as duas estruturas pudessem armazenar a mesma capacidade de armazenamento.

Caracterização dos poços de infiltração

Na Figura 1 são apresentadas, em corte, as características construtivas do Poço 1, suas dimensões e materiais que compõem o sistema. A estrutura possui paredes perfuradas em concreto pré-moldado, com espessura de 10 cm, largura de 2,30 m e profundidade de 1,09 m. Sobre as paredes foi instalada uma tampa de concreto pré-moldado, com espessura de 16 cm e furação para encaixe de uma chaminé de acesso, também em concreto pré-moldado e dimensões internas de 0,80 m x 0,80 m x 1,30 m. Sobre a chaminé foi posicionada uma tampa cega nivelada ao pavimento. O fundo do poço foi composto por uma camada de brita graduada envolta em manta geotêxtil. A manta também foi posicionada nas laterais entre a interface das paredes e da camada lateral de 10 cm de brita graduada.

O Poço 1 possui ligação com uma boca-de-lobo através de uma tubulação em PVC DN 200, responsável por transportar tanto a vazão captada pela caixa coletora até a estrutura de infiltração, quanto uma possível vazão excedente do Poço 1, caso ocorra transbordamento. A boca-de-lobo possui tampa em grelha e furação para ser conectada à rede de drenagem principal. Essa furação foi temporariamente fechada até que o sistema de drenagem do empreendimento seja instalado e entre em funcionamento.

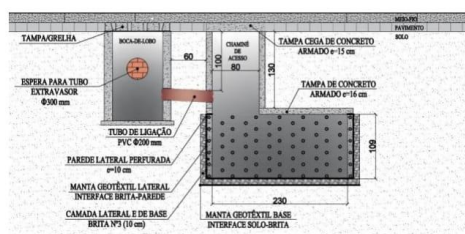


Figura 1 – Detalhes construtivos do Poço 1

Na Figura 2 é apresentada, em corte, a configuração do Poço 2, contendo suas dimensões e componentes dos sistemas. Essa estrutura foi preenchida com brita graduada n° 3 e envolta por manta geotêxtil por toda interface solo-brita.

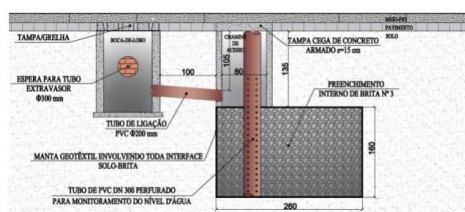


Figura 2 – Detalhes construtivos do Poço 2

A chaminé de acesso, em concreto pré-moldado, possui as mesmas dimensões da instalada no Poço 1 e foi apoiada diretamente sobre a manta geotêxtil. Um tubo perfurado de PVC DN 300 foi posicionado no interior da estrutura para possibilitar o monitoramento do nível d'água durante as simulações. O Poço 2 também possuiu ligação com uma boca-de-lobo, a qual garantiu as mesmas características da instalada no sistema sem preenchimento.

Implantação dos Poços de Infiltração

O processo de implantação ocorreu durante o mês de fevereiro de 2018 e levou 6 dias para ser finalizado. Para tanto, contou-se com o auxílio de uma escavadeira hidráulica e com a equipe de trabalho do loteamento. As configurações, em planta, dos Poços 1 e 2 são apresentadas na Figura 3 e na Figura 4, respectivamente. As estruturas foram instaladas paralelamente a uma boca-de-lobo responsável por captar o deflúvio superficial e transportar até os poços de infiltração.

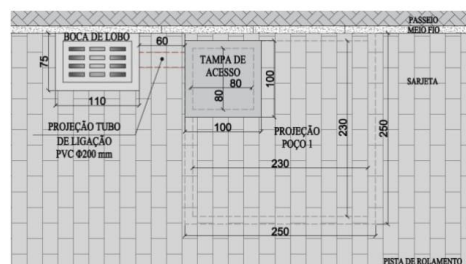


Figura 3 – Detalhes de implantação do Poço 1

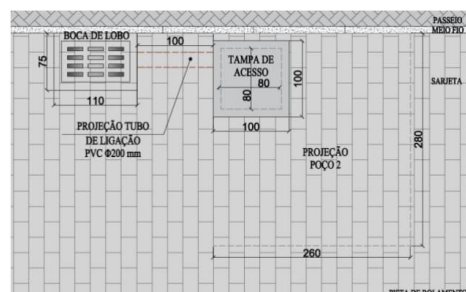


Figura 4 – Detalhes de implantação do POCO 2

No primeiro dia, foi realizado o reconhecimento da área e a demarcação dos vértices dos poços e bocas-de-lobo. No segundo dia, foi realizada a abertura das valas dos dois poços com o auxílio de uma retroescavadeira hidráulica. No terceiro dia, foi realizada a instalação do Poço 2. Primeiramente, a manta geotêxtil foi cortada e posicionada sobre o fundo e laterais da vala. Então, o tubo de monitoramento foi posicionado para ser possível o preenchimento com o material drenante. A brita foi sendo distribuída, aos poucos, com a escavadeira hidráulica e sendo uniformizada manualmente. Na Figura 5 são apresentados registros feitos no local durante esta etapa.



Figura 5 – Fotos do processo de implantação do Poço 2

As bocas-de-lobo, paredes e tampa de concreto armado pré-moldado do Poço 1 foram recebidos no quarto dia quando, também, foi realizada a instalação dessa estrutura. Esse processo se iniciou com a implantação do fundo da estrutura composto por camada de brita envolta em manta geotêxtil e pelo corte e posicionamento da manta, também nas laterais do poço. 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. Na Figura 6 são apresentadas fotos tiradas durante essa etapa.

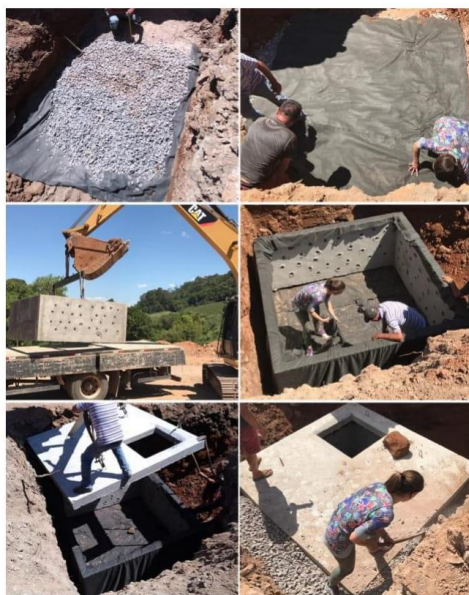


Figura 6 – Fotos do processo de implantação do Poço 1

No quinto dia, foram recebidas as chaminés de acesso e posicionadas as bocas-de-lobo, também com o auxílio da retroescavadeira hidráulica. Nesse dia, também, foram fixadas as tubulações de ligação nas bocas-de-lobo e chaminés de acesso e a chaminé de acesso do Poço 1 à sua tampa, todas com argamassa de cimento, areia e cal.

Por fim, esperou-se 24 horas até que as fixações das tubulações e da chaminé secassem, para então, no sexto e último dia de obra, realizar-se o reaterro das valas. Não foi

realizada compactação do solo sobre as estruturas a fim de não diminuir a permeabilidade do solo. Na Figura 7 são apresentadas imagens dos Poços 1 e 2 após finalizado o processo de implantação

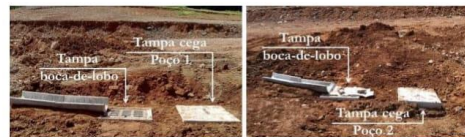


Figura 7 – Visão dos poços após implantação

As estruturas foram posicionadas de tal forma que, quando executada a via e o passeio previstos para o loteamento, suas tampas estarão alinhadas com o meio fio e niveladas com o pavimento. Dessa forma, os sistemas estarão totalmente integrados à paisagem urbana, não interferindo nem no espaço físico das ruas, nem na mobilidade de veículos e pedestres.

Simulações e monitoramento das estruturas

Os testes das estruturas aconteceram em março de 2018, sendo realizada uma repetição 72 h após o primeiro dia, a fim de avaliar se houveram variações significativas em algum dos monitoramentos e garantindo a confiabilidade dos resultados. 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 ao veículo. A vazão foi aplicada diretamente nas bocas-de-lobo por uma mangueira flexível de 3" de diâmetro, fixada ao cano de ferro por onde saía água do caminhão.

As simulações visaram avaliar o tempo de enchimento e esvaziamento das estruturas, com aplicação de uma vazão constante e do monitoramento da variação da lâmina d'água em seus interiores, no intervalo de um em um minuto. As medições foram possíveis pelas chaminés de acesso, de forma visual, com o auxílio de uma trena graduada rígida, cronômetro e formulário para registro do rebaixamento do nível d'água. O Poço 1 foi monitorado pela variação no nível d'água diretamente de seu interior; já no Poço 2 foi monitorada a variação da lâmina d'água no interior do tubo de PVC perfurado, previamente instalado.

Foram realizadas cinco diferentes simulações no Poço 1. Nos primeiros 3 testes o Poço foi cheio e esvaziado a fim de simular a saturação do solo ocorrida por chuvas consecutivas. Esse procedimento é 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 aplicada a vazão sem o esvaziamento total da estrutura, com o objetivo de simular eventos de chuvas consecutivas; e, por fim, uma vazão durante o tempo necessário para o transbordamento do sistema, com o solo em seu cenário mais desfavorável – já tendo recebido 4 outras precipitações.

No primeiro dia, foram simulados os cinco cenários propostos para o Poço 1. Já no segundo dia, quando realizada a repetição dos testes, além dos cenários

propostos, após o Teste 5, foi aplicada mais uma vazão até a identificação do transbordamento da estrutura, a fim de complementar os resultados dos ensaios. Nas imagens apresentadas na Figura 8, pode-se visualizar a vazão sendo aplicada no Poço 1 e o monitoramento do rebaixamento do nível d'água no seu interior sendo realizado com uma trena graduada rígida.



Figura 8 – Fotos da simulação de vazão e monitoramento do Poço 1

Já para o Poço 2 foi possível simular três cenários: o primeiro consistiu na aplicação da vazão com o solo seco, o segundo com o solo parcialmente encharcado e o terceiro com a estrutura parcialmente cheia, simulando chuvas consecutivas. No primeiro dia de teste, foi possível realizar apenas o primeiro teste, pelas condições de esvaziamento apresentadas pela estrutura. O primeiro enchimento ocorreu após o primeiro teste realizado no Poço 1 e o volume contido no caminhão não foi suficiente para o enchimento completo da estrutura, sendo este desconsiderado. Após 3 horas de intervalo, o nível d'água no interior do poço ainda estava aproximadamente 22 centímetros acima do nível mínimo, sendo esta considerada a altura inicial da simulação.

No segundo dia, foi possível realizar os três testes propostos. No primeiro teste verificou-se que a condição inicial do poço ainda apresentava nível d'água 16 cm acima no nível zero, sendo esta a altura inicial considerada na primeira simulação dessa estrutura. Na Figura 9 são apresentadas fotos da simulação da vazão no Poço 2 e a medição do rebaixamento do nível d'água no interior do tubo de PVC.



Figura 9 – Fotos da simulação de vazão e monitoramento do Poço 2

A vazão foi aplicada nas duas estruturas pelo mesmo caminhão pipa, sendo este recarregado sempre após o fim de cada um dos testes, mesmo ainda possuindo água em seu interior, de forma a garantir a vazão necessária para encher os poços, sem interromper o teste. Além disso, a vazão foi medida antes de iniciar cada uma das simulações, através do monitoramento do tempo necessário para o enchimento de um tonel com capacidade de armazenamento de 200 L.

Coleta e caracterização do solo local

Para ser possível a classificação do solo do local, onde as estruturas foram implantadas, realizaram-se coletas de amostras no primeiro dia dos ensaios. Para tanto, escavou-se uma vala entre as duas estruturas e coletaram-se amostras de, aproximadamente, 2 kg cada uma, em camadas de 30 cm, até a profundidade de 360 cm, totalizando 12 camadas. Após as coletas, as amostras foram levadas ao Laboratório de Solos e Pavimentação da Universidade de Caxias do Sul, onde realizaram-se ensaios de umidade e peneiramento.

Primeiramente, foi realizado o ensaio para determinação do teor da umidade com a aplicação do método de secagem em estufa, segundo NBR 6457 (ABNT, 2016a). Foram separadas três amostras de, aproximadamente, 100 g cada uma, para cada camada. Essas parcelas foram dispostas em capsulas de alumínio com tampa, sendo pesadas antes de serem levadas à estufa e após o processo de secagem. O solo permaneceu por 48 h em uma temperatura constante de 105 °C antes de ser pesado novamente.

O restante das amostras foi preparado segundo NBR 6457 (ABNT, 2016a), sendo dispostas ao ar e submetidas à secagem até atingirem, visualmente, suas umidades higroscópicas. Então, foi realizado o ensaio de peneiramento, segundo orientações contidas na NBR 7181 (ABNT, 2016b). Dessa forma, foi possível traçar as curvas granulométricas de cada camada e o perfil total do solo.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir são apresentados os resultados obtidos nos processos de implantação e simulação dos poços de infiltração e na coleta e caracterização do solo local.

Perfil do solo do local de estudo

A caracterização do solo foi realizada com a avaliação do teor de umidade natural e higroscópica e da composição granulométrica das camadas. Dessa forma, é possível validar os resultados obtidos nas simulações das estruturas para estudos e aplicações futuras, em solos com características semelhantes às apresentadas.

Os teores de umidade natural das camadas são referentes ao estado do solo no primeiro dia de simulações, quando não haviam sido identificados eventos de precipitação há, pelo menos, 10 dias. Já a umidade higroscópica foi medida após as amostras secarem ao ar até,

visualmente, atingirem o estado higroscópico. A umidade natural média do perfil do solo foi de 20,41 % e a umidade higroscópica média foi de 7,42 %.

Após o ensaio de granulometria, pôde-se perceber que o perfil, durante toda sua profundidade, apresentou características bastante homogêneas. Dessa forma, segundo classificação da NBR 6502 (ABNT, 1995), assumiu-se que o solo local é composto, em sua maioria, por pedregulhos e areias grossas.

Com os valores de umidade e porcentagem de grãos que passaram em cada peneira foi possível traçar o perfil do solo, com as características de cada uma das camadas, conforme apresentado na Figura 10. O Poço 1 possui área infiltrável entre as camadas C06 (180 cm) e C09 (260 cm) e o Poço 2 entre as camadas C06 (180 cm) e C11 (320 cm).

MEIO FIO	Profundidade (cm)	Fm	AREIAS			PEDREGULHOS	UMID. NAT. (%)	UMID. HIGROSC.
			Média	Grma	Porcentagem			
POÇO 1	C1: 30 cm	9%	8%	11%	68%	5%	19,47%	3,07%
	C2: 60 cm	9%	8%	12%	66%	5%	22,62%	4,99%
	C3: 90 cm	10%	9%	14%	62%	5%	23,23%	5,16%
	C4: 120 cm	12%	10%	16%	56%	6%	23,38%	3,39%
	C5: 150 cm	9%	9%	16%	62%	4%	30,87%	10,18%
	C6: 180 cm	9%	10%	19%	57%	5%	22,44%	10,58%
	C7: 210 cm	9%	8%	16%	62%	4%	18,79%	9,07%
	C8: 240 cm	11%	9%	16%	58%	4%	18,52%	7,46%
	C9: 260 cm	8%	7%	16%	65%	5%	30,89%	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%

Figura 10 – Perfil do solo do local de estudo

Capacidade máxima de retenção dos poços

Para identificar a capacidade máxima de retenção de cada poço foi analisado o tempo de enchimento dos testes realizados. Para o Poço 1, do Teste 1 ao 4 não foram aplicados os volumes máximos até o transbordamento, sendo considerado como nível útil quando a água atingiu o início da tampa da estrutura (profundidade referente ao volume que o poço foi pré-dimensionado para suportar). 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 11 são apresentados os volumes aplicados nos Poços 1 e 2 durante cada um dos testes realizados, em ambos os dias. Percebe-se que a capacidade de retenção foi diminuindo conforme foram sendo aplicadas as vazões. Ainda, identificou-se uma redução da capacidade de armazenamento do primeiro para o segundo dia de ensaios. O Poço 1 demonstrou uma redução de retenção de 13,6 % no Teste 1, 9,0 % no Teste 2 e 5,3 % no Teste 3 e o Poço 2 uma redução de 5,2 % no Teste 1.

