

Universidade Federal da Grande Dourados

Éllora Sponchiado

Poço de infiltração e pavimento permeável como técnica compensatória de drenagem urbana de controle na fonte

Dourados
2021

Éllora Sponchiado

Poço de infiltração e pavimento permeável como técnica compensatória de drenagem urbana de controle na fonte

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Lôide Angelini Sobrinha
Área de concentração: Engenharia Civil

Dourados
2021



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

ANEXO H – ATA DE DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Às 13:30 horas do dia 22 de novembro de 2021, realizou-se no Google Meet a defesa pública do Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil, intitulado Poço de infiltração e pavimento permeável como técnica compensatória de drenagem urbana de controle na fonte, de autoria da discente Éllora Sponchiado, como requisito para a aprovação no componente curricular Trabalho de Conclusão de Curso II.

Após a defesa e posterior arguição, a banca examinadora concluiu que o Trabalho apresentado deve ser:

(x) Aprovado

() Reprovado

A discente declara ciência de que a sua aprovação está condicionada à entrega da versão final (corrigida e assinada) do Trabalho de Conclusão de Curso, nos termos em que especifica o regulamento do componente curricular, em anexo ao Projeto Pedagógico do Curso de Engenharia Civil da UFGD. A orientadora se responsabilizará pela verificação e aprovação das correções do manuscrito feitas pelo discente para a elaboração da versão final.

OBSERVAÇÕES ADICIONAIS

DISCENTE

Nome: Éllora Sponchiado Assinatura: _____

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Lôide Angelini Sobrinha Assinatura: _____

Membro: Danielle Cristine Pedruzzi Assinatura: _____

Membro: Nathalia Leite Bittencourt Figueiredo Assinatura: _____

POÇO DE INFILTRAÇÃO E PAVIMENTO PERMEÁVEL COMO TÉCNICA COMPENSATÓRIA DE DRENAGEM URBANA DE CONTROLE NA FONTE

SPONCHIADO, Élora¹; ANGELINI SOBRINHA, Lôide²;
ellorasp@gmail.com¹; loidesobrinha@ufgd.edu.br²;

Discente do curso de Engenharia Civil da UFGD¹; Docente do curso de Engenharia Civil da UFGD²

RESUMO - Tendo em vista a necessidade de diretrizes técnicas para dimensionamento e implementação das técnicas compensatórias de drenagem urbana apresentadas na Lei Complementar nº 205/2012 de Dourados, esta pesquisa delimitou-se em colher informações sobre o conceito e a aplicação de tais técnicas (poço de infiltração e pavimento permeável) e apresentar recomendações para o dimensionamento e implementação das mesmas. Para isso, realizou-se uma pesquisa bibliográfica sobre a concepção, o uso e a aplicabilidade das duas técnicas e, reuniram-se informações sobre o dimensionamento e a implementação das mesmas. Os dados levantados nesta pesquisa permitiram apresentar recomendações para projeto e para implementação de pavimento permeável e poço de infiltração.

Palavras-chave: inundações; técnicas compensatórias de drenagem; recomendações de projeto.

ABSTRACT - In view of the need for technical guidelines for the design and implementation of best management practices for urban drainage presented in Complementary Law n. 205/2012 of Dourados, this research was limited to collecting information of the concept and application of such techniques (infiltration well and permeable pavement) and to present recommendations for the design and implementation of the techniques mentioned in the aforementioned law. For this, a bibliographical research was carried out on the conception, use and applicability of the two techniques and information was gathered on their dimensioning and implementation. The data collected in this undergraduate thesis allowed us to present recommendations for the design and implementation of permeable pavement and infiltration well for the city of Dourados.

Keywords: floods; best management practices; project recommendations.

1 INTRODUÇÃO

Para Tucci (1995), o acelerado processo de urbanização, principalmente a partir dos anos 80, foi realizado sem o planejamento adequado e praticamente sem infraestrutura e, um importante desdobramento dessa realidade é a geração de impactos sobre os recursos hídricos, principalmente sobre a drenagem urbana. Bispo e Levino (2011) consideram que haverá principalmente uma alteração do regime de produção: a impermeabilização do solo impede a infiltração da água, acentuando os problemas da erosão urbana e aumentando os picos de cheia. Por outro lado, a minimização da recarga nos solos, reduz a disponibilidade de água nos períodos de baixa precipitação.

A saída tradicionalmente adotada foi a de canalizar os cursos d'água, a fim de aumentar a velocidade de escoamento e expulsar a água rapidamente (TUCCI, 1995). Tal solução, porém, acaba por transferir o problema para áreas a jusante na bacia hidrográfica, aumentando a magnitude e frequência das inundações, o que deixa claro a necessidade de se planejar ações preventivas e corretivas para se controlar as inundações, e integrar essas medidas ao planejamento urbano como um todo, por meio dos planos diretores (CANHOLI, 2005).

Segundo Tucci (2003), as medidas estruturais de controle podem ser classificadas de acordo com o componente da drenagem, sendo divididas em: i) controle na fonte, que limita-se ao nível de lote ou qualquer área primária de desenvolvimento; ii) na microdrenagem, com medidas adotadas em nível de loteamento; e na macrodrenagem, com soluções de controle nos principais rios urbanos.

Poços de infiltração, trincheiras de infiltração, jardins de chuva, pavimentos permeáveis e bacias de retenção são alguns exemplos de aplicação de técnicas de controle na fonte. Entre as técnicas de controle no lote, que envolvem soluções de retenção e de detenção, ou soluções mistas, o uso dos sistemas que promovem a infiltração da água de chuva no local de incidência vem sendo amplamente estudado em trabalhos como Angelini Sobrinha (2012), Reis e Ilha (2014), Zhang e Guo (2014), Barbassa, Angelini Sobrinha e Moruzzi (2014), Locatelli (2015), Jia (2016), Toran e Jedrzejczyk (2017) e Bockhorn (2017).

Para implementar medidas sustentáveis na cidade é necessário desenvolver o Plano Diretor de Drenagem Urbana. Conforme Tucci (2003), o desenvolvimento de medidas

não-estruturais, aplicado a legislação, para a concepção futura de loteamentos e de medidas estruturais são a base do desenvolvimento de um Plano Diretor eficiente.

O município de Dourados dispõe do Plano Municipal de Saneamento Básico, no qual são apontadas soluções para minimizar problemas relacionados ao saneamento básico e o manejo de águas pluviais. Porém, a implementação de medidas estruturais é prevista na Lei Complementar nº 205, de 19 de outubro de 2012, que dispõe diretrizes sobre o zoneamento, uso e ocupação do solo e o sistema viário no município de Dourados, e indica, através da Taxa de Permeabilização do Solo (TPS), medidas que propiciem a percolação de água no solo, como revestimentos permeáveis, sumidouros e dutos.

Entretanto, o município não dispõe de um documento que reúna informações técnicas sobre o dimensionamento e a implementação das técnicas apresentadas na Lei Complementar nº 205 de 19 de outubro de 2012, como é o caso de outros municípios brasileiros: São Carlos/SP (Lei Municipal 13246, de 2003); São Paulo/SP (Lei Municipal 16402, de 2016); Campo Grande/MS (Lei Complementar 74, de 2005).

