

ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA DE UTILIZAÇÃO DE PAVIMENTOS PERMEÁVEIS EM UM BAIRRO RESIDENCIAL NO MUNICÍPIO DE DIVINÓPOLIS, MINAS GERAIS

Henrique Amorim Vaz¹; MSc. André Luiz Marques Rocha²

RESUMO

O crescimento urbano tradicional, facilmente observado nos grandes centros, gerou uma série de problemas, como os alagamentos e as inundações. A drenagem tradicional não foi eficiente em solucionar tais problemas e, hoje, acredita-se que a melhor maneira de contornar tal situação seja a partir da drenagem sustentável. Pavimentos permeáveis são uma das técnicas compensatórias que promovem a redução do escoamento superficial a partir da infiltração de parte das águas precipitadas. Como os municípios do interior muitas vezes reproduzem os padrões errôneos de crescimento típicos das metrópoles, como a excessiva impermeabilização das superfícies, considera-se importante planejar o desenvolvimento dessas cidades sob uma ótica mais sustentável, antecipando a solução de problemas futuros ou mitigando aqueles já existentes. Por isso, novos loteamentos, diferentemente de áreas já consolidadas, são promissores em adotar esse tipo de solução, contribuindo para um novo modelo de expansão urbana. O presente trabalho objetivou verificar a viabilidade técnica do emprego de pavimentos permeáveis em trechos de vias públicas do Bairro Residencial Boa Vista, loteamento no município de Divinópolis, Minas Gerais. Ainda, realizou-se o dimensionamento dos dispositivos nos trechos selecionados e analisou-se a interferência dos mesmos sobre o escoamento superficial, a partir de diferentes escalas. As reduções nos escoamentos variaram desde 83,3%, sobre os trechos com a técnica, até 4,2%, para o bairro em sua totalidade. No geral, o loteamento se mostrou adequado à instalação dos pavimentos.

Palavras-Chave – Drenagem Urbana. Pavimentos Permeáveis. Viabilidade.

INTRODUÇÃO

A falta de um planejamento adequado no crescimento da maioria das cidades brasileiras levou ao surgimento de diversos problemas ambientais. A drenagem urbana, como outros setores, não conseguiu acompanhar o rápido aumento populacional e suas consequências, como a impermeabilização das superfícies, tornando-se cada vez menos eficiente na solução de problemas que afetam o dia a dia dos cidadãos, como as inundações.

Fenômeno comum, as inundações urbanas geram diversos prejuízos, como congestionamentos, perdas de bens materiais e, em casos extremos, de vidas humanas. Um planejamento preventivo certamente diminuiria a necessidade de altos gastos com a recuperação de danos, como geralmente ocorre ao final do período chuvoso.

Hoje, é notório que a drenagem tradicional, ou higienista, não solucionou o problema das inundações. O que se verificou foi a transferência do problema para outras áreas da bacia, consequência do princípio de condução rápida das águas para jusante (TUCCI, 2007). A impermeabilização do solo é o principal agravante desse fenômeno, pois impede a infiltração das águas precipitadas e aumenta o escoamento superficial.

Assim, a drenagem sustentável, modelo focado na valorização da retenção e infiltração como formas de manter o hidrograma do cenário urbanizado o mais próximo do natural, pode ser considerada a melhor alternativa para contornar essa situação. Surgidos nos países desenvolvidos, os sistemas sustentáveis de drenagem urbana recebem diferentes nomenclaturas, como *Low Impact Development – LID*, nos Estados Unidos; *Water Sensitive Urban Design – WSUD*, na Austrália; e *Sustainable Drainage Systems - SUDS*, na Inglaterra (SOUZA et al., 2012). No Brasil, são conhecidos como Técnicas Compensatórias.

1) Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária. CEFET-MG. Av. Amazonas, 5.253 – sala 201, Nova Suiça, Belo Horizonte, MG, Brasil. Telefone: +55 (31) 9 9779-7039. Email: hhenrique.amorim2@gmail.com.br

2) Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, CEFET-MG. Av. Amazonas, 5.253 – sala 201, Nova Suiça, Belo Horizonte, MG, Brasil. Telefone: +55 (31) 3319-7109. Email: andrerocha@cefetmg.br

As inundações urbanas não se limitam às metrópoles, tendo caminhado cada vez mais para municípios do interior, os quais reproduzem padrões equivocados de crescimento característicos dos grandes centros, como a impermeabilização do solo e a canalização de cursos d’água. Sendo a prevenção sempre melhor que a remediação, é fácil concluir que planejar o desenvolvimento das cidades pequenas e médias objetivando um horizonte futuro livre de inundações e alagamentos é uma opção mais atrativa que o crescimento desordenado clássico que regeu a urbanização no território brasileiro no século passado.