No segundo dia, quando realizado pela primeira vez o Teste 5, o volume suportado pelo Poço 1 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. Por essa razão, não foi possível determinar qual era o volume máximo suportado pelo poço no primeiro teste. Todavia, identificou-se que esse valor seria próximo aos 17.000 L, pois quando repetido o ensaio, no Teste 5.1, a estrutura atingiu sua capacidade máxima quando aplicado 16.929 L. Já no Poço 2 foram aplicadas vazões para extravasamento em todos os testes, sendo identificado o volume máximo suportado pela estrutura como 12.508,6 L, valor referente ao Teste 1 do primeiro dia de ensaio.

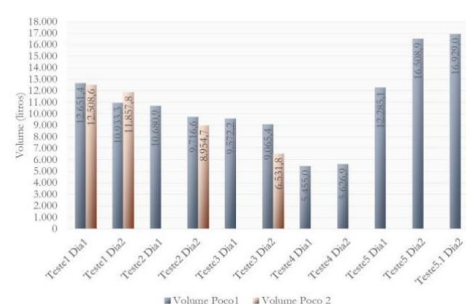


Figura 11 – Capacidade de retenção dos Poços 1 e 2

O Teste 4 realizado no Poço 1, em ambos os dias de ensaios e o Teste 3 realizado no Poço 2 no segundo dia, buscaram simular o comportamento das estruturas quando um possível evento de precipitação intensa acontecer antes de seu esvaziamento completo. Para o Poço 1 adotou-se, tanto no primeiro, 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. Já o Poço 2 apresentou a capacidade de armazenar um volume de 6.531,8 L além do ainda existe em seu interior no início da simulação de, aproximadamente, 2.329,60 L.

Tempo de esvaziamento das estruturas

Os tempos de esvaziamento das estruturas foram avaliados através dos dados coletados do rebaixamento do nível d'água no interior dos poços, no intervalo de tempo de um em um minuto. O Poço 1 apresentou perfis de esvaziamento muito semelhantes em ambos os dias de testes, conforme apresentado na Figura 12 para o primeiro dia e na Figura 13 para o segundo dia.

No primeiro dia, quando realizado o Teste 5, pior cenário para o solo, o Poço 1 mostrou-se capaz de esvaziar completamente no intervalo de 50 min, após ser aplicado um volume de 12,29 m³ em seu interior. No segundo dia de ensaios, quando realizado o mesmo teste e aplicado um volume de 16,93 m³, a estrutura eliminou toda água de seu interior no intervalo de 51 min. 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 $1,70 \text{ m}^3$ sendo infiltrados por sua estrutura de teste, no intervalo de tempo de 50 min. Considerando que o sistema avaliado pelo presente estudo possuiu volume interno de $5,78 \text{ m}^3$, pode-se de dizer que apresentou eficiência de esvaziamento 3,5 vezes superior ao estudo supracitado.

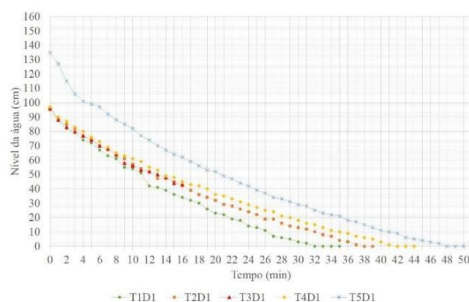


Figura 12 – Perfil de esvaziamento do Poço 1 no Dia 1

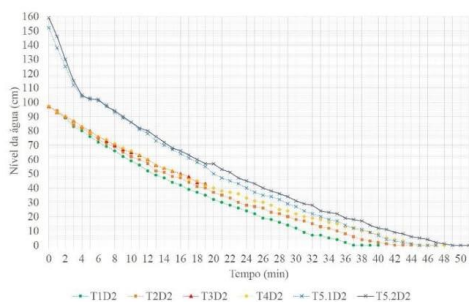


Figura 13 – Perfil de esvaziamento do Poço 1 no Dia 2

Mesmo a altura da água do poço avaliado por Reis; Oliveira; Sales (2008), no valor de 1,30 m, ser maior que a do poço avaliado por esse estudo, de 1,09 m, a velocidade de infiltração identificada foi menor. Por isso, pode-se supor que, para estruturas com características semelhantes às do Poço 1, a área de infiltração ou área molhada pode ser diretamente relacionada com a velocidade na qual o volume será capaz de infiltrar no solo.

O Poço 2, por sua vez, apresentou um comportamento de esvaziamento significativamente mais lento que o do Poço 1. Na Figura 14 são apresentadas as curvas de esvaziamento do Poço 2 para os dois dias de simulação e o tempo necessário para o esvaziamento do primeiro teste realizado no Dia 1, até o nível de 22 cm, o qual foi desconsiderado.

No segundo dia de testes, quando aplicado o volume de $12,51 \text{ m}^3$, no Teste 1, a estrutura levou 3 h 48 min para que o nível d'água ficasse 32 cm acima do esvaziamento total. Quando realizado o Teste 3, ou seja, quando já havia recebido outras duas simulações de eventos de precipitação, a estrutura precisou de 2 h 55 min para chegar no nível de 41 cm, demonstrando uma redução na eficiência de

esvaziamento de, aproximadamente, 17,1 %. A estrutura apresentou o mesmo comportamento de esvaziamento em todas as simulações, infiltrando mais rapidamente na primeira 1 h 30 min, aproximadamente, e depois mantendo um padrão cada vez mais lento.

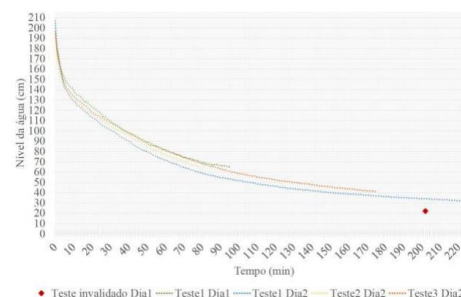


Figura 14 – Perfil de esvaziamento do Poço 2 nos Dias 1 e 2

De acordo com estudos realizados por Lucas et al. (2015), para avaliar as condições de operação de um poço de infiltração, assim como, o comportamento da manta geotêxtil, o transporte de finos para dentro da estrutura interfere diretamente na permeabilidade tanto do solo, quanto da manta geotêxtil. Como a brita utilizada para o preenchimento do Poço 2 não passou por processo de lavagem antes de sua utilização, pode-se atribuir a perda de eficiência da infiltração a não remoção dos finos desse material, que acabaram por acumular no sistema.

Os tempos de esvaziamento de poços de infiltração é um parâmetro de grande importância a ser avaliado, quando dimensionada a estrutura e definido qual o seu objetivo principal. Durante sua vida útil, a capacidade de infiltração dos sistemas pode variar pela colmatagem de materiais finos em seu interior ou, ainda, apresentar tempos de esvaziamento muito menores aos estipulados em projetos, passando a funcionar como estruturas de detenção, diminuindo sua eficiência no controle de cheias (BARBASSA; ANGELINI SOBRINHA; MORUZZI, 2014). Por isso, é extremamente importante que sejam feitas manutenções frequentes dos sistemas e avaliações da capacidade de infiltração do solo e da manta geotêxtil, a fim de garantir sua funcionalidade.

Conforme apresentado na Figura 15, pelas curvas de esvaziamento plotadas para ambas as estruturas, nos dois dias de ensaios, o Poço 2 apresentou uma eficiência de infiltração muito menor que a do Poço 1, levando um tempo até 4,5 vezes maior para esvaziar quando aplicado um volume semelhante. No primeiro teste realizado, por exemplo, quando ambos dispositivos receberam um volume aproximado de $12,6 \text{ m}^3$, enquanto o poço sem preenchimento esvaziou completamente em 35 min, a estrutura preenchida com material drenante, após 1 h 36 min de monitoramento, ainda estava 65 cm acima do nível mínimo de água em seu interior. Esse comportamento se repetiu em todas as simulações realizadas nas estruturas, como demonstrado no gráfico.

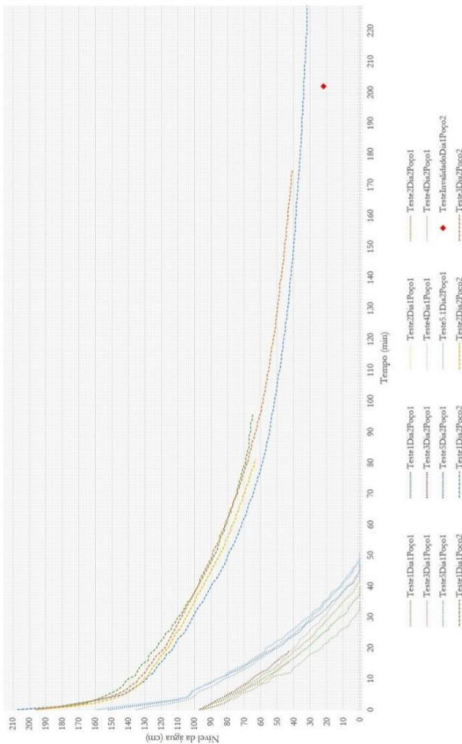


Figura 15 – Perfil de esvaziamento do Poço 2 nos Dias 1 e 2

Viabilidade técnica da implantação dos poços

Na fase de simulação das estruturas não foi possível atingir a vazão de 19 L.s⁻¹, determinada em projeto, pois as bombas acopladas ao caminhão pipa utilizado no teste não possuíam 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, foi definido um cenário que garantiu as dimensões das estruturas implantadas, alterando o tempo de retorno da chuva e a área de contribuição do sistema. Na Tabela 1 são apresentados os valores que sofreram alteração e, também, os valores utilizados no projeto de dimensionamento das estruturas, chamado na tabela de Cenário Base.

Tabela 1 – Ajuste dos parâmetros adotados no dimensionamento

Cenários	Tr (anos)	Área de Contribuição (m²)	Intensidade (m³.s ⁻¹ .ha ⁻¹)	Tempo de Detenção (min)	Vazão (L.s ⁻¹)	Volume (m³)
Base	10	1.451,65	158,99	5	19,2	5,78
Ajuste	2	1.295,00	111,32	8	12,0	5,78

Entende-se que o tempo de retorno proposto pelo cenário ajustado, de 2 anos, é aceitável para as estruturas, uma vez que, o PDDU do município indica esse valor, para obras de microdrenagem (SAMAE/IPH, 2001). Ainda, como os poços de infiltração foram dimensionados para áreas menores que 2 km², como indicado por Tucci (2008), podem ser consideradas obras desse porte.

De acordo com o cenário ajustado, os poços foram dimensionados para deter 5,78 m³ em 8 min de precipitação, com intensidade de 111,32 m³.s⁻¹.ha⁻¹, equivalente a uma vazão média de 12 L.s⁻¹. Quando simulada a chuva de projeto, identificou-se que o Poço 1 era capaz de suportar um volume superior ao dimensionado, consequentemente, um tempo de chuva maior. 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.

Quando realizado o terceiro enchimento, momento no qual a estrutura já havia recebido dois eventos de precipitação, o Poço 1 demonstrou uma capacidade de armazenamento 65,57% superior à de projeto no primeiro dia e 56,92% superior no segundo dia de ensaios. Pode-se perceber que, mesmo com a simulação de chuvas consecutivas de projeto realizadas no Teste 4, o Poço 1 apresentou um comportamento positivo quanto ao armazenamento e infiltração, sendo capaz de deter, além do volume de 2,27 m³ ainda presente em seu interior, um volume de 5,45 m³ no primeiro dia e 5,63 m³ 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 chegado em estado de transbordamento, como nos testes 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 1 mostrou-se bastante eficaz quanto ao tempo necessário para esvaziamento completo, demorando, em média, 40 min para esvaziar completamente. Segundo Reis; Ilha; Teixeira (2013), estruturas de drenagem na fonte baseadas na infiltração das águas pluviais, devem garantir sua descarga total entre 6 h a 12 h, garantindo sua efetividade em períodos de chuvas consecutivas e evitando a proliferação de insetos em seu interior.

O Poço 2, por sua vez, também apresentou uma capacidade de detenção superior à prevista em projeto. No Teste 2 do segundo dia, a estrutura suportou um volume 54,84 % maior que o projetado. Todavia, o poço indicou uma eficiência de esvaziamento muito mais baixa que a da estrutura sem preenchimento. Quando aplicado um volume de 11,86 m³, por exemplo, o sistema precisou de 3 h 48 min para atingir o nível d'água de 32 cm, ou seja, ainda não esvaziando completamente. Acredita-se que, em eventos de chuvas consecutivas, esse dispositivo venha a funcionar com menor capacidade de detenção que o Poço 1, por possuir um tempo de esvaziamento expressivamente maior. Por outro lado, a estrutura apresenta tempos de esvaziamento dentro do limite estipulado pela literatura. Dessa forma, pode-se supor que suas características construtivas apresentam viabilidade na utilização para

controle de cheias urbanas, mesmo sendo menos eficiente que o sistema sem preenchimento.

Avaliando a efetividade do funcionamento das estruturas como técnica de controle de cheias urbanas, pode-se supor que a associação de poços de infiltração com as características construtivas semelhantes ao do Poço 1, para um solo com taxa de infiltração próxima aos do local de estudo, seria satisfatória. Como apontado por Reis; Oliveira; Sales (2008), a verificação da viabilidade técnica da implantação de poço de infiltração deve avaliar a capacidade de esvaziamento da estrutura mesmo após um elevado índice de saturação do solo, garantindo a eficiência do sistema durante chuvas consecutivas, como realizado nos Testes 5 e 5.1, nos quais o rendimento de esvaziamento da estrutura não diminuiu.

Além disso, constatou-se que a implantação de poços de infiltração é facilmente integrável ao cenário urbano, uma vez que, após o reaterro das valas, as estruturas puderam ser identificadas apenas pela tampa cega da chaminé de acesso. Sendo assim, garantindo que estejam afastadas suficientemente para não interferirem em fundações de edifícios próximos e estejam niveladas com o pavimento, acredita-se que essas estruturas não causam nenhum prejuízo à paisagem urbana ou à circulação e utilização das vias públicas por veículos e pedestres.

Custo de implantação dos sistemas

Além da capacidade de funcionamento dos poços de infiltração, também foram avaliados os custos para sua implantação. Não foram encontradas composições de custos referentes à implantação dessa estrutura 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.

O custo total para implantação do Poço 1, composto por paredes de concreto armado perfuradas, foi contabilizado em R\$ 3.284,88 e para o Poço 2, preenchido com brita graduada, em R\$ 1.944,40. Esses valores correspondem a estruturas dimensionadas para armazenar um volume útil de 5,78 m³. Sendo assim, pode-se estimar que os custos para implantação de uma estrutura com as características do Poço 1 seriam de R\$ 568,32 por m³ de volume útil armazenado e para uma estrutura com as características do Poço 2 de R\$ 336,40 por m³ de volume útil armazenado.

Na Tabela 2 são apresentados os quantitativos e custos de materiais e serviços para cada uma das estruturas implantadas, com os valores unitários e totais de cada item. A composição dos custos de mão de obra e maquinário foi realizada de acordo com a tabela SINAPI (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2018) com os valores base para o mês de abril de 2018, considerando os valores dos seguintes serviços:

- a) servente: R\$ 13,74 por hora trabalhada;
- b) pedreiro: R\$ 16,56 por hora trabalhada;
- c) abertura de vala com escavadeira hidráulica: R\$ 11,22 por m³ escavado;
- d) reaterro de vala com escavadeira hidráulica: R\$ 6,29 por m³ de reaterro.

Apesar do custo do Poço 2 ser 40,8% mais baixo do que o custo do Poço 1, deve-se avaliar suas capacidades de armazenamento e esvaziamento, facilidade de instalação e espaço físico disponível, já que o poço preenchido possui dimensões maiores para garantir o mesmo volume de armazenamento. Ainda, não foi contabilizado custos com fôrmas para estabilização do Poço 2 durante escavação e preenchimento da vala, a qual julgou-se necessárias durante o processo de instalação da estrutura, devendo este ser avaliado.

Tabela 2 – Quantitativo e custos de materiais e serviços para cada estrutura

Descrição	Quantidade		Un.	Custo Unitário R\$	Custo Total R\$	
	Poço1	Poço2			Poço1	Poço2
Paredes e tampa de concreto	1	0	pç	2.100,00	2.100,00	-
Chaminé de acesso	1	1	pç	450,00	450,00	450,00
Tubulação de ligação	0,60	1,00	m	58,50	35,10	58,50
Brita nº3	1,86	11,65	m ³	38,70	72,08	450,78
Manta Geotêxtil	26,94	30,14	m ²	4,58	123,39	138,04
Mão de obra e maquinário	-	-	-	-	504,31	847,08
Custo total para implantação de 1 unidade:					3.284,88	1.944,40

Ainda, é importante ressaltar, 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. Acredita-se que esse seria o maior ganho em questão de custos da utilização dessa técnica.