Portanto, esta pesquisa apresenta recomendações para o dimensionamento e a implementação de poço de infiltração (sumidouro) e pavimento permeável, como técnicas compensatórias de drenagem urbana de controle na fonte.

1.1 Apresentação da Lei 205 de 19 de outubro de 2012

A Lei nº 205 apresenta em seu Artigo 93 o conceito de Taxa de Permeabilização do Solo (TPS), sendo este um percentual de área de solo natural do imóvel descoberta e propícia à percolação de água no solo, que varia de acordo com o zoneamento e utilização do lote (BRASIL, 2012).

Destaca-se no Artigo 94 da referida lei, que a TPS poderá ser menor do que o indicado na lei, desde que assegurada a percolação da água no solo por meio de sumidouros, pavimentos, dutos ou outros canais que garantam a veiculação da água pluvial para o lençol freático (BRASIL, 2012).

A lei ressalta que a área permeável deverá ser discriminada no projeto arquitetônico e poderá ser compensada nas seguintes condições:

- I - Nos empreendimentos uniresidenciais com área construída igual ou superior a 400m² (quatrocentos metros quadrados) deverão ser executadas caixas de captação de águas pluviais com capacidade de retenção de, no mínimo, 2.000l (dois mil litros) de água destinada para o reaproveitamento secundário;
- II - Será admitida como alternativa para o atendimento da taxa de permeabilidade a execução de sumidouros de águas pluviais com capacidade de retenção de, no mínimo, 50l (cinquenta litros) de água por metro quadrado de terreno que não

atenda a taxa de permeabilidade prevista para a respectiva área urbana ou via do sistema viário, respeitado o mínimo de 1.000l (mil litros) (BRASIL, 2012, p. 96).

Para a garantia da percolação da água no subsolo, por meio de sumidouros e dutos, a obra será vistoriada por um técnico do poder público para comprovação, sendo exigido o licenciamento ambiental da edificação, com planilhas de cálculos sobre os índices de percolação da água ou suas compensações (BRASIL, 2012).

A lei apresenta medidas que podem ser aplicadas em situações em que a permeabilidade mínima do solo exigida não seja atingida, podendo o executor escolher a técnica que melhor se adeque a sua necessidade e de acordo com a área construída.

Em ressalva, devido a ampla discussão do tema, não cabe a este trabalho discutir o aproveitamento de águas pluviais, apenas técnicas que propiciem a percolação da água no solo.

1.2 Pavimento Permeável como técnica compensatória de Drenagem Urbana

Segundo a NBR 16416 o pavimento permeável é uma estrutura que permite a percolação e/ou o acúmulo temporário de água, diminuindo o escoamento superficial, sem causar dano à sua estrutura (ABNT, 2015). São constituídos de superfícies porosas ou perfuradas que permitem a infiltração de parte do escoamento superficial para dentro de uma camada de reservação situada sob o terreno, formada por pedras de granulometria diferenciada, a qual deve ser adequadamente protegida contra colmatção (COSTA JUNIOR, 2006).

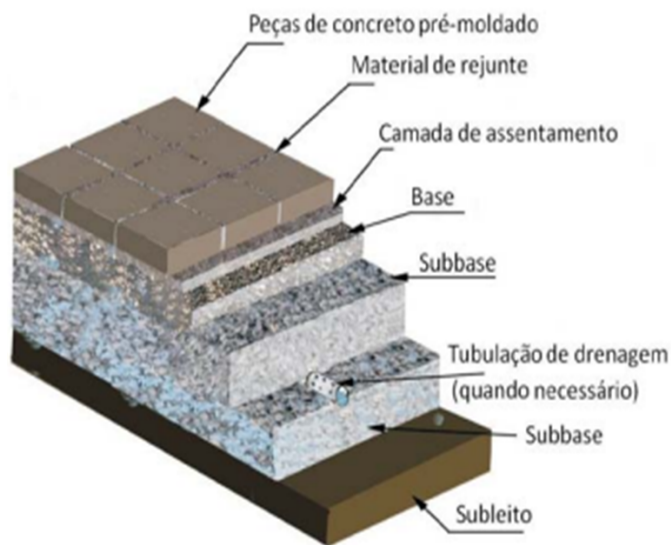
Os pavimentos permeáveis, segundo Urbonas e Stahre (1993), são classificados em três tipos: pavimento de asfalto poroso, de concreto poroso e de blocos de concreto perfurado preenchido com areia ou grama. Araújo et al. (2000) especifica que a camada superior dos pavimentos porosos (asfalto ou concreto) é construída de forma similar aos pavimentos convencionais, mas com a retirada da fração da areia fina da mistura dos agregados do pavimento, já os blocos de concreto vazados são colocados acima de uma camada de base granular (areia), sobrepostos por filtros geotêxteis que são colocados sob a camada de areia fina para prevenir a migração da areia fina para a camada granular.

Araújo et al (2000) explica que o escoamento infiltra rapidamente na capa ou revestimento poroso (espessura de 5 a 10 cm), passa por um filtro de agregado de 1,25 cm de diâmetro e, espessura de aproximadamente 2,5 cm e vai para uma câmara ou

reservatório de pedras mais profundo com agregados de 3,8 a 7,6 cm de diâmetro. A capa de revestimento permeável somente age como um conduto rápido para o escoamento chegar ao reservatório de pedras.

O escoamento drenado pelo pavimento pode ser infiltrado diretamente pelo subsolo ou encaminhado para uma saída através de tubos de drenagem (Figura 1). Assim, a capacidade de armazenamento dos pavimentos porosos é determinada pela espessura do reservatório de pedras subterrâneo (mais o escoamento perdido por infiltração para o subsolo) (ARAÚJO et al, 2000).

Figura 1 - Seção típica de pavimento permeável



Fonte: Adaptada de Eisenberg; Lindow; Smith (2015).

Urbanas e Stahre (1993) mencionam que não existem limitações para o uso do pavimento permeável, exceto quando a água não pode infiltrar para dentro do subsolo, devido à baixa permeabilidade do solo ou se o nível do lençol freático for alto, ou ainda se houver uma camada impermeável que não permita a infiltração. Neste caso, o pavimento permeável poderá funcionar como um poço de retenção, conforme orienta Araújo et al. (2000), para isso basta adicionar uma membrana impermeável entre o reservatório e o solo existente e complementar o sistema de drenagem com tubos perfurados espaçados de 3 a 8 m para coleta desse escoamento.

As suas principais aplicações podem ser em: áreas de aeroporto com pequena movimentação de veículos, estacionamentos e calçadas residenciais, pistas e estradas em manutenção, dentre outras. A sua eficiência na redução do escoamento superficial depende de cuidados na manutenção para evitar a colmatagem do solo (TASSI, 2002).