Considerando tal reflexão, bem como a necessidade de transição do modelo higienista para uma drenagem mais sustentável, a relativa contemporaneidade do tema nos cenários acadêmico e profissional brasileiros, além do fato de municípios com menos de 500.000 habitantes abrigarem a maioria da população brasileira (TUCCI, 2007) e de superfícies destinadas ao sistema viário ocuparem cerca de 30% das áreas urbanas (BAPTISTA et al., 2005), o presente trabalho objetivou analisar a viabilidade técnica do emprego de pavimentação permeável em um bairro residencial no município de Divinópolis, Minas Gerais.

Pavimentos Permeáveis

Segundo Silva (2019), é usual o emprego de pavimentação impermeável por garantir boa estabilidade ao solo, já que a umidade pode reduzir a capacidade de carga do solo que sustenta o pavimento. Porém, não é toda situação que exige a impermeabilização do terreno e, conhecendo bem as características do solo, é possível propor o uso de pavimentos permeáveis.

Conforme Junior e Barbassa (2006), pavimentos permeáveis são superfícies porosas ou perfuradas que permitem a infiltração de parte do escoamento. Tais revestimentos podem ser utilizados em calçadas, estacionamentos, quadras esportivas, no interior dos lotes e em ruas de tráfego leve, podendo sofrer deformação e entupimento em tráfego intenso (MIGUEZ et al., 2016).

São vantagens de seu uso a recarga do lençol freático, a melhoria da qualidade das águas infiltradas ou encaminhadas para a rede de drenagem, a redução do escoamento, o controle da erosão do solo e os custos similares ao pavimento convencional (PINTO, 2011). Ainda, a detenção temporária das águas e o rearranjo do hidrograma, a redução das poças nas vias e a não necessidade de espaços físicos específicos (TOMINAGA, 2013). Por fim, o prolongamento da vida útil das infraestruturas de drenagem, evitando a necessidade de investimentos futuros (FILENI et al., 2019).

Conforme Miguez et al. (2016), a técnica é limitada pelo nível do lençol freático, tipo de solo e necessidade de manutenção. Há uma variedade de fatores que devem ser avaliados pelo projetista para se atestar a viabilidade técnica da implantação de pavimentos permeáveis, os quais serão discorridos em tópicos ulteriores.

Esses pavimentos podem ser classificados em concreto poroso, asfalto poroso ou blocos de concreto vazados preenchidos com material granular, como areia ou vegetação rasteira (URBONAS e STAHLRE, 1993 apud ARAÚJO et al., 2000). Ainda, podem ser dos tipos infiltração total, parcial ou sem infiltração, com a necessidade de um exutório alternativo nos dois últimos casos.

Atualmente, o Brasil conta com a norma ABNT NBR 16416:2015, a qual estabelece requisitos mínimos exigíveis ao projeto, especificação, execução e manutenção de pavimentos permeáveis de concreto, com revestimentos de peças de concreto intertravadas, placas de concreto ou concreto moldado no local. Com a norma, a indústria da construção civil tem um grande auxílio e a engenharia brasileira ganha com a uniformização e facilitação em promover obras com pavimentos permeáveis, aumentando a segurança para os construtores e a sociedade (NIGRI, 2017).

Ainda, uma variedade de trabalhos pode ser encontrada na literatura nacional e internacional, e todos têm apontado resultados favoráveis ao emprego de pavimentos permeáveis no meio técnico, no que se refere à eficiência de diferentes traços de concreto quanto à redução do escoamento e à capacidade de suportar tensões, e também no que se refere à influência de tais dispositivos sobre parâmetros hidrológicos e hidráulicos de determinadas bacias. Destaca-se aqui os trabalhos realizados

por Araújo et al. (2000), Batezini e Balbo (2015), Costa et al. (2019), Faria et al. (2019), Fileni et al. (2019) e Motta (2019).