Além disso, segundo Moura (2004), um dos custos mais significativos na utilização de poços de infiltração em sistemas de drenagem urbana são os referentes à manutenção dos dispositivos. Esses equipamentos precisam de limpezas frequentes, a fim de evitar processos de colmatção de finos e poluição do lençol freático; e possuem uma vida útil de funcionamento, definida pela autora, como 15 anos para uma estrutura do tipo preenchida com brita. O presente trabalho não teve o objetivo de avaliar os custos com a manutenção dos sistemas, podendo esse ser objeto de estudo para trabalhos futuros.

CONCLUSÕES

Neste trabalho foram implantados dois poços de infiltração, avaliando suas condições de funcionamento, por simulações de eventos de chuva pré-definidos, para utilização dessas estruturas como técnica de contenção de cheias urbanas por infiltração na fonte. As dimensões e características definidas em projeto foram respeitadas, todavia, foram identificadas algumas dificuldades durante o processo. Julgou-se necessária a previsão de fôrmas para contenção das paredes do Poço 2 e também foi observado que o espaçamento previsto no fundo das bocas-de-lobo para a colmatção de material acabou criando acúmulo de água, sendo sugerido a avaliação da implantação da boca-de-

lobo com fundo composto apenas por camada de brita graduada ou a previsão de furos para possibilitar a infiltração da água que ficaria acumulada. Ainda, durante as simulações foi identificada a necessidade de prever uma distância maior entre a tubulação de entrada do Poço 2 e a camada superior de brita no interior da estrutura, devendo esta ser redimensionada, para que a vazão tenha um volume útil disponível maior do que o previsto antes da infiltração propriamente dita.

A caracterização do solo local foi possível pela análise das amostras coletadas no primeiro dia de ensaios, em camadas de 30 cm, até uma profundidade de 3,60 m. Após serem submetidas a ensaios de laboratório, pode-se concluir que o perfil do solo do local de estudo possuía características bastante homogêneas por toda sua profundidade, com umidade natural média de 20,41 % e higroscópica de 7,42 %, sendo composto, em sua maioria, por pedregulho e areais grossas.

Durante os enchementos das estruturas percebeu-se que elas seriam capazes de armazenar um volume superior ao dimensionado, pois enquanto a vazão ia sendo aplicada, uma parte ia sendo infiltrada. O Poço 1 apresentou comportamento de enchimento e esvaziamento bastante semelhantes nos dois dias de testes. Na terceira chuva aplicada, com o solo já encharcado por outras duas chuvas, a estrutura foi capaz de receber um volume, até sua altura útil, 65,6 % superior ao de projeto, no primeiro dia e, 56,8 % superior no segundo dia de simulações. Quando testada a capacidade até o transbordamento do sistema, com o solo já saturado, após terem sido feitos quatro outros testes anteriores, observou-se que a estrutura foi capaz de receber um volume 2,9 vezes superior ao projetado. Ainda, quando submetida à simulação de eventos de chuvas consecutivas, sendo aplicada uma nova vazão quando ainda armazenava um volume de 2.274,7 L, o Poço 1 mostrou-se capaz de receber um volume adicional de 5.455,0 L, no primeiro dia e 5.626,9 L no segundo dia.

Já o Poço 2 recebeu vazão até seu estado de transbordamento em todos os testes realizados. No primeiro dia, quando foi possível realizar apenas uma simulação, a estrutura foi capaz de conter um volume 2,2 vezes superior ao dimensionado. No segundo dia, o segundo enchimento da estrutura demonstrou que ela seria capaz de conter um volume 54,8 % superior ao de projeto. Quando simulada uma chuva sem o esvaziamento completo do sistema, observou-se uma capacidade de receber um volume adicional de 6,5 m³.

Durante o monitoramento do esvaziamento das estruturas, o Poço 1 mostrou-se capaz de infiltrar o volume de 12,29 m³ no intervalo de 50 min, no primeiro dia de testes; e de 16,93 m³ no intervalo de 51 min, no segundo dia, ambos considerando o cenário de solo encharcado, já tendo recebido cinco chuvas. O Poço 2, por sua vez, apresentou um comportamento menos eficaz durante os ensaios. No primeiro dia, quando aplicado o volume de 12,51 m³, a estrutura levou 3 h 48 min para que o nível d'água ficasse 32 cm acima do esvaziamento total. Nas demais simulações, a estrutura apresentou o mesmo comportamento, infiltrando mais rapidamente por 1 h 30 min, aproximadamente, e depois mantendo um padrão cada vez mais lento.

Além da viabilidade técnica de implantação e funcionamento das estruturas, foram avaliados seus custos

construtivos para um volume útil de armazenamento de 5,78 m³. O valor total do Poço 1 foi contabilizado em R\$ 3.284,88, ou ainda, R\$ 568,32 por m³ de volume útil armazenado. O Poço 2 foi estimado em um total de R\$ 1.944,40 ou, ainda, R\$ 336,40 por m³ de volume útil armazenado. Apesar de concluir-se que o Poço 2 possui valor construtivo, em média, 40,8 % inferior ao do Poço 1, para estudos futuros dessa técnica deverão ser previstas formas para a estruturação do poço durante a execução, o que irá agregar custo ao sistema.

Avaliando o comportamento apresentado pelo Poço 1 durante os ensaios de capacidade de armazenamento e de tempo de esvaziamento completo, pode-se supor que a técnica de poço de infiltração, quando implantada com as mesmas características construtivas das do sistema avaliado, em solo e condições climáticas iguais ou semelhantes aos do local de estudo, se mostrou viável para o controle e prevenção de cheias urbanas. O mesmo pode-se concluir do Poço 2 que, apesar de se mostrar menos eficiente do que o Poço 1 quanto ao tempo de esvaziamento total, demonstrou capacidade de armazenamento acima da estipulada em projeto e de esvaziamento mais rápido que o recomendado por outros autores, de 6h a 12h.

Assim, como exposto por Reis; Ilha; Teixeira (2013) a técnica de poço de infiltração demonstrou-se bastante eficaz na redução da vazão de descarga em redes de drenagem convencionais. A associação dessa técnica aos sistemas clássicos pode ser uma boa alternativa para novos cenários urbanos. Acredita-se que o grande ganho econômico se dará com o redimensionamento das redes, reduzindo tanto diâmetros de tubulações principais, quanto dimensões de poços de visitas. Ainda, em áreas que necessitam de soluções de problemas pontuais quanto a picos de vazões e possíveis eventos de cheias, podem ser implantadas individualmente, garantindo a coleta, retenção e infiltração do deflúvio superficial excedente, sendo facilmente integrada à paisagem urbana.

É importante ressaltar que, para ser implantado em locais com solo e condições climáticas diferentes às do local desse estudo, os parâmetros específicos da região devem ser avaliados. Além disso, é possível que o sistema possa apresentar uma diminuição das dimensões e dos custos de implantação, considerando as necessidades de cada local.

Por fim, a implantação dos sistemas realizada por esse estudo e as dificuldades e limitações encontradas, abrem possibilidades de outras avaliações quanto às características construtivas, funcionalidade e custos com manutenção de poços de infiltração. Com esse intuito, recomenda-se para pesquisadores com interesse na análise e desenvolvimento de técnicas de controle e prevenção de cheias urbanas, os seguintes temas:

- a) análise do comportamento da estrutura depois de um determinado período de funcionamento, quando já conectada à rede principal de drenagem quanto à capacidade de armazenamento em períodos de chuvas intensas, eficiência de esvaziamento ao longo do tempo e vida útil de seus componentes;
- b) retirada do fundo da boca-de-lobo e preenchimento do local reservado para decantação com uma camada de brita graduada;

- c) redimensionamento de uma rede de drenagem com a previsão de implantação de poços de infiltração ao longo do sistema, avaliando a viabilidade financeira da técnica;
- d) análise da frequência e custos de manutenções;
- e) avaliação da vida útil das estruturas já implantadas.
- f) utilização de fôrmas para implantação de poços que não possuam paredes laterais;
- g) implantação de sistemas em regiões com características climáticas e de solo distintas das avaliadas por esse trabalho.

REFERÊNCIAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7229**: projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro, 1993.
- _____. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6502**: rochas e solos. Rio de Janeiro, 1995.
- _____. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6457**: amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 2016a.
- _____. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7181**: solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2016b.
- 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.
- AGOSTINHO, M. de S. P.; POLETO, C. *Sistemas sustentáveis de drenagem urbana: dispositivos*. HOLOS Environment, v. 12, n. 2, p. 121-131, 2012.
- ARAÚJO, P. R. de; TUCCI, C. E. M.; GOLDENFUM, J. A. Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução de escoamento superficial. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 5, n. 3, p. 21-29, jul./set. 2000.
- BARBASSA, A. P.; ANGELINI SOBRINHA, L.; MORUZZI, R. B. Poço de infiltração para controle de enchentes na fonte: avaliação das condições de operação e manutenção. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 14, n. 2, p. 91-107, abr./jun. 2014.
- CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI). Disponível em: <http://www.caixa.gov.br/poder-publico/apoio-poder-publico/sinapi/Paginas/default.aspx>. Acesso em: 22 de abr. 2018.
- 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 Geotecnica e Construção Civil). Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2008.
- EDWARDS, E. C.; HARTE, 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.
- ELLIS, J. B.; LUNDY, L. Implementing sustainable drainage systems for urban surface water management within the regulatory frame work in England and Wales. *Journal of Environmental Management*, v. 183, p. 630-636, set. 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.
- 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.
- MOURA, P. M. *Contribuição para a avaliação global de sistemas de drenagem urbana*. 2004. 164 p. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos)-Programa de Pós Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2004.
- OLIVEIRA, A. K. B. de; REZENDE, O. M.; MIGUEZ, M. G.; ARRAIS, C. M.; VERÓL, A. P. Avaliação do uso de reservatórios individuais de retenção de águas pluviais para controle de inundações urbanas, com auxílio do modelo de células de escoamento – MODCEL. In: CONGRESSO ABES/FENASAN, 2017, São Paulo. Anais... São Paulo: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2017. p. 1-20.
- 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.
- REIS, R. P. A.; ILHA, M. S. de O.; TEIXEIRA, P. de C. Sistemas prediais de infiltração de águas de chuva: aplicações, limitações e perspectivas. *Revista Eletrônica de Engenharia Civil*, v. 7, n. 3, p. 55-57, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.5216/rcecc.v7i3.27672>. Acesso em: 04 jun. 2017.

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.

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. *RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 18, n. 2, p. 149-163, abr./jun. 2013.

ROLDIN, M.; FRYD, O.; JEPPESEN, J.; MARK, O.; BINNING, P. J.; MIKKELSEN, P. S.; JENSEN, M. B. Modelling the impact of soakaway retrofits on combined sewage overflows in a 3 km² urban catchment in Copenhagen, Denmark. *Journal of Hydrology*, v. 452-453, p. 64-75, maio 2012.

ROLDIN, M.; LOCATELLI, L.; MARK, O.; MIKKELSEN, P. S.; BINNING, P. J. A simplified model of soakaway infiltration interaction with a shallow groundwater table. *Journal of Hydrology*, v. 497, p. 165-175, jun. 2013.

ROLDIN, M.; MARK, O.; KUCZERA, G.; MIKKELSEN, P. S.; BINNING, P. J. Representing soakaways in a physically distributed urban drainage model – upscaling individual allotments to an aggregated scale. *Journal of Hydrology*, v. 414-415, p. 530-538, nov. 2011.

SAMAE/IPH. Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto/Instituto de Pesquisas Hidráulicas. *Plano Diretor de Drenagem Urbana*. Caxias do Sul, 2001.

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.

VASCONCELOS, A. F.; MIGUEZ, M. G.; VAZQUEZ, E. G. Critérios de projeto e benefícios esperados da implantação de técnicas compensatórias em drenagem urbana para controle de escoamentos na fonte, com base em modelagem computacional aplicada a um estudo de caso na zona oeste do Rio de Janeiro. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 21, n. 4, p. 655-662, out./dez. 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.

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste trabalho foram implantados dois poços de infiltração, avaliando suas condições de funcionamento, por simulações de eventos de chuva pré-definidos, para utilização dessas estruturas como técnica de contenção de cheias urbanas por infiltração na fonte. As dimensões e características definidas em projeto foram respeitadas, todavia, foram identificadas algumas dificuldades durante o processo. Julgou-se necessária a previsão de fôrmas para contenção das paredes do Poço 2 e também foi observado que o espaçamento previsto no fundo das bocas-de-lobo para a colmatação de material acabou criando acúmulo de água, sendo sugerido a avaliação da implantação da boca-de-lobo com fundo composto apenas por camada de brita graduada ou a previsão de furos para possibilitar a infiltração da água que ficaria acumulada. Ainda, durante os testes dos sistemas, foi identificada a necessidade de prever uma distância maior entre a tubulação de entrada do Poço 2 e a camada superior de brita no interior da estrutura, devendo esta ser redimensionada, para que a vazão tenha um volume útil disponível maior do que o previsto antes da infiltração propriamente dita.

A caracterização do solo local foi possível pela análise das amostras coletadas no primeiro dia de ensaios, em camadas de 30 cm, até uma profundidade de 3,60 m. Após serem submetidas a ensaios de laboratório, pode-se concluir que o perfil do solo do local de estudo possuía características bastante homogêneas por toda sua profundidade, com umidade natural média de 20,41 % e higroscópica de 7,42 %, sendo composto, em sua maioria, por pedregulho e areais grossas.

Durante os enchimentos das estruturas percebeu-se que elas seriam capazes de armazenar um volume superior ao dimensionado, pois enquanto a vazão ia sendo aplicada, uma parte ia sendo infiltrada. O Poço 1 apresentou comportamento de enchimento e esvaziamento bastante semelhantes nos dois dias de testes. Na terceira chuva aplicada, com o solo já encharcado por outras duas chuvas, a estrutura foi capaz de receber um volume, até sua altura útil, 65,6 % superior ao de projeto, no primeiro dia e, 56,8 % superior no segundo dia de testes. Quando testada a capacidade até o transbordamento do sistema, com o solo já saturado, após terem sido feitos quatro outros testes anteriores, observou-se que a estrutura foi capaz de receber um volume 2,9 vezes superior ao projetado. Ainda, quando submetida à simulação de eventos de chuvas consecutivas, sendo aplicada uma nova vazão quando ainda armazenava um volume de 2.274,7 L, o Poço 1 mostrou-se capaz de receber um volume adicional de 5.455,0 L, no primeiro dia e 5.626,9 L no segundo dia.

Já o Poço 2 recebeu vazão até seu estado de transbordamento em todos os testes realizados. No primeiro dia, quando foi possível realizar apenas uma simulação, a estrutura foi capaz de conter um volume 2,2 vezes superior ao dimensionado. No segundo dia, o segundo enchimento da estrutura demonstrou que ela seria capaz de conter um volume 54,8 % superior ao de projeto. Quando simulada uma chuva sem o esvaziamento completo do sistema, observou-se uma capacidade de receber um volume adicional de 6,5 m³.

Durante o monitoramento do esvaziamento das estruturas, o Poço 1 mostrou-se capaz de infiltrar o volume de 12,29 m³ no intervalo de 50 min, no primeiro dia de testes; e de 16,93 m³ no intervalo de 51 min, no segundo dia, ambos considerando o cenário de solo encharcado, já tendo recebido cinco chuvas. O Poço 2, por sua vez, apresentou um comportamento menos eficaz durante os ensaios. No primeiro dia, quando aplicado o volume de 12,51 m³, a estrutura levou 3 h 48 min para que o nível d'água ficasse 32 cm acima do esvaziamento total. Nos demais testes, a estrutura apresentou o mesmo comportamento, infiltrando mais rapidamente por 1 h 30 min, aproximadamente, e depois mantendo um padrão cada vez mais lento.

Além da viabilidade técnica de implantação e funcionamento das estruturas, foram avaliados seus custos construtivos para um volume útil de armazenamento de 5,78 m³. O valor total do Poço 1 foi contabilizado em R\$ 3.284,88, ou ainda, R\$ 568,32 por m³ de volume útil armazenado. O Poço 2 foi estimado em um total de R\$ 1.944,40 ou, ainda, R\$ 336,40 por m³ de volume útil armazenado. Apesar de concluir-se que o Poço 2 possui valor construtivo, em média, 40,8 % inferior ao do Poço 1, para estudos futuros dessa técnica deverão ser previstas fôrmas para a estruturação do poço durante a execução, o que irá agregar custo ao sistema.

