

ANÁLISE TÉCNICA DE PAVIMENTOS PERMEÁVEIS: ASPECTO FÍSICO, HIDRÁULICO E MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

TECHNICAL ANALYSIS OF PERMEABLE PAVEMENTS: PHYSICAL, HYDRAULIC ASPECT AND PATHOLOGICAL MANIFESTATIONS

JOÃO MARCOS BOSI MENDONÇA DE MOURA, MSc. | FURB

NÚBIA PEIXER | FURB

PALOMA PFIFFER MUNIZ | FURB

RESUMO

O pavimento permeável permite simultaneamente o fluxo de tráfego e a retenção da água pluvial para o amortecimento das vazões de cheias em bacias hidrográficas urbanizadas. Embora seja crescente a implantação desta estrutura, poucos estudos dedicam-se a avaliá-lo em obras públicas. Diante disso, objetivou-se analisar o pavimento permeável implantado nas calçadas da Rua Nereu Ramos e Alameda Rio Branco, Blumenau, Santa Catarina, bem como elaborar uma proposta alternativa a qual busca apontar melhorias técnicas ao pavimento existente. Na análise contempla-se a descrição dos pavimentos “como construído” (*as built*), a determinação do coeficiente de permeabilidade da camada de revestimento e o registro de manifestações patológicas surgidas após a implantação da obra. Os resultados apontaram inadequações na estrutura do pavimento como baixa capacidade de reservação de água, baixo coeficiente de permeabilidade do revestimento e defeitos do tipo “placa bailarina”. Na proposta alternativa detalhou-se um perfil genérico da estrutura e dimensionou-se hidráulicamente o seu reservatório por meio do método da “curva envelope”. Espera-se que os aspectos levantados contribuam para aprimorar novas iniciativas de implantação de pavimentos permeáveis, possibilitando que a medida desempenhe corretamente a sua função no manejo de água pluvial sustentável.

PALAVRAS CHAVE: Manejo de água pluvial sustentável; Pavimento permeável; Calçada permeável; NBR 16416; Coeficiente de permeabilidade.

ABSTRACT

Permeable pavement provides traffic flow and rainwater retention to reduce flood flows in urbanized river basins. Although the implementation of this structure is increasing, few studies evaluating its performance in public constructions. Thus, the aim of the study was to analyze the permeable pavement implanted in the sidewalks of Nereu Ramos street and Rio Branco Avenue, Blumenau, Santa Catarina, as well as to elaborate an alternative proposal which seeks to point out technical improvements. The analysis includes the description of the pavements as built, the determination of the coating permeability coefficient, and the record of pathological manifestations that showed up after the construction of the structure. The results pointed out inadequacies in the pavement structure as low water reservoir capacity, low coating permeability coefficient and "ballet slab" defects. A generic profile of the structure was detailed and its reservoir was hydraulically dimensioned using the "envelope curve" method in the alternative proposal. It is hoped that the aspects raised will contribute to improve new initiatives for the implantation of permeable pavements, allowing the measure to correctly perform its function in the sustainable urban drainage systems.

KEY WORDS: Sustainable Urban Drainage Systems; Permeable pavement; Permeable sidewalk; NBR 16416; Permeability coefficient.



1. INTRODUÇÃO

No manejo de água pluvial sustentável (*Sustainable Urban Drainage Systems – SUDS*) busca-se evitar que medidas estruturais modifiquem as condições hidrológicas naturais e produzam maiores vazões em áreas a jusante (GONÇALVES; NUCCI, 2017). Estes princípios se alinham com as técnicas que amortecem a vazão de pico, reservam a água pluvial e que não intensificam ou criam novos riscos.

O pavimento permeável é um exemplo de técnica compensatória do manejo de água pluvial sustentável (CALDAS; LINS; SPOSTO, 2017; SILVEIRA; GOLDENFUM, 2007). A técnica “[...] permite a percolação e/ou acúmulo temporário de água, diminuindo o escoamento superficial, sem causar dano à sua estrutura” (ABNT, 2015, p.2).

Pode-se aplicá-lo em pátios, estacionamentos, calçadas, ciclovias e vias de tráfego leve (ABNT, 2015; KUMAR et al. 2016; RODRIGUÉZ-ROJAS et al., 2018). Como se trata de uma medida que pode reduzir o risco de danos associados às inundações bruscas (“enxurradas”), sua implantação deve estar sempre integrada ao planejamento urbano e de bacia hidrográfica (MARTINS, 2012).