Este estudo, além de avaliar a viabilidade técnica, dimensionar os dispositivos e analisar as reduções nos escoamentos, ao propor o emprego de pavimentação permeável em um loteamento residencial desde a fase de projeto, busca claramente incentivar a cultura da prevenção na área da drenagem pluvial, visando minimizar as chances de surgimento e/ou agravamento de situações de alagamentos e inundações em regiões ainda em expansão.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de Estudo

Divinópolis é um município de Minas Gerais, localizado na região centro-oeste do estado, a 118 km da capital. A cidade possui uma população estimada para o ano de 2020 de 240.408 pessoas, sendo a 12ª maior cidade mineira. Segundo Nascimento (2013), Divinópolis insere-se nos biomas Cerrado e Mata Atlântica, possui índice pluviométrico de 1.200 mm a 1.700 mm anuais e é banhada pelos rios Pará e Itapecerica, afluentes do São Francisco. A cidade possui histórico de ocorrência de inundações, principalmente na margem urbana do Itapecerica (GI, 2012, 2019; PORTAL GERAIS, 2020).

O presente estudo de caso foi realizado para o empreendimento “Bairro Residencial Boa Vista”, loteamento com área total de lotes de 100.781 m², área das ruas de 60.703 m² e área institucional de 3.552 m², conforme informações disponíveis no site da empresa responsável. A figura 1 é uma imagem aérea do bairro no momento da execução deste estudo.

Figura 1 – Imagem aérea do bairro residencial Boa Vista, em Divinópolis – MG



Fonte – Google Earth Pro (2020)

O tipo de solo é um parâmetro fundamental para a verificação da viabilidade de técnicas de infiltração. O loteamento localiza-se sobre Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, de acordo com informações obtidas através do Mapa de Solos do Brasil, disponibilizado pela Embrapa Solos, bem como conforme a plataforma PronaSolos (2021). No geral, latossolos são solos sem incremento de argila em profundidade, que variam de fortemente a bem drenados e são muito profundos, com espessura raramente inferior a 1 m (SANTOS et al., 2018).

A Lei Complementar nº 169/2014 estabelece o Plano Diretor de Divinópolis. Dentre as diretrizes do documento, destacam-se alguns pontos relacionados à política ambiental do município: elaboração de carta geotécnica delimitando áreas inundáveis do rio Itapecerica; estímulo ao desenvolvimento de novas tecnologias e inovações ambientais na área de saneamento em parceria com entidades de pesquisa; estabelecimento de índices mínimos de permeabilização do solo; elaboração do Plano Municipal de Drenagem Urbana; e adoção de percentuais mínimos de permeabilidade do solo em novas edificações.

Percebe-se o caráter atual do Plano Diretor, ao encontro dos princípios de uma expansão urbana mais sustentável e compatível com as condições naturais do território. Porém, não há nenhuma diretriz específica sobre a utilização de pavimentos permeáveis ou outra técnica compensatória.

Procedimentos

Primeiro, realizou-se uma revisão bibliográfica contemplando documentos relacionados aos diversos temas pertinentes e aprofundando-se nos pavimentos permeáveis. Foram utilizados livros, artigos, teses, dissertações, monografias, legislações, normas, entre outros. Depois, contatou-se a empresa responsável pelo empreendimento para a solicitação de acesso aos documentos necessários à realização do estudo de caso. Foram obtidos os memoriais descritivo e quantitativo, a planilha de cálculo das contribuições e cálculo hidráulico das galerias e a planta do empreendimento, todos referentes à rede de drenagem do loteamento.

Assim, foi possível realizar um diagnóstico da rede de drenagem da área, contando também com o auxílio de imagens de satélite e mapas de fácil acesso, como do tipo de solo. Com isso, efetuou-se o estudo da viabilidade, tendo como referência os principais critérios limitantes à implantação dos pavimentos permeáveis, informação disponível no Manual de Drenagem Urbana de Curitiba (SUDERHSA, 2002).

Executou-se o dimensionamento hidráulico de pavimentos permeáveis para determinados trechos das ruas, considerados mais favoráveis pelos autores, como será melhor discorrido em tópicos seguintes. Para isso, foram selecionadas duas metodologias encontradas na literatura: a metodologia generalizada para pré-dimensionamento hidrológico de dispositivos de controle na fonte, elaborada por Silveira e Goldenfum (2007); e a metodologia fornecida por SUDERHSA (2002).

Então, verificou-se a interferência dos pavimentos sobre o escoamento superficial, a partir das escalas: por trecho com pavimento permeável; pelo total da área de estudo; e pelo total do bairro Boa Vista.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Diagnóstico do Sistema de Drenagem

A rede de drenagem do bairro Boa Vista é constituída de seis lançamentos distintos, compostos por quantidades variadas dos elementos manilha de concreto, boca de lobo, poço de visita, ala e dissipador de energia. As manilhas possuem diâmetros de 400 mm, 600 mm e 800 mm.