Avaliando o comportamento apresentado pelo Poço 1 durante os ensaios de capacidade de armazenamento e de tempo de esvaziamento completo, pode-se supor que a técnica de poço de infiltração, quando implantada com as mesmas características construtivas das do sistema avaliado, em solo e condições climáticas iguais ou semelhantes aos do local de estudo, se mostrou viável para o controle e prevenção de cheias urbanas. O mesmo pode-se concluir do Poço 2 que, apesar de se mostrar menos eficiente do que o Poço 1 quanto ao tempo de esvaziamento total, demonstrou capacidade de armazenamento acima da estipulada em projeto e de esvaziamento mais rápido que o recomendado por outros autores, de 6h a 12h.

Assim, como exposto por Reis; Ilha; Teixeira (2013) a técnica de poço de infiltração demonstrou-se bastante eficaz na redução da vazão de descarga em redes de drenagem convencionais. A associação dessa técnica aos sistemas clássicos pode ser uma boa alternativa para novos cenários urbanos. Acredita-se que o grande ganho econômico se dará

com o redimensionamento das redes, reduzindo tanto diâmetros de tubulações principais, quanto dimensões de poços de visitas. Ainda, em áreas que necessitam de soluções de problemas pontuais quanto a picos de vazões e possíveis eventos de cheias, podem ser implantadas individualmente, garantindo a coleta, retenção e infiltração do deflúvio superficial excedente, sendo facilmente integrada à paisagem urbana.

É importante ressaltar que, para ser implantado em locais com solo e condições climáticas diferentes às do local desse estudo, os parâmetros específicos da região devem ser avaliados. Além disso, é possível que o sistema possa apresentar uma diminuição das dimensões e dos custos de implantação, considerando as necessidades de cada local.

Por fim, a implantação dos sistemas realizada por esse estudo e as dificuldades e limitações encontradas, abrem possibilidades de outras avaliações quanto às características construtivas, funcionalidade e custos com manutenção de poços de infiltração. Com esse intuito, recomenda-se para pesquisadores com interesse na análise e desenvolvimento de técnicas de controle e prevenção de cheias urbanas, os seguintes temas:

- a) análise do comportamento da estrutura depois de um determinado período de funcionamento, quando já conectada à rede principal de drenagem quanto à capacidade de armazenamento em períodos de chuvas intensas, eficiência de esvaziamento ao longo do tempo e vida útil de seus componentes, em especial, da manta geotêxtil;
- b) retirada do fundo da boca-de-lobo e preenchimento do local reservado para sedimentação com uma camada de brita graduada;
- c) redimensionamento de uma rede de drenagem com a previsão de implantação de poços de infiltração ao longo do sistema, avaliando a viabilidade financeira da técnica;
- d) análise da frequência e custos de manutenções;
- e) avaliação da vida útil das estruturas já implantadas.
- f) utilização de fôrmas para implantação de poços que não possuam paredes laterais;
- g) implantação de sistemas em regiões com características climáticas e de solo distintas das avaliadas por esse trabalho.

REFERÊNCIAS

ABGE. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. **Ensaio de permeabilidade em solos: orientações para sua execução no campo**. São Paulo: ABGE, 2013.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7229**: projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro, 1993.

_____. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6502**: rochas e solos. Rio de Janeiro, 1995.

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

_____. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7181**: solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2016b.

ADOPTA. Association pour le Développement Opérationnel et la Promotion des Techniques Alternatives. Les fiches techniques. **Fiche technique n° 1: le puits d'infiltration**. Douai, França, 2006. Disponível em: <http://adopta.fr/wp-content/uploads/2016/07/FicheTechnique-1_ADOPTA.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2017.

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.

AGOSTINHO, M. de S. P.; POLETO, C. Sistemas sustentáveis de drenagem urbana: dispositivos. **HOLOS Environment**, v. 12, n. 2, p. 121-131, 2012.

ARAUJO, A. G. de. **Análise do desempenho de poços de infiltração na cidade de Goiânia-GO**. 2010. 159 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Mecânica das Estruturas e Construção Civil. Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2010.

ARAÚJO, P. R. de; TUCCI, C. E. M.; GOLDENFUM, J. A. Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução de escoamento superficial. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 5, n. 3, p. 21-29, jul./set. 2000.

AZEVEDO NETTO, J. M. de; FERNANDEZ, M. F.; ARAUJO, R. de; ITO, A. E. **Manual de Hidráulica**. 8. ed. São Paulo: Bluncher, 1998. 669 p.

BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana**. 1. ed. Porto Alegre: ABRH, 2005. 266 p.

BARBASSA, A. P.; ANGELINI SOBRINHA, L.; MORUZZI, R. B. Poço de infiltração para controle de enchentes na fonte: avaliação das condições de operação e manutenção. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 2, p. 91-107, abr./jun. 2014.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. In: SENADO FEDERAL. **Legislação Republicana Brasileira**. Brasília, 1981. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=313>>. Acesso em: 03 jul. 2017.

_____. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. In: SENADO FEDERAL. **Legislação Republicana Brasileira**. Brasília, 1988. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm>. Acesso em: 03 jul. 2017.

_____. Estatuto da Cidade. In: SENADO FEDERAL. **Legislação Republicana Brasileira**. Brasília, 2001.

_____. Lei nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. In: SENADO FEDERAL. **Legislação Republicana Brasileira**. Brasília, 2007. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm>. Acesso em: 16 abr. 2017.

_____. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional do Saneamento Ambiental. **Plano Nacional de Saneamento Básico – Plansab**. Brasília, 2014.

_____. Lei nº 13.308, de 06 de julho de 2016. Altera a Lei no 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, determinando a manutenção preventiva das redes de drenagem pluvial. In: SENADO FEDERAL. **Legislação Republicana Brasileira**. Brasília, 2016. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2016/lei/l13308.htm>. Acesso em: 21 jun. 2017.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI)**. Disponível em: <<http://www.caixa.gov.br/poder-publico/apoio-poder-publico/sinapi/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 22 de abr. 2018.

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

CANHOLI, J. F. **Medidas de controle “in situ” do escoamento superficial em áreas urbanas: análise de aspectos técnicos e legais**. 2013. 167 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Sanitária). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2013.

CARMO, W. J. E.; MARCHI, L. F. de. Plano diretor de drenagem urbana: visão holística. **Revista Jus Navigandi**. Teresina, ano 18, n. 3796, nov. 2013. Disponível em: <<https://jus.com.br/artigos/25944>>. Acesso em: 23 maio 2017.

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.

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.

CAXIAS 2014. Conheça Caxias do Sul. Disponível em: <<https://caxias2014.wordpress.com/about/conheca-caxias-do-sul/>>. Acesso em: 10 jun. 2017.

CAXIAS DO SUL. Lei complementar nº 189, de 02 de dezembro de 2002. Aprova o Plano Diretor de Esgotamento Sanitário da cidade de Caxias do Sul e dá outras providências. In: Câmara Municipal de Caxias do Sul. Disponível em: <<http://www.camaracaxias.rs.gov.br/Leis/LC/LC-00189.pdf>>. Acesso em: 04 jun. de 2017.

_____. Lei complementar nº 246, de 06 de dezembro de 2005. Estabelece conceitos e funções da Zona das Águas (ZA) – bacias de captação e acumulação de águas para o abastecimento do município de Caxias do Sul, disciplina o uso e parcelamento do solo para estes espaços e dá outras providências. In: Câmara Municipal de Caxias do Sul. Disponível em: <https://www.caxias.rs.gov.br/_uploads/legislacao/lei_33.pdf>. Acesso em: 03 jul. 2017.

_____. Lei complementar nº 290, de 24 de setembro de 2007. Institui o Plano Diretor do Município de Caxias do Sul, e dá outras providências. In: Câmara Municipal de Caxias do Sul. Disponível em: <https://www.caxias.rs.gov.br/_uploads/planejamento/plano_diretor_lei.pdf>. Acesso em: 03 jul. 2017.

_____. Lei complementar nº 6810, de 20 de dezembro de 2007. Disciplina o parcelamento de solo para fins urbanos, a regularização fundiária sustentável e dá outras providências. In: Câmara Municipal de Caxias do Sul. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a/rs/c/caxias-do-sul/lei-ordinaria/2007/681/6810/lei-ordinaria-n-6810-2007-disciplina-o-parcelamento-do-solo-para-fins-urbanos-a-regularizacao-fundiaria-sustentavel-e-da-outras-providencias>>. Acesso em: 04 jul. 2017.

_____. Lei complementar nº 375, de 22 de dezembro de 2010. Consolida a legislação que dispõe sobre o Código de Obras do Município e dá outras providências. In: Câmara Municipal de Caxias do Sul. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/codigo-de-obras-caxias-do-sul-rs>>. Acesso em: 04 jul. 2017.

_____. Lei complementar nº 513, de 16 de junho de 2016. Altera o inciso VII do art. 67 da Lei Complementar 375, de 22 de dezembro 2010, que consolida a legislação que dispõe sobre o Código de Obras do Município. In: Câmara Municipal de Caxias do Sul. Disponível em: <<http://leismunicipa.is/kvqrg>>. Acesso em: 23 jan. 2018.

CRUZ, M. A. S.; TUCCI, C. E. M. Avaliação dos cenários de planejamento na drenagem urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 13, n. 3, p. 59-71, jul./set. 2008.

DAEE/CETESB. Departamento de Águas e Energia Elétrica/Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Drenagem urbana: manual de projeto**. São Paulo: Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE e Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB, 1980. 468 p.

DAEE. Departamento de Águas e Energia Elétrica. **Manual de cálculo de vazões máximas, médias e mínimas para as Bacias Hidrográficas do Estado de São Paulo**. São Paulo: Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE, 1994. 64p.

_____. **Guia prático para projetos de pequenas obras hidráulicas**. São Paulo: Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE, 2005. 116 p.

DENARDIN, E. J.; FREITAS, P. L. de. Características fundamentais da chuva do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 17, n.10, p. 1409-1416, out. 1982.

DEP. Departamento de Esgotos Pluviais. **Caderno de Encargos**. Porto Alegre, 2005, 90 p.

DER. Departamento de Estradas de Rodagem. **IP-DE-H00/001**. Estudos Hidrológicos. São Paulo, 2005.

DIAS, F. S.; ANTUNES, P. T. da S. C. **Estudo comparativo de projeto de drenagem convencional e sustentável para controle de escoamento superficial em ambientes urbanos**. 2010. 116 f. Projeto de Graduação de Curso (Graduação em Engenharia Civil)- Departamento de Recursos Hídricos e Meio Ambiente. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: 2010.

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.

ELLIS, J. B.; LUNDY, L. Implementing sustainable drainage systems for urban surface water management within the regulatory frame work in England and Wales. **Journal of Environmental Management**, v. 183, p. 630-636, set. 2016.

EPA. Environmental Protection Agency. **Evaluation of Dry Wells and Cisterns for Stormwater Control: Millburn Township, New Jersey**. Nova Jersey: EPA, 2012.

ESTEVEES, F. A.; SILVA, C. P.; ALBERTONI, E. F. Ciclo da água na biosfera. In: Francisco de Assis Esteves (coordenador). **Fundamentos de limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. 826 p.

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.

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.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico 2010: sinopse do censo e resultados preliminares do universo**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

_____. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa de Informações Básicas Municipais: **Perfil dos Municípios Brasileiros**. Rio de Janeiro: IBGE, 2014.

KROLOW, F. Construção Civil. **Infra Estrutura**. 2010. Disponível em: <<http://fabianekrolow.blogspot.com.br/2010/07/infra-estrutura.html>>. Acesso em: 25 jun. 2017.

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.

MOURA, P. M. **Contribuição para a avaliação global de sistemas de drenagem urbana**. 2004. 164 p. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos)-Programa de Pós Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2004.

NJDEP. New Jersey Department of Environmental Protection – Division of Watershed Management. Dry wells. In: **New Jersey stormwater best management practices manual**. Trenton, 2016. cap. 9.3.

OLIVEIRA, A. K. B. de; REZENDE, O. M.; MIGUEZ, M. G.; ARRAIS, C. M.; VERÓL, A. P. Avaliação do uso de reservatórios individuais de retenção de águas pluviais para controle de inundações urbanas, com auxílio do modelo de células de escoamento – MODCEL. In: Congresso ABES/Fenasan, 2017, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2017. p. 1-20.

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.

PEIXOTO, V. C. **Análise paramétrica de dimensionamento de poço de infiltração para fins de drenagem urbana**. 2011. 111 p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia)-Programa de Pós-Graduação da Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011.

PFAFSTETTER, O. **Chuvas intensas no Brasil**. 2 ed. Rio de Janeiro: DNOS, 1957. 419 p.

POMPÊO, C. A. Drenagem urbana sustentável. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 5, n. 1, p. 15-23, jan./mar. 2000.

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.; 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. de O.; TEIXEIRA, P. de C. Sistemas prediais de infiltração de águas de chuva: aplicações, limitações e perspectivas. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 7, n. 3, p. 55-57, 2013.

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.

RIGUETTO, A. M. (Coordenador) **Manejo de águas pluviais urbanas**. Projeto PROSAB, Rio de Janeiro: ABES, 2009.

RIO GRANDE DO SUL. Departamento de Recursos Hídricos da Secretaria de Estado do Meio Ambiente – DRH/SEMA. **Plano de Bacia Taquari-Antas: Relatório técnico síntese – RS; Etapas A e B**. Rio Grande do Sul, 2012.

ROLDIN, M.; FRYD, O.; JEPPESEN, J.; MARK, O.; BINNING, P. J.; MIKKELSEN, P. S.; JENSEN, M. B. Modelling the impact of soakaway retrofits on combined sewage overflows in a 3 km² urban catchment in Copenhagen, Denmark. **Jornal of Hydrology**, v. 452-453, p. 64-75, maio 2012.

ROLDIN, M.; LOCATELLI, L.; MARK, O.; MIKKELSEN, P. S.; BINNING, P. J. A simplified model of soakaway infiltration interaction with a shallow groundwater table. **Jornal of Hydrology**, v. 497, p. 165-175, jun. 2013.

ROLDIN, M.; MARK, O.; KUCZERA, G.; MIKKELSEN, P. S.; BINNING, P. J. Representing soakaways in a physically distributed urban drainage model – upscaling individual allotments to an aggregated scale. **Jornal of Hydrology**, v. 414-415, p. 530-538, nov. 2011.

SAMAE. Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto. Caxias do Sul. Disponível em <<http://www.samaecaxias.com.br/Pagina/Index/10044>>. Acesso em: 12 jun. 2017.

SAMAE/IPH. Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto/Instituto de Pesquisas Hidráulicas. **Plano Diretor de Drenagem Urbana**. Caxias do Sul, 2001.

SÃO PAULO. Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica. **Diretrizes básicas para projetos de drenagem urbana no município de São Paulo**, 1999.

_____. Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano. **Manual de drenagem e manejo de águas pluviais: aspectos tecnológicos; fundamentos**. São Paulo: SMDU, 2012.

SCHWAB, G. O.; FREVERT, R. K.; EDMINSTER, T. W.; BARNES, K. K. **Soil and water conservation engineering**. 2 ed. Nova Iorque: John e Sons, 1966. 419 p.

SEMA. Secretaria de Estado do Meio Ambiente. Departamento de Recursos Hídricos (DRH). **1ª Etapa do Plano de Bacia do Rio Caí: consolidação do conhecimento sobre recursos hídricos e enquadramento dos recursos hídricos superficiais; Relatório síntese**. Rio Grande do Sul, 2008.

SILVA, P. O. da; CABRAL, J. J. da S. P. Atenuação de picos de vazão em área problema: estudo comparativo de reservatório de detenção em lote, em logradouros e em grande área da bacia. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 2, p. 7-18, abr./jun. 2014.

SIVIERO EMPREENDIMENTOS IMOBILIÁRIOS. **Projeto de Drenagem Pluvial: loteamento residencial Caminhos do Sol**. Caxias do Sul, 2016.

TASSI, R. Comparação de duas metodologias para a determinação do volume de retenção em pequenas bacias urbanas: O caso de Porto Alegre/RS. In: Congresso Nacional del Agua, 20. **Anais...** Mendoza, 2005.