Para Suzuki *et al.* (2013) os pavimentos permeáveis possuem como vantagens: a infiltração da água no pavimento, que reduz o volume de água na rede de drenagem e ameniza os riscos de inundações; podem ser utilizados em locais sem rede de drenagem; promovem o controle do escoamento superficial na fonte, reduzindo os impactos hidrológicos da urbanização; permitem economias com futuros gastos em ampliação da rede de drenagem para comportar escoamentos superficiais provindos de novas áreas impermeabilizadas, uma vez que aliviam a rede de drenagem; quando a qualidade da água escoada superficialmente não for poluída a ponto de comprometer o lençol subterrâneo, esta forma de pavimentação pode aumentar a recarga do aquífero; melhoramento da qualidade da água por remoção de poluentes; diminuição da necessidade de meio-fios e canais de drenagem; diminui a derrapagens e dissipação de ruídos, melhorando a segurança e o conforto nas vias; são uma forma de drenagem que não ocupa espaços extras, integrando-se completamente à obra.

Em contrapartida, como desvantagens específicas aos pavimentos permeáveis tem-se: o fato de haver carência de conhecimento na área, o que gera imperícia na aplicação desta tecnologia, fazendo com que não se atinjam os objetivos desejados; a grande tendência à obstrução dos poros do pavimento devida à má instalação ou conservação da estrutura; o alto risco de ineficiência do sistema devido à má construção ou colmatação; e o risco de contaminação do aquífero, a depender da situação do solo (SUZUKI *et al.*, 2013). Schueler (1987) afirma que um dos principais defeitos que afetam a durabilidade do pavimento permeável é a deformação, pois a granulometria dos agregados afeta diretamente o desempenho das misturas.

1.3 Poço de infiltração como técnica compensatória de drenagem urbana

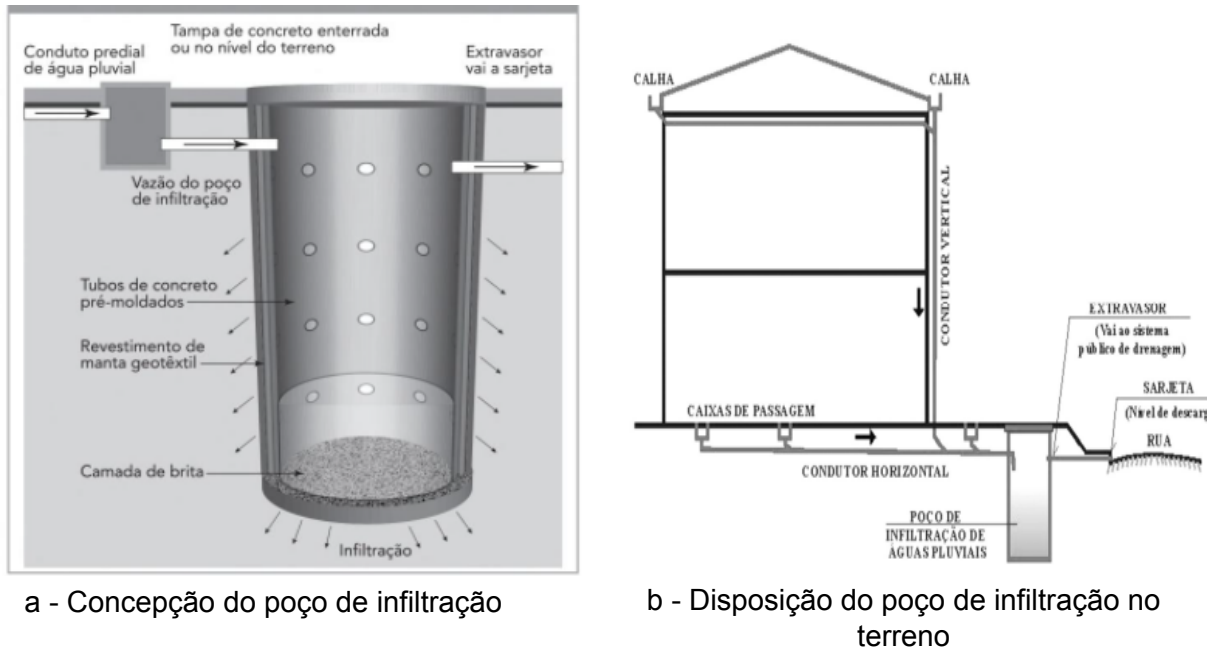
O poço de infiltração consiste em técnica compensatória denominada pontual (pequena área em planta), a qual visa atenuar os efeitos decorrentes do escoamento superficial direto em sua geração e também pode ser designada como técnica de controle do escoamento superficial direto na fonte. Sua função é infiltrar as águas pluviais, visando amortecer os picos de vazão que possam atingir o sistema de drenagem convencional e, conseqüentemente, diminuir o volume do escoamento superficial pela retenção do volume excedente de chuva no solo (BARBASSA; ANGELINI SOBRINHA; MORUZZI, 2014).

Segundo Carvalho Junior (2021), deverá ser instalado um sistema de captação pluvial que conduza toda a água captada por telhados, coberturas, terraços e pavimentos descobertos ao dispositivo de retenção das águas pluviais, de modo que a água precipitada não seja lançada diretamente para as ruas e sarjetas. O autor especifica que a água retida pelo reservatório deverá preferencialmente infiltrar-se no solo, podendo ser despejada na rede pública de drenagem após uma hora de chuva, ou ser conduzida para outro reservatório para ser utilizada para finalidades não potáveis.

O critério de aplicação de uma hora de chuva é defendido por Carvalho Junior (2021) e aplica-se especificamente a pesquisa citada. Em geral, o poço é dimensionado para um determinado período de retorno e quando excede esse período o volume excedente é extravasado para a drenagem convencional.

Reis, Oliveira e Sales (2008) e Carvalho Junior (2021) propõem modelo de reservatório de controle que consiste em um poço escavado no solo, revestido por tubos de concreto perfurados ou tijolos assentados em crivo, envoltos por uma manta geotêxtil fazendo a interface solo/tubo, e fundo e laterais revestidos por uma camada de agregados graúdos, também envolta por geotêxtil, de forma a permitir a infiltração do volume de água pluvial escoado para o seu interior (Figura 2a). Nessa solução de drenagem na fonte, toda água de chuva captada pela edificação é lançada inicialmente no poço de infiltração. Somente após a diminuição da capacidade de absorção do solo e total enchimento do poço, a água passa a ser lançada no sistema público de drenagem, por meio de extravasores do próprio poço de infiltração (Figura 2b).

Figura 2 - Poço de infiltração de águas pluviais



Fonte: a - Carvalho Junior, (2021); b - Reis; Oliveira; Sales, (2008).

Algumas adaptações na configuração do sistema predial de águas pluviais permitem o emprego dos poços de infiltração em subsolos de edifícios situados abaixo no nível da via pública (REIS; OLIVEIRA; SALES, 2008). Nesse caso, o bombeamento é uma adequação do sistema para evitar os picos de cheia, pois possibilita que a água pluvial seja conduzida de um nível mais baixo que o da via urbana para o nível de extravasamento mais elevado, após o enchimento do poço, sem que haja inundação das áreas comuns do edifício.

2. Metodologia

A fim de apresentar recomendações para dimensionamento e implantação de técnicas compensatórias de drenagem urbana foi realizada uma revisão bibliográfica sobre o tema, nos diversos meios de divulgação de trabalhos científicos, como os artigos científicos de Araújo, Tucci e Goldenfum (2000), Silveira e Goldenfum (2007) e Barbassa, Angelini Sobrinha e Moruzzi (2014) e livros especializados como Baptista, Nascimento e Barraud (2011), Canholi (2014) e Carvalho Junior (2021), e dissertação de mestrado de Angelini Sobrinha (2012).