A declividade do terreno é um importante critério para a seleção da técnica compensatória, sendo as vias com declividade superior a 5% menos adequadas para a utilização dos dispositivos (SCHUELER, 1987 apud SUDERHSA, 2002). Assim, para as subáreas referentes a cada um dos lançamentos (1 a 6), foram analisadas as declividades dos trechos das vias a fim de escolher a mais adequada para o prosseguimento do estudo. A tabela 1 indica a quantidade de trechos com declividade longitudinal menor ou igual a 5%, por subárea de contribuição do lançamento, com as extensões totais em metros.

Tabela 1 – Quantidade de trechos de vias compatíveis com os pavimentos permeáveis

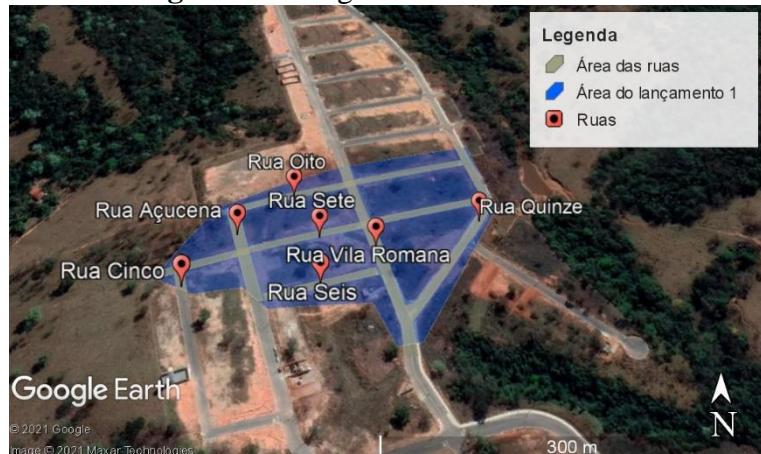
Subárea	Quantidade de trechos com declividade $\leq 5\%$	Extensão total dos trechos (m)
1	7	422,18
2	1	52,04
3	0	0,00
4	7	417,16
5	4	183,54
6	2	121,48

Fonte – Autoria Própria (2021)

As subáreas 1 e 4 contam com a maior quantidade de trechos compatíveis com a pavimentação permeável, sete em cada. A primeira apresenta extensão total dos trechos maior, de 422,18 m, em

comparação aos 417,60 m da segunda, por isso foi selecionada para a continuidade do estudo. A figura 2 é uma imagem aérea dessa subárea 1, com as áreas de contribuição e as ruas em destaque, para sua melhor visualização dentro do loteamento.

Figura 2 – Imagem aérea da subárea 1



Fonte – Google Earth Pro (2021)

Tal área possui em torno de 5,7 ha e compreende sete ruas, denominadas Cinco, Açucena, Oito, Sete, Vila Romana e Quinze. Todas têm inclinação transversal de 3% para ambos os lados e declividade longitudinal variada. As ruas Açucena e Vila Romana têm 11 m de largura, por serem vias principais, enquanto as demais têm 8 m, por serem vias secundárias.

Os trechos com declividade inferior a 5% foram detalhados de acordo com a rua em que se inserem, a nomenclatura original do trecho na planilha de cálculo das contribuições, a extensão, a declividade, a área de contribuição (referente aos lotes adjacentes) e a área do pavimento. A tabela 2 expõe todos esses valores.

Tabela 2 – Detalhamento dos trechos compatíveis com a pavimentação permeável

Rua	Trecho	Extensão (m)	Declividade (m/m)	Área de contribuição (m ²)	Área do pavimento (m ²)
Cinco	-	-	-	-	-
Açucena	Y-Z	52,00	0,0164	676,00	572,00
Oito	-	-	-	-	-
Sete	V-Y	57,51	0,0152	2.021,20	460,08
Seis	-	-	-	-	-
Vila	P-Q	52,00	0,0050	1.371,75	572,00
Romana	II-U	100,54	0,0214	2.201,51	1.105,94
	UU-U	56,11	0,0322	1.298,88	448,88
Quinze	F-G	52,01	0,0059	1.547,96	416,08
	G-H	52,01	0,0073	723,09	416,08

Fonte – Autoria Própria (2021)

Portanto, esses foram os sete trechos para os quais os pavimentos permeáveis foram considerados. Os tópicos seguintes aprofundam na análise da viabilidade técnica e detalham o dimensionamento dos dispositivos. A figura 3 permite a visualização espacial desses trechos.