TUCCI, C. E. M. Inundações Urbanas. In: Carlos E. M. Tucci; Rubem La Laina Porto; Mário T. de Barros. (Org.). **Drenagem urbana**. 1 ed. Porto Alegre, 1995, v. 1, p. 15-36.

_____. **Gestão de águas pluviais urbanas**. 4. ed. Brasília: Ministério das Cidades, 2005. 194 p.

_____. 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.

TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. (Organizadores). **Inundações urbanas na América do Sul**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003. 156 p.

VASCONCELOS, A. F.; MIGUEZ, M. G.; VAZQUEZ, E. G. Critérios de projeto e benefícios esperados da implantação de técnicas compensatórias em drenagem urbana para controle de escoamentos na fonte, com base em modelagem computacional aplicada a um estudo de caso na zona oeste do Rio de Janeiro. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 4, p. 655-662, out./dez. 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.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245 p.

APÊNDICE A – TABELA UTILIZADA PARA INSERÇÃO DE DADOS DURANTE MONITORAMENTO DOS TESTES DOS POÇOS

ENSAIO DE CAPACIDADE DE POÇO DE INFILTRAÇÃO

Estrutura:			
Ensaio:		Página:	
Vazão medida:		Data:	

Enchimento

Nível d'água inicial:	
Hora início:	
Hora Término:	
Tempo total:	

Esvaziamento

Tempo	Profundidade	Tempo	Profundidade	Tempo	Profundidade
00:00:00		00:31:00		01:02:00	
00:01:00		00:32:00		01:03:00	
00:02:00		00:33:00		01:04:00	
00:03:00		00:34:00		01:05:00	
00:04:00		00:35:00		01:06:00	
00:05:00		00:36:00		01:07:00	
00:06:00		00:37:00		01:08:00	
00:07:00		00:38:00		01:09:00	
00:08:00		00:39:00		01:10:00	
00:09:00		00:40:00		01:11:00	
00:10:00		00:41:00		01:12:00	
00:11:00		00:42:00		01:13:00	
00:12:00		00:43:00		01:14:00	
00:13:00		00:44:00		01:15:00	
00:14:00		00:45:00		01:16:00	
00:15:00		00:46:00		01:17:00	
00:16:00		00:47:00		01:18:00	
00:17:00		00:48:00		01:19:00	
00:18:00		00:49:00		01:20:00	
00:19:00		00:50:00		01:21:00	
00:20:00		00:51:00		01:22:00	
00:21:00		00:52:00		01:23:00	
00:22:00		00:53:00		01:24:00	
00:23:00		00:54:00		01:25:00	
00:24:00		00:55:00		01:26:00	
00:25:00		00:56:00		01:27:00	
00:26:00		00:57:00		01:28:00	
00:27:00		00:58:00		01:29:00	
00:28:00		00:59:00		01:30:00	
00:29:00		01:00:00		01:31:00	
00:30:00		01:01:00		01:32:00	

Observações:

APÊNDICE B – DADOS COLETADOS DURANTE OS TESTES DO POÇO 1

ENSAIO DE CAPACIDADE DE POÇO DE INFILTRAÇÃO

Estrutura:	Poço 1 - Concreto	Página:	1
Ensaio:	1	Data:	09/03/2018
Vazão medida:	17,5 segundos		

Enchimento

Nível d'água inicial:	2,52 / 0,00
Hora início:	13:55:00
Hora Término:	14:14:00
Tempo total:	00:18:27

Esvaziamento

Tempo	Profundidade	Tempo	Profundidade	Tempo	Profundidade
00:00:00	1,57	00:31:00	2,50	01:02:00	
00:01:00	1,64	00:32:00	2,52	01:03:00	
00:02:00	1,70	00:33:00	-	01:04:00	
00:03:00	1,73	00:34:00	-	01:05:00	
00:04:00	1,78	00:35:00	-	01:06:00	
00:05:00	1,80	00:36:00		01:07:00	
00:06:00	1,85	00:37:00		01:08:00	
00:07:00	1,89	00:38:00		01:09:00	
00:08:00	1,91	00:39:00		01:10:00	
00:09:00	1,97	00:40:00		01:11:00	
00:10:00	1,98	00:41:00		01:12:00	
00:11:00	2,01	00:42:00		01:13:00	
00:12:00	2,10	00:43:00		01:14:00	
00:13:00	2,11	00:44:00		01:15:00	
00:14:00	2,13	00:45:00		01:16:00	
00:15:00	2,16	00:46:00		01:17:00	
00:16:00	2,18	00:47:00		01:18:00	
00:17:00	2,20	00:48:00		01:19:00	
00:18:00	2,22	00:49:00		01:20:00	
00:19:00	2,26	00:50:00		01:21:00	
00:20:00	2,29	00:51:00		01:22:00	
00:21:00	2,30	00:52:00		01:23:00	
00:22:00	2,33	00:53:00		01:24:00	
00:23:00	2,34	00:54:00		01:25:00	
00:24:00	2,38	00:55:00		01:26:00	
00:25:00	2,39	00:56:00		01:27:00	
00:26:00	2,41	00:57:00		01:28:00	
00:27:00	2,45	00:58:00		01:29:00	
00:28:00	2,46	00:59:00		01:30:00	
00:29:00	2,47	01:00:00		01:31:00	
00:30:00	2,49	01:01:00		01:32:00	

Observações:

Esvaziou em 34:52 Término 14:49

ENSAIO DE CAPACIDADE DE POÇO DE INFILTRAÇÃO

Estrutura:	Poço 1 - Concreto	
Ensaio:	2	Página: 1
Vazão medida:	16,89 segundos	Data: 09/03/2018

Enchimento

Nível d'água inicial:	2,52 / 0,00
Hora início:	15:09:00
Hora Término:	15:24:00
Tempo total:	00:15:02

Esvaziamento

Tempo	Profundidade	Tempo	Profundidade	Tempo	Profundidade
00:00:00	1,56	00:31:00	2,40	01:02:00	
00:01:00	1,63	00:32:00	2,42	01:03:00	
00:02:00	1,67	00:33:00	2,44	01:04:00	
00:03:00	1,70	00:34:00	2,45	01:05:00	
00:04:00	1,75	00:35:00	2,48	01:06:00	
00:05:00	1,78	00:36:00	2,49	01:07:00	
00:06:00	1,82	00:37:00	2,51	01:08:00	
00:07:00	1,85	00:38:00	2,52	01:09:00	
00:08:00	1,89	00:39:00	-	01:10:00	
00:09:00	1,91	00:40:00		01:11:00	
00:10:00	1,95	00:41:00		01:12:00	
00:11:00	1,98	00:42:00		01:13:00	
00:12:00	2,00	00:43:00		01:14:00	
00:13:00	2,05	00:44:00		01:15:00	
00:14:00	2,05	00:45:00		01:16:00	
00:15:00	2,07	00:46:00		01:17:00	
00:16:00	2,10	00:47:00		01:18:00	
00:17:00	2,13	00:48:00		01:19:00	
00:18:00	2,16	00:49:00		01:20:00	
00:19:00	2,18	00:50:00		01:21:00	
00:20:00	2,20	00:51:00		01:22:00	
00:21:00	2,23	00:52:00		01:23:00	
00:22:00	2,24	00:53:00		01:24:00	
00:23:00	2,26	00:54:00		01:25:00	
00:24:00	2,28	00:55:00		01:26:00	
00:25:00	2,30	00:56:00		01:27:00	
00:26:00	2,33	00:57:00		01:28:00	
00:27:00	2,33	00:58:00		01:29:00	
00:28:00	2,36	00:59:00		01:30:00	
00:29:00	2,38	01:00:00		01:31:00	
00:30:00	2,39	01:01:00		01:32:00	

Observações:

Esvaziou em 39:28 Término 16:04

ENSAIO DE CAPACIDADE DE POÇO DE INFILTRAÇÃO

Estrutura:	Poço 1 - Concreto	
Ensaio:	3	Página: 1
Vazão medida:	18,7 segundos	Data: 09/03/2018

Enchimento

Nível d'água inicial:	2,52 / 0,00
Hora início:	16:08:00
Hora Término:	16:22:00
Tempo total:	14:55:00

Esvaziamento

Tempo	Profundidade	Tempo	Profundidade	Tempo	Profundidade
00:00:00	1,56	00:31:00		01:02:00	
00:01:00	1,64	00:32:00		01:03:00	
00:02:00	1,69	00:33:00		01:04:00	
00:03:00	1,72	00:34:00		01:05:00	
00:04:00	1,75	00:35:00		01:06:00	
00:05:00	1,78	00:36:00		01:07:00	
00:06:00	1,82	00:37:00		01:08:00	
00:07:00	1,84	00:38:00		01:09:00	
00:08:00	1,88	00:39:00		01:10:00	
00:09:00	1,94	00:40:00		01:11:00	
00:10:00	1,96	00:41:00		01:12:00	
00:11:00	1,99	00:42:00		01:13:00	
00:12:00	2,00	00:43:00		01:14:00	
00:13:00	2,02	00:44:00		01:15:00	
00:14:00	2,04	00:45:00		01:16:00	
00:15:00	2,08	00:46:00		01:17:00	
00:16:00	2,09	00:47:00		01:18:00	
00:17:00		00:48:00		01:19:00	
00:18:00		00:49:00		01:20:00	
00:19:00		00:50:00		01:21:00	
00:20:00		00:51:00		01:22:00	
00:21:00		00:52:00		01:23:00	
00:22:00		00:53:00		01:24:00	
00:23:00		00:54:00		01:25:00	
00:24:00		00:55:00		01:26:00	
00:25:00		00:56:00		01:27:00	
00:26:00		00:57:00		01:28:00	
00:27:00		00:58:00		01:29:00	
00:28:00		00:59:00		01:30:00	
00:29:00		01:00:00		01:31:00	
00:30:00		01:01:00		01:32:00	

Observações:

55 cm - Baixou 53cm
Término - 16:39
Esvaziou metade em 16 minutos

ENSAIO DE CAPACIDADE DE POÇO DE INFILTRAÇÃO

Estrutura:	Poço 1 - Concreto	
Ensaio:	4	Página: 1
Vazão medida:		Data: 09/03/2018

Enchimento

Nível d'água inicial:	0,43 / 2,09
Hora início:	16:39:00
Hora Término:	16:47:00
Tempo total:	00:07:56

Esvaziamento

Tempo	Profundidade	Tempo	Profundidade	Tempo	Profundidade
00:00:00	1,55	00:31:00	2,36	01:02:00	
00:01:00	1,62	00:32:00	2,37	01:03:00	
00:02:00	1,65	00:33:00	2,39	01:04:00	
00:03:00	1,69	00:34:00	2,41	01:05:00	
00:04:00	1,72	00:35:00	2,42	01:06:00	
00:05:00	1,76	00:36:00	2,43	01:07:00	
00:06:00	1,79	00:37:00	2,45	01:08:00	
00:07:00	1,83	00:38:00	2,46	01:09:00	
00:08:00	1,87	00:39:00	2,47	01:10:00	
00:09:00	1,89	00:40:00	2,49	01:11:00	
00:10:00	1,91	00:41:00	2,51	01:12:00	
00:11:00	1,93	00:42:00	2,52	01:13:00	
00:12:00	1,97	00:43:00	-	01:14:00	
00:13:00	1,99	00:44:00	-	01:15:00	
00:14:00	2,03	00:45:00		01:16:00	
00:15:00	2,04	00:46:00		01:17:00	
00:16:00	2,07	00:47:00		01:18:00	
00:17:00	2,09	00:48:00		01:19:00	
00:18:00	2,10	00:49:00		01:20:00	
00:19:00	2,12	00:50:00		01:21:00	
00:20:00	2,16	00:51:00		01:22:00	
00:21:00	2,17	00:52:00		01:23:00	
00:22:00	2,19	00:53:00		01:24:00	
00:23:00	2,21	00:54:00		01:25:00	
00:24:00	2,23	00:55:00		01:26:00	
00:25:00	2,25	00:56:00		01:27:00	
00:26:00	2,27	00:57:00		01:28:00	
00:27:00	2,28	00:58:00		01:29:00	
00:28:00	2,31	00:59:00		01:30:00	
00:29:00	2,32	01:00:00		01:31:00	
00:30:00	2,34	01:01:00		01:32:00	

Observações:

Esvaziou em 44:45 segundos
Término 17:32

ENSAIO DE CAPACIDADE DE POÇO DE INFILTRAÇÃO

Estrutura:	Poço 1 - Concreto	Página:	1
Ensaio:	5	Data:	09/03/2018
Vazão medida:			

Enchimento

Nível d'água inicial:	2,52 / 0,00
Hora início:	17:33:00
Hora Término:	17:51:00
Tempo total:	17:52:00

Esvaziamento

Tempo	Profundidade	Tempo	Profundidade	Tempo	Profundidade
00:00:00	1,17	00:31:00	2,30	01:02:00	
00:00:30	1,37	00:32:00	2,31	01:03:00	
00:01:00	1,46	00:33:00	2,34	01:04:00	
00:02:00	1,51	00:34:00	2,35	01:05:00	
00:03:00	1,55	00:35:00	2,37	01:06:00	
00:04:00	1,60	00:36:00	2,39	01:07:00	
00:05:00	1,64	00:37:00	2,41	01:08:00	
00:06:00	1,67	00:38:00	2,42	01:09:00	
00:07:00	1,70	00:39:00	2,43	01:10:00	
00:08:00	1,75	00:40:00	2,46	01:11:00	
00:09:00	1,78	00:41:00	2,47	01:12:00	
00:10:00	1,82	00:42:00	2,48	01:13:00	
00:11:00	1,85	00:43:00	2,49	01:14:00	
00:12:00	1,88	00:44:00	2,50	01:15:00	
00:13:00	1,90	00:45:00	2,52	01:16:00	
00:14:00	1,93	00:46:00	-	01:17:00	
00:15:00	1,96	00:47:00	-	01:18:00	
00:16:00	1,99	00:48:00		01:19:00	
00:17:00	2,00	00:49:00		01:20:00	
00:18:00	2,03	00:50:00		01:21:00	
00:19:00	2,05	00:51:00		01:22:00	
00:20:00	2,08	00:52:00		01:23:00	
00:21:00	2,10	00:53:00		01:24:00	
00:22:00	2,13	00:54:00		01:25:00	
00:23:00	2,15	00:55:00		01:26:00	
00:24:00	2,18	00:56:00		01:27:00	
00:25:00	2,19	00:57:00		01:28:00	
00:26:00	2,21	00:58:00		01:29:00	
00:27:00	2,23	00:59:00		01:30:00	
00:28:00	2,24	01:00:00		01:31:00	
00:29:00	2,27	01:01:00		01:32:00	
00:30:00	2,29				

Observações:

Transbordou em 17:52
 Chegou em 1,55m em 12 minutos
 Esvaziou - 47:06,12 Término - 18:39

ENSAIO DE CAPACIDADE DE POÇO DE INFILTRAÇÃO

Estrutura:	Poço 1 - Concreto	
Ensaio:	1	Página: 1
Vazão medida:	16,5 segundos	Data: 13/03/2018

Enchimento

Nível d'água inicial:	2,52
Hora início:	10:34:00
Hora Término:	10:49:00
Tempo total:	00:15:02

Esvaziamento

Tempo	Profundidade	Tempo	Profundidade	Tempo	Profundidade
00:00:00	1,55	00:31:00	2,43	01:02:00	
00:01:00	1,59	00:32:00	2,45	01:03:00	
00:02:00	1,63	00:33:00	2,45	01:04:00	
00:03:00	1,69	00:34:00	2,47	01:05:00	
00:04:00	1,72	00:35:00	2,48	01:06:00	
00:05:00	1,76	00:36:00	2,5	01:07:00	
00:06:00	1,80	00:37:00	2,52	01:08:00	
00:07:00	1,83	00:38:00	-	01:09:00	
00:08:00	1,86	00:39:00	-	01:10:00	
00:09:00	1,90	00:40:00	-	01:11:00	
00:10:00	1,93	00:41:00		01:12:00	
00:11:00	1,96	00:42:00		01:13:00	
00:12:00	2,00	00:43:00		01:14:00	
00:13:00	2,03	00:44:00		01:15:00	
00:14:00	2,05	00:45:00		01:16:00	
00:15:00	2,08	00:46:00		01:17:00	
00:16:00	2,10	00:47:00		01:18:00	
00:17:00	2,13	00:48:00		01:19:00	
00:18:00	2,15	00:49:00		01:20:00	
00:19:00	2,17	00:50:00		01:21:00	
00:20:00	2,20	00:51:00		01:22:00	
00:21:00	2,22	00:52:00		01:23:00	
00:22:00	2,24	00:53:00		01:24:00	
00:23:00	2,26	00:54:00		01:25:00	
00:24:00	2,28	00:55:00		01:26:00	
00:25:00	2,30	00:56:00		01:27:00	
00:26:00	2,33	00:57:00		01:28:00	
00:27:00	2,34	00:58:00		01:29:00	
00:28:00	2,36	00:59:00		01:30:00	
00:29:00	2,38	01:00:00		01:31:00	
00:30:00	2,40	01:01:00		01:32:00	