Ressalta-se a escassez de material científico e técnico sobre o tema que contribuam para o correto dimensionamento de poços de infiltração e de pavimentos permeáveis e os tornem acessíveis para uso em edificações residenciais e comerciais.

3.0 Resultados e discussão

Neste tópico serão apresentados dois métodos de dimensionamento de pavimento permeável com base nos autores Araújo et al. (2000) e Silveira e Goldenfum (2007) e o dimensionamento para poço de infiltração de Carvalho Junior (2021).

A concepção dos projetos de pavimentos permeáveis tem como base um sistema de infiltração total no subsolo a partir de blocos permeáveis assentados sobre reservatório de pedras. Ambos os dimensionamentos utilizam dados da curva Intensidade-Duração-Frequência (IDF) e tempo de retorno das chuvas do local a ser aplicado.

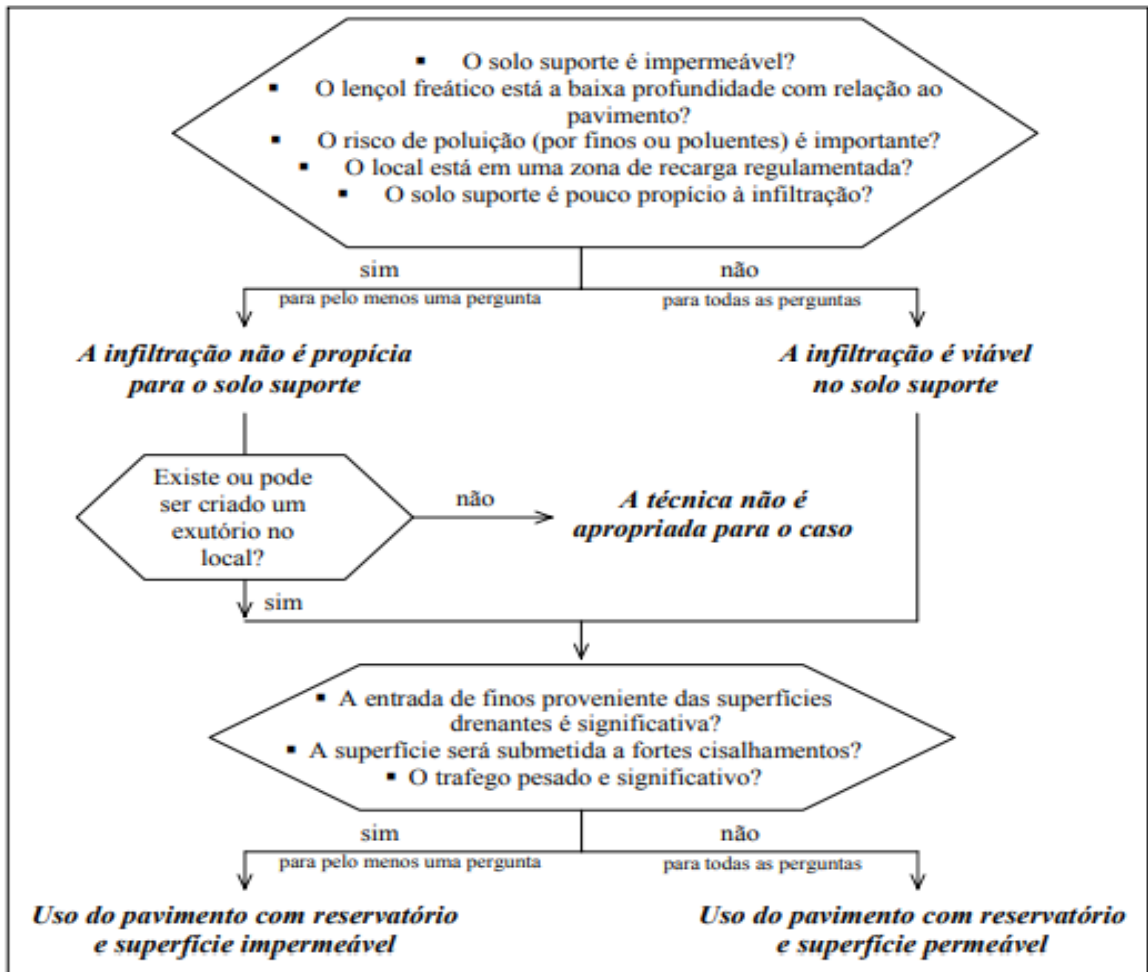
Araújo et al. (2000) propõe um dimensionamento sem tubos de drenagem na parte superior do reservatório, mas que pode ser adaptado para transportar o escoamento para uma saída, conforme complementa Virgiliis (2009). Silveira e Goldenfum (2007) estimam a altura da camada de pedras do reservatório através do método da curva envelope ou “método das chuvas”.

Para o poço de infiltração, Carvalho Junior (2021) apresenta a integração do aproveitamento de água pluvial com o poço de infiltração, devido a alta contribuição para o controle do escoamento superficial e como forma de reduzir o consumo de água potável - para casos em que haja o reúso da água captada. Seu dimensionamento parte de dados de intensidade de chuva e estima o volume médio de acumulação do dispositivo

3.1 Parâmetros para dimensionamento de pavimentos permeáveis

O dimensionamento de um pavimento permeável inicia-se pela análise de viabilidade de sua implantação. O estudo de viabilidade permite determinar se o pavimento permeável é a alternativa de controle na fonte mais adequada para as condições do local de implantação (ACIOLI, 2005). Um exemplo de análise de viabilidade para uso de pavimento permeável é apresentado na Figura 3.

Figura 3 - Fluxograma modelo para análise de viabilidade do pavimento permeável



Fonte: Adaptada de Azzout et al. (1994).

Em fase de projeto, deve-se realizar uma avaliação do local onde será implantado esse tipo de pavimento, determinando a área de contribuição e sua taxa de impermeabilização para calcular o volume de água que possa ser armazenada na estrutura do pavimento. Além da estrutura, deve-se avaliar a qualidade da água com relação a presença de contaminantes e quantidade de finos existentes que possam prejudicar na eficiência do pavimento entupindo os poros (AZZOUT et al., 1994).

É necessário conhecer as vias de acesso, os tipos de usuários e frequência de eventos, composição e magnitude dos veículos de carga em relação ao volume total, para o devido dimensionamento estrutural do pavimento (VIRGILIIS, 2009).

O dimensionamento envolve a determinação do volume drenado pela superfície ou por outro contribuinte que escoar para a área do pavimento (ARAÚJO et al, 2000). Para os autores, a precipitação é obtida com base no tempo de retorno escolhido e da curva Intensidade-Duração-Frequência (IDF) do local.