Figura 3 – Imagem aérea dos trechos selecionados para a pavimentação permeável



Fonte – Google Earth Pro (2021)

Análise da Viabilidade Técnica

Como afirmado anteriormente, essa etapa teve como base as informações disponíveis em SUDERHSA (2002). O quadro 1 exibe os principais critérios limitantes à implantação de pavimentos permeáveis, incluindo fatores relacionados às condições de solo e aquífero, às condições superficiais do terreno e à dinâmica de urbanização. Em seguida, os principais pontos são detalhados.

Quadro 1 – Viabilidade da técnica segundo critérios limitantes

Critério	Condição	Situação da área de estudo	Observações
Capacidade de infiltração no solo	Deve ser superior a 7 mm/h	Favorável	O solo varia de fortemente a bem drenado
Permeabilidade do subsolo	Deve manter a permeabilidade em profundidade	Favorável	O solo não possui incremento de argila em profundidade
Fragilidade do subsolo (capacidade suporte e características hidráulicas)	O solo não deve ser argiloso ou ter muitos finos	Favorável	Solo com textura granular e em torno de 20% de argila
Nível do lençol freático	Deve estar a no mínimo 1 metro abaixo do fundo do dispositivo	Favorável	Latossolos são muito profundos
Área de contribuição	Ideal que esteja entre 0 e 6 hectares	Favorável	A subárea 1 não passa de 5,7 ha
Declividade	Ideal que seja inferior a 5%	Favorável	Foram filtrados os trechos compatíveis
Disponibilidade de área	Devem haver áreas livres para a implantação da técnica	Favorável	Sendo um loteamento novo, as vias seriam projetadas já incluindo a técnica
Exutório para quando o dispositivo saturar	Deve haver exutório	Favorável	Rede de drenagem do bairro
Instalações subterrâneas	Ausência de instalações subterrâneas na área de percolação da água	Favorável	Sendo um loteamento novo, o projeto alocaria tais instalações adequadamente

Restrição de urbanização	A área deve contar apenas com tráfego leve	Atenção	Importante acompanhar a expansão da região e os possíveis aumentos no tráfego
Afluência poluída (sedimentos, lixo, esgoto e lavagem das ruas)	Ausência de poluentes	Atenção	Prevê-se grande quantidade de resíduos da construção civil

Fonte – Adaptado de SUDERHSA (2002)

O Latossolo Vermelho-Amarelo possui textura granular, com teor de argila em torno de 20%, considerado bem drenado. Por não haver incremento de argila em profundidade, a permeabilidade se mantém em profundidades maiores. Sendo muito profundo, admite-se também que as exigências de afastamento do lençol freático sejam atendidas. Ainda que esses critérios tenham sido analisados a partir da informação de tipo de solo da região, estudos geotécnicos são indispensáveis para a confirmação das hipóteses iniciais.

Como informado, a área 1 possui 5,7 ha, já dentro da faixa adequada, mas as áreas de contribuição de cada trecho com pavimento permeável são ainda menores, variando de 676,00 m² a 2.298,88 m². Como os trechos já foram filtrados segundo a declividade, todos são igualmente adequados. Quanto à disponibilidade de áreas livres para a implantação dos dispositivos, destaca-se que esse estudo contempla um bairro em fase de execução, sendo possível aplicar os pavimentos permeáveis desde o início, sem a necessidade de reformar vias já consolidadas. Ainda, a rede de drenagem permanece na área, sendo o exutório para quando o volume máximo de armazenamento for atingido.

Sendo um loteamento novo, as instalações subterrâneas seriam projetadas em compatibilidade com os pavimentos permeáveis, a fim de evitar o cruzamento de redes, como de água e esgoto, com a camada reservatório dos dispositivos. Quanto à intensidade do tráfego, acredita-se que predominará o tráfego leve pelo caráter residencial do mesmo. Porém, é necessário acompanhar a expansão da região, como o surgimento de outros bairros no entorno, o que modificaria a dinâmica do trânsito ao longo dos anos.