Observações:

Esvaziou em 40:00.70
Término: 11:29

ENSAIO DE CAPACIDADE DE POÇO DE INFILTRAÇÃO

Estrutura:	Poço 1 - Concreto	
Ensaio:	2	Página: 1
Vazão medida:	16,94 segundo	Data: 13/03/2018

Enchimento

Nível d'água inicial:	2,52
Hora início:	11:31:00
Hora Término:	11:45:00
Tempo total:	00:13:43

Esvaziamento

Tempo	Profundidade	Tempo	Profundidade	Tempo	Profundidade
00:00:00	1,55	00:31:00	2,35	01:02:00	
00:01:00	1,58	00:32:00	2,37	01:03:00	
00:02:00	1,62	00:33:00	2,39	01:04:00	
00:03:00	1,68	00:34:00	2,40	01:05:00	
00:04:00	1,70	00:35:00	2,42	01:06:00	
00:05:00	1,74	00:36:00	2,44	01:07:00	
00:06:00	1,78	00:37:00	2,46	01:08:00	
00:07:00	1,81	00:38:00	2,48	01:09:00	
00:08:00	1,83	00:39:00	2,49	01:10:00	
00:09:00	1,87	00:40:00	2,50	01:11:00	
00:10:00	1,90	00:41:00	2,51	01:12:00	
00:11:00	1,92	00:42:00	2,52	01:13:00	
00:12:00	1,95	00:43:00	-	01:14:00	
00:13:00	2,00	00:44:00	-	01:15:00	
00:14:00	2,01	00:45:00		01:16:00	
00:15:00	2,04	00:46:00		01:17:00	
00:16:00	2,05	00:47:00		01:18:00	
00:17:00	2,08	00:48:00		01:19:00	
00:18:00	2,11	00:49:00		01:20:00	
00:19:00	2,12	00:50:00		01:21:00	
00:20:00	2,15	00:51:00		01:22:00	
00:21:00	2,17	00:52:00		01:23:00	
00:22:00	2,19	00:53:00		01:24:00	
00:23:00	2,22	00:54:00		01:25:00	
00:24:00	2,24	00:55:00		01:26:00	
00:25:00	2,25	00:56:00		01:27:00	
00:26:00	2,26	00:57:00		01:28:00	
00:27:00	2,29	00:58:00		01:29:00	
00:28:00	2,30	00:59:00		01:30:00	
00:29:00	2,32	01:00:00		01:31:00	
00:30:00	2,34	01:01:00		01:32:00	

Observações:

Esvaziou: 44:06.47
Término: 12:29

ENSAIO DE CAPACIDADE DE POÇO DE INFILTRAÇÃO

Estrutura:	Poço 1 - Concreto		
Ensaio:	3	Página:	1
Vazão medida:	18,51 segundos	Data:	13/03/2018

Enchimento

Nível d'água inicial:	2,52
Hora início:	12:34:00
Hora Término:	12:47:00
Tempo total:	00:13:59

Esvaziamento

Tempo	Profundidade	Tempo	Profundidade	Tempo	Profundidade
00:00:00	1,55	00:31:00		01:02:00	
00:01:00	1,59	00:32:00		01:03:00	
00:02:00	1,62	00:33:00		01:04:00	
00:03:00	1,65	00:34:00		01:05:00	
00:04:00	1,69	00:35:00		01:06:00	
00:05:00	1,72	00:36:00		01:07:00	
00:06:00	1,76	00:37:00		01:08:00	
00:07:00	1,79	00:38:00		01:09:00	
00:08:00	1,82	00:39:00		01:10:00	
00:09:00	1,85	00:40:00		01:11:00	
00:10:00	1,87	00:41:00		01:12:00	
00:11:00	1,89	00:42:00		01:13:00	
00:12:00	1,92	00:43:00		01:14:00	
00:13:00	1,96	00:44:00		01:15:00	
00:14:00	1,98	00:45:00		01:16:00	
00:15:00	2,00	00:46:00		01:17:00	
00:16:00	2,02	00:47:00		01:18:00	
00:17:00	2,04	00:48:00		01:19:00	
00:18:00	2,08	00:49:00		01:20:00	
00:19:00	2,09	00:50:00		01:21:00	
00:20:00		00:51:00		01:22:00	
00:21:00		00:52:00		01:23:00	
00:22:00		00:53:00		01:24:00	
00:23:00		00:54:00		01:25:00	
00:24:00		00:55:00		01:26:00	
00:25:00		00:56:00		01:27:00	
00:26:00		00:57:00		01:28:00	
00:27:00		00:58:00		01:29:00	
00:28:00		00:59:00		01:30:00	
00:29:00		01:00:00		01:31:00	
00:30:00		01:01:00		01:32:00	

Observações:

18:55.5 chegou em 2,09
Término: 13:06

ENSAIO DE CAPACIDADE DE POÇO DE INFILTRAÇÃO

Estrutura:	Poço 1 - Concreto	
Ensaio:	4	Página: 1
Vazão medida:		Data: 13/03/2018

Enchimento

Nível d'água inicial:	2,09 / 0,43
Hora início:	13:06:00
Hora Término:	13:15:00
Tempo total:	00:08:11

Esvaziamento

Tempo	Profundidade	Tempo	Profundidade	Tempo	Profundidade
00:00:00	1,55	00:31:00	2,32	01:02:00	
00:01:00	1,59	00:32:00	2,33	01:03:00	
00:02:00	1,62	00:33:00	2,34	01:04:00	
00:03:00	1,65	00:34:00	2,36	01:05:00	
00:04:00	1,69	00:35:00	2,37	01:06:00	
00:05:00	1,73	00:36:00	2,39	01:07:00	
00:06:00	1,76	00:37:00	2,40	01:08:00	
00:07:00	1,78	00:38:00	2,42	01:09:00	
00:08:00	1,81	00:39:00	2,43	01:10:00	
00:09:00	1,84	00:40:00	2,44	01:11:00	
00:10:00	1,86	00:41:00	2,47	01:12:00	
00:11:00	1,89	00:42:00	2,48	01:13:00	
00:12:00	1,92	00:43:00	2,49	01:14:00	
00:13:00	1,96	00:44:00	2,51	01:15:00	
00:14:00	1,98	00:45:00	2,52	01:16:00	
00:15:00	2,00	00:46:00	-	01:17:00	
00:16:00	2,03	00:47:00	-	01:18:00	
00:17:00	2,06	00:48:00	-	01:19:00	
00:18:00	2,07	00:49:00		01:20:00	
00:19:00	2,10	00:50:00		01:21:00	
00:20:00	2,12	00:51:00		01:22:00	
00:21:00	2,14	00:52:00		01:23:00	
00:22:00	2,15	00:53:00		01:24:00	
00:23:00	2,16	00:54:00		01:25:00	
00:24:00	2,19	00:55:00		01:26:00	
00:25:00	2,21	00:56:00		01:27:00	
00:26:00	2,22	00:57:00		01:28:00	
00:27:00	2,24	00:58:00		01:29:00	
00:28:00	2,27	00:59:00		01:30:00	
00:29:00	2,28	01:00:00		01:31:00	
00:30:00	2,30	01:01:00		01:32:00	

Observações:

Esvaziou em: 48:39.30
Término: 14:04

ENSAIO DE CAPACIDADE DE POÇO DE INFILTRAÇÃO

Estrutura:	Poço 1 - Concreto	Página:	1
Ensaio:	5	Data:	13/03/2018
Vazão medida:	16,9		

Enchimento

Nível d'água inicial:	2,52
Hora início:	14:28:00
Hora Término:	14:52:00
Tempo total:	00:23:15

Esvaziamento

Tempo	Profundidade	Tempo	Profundidade	Tempo	Profundidade
00:00:00	1,00	00:31:00	2,34	01:02:00	
00:00:30	1,14	00:32:00	2,35	01:03:00	
00:01:00	1,27	00:33:00	2,38	01:04:00	
00:01:30	1,40	00:34:00	2,40	01:05:00	
00:02:00	1,48	00:35:00	2,41	01:06:00	
00:02:30	1,49	00:36:00	2,43	01:07:00	
00:03:00	15,51	00:37:00	2,45	01:08:00	
00:04:00	1,54	00:38:00	2,48	01:09:00	
00:05:00	1,59	00:39:00	2,49	01:10:00	
00:06:00	1,63	00:40:00	2,50	01:11:00	
00:07:00	1,66	00:41:00	2,51	01:12:00	
00:08:00	1,71	00:42:00	2,52	01:13:00	
00:09:00	1,74	00:43:00	-	01:14:00	
00:10:00	1,79	00:44:00	-	01:15:00	
00:11:00	1,82	00:45:00		01:16:00	
00:12:00	1,85	00:46:00		01:17:00	
00:13:00	1,88	00:47:00		01:18:00	
00:14:00	1,91	00:48:00		01:19:00	
00:15:00	1,94	00:49:00		01:20:00	
00:16:00	1,97	00:50:00		01:21:00	
00:17:00	2,02	00:51:00		01:22:00	
00:18:00	2,05	00:52:00		01:23:00	
00:19:00	2,07	00:53:00		01:24:00	
00:20:00	2,09	00:54:00		01:25:00	
00:21:00	2,12	00:55:00		01:26:00	
00:22:00	2,15	00:56:00		01:27:00	
00:23:00	2,17	00:57:00		01:28:00	
00:24:00	2,18	00:58:00		01:29:00	
00:25:00	2,20	00:59:00		01:30:00	
00:26:00	2,23	01:00:00		01:31:00	
00:27:00	2,25	01:01:00		01:32:00	
00:28:00	2,28				
00:29:00	2,30				
00:30:00	2,32				

Observações:

Transbordou cano 300 em: 23:15 Término: 15:36
 Chegou em 1,55m em : 14:30 Chegou no cano de 200 em 18:20
 Esvaziou em 44:07.90 Subiu em 19:50 para a boca de lobo 1 m

ENSAIO DE CAPACIDADE DE POÇO DE INFILTRAÇÃO

Estrutura:	Poço 1 - Concreto		
Ensaio:	05 - 2X	Página:	1
Vazão medida:	17,94 segundos	Data:	13/03/2018

Enchimento

Nível d'água inicial:	2,52
Hora início:	16:01:00
Hora Término:	16:27:00
Tempo total:	00:25:49

Esvaziamento

Tempo	Profundidade	Tempo	Profundidade	Tempo	Profundidade
00:00:00	0,93	00:31:00	2,29	01:02:00	
00:00:30	1,06	00:32:00	2,30	01:03:00	
00:01:00	1,22	00:33:00	2,33	01:04:00	
00:01:30	1,37	00:34:00	2,34	01:05:00	
00:02:00	1,47	00:35:00	2,35	01:06:00	
00:02:30	1,50	00:36:00	2,38	01:07:00	
00:03:00	1,50	00:37:00	2,40	01:08:00	
00:04:00	1,55	00:38:00	2,41	01:09:00	
00:05:00	1,58	00:39:00	2,43	01:10:00	
00:06:00	1,62	00:40:00	2,44	01:11:00	
00:07:00	1,66	00:41:00	2,46	01:12:00	
00:08:00	1,70	00:42:00	2,47	01:13:00	
00:09:00	1,72	00:43:00	2,48	01:14:00	
00:10:00	1,76	00:44:00	2,50	01:15:00	
00:11:00	1,8	00:45:00	2,51	01:16:00	
00:12:00	1,84	00:46:00	2,52	01:17:00	
00:13:00	1,86	00:47:00	-	01:18:00	
00:14:00	1,89	00:48:00	-	01:19:00	
00:15:00	1,92	00:49:00		01:20:00	
00:16:00	1,95	00:50:00		01:21:00	
00:17:00	1,95	00:51:00		01:22:00	
00:18:00	1,99	00:52:00		01:23:00	
00:19:00	2,01	00:53:00		01:24:00	
00:20:00	2,05	00:54:00		01:25:00	
00:21:00	2,07	00:55:00		01:26:00	
00:22:00	2,09	00:56:00		01:27:00	
00:23:00	2,12	00:57:00		01:28:00	
00:24:00	2,14	00:58:00		01:29:00	
00:25:00	2,16	00:59:00		01:30:00	
00:26:00	2,18	01:00:00		01:31:00	
00:27:00	2,21	01:01:00		01:32:00	
00:28:00	2,23				
00:29:00	2,24				
00:30:00	2,28				

Observações:

Transbordou em: 25:49
 Chegou em 1,55m em : 16:04
 Esvaziou em 48:17.15
 Máximo da água 0,87

Término: 17:15
 Chegou no cano de 200 em 20:09 - altura 1,17m
 Subiu para a boca de lobo em 25:25 - altura 90 cm
 Lado maior da caixa 2,60m

APÊNDICE C – DADOS COLETADOS DURANTE OS TESTES DO POÇO 2

ENSAIO DE CAPACIDADE DE POÇO DE INFILTRAÇÃO

Estrutura:	Poço 2 - Brita	Página:	1
Ensaio:	Teste 1	Data:	09/03/2018
Vazão medida:	18 segundos - 17:47		

Enchimento

Nível d'água inicial:	2,97 / 0,00
Hora início:	15:00:00
Hora Término:	
Tempo total:	00:03:20

Esvaziamento

Tempo	Profundidade	Tempo	Profundidade	Tempo	Profundidade
00:00:00		00:31:00		01:02:00	
00:01:00		00:32:00		01:03:00	
00:02:00		00:33:00		01:04:00	
00:03:00		00:34:00		01:05:00	
00:04:00		00:35:00		01:06:00	
00:05:00		00:36:00		01:07:00	
00:06:00		00:37:00		01:08:00	
00:07:00		00:38:00		01:09:00	
00:08:00		00:39:00		01:10:00	
00:09:00		00:40:00		01:11:00	
00:10:00		00:41:00		01:12:00	
00:11:00		00:42:00		01:13:00	
00:12:00		00:43:00		01:14:00	
00:13:00		00:44:00		01:15:00	
00:14:00		00:45:00		01:16:00	
00:15:00		00:46:00		01:17:00	
00:16:00		00:47:00		01:18:00	
00:17:00		00:48:00		01:19:00	
00:18:00		00:49:00		01:20:00	
00:19:00		00:50:00		01:21:00	
00:20:00		00:51:00		01:22:00	
00:21:00		00:52:00		01:23:00	
00:22:00		00:53:00		01:24:00	
00:23:00		00:54:00		01:25:00	
00:24:00		00:55:00		01:26:00	
00:25:00		00:56:00		01:27:00	
00:26:00		00:57:00		01:28:00	
00:27:00		00:58:00		01:29:00	
00:28:00		00:59:00		01:30:00	
00:29:00		01:00:00		01:31:00	
00:30:00		01:01:00		01:32:00	

Observações:

Para enchimento - 3' 20"
 Parou -
 Voltou -

ENSAIO DE CAPACIDADE DE POÇO DE INFILTRAÇÃO

Estrutura:	Poço 2		
Ensaio:	1.1	Página:	
Vazão medida:	17:54	Data:	09/03/2018

Enchimento

Nível d'água inicial:	2,75
Hora início:	18:22:00
Hora Término:	18:41:00
Tempo total:	18:17:00