Para o dimensionamento de um sistema de infiltração total com reservatório de pedras (sem tubos de drenagem na parte superior e com saída por infiltração no subsolo), o reservatório de pedras deve ser grande o suficiente para acomodar o volume do escoamento de uma chuva de projeto menos o volume de escoamento que é infiltrado durante a chuva. O volume de escoamento superficial gerado pela precipitação pode ser estimado através da Equação 1:

$$Vr = (ip + c - ie) \cdot td \quad (1)$$

Em que: Vr é o volume de chuva a ser retido pelo reservatório (em mm), ip é a intensidade máxima da chuva de projeto (em mm/h), ie é a taxa de infiltração do solo (em mm/h), td é o tempo de duração da chuva (em horas) e, c é um fator de contribuição de áreas externas ao pavimento permeável e, pode ser estimada pela Equação 2:

$$c = \frac{ip \cdot Ac}{Ap} \quad (2)$$

Em que: Ac é área externa de contribuição para o pavimento permeável e Ap é a área de pavimento permeável.

A profundidade do reservatório de pedras do pavimento permeável é determinada pela Equação 3:

$$H = \frac{Vr}{f} \quad (3)$$

Em que: H é a profundidade do reservatório de pedras (em mm) e f é a porosidade do material. A porosidade pode ser determinada pela Equação 4:

$$f = \frac{Vl + Vg}{Vt} \quad (4)$$

Em que: Vl é o volume de líquidos, Vg é o volume de vazios e Vt é o volume total da amostra.

Araújo *et al.* (2000) afirmam que, a partir dos valores de porosidade e do volume de água retido, pode-se estimar a profundidade do reservatório de pedras, e aconselha, por questões práticas, adotar a profundidade mínima do reservatório de pedras de 15 cm.

Para Silveira e Goldenfum (2007), a espessura da camada suporte porosa (geralmente brita) do pavimento permeável pode ser pré-dimensionada através do método da curva envelope ou “método das chuvas”. Os autores expressam o volume em lâminas d'água de entrada (He) e de saída (Hs) acumulada e, equivalentes sobre a área em planta da Medida de Controle (MC) na fonte. Os dados de He são representados por uma curva e é dada pela Altura-Duração-Frequência (ADF) das chuvas, afetada por coeficientes de

escoamento e de relação de áreas, enquanto os dados de Hs são representados por uma reta, pois admite-se, por simplicidade, uma vazão de saída constante do dispositivo.

O volume máximo suportado pelo dispositivo pode ser calculado diretamente pela expressão de Talbot. Parte-se, portanto, de relações IDF com a expressão geral análoga à de Talbot (AZZOUT et al, 1994), conforme Equação 5:

$$i = \frac{a.T^b}{t} / + c \tag{5}$$

Em que: i é a intensidade da chuva (mm/h), T é o período de retorno (anos), t é a duração da chuva (min) e, a, b, c são os parâmetros da equação estabelecidos a partir de simulações numéricas.

Como a expressão de Talbot não é tão comum, também encontra-se a fórmula da relação Intensidade-Duração-Frequência (IDF) na seguinte forma:

$$i = k.T^m / (t + d)^n \tag{6}$$

Em que, a partir de simulações matemáticas pôde-se relacionar os parâmetros a, b e c em:

$$a = 0,68.k.exp(0,06.n - 0,26.d.1,13); \quad b = m; \quad e \quad c = 1,32.n^{-2,28}d^{0,89} \tag{7, 8 e 9}$$

As equações IDF são desenvolvidas para diversas cidades brasileiras (FESTI, 2021).

Desta forma, a expressão de HE, em mm, fica:

$$He = \beta \left\{ \left(\frac{a.T^b}{t} + c \right) \cdot \frac{t}{60} \right\} \tag{10}$$

Em que: β é produto do coeficiente de escoamento (Tabela 1) pela razão entre a área contribuinte e a área do dispositivo.

Tabela 1 - Coeficiente de escoamento superficial

USO DO SOLO	PERÍODO DE RETORNO (ANOS)			
	2-10	25	50	100
Áreas residenciais				
Gramados planos	0,10-0,25	0,11-0,28	0,12-0,30	0,13-0,31
Gramados íngremes	0,25-0,40	0,28-0,44	0,30-0,48	0,31-0,50
Continuação				
Condomínio c/ lotes >300m²	0,30-0,04	0,33-0,44	0,36-0,48	0,31-0,50

Continuação

Residências unifamiliares	0,45-0,55	0,50-0,61	0,54-0,66	0,56-0,69
Uso misto - denso	0,50-0,60	0,55-0,66	0,60-0,72	0,63-0,75
Prédios/conjunto de apartamentos	0,60-0,70	0,66-0,77	0,72-0,84	0,75-0,88
Playgrounds / Praças	0,40-0,50	0,44-0,55	0,48-0,60	0,50-0,63
Áreas comerciais				
Centrais	0,75-0,85	0,83-0,94	0,90-0,95	0,94-0,95
Periféricas	0,55-0,65	0,61-0,72	0,66-0,78	0,69-0,81
Solo exposto	0,20-0,30	0,22-0,33	0,24-0,36	0,25-0,38
Telhados	0,80-0,90	0,90	0,90	0,90

Fonte: Adaptada de Canholi (2014).

A função HS (em mm) é obtida pela multiplicação pelo tempo da vazão de saída constante, conforme segue:

$$Hs = \gamma \cdot H \cdot qs \cdot (t/60) \quad (11)$$

Em que: qs é a vazão de saída constante do dispositivo (mm/h), γ é a razão entre a área de percolação e volume do dispositivo (mm), H é a profundidade média do volume de acumulação do dispositivo (mm) e t é a duração da chuva (min).

O volume máximo, ou de dimensionamento (equivalente à lâmina d'água armazenável), é obtido através da maximização da diferença entre HE e HS, no tempo, e pode ser calculado através da igualdade das expressões anteriores, conforme Equação 12:

$$Vmax = \left(\sqrt{\frac{\alpha}{60}} \sqrt{\beta} \cdot T^{b/2} - \sqrt{\frac{c}{60}} \cdot \sqrt{y} \cdot \sqrt{H} \sqrt{qs} \right)^2 \quad (12)$$

Para Silveira e Goldenfum (2007), a partir desta expressão geral, podem-se obter os parâmetros de dimensionamento para diferentes MCs, como pavimentos permeáveis, trincheiras de infiltração, bacias de detenção, entre outros.

A partir de Vmax, o cálculo da espessura da camada reservatório do pavimento é obtido facilmente por:

$$H = Vmax/\eta \quad (13)$$

Em que: H é a profundidade do reservatório de material granular e η é a porosidade do material de enchimento da camada porosa.

Para o pavimento permeável tem-se a área de percolação coincidente com a área do dispositivo em planta. Deste modo:

$$\sqrt{y} \cdot \sqrt{H} = 1 \quad (14)$$

Em que: y é a razão entre área de percolação e volume do dispositivo (mm) e H é a profundidade média do volume de acumulação do dispositivo (mm).

Os autores ainda indicam que para determinar a profundidade do reservatório de pedras, é necessário selecionar o tipo de material a ser utilizado no mesmo. Schueler (1987) recomenda o uso de brita 3 ou 4 no reservatório de pedras. Araújo et al. (2000), fez alguns ensaios de porosidade para uma brita 3 (comercial) e chegou-se a valores de porosidade da ordem de 40 a 50%.