Como os pavimentos foram projetados para poucos trechos, sugere-se um planejamento diferenciado do tráfego nesses pontos. Ações como conscientização dos moradores, sinalização indicativa dos dispositivos, restrições de velocidade e até a proibição de estacionamento nesses trechos (para evitar as tensões de cisalhamento) poderiam contribuir para a minimização dos danos e aumento da vida útil.

Espera-se muitas obras ao longo dos anos, relacionadas à construção de casas, o que pode gerar uma quantidade grande de resíduos da construção civil. Assim, nos lotes adjacentes aos pavimentos permeáveis é interessante um maior monitoramento dos resíduos e dos materiais de construção, para evitar o carreamento dos mesmos para as vias. Sugere-se a realização de ensaio de permeabilidade ao final de cada obra, para verificar possível colmatação dos pavimentos.

Dimensionamento dos Pavimentos Permeáveis

Para o dimensionamento, os pavimentos permeáveis foram considerados de infiltração total. Foram consideradas as informações da tabela 2 e adotada vazão de saída constante de 1,5 mm/h, referente a uma condutividade hidráulica do solo de 15 mm/h afetada por um coeficiente redutor de 0,1, como sugerem SUDERHSA (2002) e Silveira e Goldenfum (2007) para solos bem drenados. Os pavimentos foram dimensionados para atenderem a chuvas com período de retorno de 5 anos.

Vale mencionar que, mesmo a microdrenagem sendo dimensionada para tempos de retorno maiores, os pavimentos permeáveis são usualmente projetados para o interior dos lotes, o que justifica os menores valores recomendados pela literatura. Aqui, optou-se por analisar as consequências de seu emprego em vias públicas mantendo o dimensionamento com um tempo de retorno razoável, a

fim de não gerar profundidades inviáveis dos pontos de vista técnico e econômico. Os resultados obtidos por ambas as metodologias estão organizados na tabela 3 e discutidos na sequência.

Tabela 3 – Resultados dos dimensionamentos dos pavimentos permeáveis

Rua	Trecho	Área de contribuição (m ²)	Área do pavimento (m ²)	Coeficiente β	Segundo SUDERHSA (2002)		Segundo Silveira e Goldenfum (2007)	
					Volume (mm)	Espessura (cm)	Volume (mm)	Espessura (cm)
Açucena	Y-Z	676,0	572,0	1,5	96,7	27,6	133,4	38,1
Sete	V-Y	2.021,2	460,1	2,8	189,0	54,0	259,7	74,2
Vila	P-Q	1.371,7	572,0	2,0	131,4	37,6	181,0	51,7
Romana	II-U	2.201,5	1.105,9	1,8	119,8	34,2	165,0	47,1
	UU-U	1.298,9	448,9	2,2	145,7	41,6	200,4	57,3
Quinze	F-G	1.548,0	416,1	2,5	169,5	48,4	233,1	66,6
	G-H	723,1	416,1	1,7	112,6	32,2	155,1	44,3

Fonte – Autoria Própria (2021)

Percebe-se como a metodologia de SUDERHSA (2002) gerou valores de profundidade das camadas de base bem inferiores aos obtidos com o método de Silveira e Goldenfum (2007), na razão de 1,45. Usualmente, tem-se o intervalo de 50 cm a 80 cm como um referencial de profundidades razoáveis (SUDERHSA, 2002), podendo-se afirmar que os valores encontrados estão dentro da normalidade, ou até um pouco abaixo, o que indica o caráter conservador da proposta. Por questões de segurança, supondo que o primeiro método possa estar levando a um sub dimensionamento dos reservatórios, optou-se definitivamente pelo segundo método para a continuidade deste estudo. Assim, a maior profundidade encontrada foi de 74,2 cm, referente ao trecho Y-Z, o que comprova a aplicabilidade dos dispositivos.

Redução do Escoamento

A planilha de cálculo das contribuições original do empreendimento foi elaborada para uma precipitação com intensidade de 194,48 mm/h, referente à equação IDF de Belo Horizonte com tempo de retorno de 10 anos, enquanto os pavimentos permeáveis foram dimensionados para chuvas com intensidade de 161,93 mm/h, referente à equação IDF de Divinópolis (obtida pelo *software* Pluvio) com tempo de retorno de 5 anos. Assim, o escoamento em cada trecho foi obtido pela subtração entre a vazão anterior e a vazão abatida pelos pavimentos, sempre conforme o método racional. A tabela 4 apresenta a vazão restante em cada trecho, juntamente com o percentual reduzido da vazão original.