Esvaziamento

Tempo	Profundidade	Tempo	Profundidade	Tempo	Profundidade
00:00:00	0,90	00:31:00	1,89	01:02:00	
00:01:00	1,19	00:32:00	1,90	01:03:00	
00:02:00	1,31	00:33:00	1,91	01:04:00	
00:03:00	1,36	00:34:00	1,92	01:05:00	
00:04:00	1,41	00:35:00	1,93	01:06:00	2,20
00:05:00	1,45	00:36:00	1,95	01:07:00	
00:06:00	1,49	00:37:00	1,96	01:08:00	
00:07:00	1,52	00:38:00	1,97	01:09:00	
00:08:00	1,54	00:39:00	1,98	01:10:00	
00:09:00	1,55	00:40:00	1,99	01:11:00	2,23
00:10:00	1,57	00:41:00	2,00	01:12:00	
00:11:00	1,61	00:42:00	2,01	01:13:00	
00:12:00	1,62	00:43:00	2,02	01:14:00	
00:13:00	1,63	00:44:00	2,03	01:15:00	
00:14:00	1,64	00:45:00	2,04	01:16:00	2,25
00:15:00	1,66	00:46:00	2,05	01:17:00	
00:16:00	1,69	00:47:00	2,06	01:18:00	
00:17:00	1,69	00:48:00	2,07	01:19:00	
00:18:00	1,70	00:49:00	2,08	01:20:00	
00:19:00	1,72	00:50:00	2,09	01:21:00	2,28
00:20:00	1,74	00:51:00	2,10	01:22:00	
00:21:00	1,75	00:52:00	2,11	01:23:00	
00:22:00	1,76	00:53:00	2,11	01:24:00	
00:23:00	1,78	00:54:00	2,12	01:25:00	
00:24:00	1,79	00:55:00	2,12	01:26:00	2,30
00:25:00	1,80	00:56:00	2,13	01:27:00	
00:26:00	1,83	00:57:00	2,14	01:28:00	
00:27:00	1,83	00:58:00	2,15	01:29:00	
00:28:00	1,85	00:59:00	2,15	01:30:00	
00:29:00	1,86	01:00:00	2,16	01:31:00	2,31
00:30:00	1,87	01:01:00	2,17	01:32:00	
				01:36:00	2,325

Observações:

ENSAIO DE CAPACIDADE DE POÇO DE INFILTRAÇÃO

Estrutura:	Poço 2 - Brita	Página:	1/3
Ensaio:	1	Data:	13/03/2018
Vazão medida:	17:44		

Enchimento

Nível d'água inicial:	2,81
Hora início:	09:43:00
Hora Término:	10:00:00
Tempo total:	15:58:00

Esvaziamento

Tempo	Profundidade	Tempo	Profundidade	Tempo	Profundidade
00:00:00	0,74	00:31:00	1,81	01:02:00	2,11
00:01:00	0,99	00:32:00	1,82	01:03:00	2,12
00:02:00	1,09	00:33:00	1,83	01:04:00	2,125
00:03:00	1,22	00:34:00	1,845	01:05:00	2,13
00:04:00	1,30	00:35:00	1,86	01:06:00	2,135
00:05:00	1,38	00:36:00	1,87	01:07:00	2,14
00:06:00	1,41	00:37:00	1,88	01:08:00	2,15
00:07:00	1,44	00:38:00	1,89	01:09:00	2,16
00:08:00	1,47	00:39:00	1,90	01:10:00	2,165
00:09:00	1,50	00:40:00	1,91	01:11:00	2,17
00:10:00	1,52	00:41:00	1,92	01:12:00	2,175
00:11:00	1,53	00:42:00	1,935	01:13:00	2,18
00:12:00	1,565	00:43:00	1,95	01:14:00	2,19
00:13:00	1,57	00:44:00	1,96	01:15:00	2,19
00:14:00	1,58,5	00:45:00	1,97	01:16:00	2,2
00:15:00	1,60	00:46:00	1,98	01:17:00	2,205
00:16:00	1,62	00:47:00	1,99	01:18:00	2,21
00:17:00	1,6335	00:48:00	2,00	01:19:00	2,215
00:18:00	1,64	00:49:00	2,005	01:20:00	2,22
00:19:00	1,67	00:50:00	2,01	01:21:00	2,225
00:20:00	1,68	00:51:00	2,02	01:22:00	2,23
00:21:00	1,69	00:52:00	2,03	01:23:00	2,235
00:22:00	1,70	00:53:00	2,04	01:24:00	2,24
00:23:00	1,71	00:54:00	2,05	01:25:00	2,245
00:24:00	1,73	00:55:00	2,06	01:26:00	2,245
00:25:00	1,75	00:56:00	2,065	01:27:00	2,25
00:26:00	1,76	00:57:00	2,075	01:28:00	2,255
00:27:00	1,77	00:58:00	2,08	01:29:00	2,26
00:28:00	1,78	00:59:00	2,09	01:30:00	2,265
00:29:00	1,79	01:00:00	2,095	01:31:00	2,265
00:30:00	1,80	01:01:00	2,10	01:32:00	2,27

Observações:

Terminou - 13:48

ENSAIO DE CAPACIDADE DE POÇO DE INFILTRAÇÃO

Estrutura:	Poço 2 - Brita		
Ensaio:	1	Página:	2/3
Vazão medida:	17:44	Data:	13/03/2018

Tempo	Profundidade	Tempo	Profundidade	Tempo	Profundidade
01:33:00	2,27	02:02:00	2,355	02:31:00	2,41
01:34:00	2,275	02:03:00	2,36	02:32:00	2,415
01:35:00	2,275	02:04:00	2,36	02:33:00	2,415
01:36:00	2,28	02:05:00	2,36	02:34:00	2,415
01:37:00	2,285	02:06:00	2,365	02:35:00	2,42
01:38:00	2,29	02:07:00	2,37	02:36:00	2,42
01:39:00	2,29	02:08:00	2,37	02:37:00	2,42
01:40:00	2,295	02:09:00	2,37	02:38:00	2,42
01:41:00	2,295	02:10:00	2,375	02:39:00	2,42
01:42:00	2,3	02:11:00	2,375	02:40:00	2,425
01:43:00	2,305	02:12:00	2,38	02:41:00	2,425
01:44:00	2,305	02:13:00	2,38	02:42:00	2,425
01:45:00	2,31	02:14:00	2,38	02:43:00	2,425
01:46:00	2,31	02:15:00	2,385	02:44:00	2,425
01:47:00	2,315	02:16:00	2,385	02:45:00	2,43
01:48:00	2,315	02:17:00	2,385	02:46:00	2,43
01:49:00	2,32	02:18:00	2,385	02:47:00	2,43
01:50:00	2,325	02:19:00	2,39	02:48:00	2,435
01:51:00	2,33	02:20:00	2,39	02:49:00	2,435
01:52:00	2,33	02:21:00	2,395	02:50:00	2,435
01:53:00	2,335	02:22:00	2,395	02:51:00	2,435
01:54:00	2,335	02:23:00	2,395	02:52:00	2,44
01:55:00	2,335	02:24:00	2,40	02:53:00	2,44
01:56:00	2,34	02:25:00	2,40	02:54:00	2,44
01:57:00	2,345	02:26:00	2,405	02:55:00	2,445
01:58:00	2,345	02:27:00	2,405	02:56:00	2,445
01:59:00	2,345	02:28:00	2,405	02:57:00	2,445
02:00:00	2,35	02:29:00	2,41	02:58:00	2,445
02:01:00	2,35	02:30:00	2,41	02:59:00	2,45

Observações:

ENSAIO DE CAPACIDADE DE POÇO DE INFILTRAÇÃO

Estrutura:	Poço 2 - Brita	
Ensaio:	1	Página: 3/3
Vazão medida:	17:44	Data: 13/03/2018

Tempo	Profundidade	Tempo	Profundidade
03:00:00	2,45	03:31:00	2,48
03:01:00	2,45	03:32:00	2,48
03:02:00	2,45	03:33:00	2,48
03:03:00	2,455	03:34:00	2,48
03:04:00	2,455	03:35:00	2,485
03:05:00	2,455	03:36:00	2,485
03:06:00	2,455	03:37:00	2,485
03:07:00	2,46	03:38:00	2,485
03:08:00	2,46	03:39:00	2,49
03:09:00	2,46	03:40:00	2,49
03:10:00	2,46	03:41:00	2,49
03:11:00	2,46	03:42:00	2,49
03:12:00	2,46	03:43:00	2,49
03:13:00	2,465	03:44:00	2,49
03:14:00	2,465	03:45:00	2,49
03:15:00	2,465	03:46:00	2,49
03:16:00	2,465	03:47:00	2,49
03:17:00	2,465	03:48:00	
03:18:00	2,47	03:49:00	
03:19:00	2,47	03:50:00	
03:20:00	2,47	03:51:00	
03:21:00	2,47	03:52:00	
03:22:00	2,47	03:53:00	
03:23:00	2,47	03:54:00	
03:24:00	2,47	03:55:00	
03:25:00	2,475	03:56:00	
03:26:00	2,475	03:57:00	
03:27:00	2,475	03:58:00	
03:28:00	2,475	03:59:00	
03:29:00	2,475	04:00:00	
03:30:00	2,48	04:01:00	

Observações:

ENSAIO DE CAPACIDADE DE POÇO DE INFILTRAÇÃO

Estrutura:	Poço 2	
Ensaio:	Teste 2	Página: 1
Vazão medida:	16:55	Data: 13/03/2018

Enchimento

Nível d'água inicial:	2,49
Hora início:	13:51:00
Hora Término:	14:03:00
Tempo total:	00:12:21

Esvaziamento

Tempo	Profundidade	Tempo	Profundidade	Tempo	Profundidade
00:00:00	0,86	00:31:00	1,77	01:02:00	2,06
00:01:00	1,07	00:32:00	1,78	01:03:00	2,06
00:02:00	1,19	00:33:00	1,79	01:04:00	2,07
00:03:00	1,28	00:34:00	1,8	01:05:00	2,08
00:04:00	1,34	00:35:00	1,81	01:06:00	2,08
00:05:00	1,39	00:36:00	1,82	01:07:00	2,09
00:06:00	1,42	00:37:00	1,82	01:08:00	2,1
00:07:00	1,45	00:38:00	1,84	01:09:00	2,1
00:08:00	1,47	00:39:00	1,85	01:10:00	2,11
00:09:00	1,49	00:40:00	1,86	01:11:00	2,12
00:10:00	1,505	00:41:00	1,87	01:12:00	2,12
00:11:00	1,53	00:42:00	1,88	01:13:00	2,13
00:12:00	1,54	00:43:00	1,89	01:14:00	2,14
00:13:00	1,55	00:44:00	1,9	01:15:00	2,14
00:14:00	1,56	00:45:00	1,91	01:16:00	2,15
00:15:00	1,58	00:46:00	1,92	01:17:00	2,15
00:16:00	1,59	00:47:00	1,93	01:18:00	2,16
00:17:00	1,6	00:48:00	1,94	01:19:00	2,17
00:18:00	1,62	00:49:00	1,95	01:20:00	2,17
00:19:00	1,63	00:50:00	1,96	01:21:00	2,18
00:20:00	1,65	00:51:00	1,97	01:22:00	
00:21:00	1,66	00:52:00	1,98	01:23:00	
00:22:00	1,67	00:53:00	1,99	01:24:00	
00:23:00	1,68	00:54:00	1,995	01:25:00	
00:24:00	1,69	00:55:00	2	01:26:00	
00:25:00	1,70	00:56:00	2,01	01:27:00	
00:26:00	1,72	00:57:00	2,02	01:28:00	
00:27:00	1,73	00:58:00	2,03	01:29:00	
00:28:00	1,74	00:59:00	2,03	01:30:00	
00:29:00	1,75	01:00:00	2,04	01:31:00	
00:30:00	1,76	01:01:00	2,05	01:32:00	

Observações:

2,10 - Metade

Término - 15:25

ENSAIO DE CAPACIDADE DE POÇO DE INFILTRAÇÃO

Estrutura:	Poço 2 - Brita	Página:	1/2
Ensaio:	3	Data:	13/03/2018
Vazão medida:	17:30		

Enchimento

Nível d'água inicial:	2,18
Hora início:	15:26:00
Hora Término:	15:35:00
Tempo total:	00:09:25

Esvaziamento

Tempo	Profundidade	Tempo	Profundidade	Tempo	Profundidade
00:00:00	0,85	00:31:00	1,74	01:02:00	2,01
00:01:00	1,01	00:32:00	1,75	01:03:00	2,02
00:02:00	1,12	00:33:00	1,76	01:04:00	2,02
00:03:00	1,20	00:34:00	1,71	01:05:00	2,03
00:04:00	1,29	00:35:00	1,78	01:06:00	2,04
00:05:00	1,34	00:36:00	1,79	01:07:00	2,045
00:06:00	1,38	00:37:00	1,80	01:08:00	2,05
00:07:00	1,41	00:38:00	1,81	01:09:00	2,06
00:08:00	1,43	00:39:00	1,82	01:10:00	2,065
00:09:00	1,46	00:40:00	1,83	01:11:00	2,07
00:10:00	1,47	00:41:00	1,84	01:12:00	2,08
00:11:00	1,49	00:42:00	1,84	01:13:00	2,085
00:12:00	1,51	00:43:00	1,85	01:14:00	2,09
00:13:00	1,52	00:44:00	1,86	01:15:00	2,10
00:14:00	1,53	00:45:00	1,87	01:16:00	2,10
00:15:00	1,55	00:46:00	1,88	01:17:00	2,11
00:16:00	1,56	00:47:00	1,89	01:18:00	2,115
00:17:00	1,57	00:48:00	1,90	01:19:00	2,12
00:18:00	1,59	00:49:00	1,91	01:20:00	2,13
00:19:00	1,61	00:50:00	1,92	01:21:00	2,135
00:20:00	1,63	00:51:00	1,92	01:22:00	2,14
00:21:00	1,64	00:52:00	1,93	01:23:00	2,14
00:22:00	1,65	00:53:00	1,94	01:24:00	2,15
00:23:00	1,66	00:54:00	1,95	01:25:00	2,155
00:24:00	1,67	00:55:00	1,96	01:26:00	2,155
00:25:00	1,68	00:56:00	1,96	01:27:00	2,16
00:26:00	1,69	00:57:00	1,97	01:28:00	2,17
00:27:00	1,7	00:58:00	1,98	01:29:00	2,17
00:28:00	1,71	00:59:00	1,99	01:30:00	2,18
00:29:00	1,72	01:00:00	1,995	01:31:00	2,185
00:30:00	1,73	01:01:00	2,00	01:32:00	2,19

Observações:

Término - 18:34

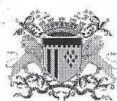
ENSAIO DE CAPACIDADE DE POÇO DE INFILTRAÇÃO

Estrutura:	Poço 2 - Brita	Página:	2/2
Ensaio:	3	Data:	13/03/2018
Vazão medida:	17:30		

Tempo	Profundidade	Tempo	Profundidade	Tempo	Profundidade
01:33:00	2,19	02:04:00	2,295	02:35:00	2,365
01:34:00	2,20	02:05:00	2,3	02:36:00	2,365
01:35:00	2,20	02:06:00	2,3	02:37:00	2,37
01:36:00	2,21	02:07:00	2,305	02:38:00	2,37
01:37:00	2,22	02:08:00	2,305	02:39:00	2,375
01:38:00	2,22	02:09:00	2,31	02:40:00	2,375
01:39:00	2,22	02:10:00	2,31	02:41:00	2,375
01:40:00	2,23	02:11:00	2,315	02:42:00	2,375
01:41:00	2,23	02:12:00	2,315	02:43:00	2,38
01:42:00	2,23	02:13:00	2,32	02:44:00	2,38
01:43:00	2,24	02:14:00	2,32	02:45:00	2,385
01:44:00	2,24	02:15:00	2,325	02:46:00	2,385
01:45:00	2,24	02:16:00	2,325	02:47:00	2,39
01:46:00	2,25	02:17:00	2,325	02:48:00	2,39
01:47:00	2,25	02:18:00	2,325	02:49:00	2,39
01:48:00	2,25	02:19:00	2,33	02:50:00	2,395
01:49:00	2,25	02:20:00	2,335	02:51:00	2,395
01:50:00	2,26	02:21:00	2,335	02:52:00	2,395
01:51:00	2,26	02:22:00	2,34	02:53:00	2,395
01:52:00	2,27	02:23:00	2,34	02:54:00	2,4
01:53:00	2,27	02:24:00	2,345	02:55:00	2,4
01:54:00	2,27	02:25:00	2,345	02:56:00	
01:55:00	2,27	02:26:00	2,35	02:57:00	
01:56:00	2,28	02:27:00	2,35	02:58:00	
01:57:00	2,28	02:28:00	2,35	02:59:00	
01:58:00	2,28	02:29:00	2,355	03:00:00	
01:59:00	2,29	02:30:00	2,355	03:01:00	
02:00:00	2,29	02:31:00	2,355	03:02:00	
02:01:00	2,29	02:32:00	2,36	03:03:00	
02:02:00	2,30	02:33:00	2,365	03:04:00	
02:03:00	2,30	02:34:00	2,365	03:05:00	

Observações:

ANEXO A – DIRETRIZES TÉCNICAS DO EMPREENDIMENTO ONDE FORAM IMPLANTADOS OS POÇOS



MUNICÍPIO DE CAXIAS DO SUL

ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

Secretaria Municipal de Obras e Serviços Públicos

DIRETRIZ PARA PROJETO DE SISTEMA DE DRENAGEM PLUVIAL Nº 056/2015

Requerente: SIVIERO EMPREENDIMENTOS IMOBILIÁRIOS LTDA

Processo: 201542216

Denominação: LOTEAMENTO CAMINHOS DO SOL

Localização: RODOVIA RST 453 - BAIRRO JARDIM DAS HORTÊNCIAS – ÁREA = 45,7 HA

Para o sistema de drenagem pluvial, naquilo que não conflitar com os pareceres de outros órgãos, especialmente aqueles de ordem ambiental, e considerando que seja adotado Sistema Separador Absoluto, conforme diretriz do SAMAE, o empreendimento deverá respeitar as seguintes diretrizes:

1. Como em qualquer outro empreendimento, **o projeto do sistema de drenagem pluvial, somente pode ser aprovado em concordância com a Licença Ambiental Prévia para o mesmo**, atendendo na íntegra às condições e restrições da licença a ser expedida pela SEMMA ou FEPAM. As diretrizes, hora emitidas, são condicionadas à emissão da Licença Ambiental Prévia, havendo qualquer tipo de restrição, estas diretrizes perdem a sua validade, sendo necessária a reanálise do processo.
2. A distribuição da rede pluvial e a malha viária do empreendimento devem ficar compatíveis, ou seja, o arruamento deverá ser disposto de tal maneira que **nenhuma** tubulação seja implantada no meio de quadras. Seguindo esta lógica, sobre os talvegues naturais, **que não possuam restrição ambiental**, e portanto, serão canalizados, é **imprescindível que seja projetada uma via pública**. Ao menos, deverá resguardar uma faixa de uso público com 6 m de largura, que deve constar no projeto urbanístico aprovado pela SMU, que conforme a Lei 6810, em seu artigo 30, se classificará como A.R.P.R. (Área de Reserva para Passagem de Redes). Esta área de reserva será utilizada para a implantação de passagem de equipamentos públicos como as redes de drenagem, esgoto sanitário e água, **deverá ser pavimentado em paralelepípedos, contido por meio-fio, sem cercamento e com pinos de eucalipto, com 1,0 metro de altura, nas extremidades que impeçam a entrada de veículos e permitam a passagem de pedestres** e receber placas indicando a finalidade (ÁREA PÚBLICA PARA PASSAGEM DE REDES).
3. Nenhum trecho das vias poderá apresentar depressão, assim como os lotes que possuírem depressões que possibilitem o empoçamento das águas, deverão ser aterrados e permitir o escoamento uniforme das águas, exceto se possuírem restrição ambiental.
4. O projeto deverá considerar a contribuição pluviométrica do empreendimento e as contribuições pluviométricas externas, assim como as canalizações existentes no entorno, tanto a montante quanto a jusante, não podendo haver redução de diâmetro no prolongamento das redes.
5. Eventuais impactos às propriedades vizinhas decorrentes da implantação do empreendimento, deverão ser sanados, todos por conta do empreendedor. Nos casos de interferência na área dos vizinhos, nas intervenções descritas abaixo, deverão ser seguidas as seguintes considerações:
 - α) Anuência, com firma reconhecida em cartório, de todos os proprietários do lote, e a comprovação da propriedade, através da matrícula atualizada do imóvel:
 - Quando, apenas a descarga dos escoamentos for feita dentro das terras de terceiros;
 - Nos casos de cortes ou aterros junto às divisas da gleba, que resulte na alteração da condição topográfica dos lotes vizinhos.
 - β) As redes que adentrarem em terras de terceiros, somente serão aprovadas, se for averbado na matrícula do imóvel, uma área não edificante, de 6,00 m (seis metros) ao longo do eixo da canalização, sendo 3,00 m (três metros) para cada lado. Também fica condicionada à emissão de licenciamento ambiental para tal.
6. As redes deverão ser implantadas na faixa de rolamento, no eixo da rua.
 - a) A profundidade máxima da cota de assentamento das redes deverá ser de 5 metros.
7. O diâmetro mínimo dos tubos da rede principal deverá ser 600 mm, exceto nos ramais das bocas de lobo que poderão ser de 300 mm. **TODOS OS TUBOS DEVERÃO SER ARMADOS DO TIPO PONTA E BOLSA**, visando a estanqueidade da rede, evitando fugas e infiltrações. **As classes de resistência dos tubos que serão utilizados deverão ser PA-1 ou PA-2, a ser definido em função da altura da camada de aterro sobre o mesmo (recobrimento), ficando definido da seguinte forma, até 3,50 m de camada de aterro,**



MUNICÍPIO DE CAXIAS DO SUL

ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

Secretaria Municipal de Obras e Serviços Públicos

utilizar PA-1, acima de 3,50 m de aterro, utilizar PA-2. Os tubos com diâmetro superior a 1500 mm poderão ser do tipo de encaixe macho e fêmea.

8. O projeto deverá respeitar a seguinte faixa de velocidade de escoamento: $1,0 \text{ m/s} < V < 6,0 \text{ m/s}$. Nos trechos onde a rede apresente velocidade superior a $6,0 \text{ m/s}$, deverá ser adotado dispositivo redutor de velocidade do escoamento, em forma de desnível (degrau), com queda mínima igual ao diâmetro do tubo, entre a entrada e a saída no poço de visita no final do trecho. Podendo, em tubos com $\varnothing$ acima de 800 mm, ser desconsiderado esse dispositivo redutor.
9. Os perfis longitudinais das vias devem ser projetados de forma que obedeçam os limites de declividade máxima permitida e a declividade mínima deve ser de 0,50 %, para possibilitar o bom escoamento das águas da chuva. Também quando a via for até a divisa do empreendimento, e neste ponto estiver previsto corte ou aterro, deverá ser previsto sistema de contenção de corte ou aterro, representado em planta e descrito em memorial.
10. O projeto deverá respeitar os seguintes parâmetros mínimos:
 - Coeficiente de escoamento superficial = 0,6;
 - Período de Retorno = 10 anos;
 - Tempo de concentração = 10 min;
 - Rugosidade (n) = 0,013;
 - $Y/D \leq 70\%$ (altura da lâmina d'água no tubo)
11. O número de caixas coletoras, bem como suas posições, deverão ser adequados à necessidade de captação das águas de sarjeta, não podendo ocorrer afastamento, entre 2 caixas coletoras, superior a 50 m (cinquenta metros). Preferencialmente, no meio de quadra, deverão estar posicionadas na divisa de lotes e, próximas dos cruzamentos, estas deverão facear o alinhamento predial transversal. As caixas coletoras deverão possuir fundo pré-fabricado e paredes em alvenaria de blocos de concreto estrutural com espessura mínima de 14cm, com todos os vazios grauteados. Demais requisitos deverão seguir o padrão da SMOSP através da prancha nº 1990-C2 em anexo.

- NOTA 01: QUANDO O EMPREENDIMENTO ESTIVER NUMA POSIÇÃO QUE POSSA VIR A RECEBER CONTRIBUIÇÕES EXTERNAS, A PARTIR DE SEUS LIMITES, DEVERÁ SER PREVISTA REDE PELO ARRUAAMENTO ATÉ O LIMITE EM QUESTÃO.

12. Os Poços de visita deverão ser dispostos em todos os cruzamentos de rede, com distâncias não superiores a 120 m (cento e vinte metros), devendo serem providos de tampões de visita em concreto armado.
13. Nos poços de visita e caixas de ligação onde houverem várias ligações de caixas coletoras, principalmente nos cruzamentos das vias, onde são previstas a maioria dessas caixas coletoras, devem ser previstas caixas de ligações auxiliares antes dos Pvs para evitar a interferência entre as ligações dos tubos da rede principal com as ligações das caixas coletoras, evitando assim ligações inadequadas.
14. Nas junções de redes com diâmetros diferentes, os tubos de menor diâmetro, devem, no mínimo, possuir cota da geratriz superior interna igual à do tubo de maior diâmetro, ou acima.
15. Deverão ser instaladas alas de bueiro nas saídas e entradas de redes (respectivamente conforme modelos esquemáticos 2336 e 2337 em anexo). As alas citadas deverão ter símbolo gráfico específico para cada tipo, descritos em legenda na planta, além de desenho detalhado das mesmas.
16. Padrão da SMOSP para o material e as dimensões internas de poços de visita e caixas de passagem à serem adotadas e que devem ser descritas no memorial:
 - Alvenaria em blocos de concreto estrutural de 19 cm de espessura, com todos os vazios grauteados e armados com uma barra de ferro 8.0 mm em cada furo.
 - Tampa com espessura de 20 cm e armada com malha dupla de ferro 10.0 mm a cada 10 cm
 - Fundo com espessura de 10 cm e armado com malha simples de ferro 10.0 mm a cada 20 cm
 - Para tubos de 600 mm, 1,20 x 1,20 m
 - Para tubos de 800 e 1000 mm, 1,60 x 1,60 m em parede dupla
 - Para tubos de 1200 mm, 2,0 x 2,0 m em parede dupla
 - Para tubos de 1500 mm, 2,50 x 2,50 m em parede dupla
 - A partir de 2,50 m de altura, todas as caixas e Pvs devem ser executados em parede dupla
 - O concreto deve ser usinado, com fck mínimo de 25 Mpa e recobrimento interno mínimo de 4 centímetros e externo 3 centímetros, demais requisitos deverão atender norma NBR-6118.



MUNICÍPIO DE CAXIAS DO SUL

ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

Secretaria Municipal de Obras e Serviços Públicos

- NOTA 02: OS POÇOS DE VISITA E CAIXAS DE PASSAGEM PODEM SER EXECUTADAS EM CONCRETO ARMADO COM ESPESSURA DE 15 CM

- NOTA 03: SE O EMPREENDEDOR TEM A INTENÇÃO DE UTILIZAR OUTRA CONFORMAÇÃO OU MATERIAL PARA A EXECUÇÃO DOS POÇOS DE VISITA, CAIXAS DE PASSAGENS, CAIXAS COLETORAS, TUBOS ETC..., DEVE ENCAMINHAR A ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA PARA ANÁLISE E APROVAÇÃO DA SMOSP.

17. Considerando a importância da adoção de medidas de controle de vazão, que impeçam o impacto a jusante que o empreendimento causaria, caso não fosse adotado nenhum dispositivo de controle, o projeto pluvial deverá prever um sistema de contenção das águas da chuva, utilizando o seguinte critério:
- O volume de contenção será o necessário para conter 10 minutos das diferenças de vazão, calculadas com o coeficiente de escoamento superficial 0,6 (cenário futuro – urbanizado) e o coeficiente 0,3 (cenário atual – rural). A área de contribuição a ser considerada para o cálculo supracitado será apenas a do empreendimento.
 - O sistema deverá funcionar por gravidade e poderá ser composto por lagos e/ou tanques, abertos ou fechados, podendo serem localizados sob o leito das vias, em ARPR's ou **APP's, nesta última desde que para sua execução e acesso não implique em retirada de vegetação e os volumes de movimentação de terras para a conformação do tanque sejam mínimos.** Também sobre os **tanques em APP, a cheia do mesmo não poderá atingi-los, pois deve estar localizados, no mínimo à 15 m do curso de água,** o empreendedor deverá dar solução ao possível problema sob pena do empreendimento não ser recebido.
 - A vazão de saída (do tubo de controle) do sistema de contenção, deverá ser tal, que em 10 minutos encha o lago e/ou tanque, que deve possuir extravasor com diâmetro igual ao do tubo de entrada;
 - Quando o sistema for composto por tanques em concreto, estes deverão apresentar o projeto estrutural acompanhado da respectiva ART.
 - O sistema de contenção deve ser cercado:
 - a . **Se localizado em APP junto ou separado do SLTE, ou se for destinado um lote para este equipamento, deverá ser cercado por postes de concreto e tela, tudo similar ao padrão SAMAE e para aprovação deve ser demonstrada a localização do SLTE. Também será analisado caso a caso o afastamento do sistema de contenção em relação ao SLTE, sugiro que seja considerado um afastamento de 5,0 metros.**
 - **NOTA 04: EM TODOS OS CASOS O ACESSO AO SISTEMA DE CONTENÇÃO DEVERÁ ESTAR REPRESENTADO EM PLANTA, REGULARIZADO E REVESTIDO COM CAMADA DE PEDRA BRITADA.**
 - O concreto deve ser usinado, com fck mínimo de 25 Mpa e recobrimento mínimo de 4 centímetros, demais requisitos deverão atender norma NBR-6118.

18. Para a aprovação definitiva, o requerente deverá apresentar:

Em uma via:

- Cópia da Licença Prévia da SEMMA e/ou FEPAM;
- Cópia destas Diretrizes;
- Cópia da Comunicação de Viabilidade emitida pela SMU, com a respectiva planta urbanística;
- Cópia das ARTs dos projetos envolvidos no sistema de drenagem e terraplenagem;
- Planta de Situação da Gleba;
- Planta planialtimétrica do levantamento topográfico da gleba, com curvas de nível de metro em metro, ultrapassando o perímetro da gleba a parcelar em todos os sentidos em 50 (cinquenta) metros indicando com exatidão os detalhes da gleba a parcelar, tais como: vias de comunicação existentes, obras de arte, cursos d'água, mananciais, sangas e outros componentes naturais e interferências;
- Projeto de terraplenagem, com os perfis transversais e longitudinais das vias.

Em quatro vias (inicialmente, uma via para a análise e conferência do dimensionamento, posteriormente, para aprovação e carimbos, no mínimo, mais três vias):

- Projeto da Rede Pluvial, com a planta do parcelamento contendo o arruamento, as tubulações existentes e projetadas, além das caixas de ligação e coletoras. Para cada trecho de rede deverá ser indicado a sua extensão, diâmetro, sentido de escoamento, declividade e as cotas do greide de pavimentação e de projeto (geratriz inferior interna da rede coletora) indicadas nos nós. As tubulações deverão ser desenhadas em destaque e todos os símbolos gráficos deverão ser descritos em legenda. O projeto deverá ser entregue para análise na forma impressa e digital no formato dwg;
- Memorial Descritivo da rede pluvial, incluindo a Metodologia de Cálculo e os parâmetros adotados;



MUNICÍPIO DE CAXIAS DO SUL

ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

Secretaria Municipal de Obras e Serviços Públicos

- Planilha de Cálculo de vazões e velocidades, na forma impressa e digital no formato xls.

A SMOSP reserva-se o direito de solicitar uma cópia de cada Diretriz elaborada pelos demais Órgãos e Secretarias da Administração Municipal, para a análise e verificação da compatibilidade com o projeto de rede pluvial.

19. No Memorial Descritivo, será obrigatório constar as seguintes especificações:

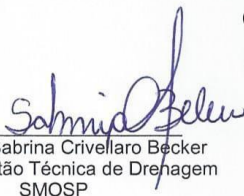
- Os tipos de tubos utilizados e suas classes de resistência;
 - Os locais, caso sejam implantadas A.R.P.R's, descrevendo suas características;
 - Que o fundo da vala será revestido com uma camada mínima de brita de 7 cm de espessura;
 - Que será respeitado o sentido de escoamento no assentamento dos tubos, ou seja, a bolsa a montante e a ponta a jusante;
 - Que todos os tubos serão rejuntados com argamassa de cimento e areia;
 - Que nas ruas que estiverem em rampa com inclinação superior a 10% e pavimentadas em paralelepípedos ou em blocos de concreto intertravados, as sarjetas serão revestidas com nata de cimento na largura mínima de 50 centímetros;
 - Que nas caixas dissipadoras de energia, quando ocorrerem, o ressalto será no mínimo igual ao diâmetro do tubo;
 - Que na determinação da profundidade da vala, será considerada uma cobertura mínima de 60 cm contados a partir da bolsa do tubo, em qualquer ponto da rede;
 - Que a largura mínima da vala corresponderá ao diâmetro externo do tubo, acrescido de 50 cm de cada lado.
- Descrição dos poços de visita e caixas de passagem, material a utilizar e forma de execução

20. O que não for estabelecido nestas Diretrizes, mas que diga respeito ao projeto da rede pluvial, deverá obedecer às Normas Brasileiras específicas.

21. Considerações específicas: **Nesta data o projeto de drenagem aprovado no dia 28.08.15 pelo processo nº. 2014010013 perde seu valor legal.**

22. Diretriz válida por dois anos a contar da data de sua emissão.

Caxias do Sul, 28 de outubro de 2015.


Engª Civil Sabrina Crivellaro Becker
Dep. de Gestão Técnica de Drenagem
SMOSP