Com base em estudos experimentais realizados por Araújo (1999), foi comparada hidrológicamente a utilização de pavimentos de diferentes permeabilidades na redução do escoamento superficial, em módulos de 1,0 m², tais como: solo compactado, pavimento de concreto, paralelepípedos de granito, blocos de concreto pré-moldados intertravados, blocos de concreto com elementos vazados e concreto poroso. Os resultados obtidos neste experimento foram que os coeficientes de escoamento, que é uma relação entre o volume de água escoado superficialmente e o volume de água precipitado das superfícies permeáveis, variaram de 0,5% para pavimento de blocos vazados, 3% para concreto poroso, entre 60% e 80% para solo compactado, de 70% a 80% para paralelepípedo de granito e blocos intertravados e 85% a 95% para pavimento de concreto.

Cabral (2019) dimensionou um pavimento permeável com espessura de 1 m para uma área de 30000 m² utilizando bloco de concreto vazado, com coeficiente de escoamento (C) de 0,03, preenchido com brita com porosidade de $\eta=0,43$ (espessura de 40 cm), chegando a uma altura da camada porosa de 1,03 m. O reservatório possui um volume de 30997 m³, sendo 20768 m³ para o armazenamento da água, e escoou o volume de 3837,94 m³ de água em 10 horas, ou seja, aproximadamente 106,60 l/s. Sua conclusão foi a de que o método proposto pode ser aplicado em qualquer tipo de estabelecimento, não somente em áreas públicas, também em estacionamento que recebem o escoamento de edificações próximas, diminuindo o impacto direto no sistema de drenagem urbana.

Virgiliis (2009) frisa que deve-se sempre definir preliminarmente a concepção do reservatório, pois a escolha de sua utilização como dispositivo voltado à infiltração das águas pluviais ou para o armazenamento das mesmas, influencia diretamente nos cuidados construtivos quanto à escolha de materiais drenantes, como também de assentamento de geomembrana impermeável sobre o subleito.

Para se obter um eficiente sistema de infiltração é necessário que o solo tenha algumas características que devem ser consideradas como: i) taxa de infiltração do solo saturado em casos de pavimentos que sugerem a infiltração da água no solo; ii) capacidade de carga e iii) o comportamento do solo na presença de água para evitar contaminação do lençol freático e prever riscos de perda de capacidade de carga (AZZOUT et al. 1994).

Quanto à permeabilidade do solo, os pavimentos permeáveis somente são viáveis para taxa de infiltração superior a 7 mm/h. Para a sua estimativa deve-se realizar uma sondagem a uma profundidade de 0,6 a 1,2 m abaixo do nível inferior do reservatório de pedras a fim de verificar o tipo de solo existente (já que tipos de solos com um percentual superior a 30% de argila ou 40% de silte e argila, combinados, não são bons candidatos para este tipo de dispositivo). A camada impermeável ou o nível do lençol freático no período chuvoso deve estar pelo 1,2 m abaixo do pavimento (ARAÚJO et al, 2000).

As declividades longitudinais e transversais da superfície do pavimento deverão ser adequadas para de fato controlar o escoamento superficial e garantir a devida infiltração pelo revestimento drenante. Declividades muito baixas, inferiores a 0,35 % poderão favorecer a formação de poças d'água, enquanto declividades elevadas tenderão a aumentar a velocidade de escoamento superficial o que não é interessante para o tipo de dispositivo em estudo (VIRGILIIS, 2009).

O pavimento permeável pode ser executado de várias maneiras a depender do revestimento a ser aplicado, porém o projeto deverá ser bem elaborado para garantir a sua funcionalidade e eficiência, tanto estrutural como hidráulica. Em apêndice é apresentado o fluxograma de desenvolvimento de atividades (Figura A) mencionando as etapas para execução de um pavimento permeável.

3.2 Parâmetros para dimensionamento de poços de infiltração

Para o dimensionamento do poço de infiltração de água pluvial, são necessárias as seguintes informações:

- Tempo de retorno, que segundo a NBR 10844 (ABNT,1989), para áreas pavimentadas, pode ser adotado igual a um ano, podendo ser adotado até 5 anos (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2011);
- Intensidade pluviométrica local para o tempo de retorno de um ano;
- Coeficiente *runoff* em função do material da área de contribuição;
- Área de contribuição;
- Maior nível sazonal do lençol freático, em virtude de dois fatores: níveis muito elevados inviabilizam a implantação desse sistema, pois impossibilita a infiltração da água pluvial; e recomendação da NBR 7229 (ABNT,1993) para o caso de sumidouros, para afastar no mínimo 1,50 m do nível sazonal mais elevado do lençol freático, a fim de evitar sua contaminação por componentes transportados pela água.
- Caracterização do solo, o que permite verificar se a infiltração e a percolação de água no terreno interferem de forma deletéria na estabilidade do solo;
- Coeficiente de permeabilidade, o que permite estimar a área necessária para a infiltração de um determinado volume de água precipitada, sendo este o fator limitante para a aplicação de poços com infiltração direta.

Pela metodologia de cálculo apresentada por Carvalho Junior (2021), deve-se:

1. calcular a intensidade pluviométrica (*i*), com período de retorno *T* de 1 ano e duração da chuva *t* de 5 minutos;
2. calcular a área de contribuição da cobertura conforme recomendações da NBR 10844 (ABNT,1989);
3. determinar o coeficiente de escoamento superficial conforme os valores da Tabela 2. Pode ser adotado $c = 1$, uma vez que a superfície do telhado é considerada impermeável.
4. calcular a vazão de projeto, determinada por meio da equação:

$$Q = \frac{c.i.A}{60} \quad (15)$$

Em que: Q é a vazão de projeto (l/min), c é o coeficiente de escoamento superficial, i é a intensidade da chuva (mm/h) e A é a área de contribuição (m²).

5. calcular o volume total precipitado sobre a área de contribuição para o tempo de 5 minutos, por considerar que esse valor seja capaz de reduzir o pico de cheia do

hidrograma de chuvas de maior frequência e com as mesmas características de um período maior.

6. considerar a permeabilidade do solo para reduzir o volume do poço de infiltração ou considerar o solo do poço de infiltração completamente impermeável, como coeficiente de segurança.
7. calcular a capacidade total de armazenamento do poço por meio das equações:

$$V_{poço} = V_{total} - V_{vazios} \quad (16)$$

$$V_{vazios} = V_{brita} - I_{vazios} \quad (17)$$

Em que: $V_{poço}$ é o volume acima da camada de brita, V_{total} é o volume que o poço deve armazenar durante a chuva de projeto, V_{brita} é o volume de pedras com vazios, V_{vazios} é o volume de vazios e I_{vazios} é o índice de vazios.

8. conhecendo-se o volume de armazenamento necessário e a capacidade de armazenamento da camada de brita, pode-se, então, calcular a profundidade (H) necessária do poço de infiltração.

$$H = \frac{V_{poço}}{A_{seção}} \quad (18)$$

Reis, Oliveira e Sales (2008) destacam que a adoção de poços de infiltração sem o estudo adequado dos parâmetros locais pode resultar em um sistema sem finalidade, já que ele possui uma série de limitações relacionadas com as particularidades locais. Assim, a definição prévia dos parâmetros locais necessários ao dimensionamento e execução de poços de infiltração busca suprir as limitações desse sistema de drenagem, propiciando maior desempenho, dimensionamento econômico e funcional, além do cumprimento do propósito para o qual foi projetado, que é o restabelecimento do balanço hídrico local.