Tabela 4 – Redução do escoamento superficial por trecho com pavimento permeável

Trecho	Vazão original (L/s)	Vazão abatida (L/s)	Vazão restante (L/s)	% reduzida
Y-Z	18,4	15,3	3,1	
V-Y	54,9	45,7	9,2	
P-Q	37,3	31,0	6,2	
II-U	59,8	49,8	10,0	
UU-U	35,3	29,4	5,9	
F-G	42,1	35,0	7,0	
G-H	19,6	16,4	3,3	83,3

Fonte – Autoria Própria (2021)

Ainda que os valores brutos das vazões variem, a redução percentual é igual para todos, de 83,3%, como esperado, já que os trechos foram projetados justamente para infiltrar uma chuva de projeto pré-determinada. Interessante lembrar também que, ainda que os dispositivos sejam do tipo infiltração total, há um excesso (16,7%) relacionado à diferença entre as precipitações de projeto do dimensionamento da microdrenagem e dos pavimentos permeáveis.

Analisa-se também a influência dos pavimentos na redução do escoamento tanto para a área 1 quanto para o bairro Boa Vista por inteiro. Seguindo a mesma lógica de subtrair a vazão abatida pelos dispositivos da vazão original da área, foi possível elaborar a tabela 5 com os valores exibidos.

Tabela 5 – Redução do escoamento superficial na subárea 1 e no bairro por inteiro

Área	Vazão antes (L/s)	Vazão depois (L/s)	% reduzida
Subárea 1	1.561,1	1.338,5	14,3
Bairro Boa Vista	5.314,9	5.092,3	4,2

Fonte – Autoria Própria (2021)

Verificou-se uma redução percentual muito boa para a subárea 1, levando em consideração a baixa quantidade de trechos projetados com pavimento permeável. Já para o bairro na totalidade, verificou-se uma redução pouco expressiva, o que era esperado, já que o mesmo é dividido em seis subáreas e apenas uma foi contemplada aqui. Porém, é pertinente afirmar que a repetição do padrão de análise e dimensionamento aplicado no presente trabalho para as demais áreas do bairro poderia levar a maiores valores de vazões abatidas.

CONCLUSÕES

As inundações não foram contornadas pela drenagem tradicional, sendo necessária uma transição do modelo atual para um modelo que promova a combinação das técnicas clássicas com as técnicas compensatórias. Ainda, falhas no sistema de drenagem já podem ser facilmente percebidas em cidades de pequeno e médio portes, justamente por reproduzirem padrões errôneos de crescimento típicos dos grandes centros.

Pavimentos permeáveis promovem a diminuição do escoamento superficial e da magnitude dos alagamentos e das inundações. Além da infiltração, a técnica oferece vários outros benefícios, como já fora mencionado. Em novos loteamentos, o emprego de pavimentação permeável é facilitado em comparação a bairros já consolidados e adensados. A partir do diagnóstico da área e de estudos técnicos específicos, eles podem ser incorporados ao projeto de drenagem do bairro e dimensionados através de metodologias simples disponíveis na literatura nacional.

O Bairro Residencial Boa Vista mostrou-se adequado à instalação dos pavimentos permeáveis, promovendo boas reduções no escoamento superficial, tanto por trecho (83,3%) quanto pela subárea 1 inteira (14,3%). Analisando o bairro na totalidade, a redução foi modesta (4,2%), devido à baixa quantidade de trechos com os dispositivos em relação à área total.

Logo, para que os pavimentos permeáveis tenham um efeito de atenuação das vazões mais expressivo, é necessário distribuí-los em vários trechos ao longo de todo o bairro, preferencialmente combinados com outras técnicas compensatórias nos pontos menos favoráveis, como aqueles de grande declividade.

Esse trabalho tratou da viabilidade sob o ponto de vista técnico, mas é importante lembrar que uma análise mais aprofundada deve envolver também critérios econômicos. Portanto, fica a sugestão para que estudos futuros incluam essa parcela na análise a fim de complementar os resultados aqui obtidos.

Para finalizar, considera-se indispensável que os cursos de graduação relacionados ao tema, como engenharia ambiental e engenharia civil, abordem e incentivem o aprofundamento da temática pelos estudantes, para que cada vez mais sejam formados profissionais com valores alinhados à filosofia preconizada pela drenagem urbana sustentável, de prevenção ao invés de transferência do problema.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, Paulo Roberto de; TUCCI, Carlos EM; GOLDENFUM, Joel A. Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução de escoamento superficial. **Braz. J. Water Resour.**, v. 5, n. 3, p. 21-29, 2000.

BAPTISTA, Márcio; NASCIMENTO, Nilo; BARRAUD, Sylvie. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana**. Porto Alegre: ABRH, 2005. 266 p.

BATEZINI, R; BALBO, J. T. Estudo da condutividade hidráulica com carga constante e variável em concretos permeáveis. **Revista IBRACON de estruturas e materiais**, v. 8, n. 3, p. 248-259, 2015.

Chuva provoca deslizamentos e inundações em Divinópolis, MG. **G1**, 02 janeiro 2012. Disponível em: <http://g1.globo.com/minas-gerais/triangulo-mineiro/noticia/2012/01/chuva-provoca-deslizamentos-e-inundacoes-em-divinopolis-mg.html>. Acesso em: 11 nov. 2020.

Defesa Civil alerta população ribeirinha sobre nível do Rio Itapecerica que subiu com as chuvas em Divinópolis. **G1**, 2019. Disponível em: <<https://g1.globo.com/mg/centro-oeste/noticia/2019/12/12/defesa-civil-alerta-populacao-ribeirinha-sobre-nivel-do-rio-itapcerica-que-subiu-com-as-chuvas-em-divinopolis.ghtml>>. Acesso em: 11 nov. 2020.

FARIA, A. C.; SANTANA, J. G.; BARBOSA, J. M.; DONATO, M. Pavimento de concreto drenante: estudo da granulometria que favorece a drenagem e que afete o mínimo na resistência. In: **33º CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTE DA ANPET**, 2019, BALNEÁRIO CAMBORIÚ.

FILENI, Felipe de Mendonça; COSTA, Maria Elisa Leite; ALVES, Conceição de Maria Albuquerque. The application of LIDs in Savanna region for mitigation of flooded areas. RBRH, Porto Alegre , v. 24, e40, 2019 . Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2318-03312019000100240&lng=en&nrm=iso>. access on 23 Feb. 2021. Epub Oct 17, 2019. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.241920180177>.

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

MIGUEZ, Marcelo Gomes; VERÓL, Aline Pires; REZENDE, Osvaldo Moura. **Drenagem urbana: do projeto tradicional à sustentabilidade**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016. 366 p.

MOTTA, L. **Procedimentos de projeto viário em pavimentos permeáveis com base na ABNT NBR 16.416:2015 – comparação entre blocos permeáveis e convencionais**. 2019. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2019.

NASCIMENTO, Bruno Warley Leandro et al. **Estudo de flebotomíneos (diptera: psychodidae) no município de Divinópolis, Minas Gerais, Brasil**. 2013. Tese de Doutorado.

NIGRI, I. **Pavimentos permeáveis de concreto – requisitos gerais de projeto estabelecidos pela norma ABNT NBR 16416:2015**. 2017. 45 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

PINTO, Liliane Lopes Costa Alves. **O desempenho de pavimentos permeáveis como medida mitigadora da impermeabilização do solo urbano**. 2011. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

Possibilidade de chuva intensa deixa Defesa Civil em alerta em Divinópolis. **Portal Gerais**, 23 janeiro 2020. Disponível em: <<https://portalgerais.com/possibilidade-de-chuva-intensa-deixa-defesa-civil-em-alerta-em-divinopolis/>>. Acesso em: 11 nov. 2020.

SILVA, Jhonata Fernandes Ferreira. **Alternativas para controle de alagamentos urbanos utilizando telhados verdes e pavimentos permeáveis em um bairro da cidade do Recife**. 2019. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

SILVEIRA, ALL da; GOLDENFUM, Joel Avruch. Metodologia generalizada para pré-dimensionamento de dispositivos de controle pluvial na fonte. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 12, n. 2, p. 157-168, 2007.

SOUZA, Christopher Freire; CRUZ, Marcus Aurélio Soares; TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Desenvolvimento urbano de baixo impacto: planejamento e tecnologias verdes para a sustentabilidade das águas urbanas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 17, n. 2, p. 9-18, 2012.

SUDERHSA. Manual de Drenagem Urbana: Região Metropolitana de Curitiba/PR. p. 150, 2002.

TOMINAGA, Erika Naomi de Souza. **Urbanização e cheias: medidas de controle na fonte**. 2013. 137 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Inundações urbanas**. Porto Alegre: ABRH, 2007. 393 p.