Com esse objetivo, propõe-se que sejam levantados parâmetros locais de projeto, tais como: (a) nível do lençol freático mais elevado no período sazonal; (b) classificação e caracterização dos índices físicos do solo local; (c) perfil do solo até a profundidade correspondente ao sistema de infiltração; (d) coeficiente médio de permeabilidade (k) e taxa média de infiltração (I) do solo; (e) potencial de colapsibilidade do solo; (f) tempo de retorno (T) e tempo de concentração (t_c); (g) índices pluviométricos regionais (i); (h) áreas de contribuição e coeficiente de escoamento superficial (c); (i) vazão de projeto (Q); e (j) determinação e quantificação da carga poluidora das águas de escoamento superficiais (REIS, OLIVEIRA; SALES, 2008).

A determinação dos parâmetros propostos fornece os subsídios necessários à definição da concepção do sistema de infiltração, tais como: (a) diâmetro do poço de infiltração; (b) profundidade máxima do sistema de drenagem; (c) número de unidades necessárias; (d) capacidade de amortecimento; e (e) tempo de esvaziamento (REIS; OLIVEIRA; SALES, 2008).

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

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

Independentemente do nível de instalação, os poços de infiltração têm a vantagem de ser executados onde a camada de solo superficial é pouco permeável, mas que tenha capacidade de infiltração adequada nas camadas mais profundas (AZZOUT et al., 1994).

Para a verificação de viabilidade de execução de poços de infiltração, é necessário que o terreno tenha coeficiente de permeabilidade suficiente para infiltrar a vazão de projeto em poucas horas após o término da precipitação (REIS; OLIVEIRA; SALES, 2008). Para os autores a estimativa correta desse coeficiente deve garantir o esvaziamento do poço mesmo com elevado índice de saturação do solo e, assim, garantir a operação do sistema durante chuvas consecutivas e evitar a proliferação de vetores de doenças.

O poço de infiltração é uma solução complementar para os sistemas de drenagem urbana e proporciona redução do volume de água pluvial descarregado nas sarjetas e nas galerias pluviais. Em Apêndice é apresentado o fluxograma de desenvolvimento de atividades (Figura B) mencionando as etapas para execução de um poço de infiltração.

4 CONCLUSÃO

Pavimentos permeáveis são dispositivos de infiltração onde o escoamento superficial passa pelo revestimento permeável e é coletado por um reservatório de pedras, que passa a encaminhá-lo para infiltração ou coleta para sistemas de drenagem. O poço de infiltração também tem a função de ampliar a capacidade de infiltração do solo a partir do sistema de um poço escavado no solo. O volume de água pluvial, geralmente coletado de telhados e coberturas, é escoado para o seu interior e infiltrado para o solo até atingir a capacidade de detenção do dispositivo, após, seu excedente extravasa para a coleta pluvial.

Ambos os dimensionamentos utilizam dados da curva Intensidade-Duração-Frequência (IDF) e tempo de retorno das chuvas como base para dimensionar os dispositivos de controle. Dados do solo, topografia e índices de permeabilidade são fatores decisivos na aplicação das técnicas e tornam-se imprescindíveis para que o desenvolvimento não se torne inviável ou desnecessário.

O pavimento permeável tem fácil aplicação e funcionalidade e depende diretamente da permeabilidade do solo, uma vez que mesmo sendo drenado, o volume coletado ainda precisa ser infiltrado parcialmente para o solo.

Poços de infiltração são alternativas práticas de aplicar, por terem uma estrutura pontual e vertical, inserem-se muito bem ao contexto urbano, pois ocupam pouco espaço e podem ser instalados em locais fechados, como subsolos de prédios. Porém, os cuidados com a poluição do solo e a colmatação são as principais causas de inutilização de ambos os métodos.

Assim, indica-se o pavimento permeável para locais onde há maior área de aplicação e menor velocidade de tráfego ou pequena movimentação de veículos, como estacionamentos e calçadas residenciais, pistas e estradas em manutenção e estacionamentos de shoppings e supermercados, e o poço para locais com abrangência de áreas cobertas, inviabilidade de coleta direta pelo solo e pouco espaço de implantação.

Sobre o potencial de uso das técnicas exploradas na cidade de Dourados, o poço de infiltração tem melhor aplicabilidade em áreas residenciais e prediais, que requerem maior taxa de área permeável conforme a Lei Complementar nº 205/2012, e o pavimento permeável adequa-se melhor às áreas comerciais, que devem apresentar menor taxa de permeabilidade do solo e concentram-se na área central da cidade.

5 RECOMENDAÇÕES

Para estudos futuros, recomenda-se apresentar técnicas para ensaio de permeabilidade do solo e coleta de amostras para determinação de solo, pois são fatores que ajudam no estudo de viabilidade das aplicações indicadas nesta pesquisa e tornam as práticas mais acessíveis a projetos de menor aplicação ou área.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACIOLI, L. A. **Estudo experimental de pavimentos permeáveis para o controle do escoamento superficial na fonte**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - IPH/UFRGS, Porto Alegre, RS, 2005.

ANGELINI SOBRINHA, L. **Monitoramento e modelagem de um poço de infiltração de águas pluviais construído em escala real**. São Carlos, 2012. 149 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2012.

ARAÚJO, P.R. **Análise experimental da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução do escoamento superficial**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Porto Alegre-RS. 1999.

ARAÚJO, Paulo Roberto de *et al.* Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução de escoamento superficial. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto Alegre – RS, p. 21-29, Jul/Set. 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10844**: Instalações prediais de águas pluviais. Rio de Janeiro, 1989. 13 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16416**: Pavimentos Permeáveis – Requisitos e Procedimentos. ABNT, CABRAL, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7229**: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Brasil, 1993. 15 p.

AZZOUT, Y.; BARRAUD, S.; CRES, F.N.; Alfakih, E.; Techniques Alternatives en Assainissement Pluvial: Choix, Conception, Réalisation et Entretien, LCPC, INSA Lyon, Certu, Agences de l'Eau, Lavoisier Technique et Documentation, Paris. ASCE, 1969. Design and Construction of sanitary and storm sewers. New York, 1994.

BAPTISTA, M. B. NASCIMENTO, N. O.; BARRAUD, S. **Técnicas compensatórias de drenagem urbana**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2011. 318 p.

BARBASSA, Ademir Paceli; SOBRINHA, Loide Angelini; MORUZZI, Rodrigo Braga. Poço de infiltração para controle de enchentes na fonte: avaliação das condições de operação e manutenção. **Ambiente Construído**, [S.L.], v. 14, n. 2, p. 91-107, jun. 2014. FapUNIFESP (SciELO).

BISPO, T. C.; LEVINO, N. de A. (2011). Impactos Ambientais decorrentes do uso e ocupação desordenada do solo: Um estudo da região da periferia de Maceió/AL. In **Anais do XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, Belo Horizonte/MG, Out.2011

BOCKHORN, B. *et al* Factors affecting the hydraulic performance of infiltration based SUDS in Clay. **Urban Water Journal**, v. 14, n. 2, p. 125-133, 2017.

CABRAL, Erica Lima. **Dimensionamento de um pavimento permeável como medida de controle de drenagem urbana**. 2019. 13 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2019.

CANHOLI, A.P. (2005) **Drenagem urbana e controle de enchentes**. São Paulo: Oficina de textos, 301 p.

CANHOLI, Aluisio Pardo. **Drenagem urbana e controle de enchentes: 2ª edição ampliada e atualizada**. 2. ed. Sao Paulo: Oficina de Textos, 2014.

CARVALHO JUNIOR, Roberto de. **Instalações prediais hidráulico-sanitárias: princípios básicos para elaboração de projetos**. 4. ed. Sao Paulo: Blucher, 2021. 358 p.

COSTA JUNIOR, Lourenço Leme da; BARBASSA, Ademir Paceli. Parâmetros de projeto de microrreservatório, de pavimentos permeáveis e de previsão de enchentes urbanas. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S.L.], v. 11, n. 1, p. 46-54, mar. 2006.

DOURADOS. Lei n. 205, de 19 de outubro de 2012. Dispõe sobre o Zoneamento, Uso e Ocupação do Solo e o Sistema Viário no Município de Dourados e dá outras providências. Diário Oficial, Dourados-MS, ANO XIV, Nº 3.350, 65 PÁGINAS, 4. trim. Acesso em: 25 de setembro/2021.

EISENBERG, B.; LINDOW, K. C.; SMITH, D. R. Permeable pavements. Reston, EUA: American Society of Civil Engineers, 2015.

FESTI, Aparecido Vanderlei. **Coletânea das equações de chuva do Brasil**. Disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/19/5f36bd94694ae874fc6bd18a0da88301_721561eb3298e404da02b7f6217dd3e0.pdf. Acesso em: 03 nov. 2021.

JIA, Z. *et al*. Small scale green infrastructure design to meet different urban hydrological criteria. **Journal of Environmental Management**, v. 171, p. 92-100, 2016.

LOCATELLI, L. *et al* Determining the extent of groundwater interference on the performance of infiltration trenches. **Journal of Hydrology**, v. 529, p. 1360-1372, 2015.

REIS, Ricardo Prado Abreu; OLIVEIRA, Lúcia Helena de; SALES, Maurício Martinés. Sistemas de drenagem na fonte por poços de infiltração de águas pluviais. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, p. 99-117, jun. 2008.

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.

SCHUELLER, T. 1987. Controlling urban runoff : a practical manual for planning and designing urban BMPs.

SILVEIRA, André Luiz Lopes da; GOLDENFUM, Joel Avruch. Metodologia generalizada para pré-dimensionamento de dispositivos de controle pluvial na fonte. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre – RS, v. 12, n. 2, p. 157-168, jun. 2007.

SUZUKI, Carlos Yukio *et al.* **Drenagem subsuperficial de pavimentos: conceitos e dimensionamento**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. 240 p.

TASSI, R. **Efeitos dos microrreservatórios de lote sobre a macrodrenagem urbana**. Dissertação de Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Porto Alegre: UFRGS, 2002. Disponível em: www.abrh.br Acesso em 31 de maio de 2021.

TORAN, L.; JEDRZEJCZYK, C. Water level monitoring to assess the effectiveness of stormwater infiltration trenches. **Environmental & Engineering Geoscience**, v. 23, n. 2, p. 113-124, 2017.

TUCCI, C. E. M. Drenagem urbana: ciência e cultura. São Paulo, 2003. Disponível em: <http://rhama.com.br/blog/wpcontent/uploads/2017/01/drenagem-urbana.pdf>. Acesso em 30 de maio de 2021.

TUCCI, C.E.M. (1995) Inundações urbanas. In: TUCCI, C.E.M.; PORTO, R.L.L.; BARROS, M.T. (Eds.). **Drenagem Urbana** . Porto Alegre: ABRH/Editora da Universidade/UFRGS, cap. 1, p. 15-36.

URBONAS, B. e STAHR, P. (1993) Stormwater, Best Management Practices and detention. Prentice Hall: Englewood Cliffs, New Jersey, 450p.

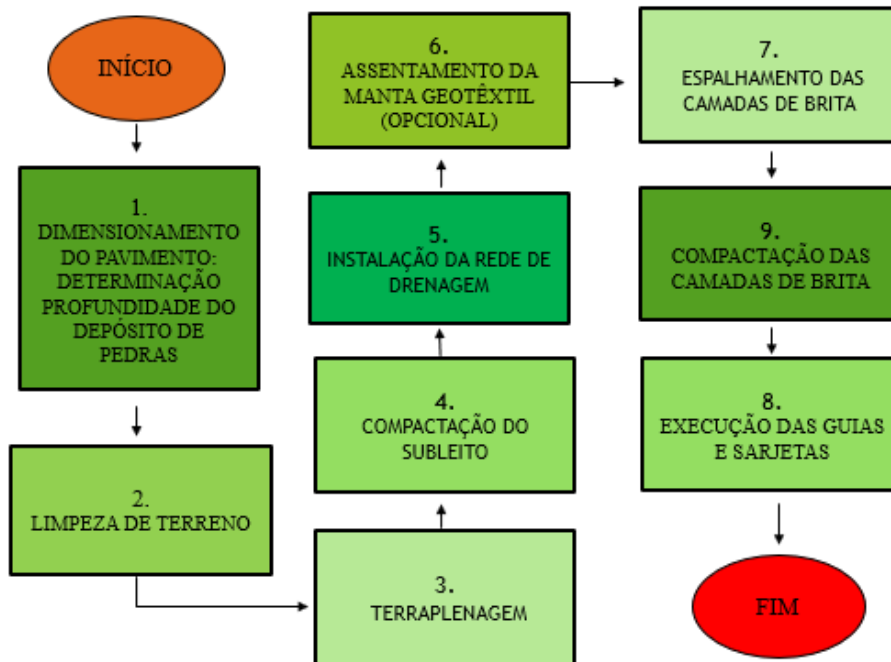
VIRGILIIS, A. L. C. **Procedimentos de projeto e execução de pavimentos permeáveis visando retenção e amortecimento de picos de cheias**. 2009. 196 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes. Disponível em: www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-08092010-122549/pt-br.php

ZHANG, S.; GUO, Y. SWMM simulation of the storm water volume control performance of permeable pavement systems. *Journal of Hydrologic Engineering*, v. 20, n. 8, p. 06014010, 2014.

APÊNDICES

Figura A - Fluxograma de atividades para execução de pavimento permeável

ESQUEMA DE EXECUÇÃO DE PAVIMENTO PERMEÁVEL



Fonte: Adaptada de Virgiliis (2009).

Figura B - Fluxograma de atividades para execução de poço de infiltração

ESQUEMA DE EXECUÇÃO DE POÇO DE INFILTRAÇÃO



Fonte: Adaptada de Reis e Ilha (2014).