No município de Blumenau, Santa Catarina, um relevante avanço deu-se no ano de 2017 com a execução de algumas “calçadas permeáveis” em vias públicas. Contudo, pouco se sabia se estas estruturas estavam adequadas tecnicamente visto que é relativamente recente a sua aplicação por parte do poder público municipal.

Revestimentos ineficazes e ausência ou sub-dimensionamento do reservatório são exemplos de fatores que impedem com que a estrutura efetivamente contribua para o sistema de manejo de água pluvial e produza benefícios ambientais e sociais (MOURA; CARMO; COLDEBELA, 2018).

Nesse contexto, o presente estudo avalia tecnicamente o pavimento permeável implantado nas calçadas da Rua Nereu Ramos e na Alameda Rio Branco, município de Blumenau, Santa Catarina. Analisou-se a sua estrutura física (*as built*), o coeficiente de permeabilidade do revestimento e as manifestações patológicas decorrentes após a implantação dos pavimentos. Posteriormente, apresenta-se uma proposta de projeto alternativo ao pavimento permeável analisado, buscando-se contribuir para que novas iniciativas sejam aprimoradas.

2. METODOLOGIA

Na Figura 1 observam-se as etapas metodológicas da pesquisa. A área de estudo compreende uma Rua e uma Alameda da área central do município de Blumenau, Santa Catarina. Implantaram-se os pavimentos permeáveis

nas calçadas destas vias cuja estrutura física foi analisada, bem como o desempenho hidráulico mensurado. Manifestações patológicas foram registradas considerando a terminologia do DNIT (2004).

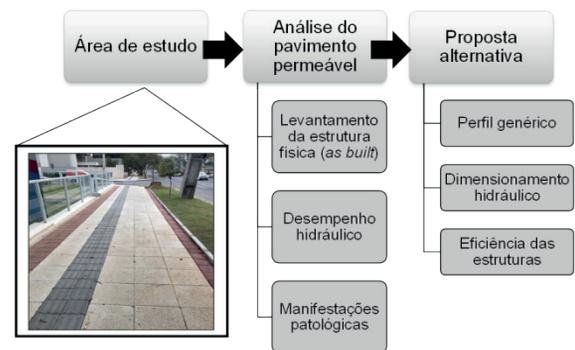


Figura 01 – Etapas metodológicas do estudo.
Fonte: Autores.

Por fim, elaborou-se uma proposta alternativa ao projeto existente com foco no dimensionamento hidráulico do pavimento e na determinação de sua eficiência.

2.1. Área de estudo

No final do ano de 2017 implantaram-se pavimentos permeáveis nas calçadas da Alameda Rio Branco e Rua Nereu Ramos do município de Blumenau, SC. O município possui aproximadamente 352.460 habitantes (IBGE, 2018) e se localiza na bacia hidrográfica do rio Itajaí, cuja área é de aproximadamente 15.000 km² (COMITE DO ITAJAÍ, 2010). Os passeios estudados possuem aproximadamente 2.000 metros de extensão e estão submetidos ao tráfego de pedestres de acordo com a definição da NBR 16416 (ABNT, 2015).

2.2. Estrutura física e desempenho hidráulico

Determinou-se a estrutura física do pavimento permeável “como construído” (*as built*) por meio de observações de campo. A Prefeitura Municipal de Blumenau não forneceu o projeto da obra para este estudo, embora se tenha solicitado por *email* e telefone.

Para a determinação do coeficiente de permeabilidade do revestimento do pavimento utilizaram-se os procedimentos da NBR 16416 (ABNT, 2015). Foram escolhidos aleatoriamente dois locais de análise, um para cada lado da via, a fim de contemplar todos os tipos de revestimentos cimentícios (Figura 2a). Em cada faixa de calçada realizaram-se cinco ensaios de determinação do coeficiente de permeabilidade, totalizando, portanto, 10 análises na Rua Nereu Ramos e 10 análises na Alameda Rio Branco.

O ensaio contou com os seguintes materiais: anel de infiltração de 30 centímetros de diâmetro com duas marcações a 1,0 e 1,5 cm do revestimento (Figura 2b), recipiente para quantificar e armazenar água, cronômetro, massa de calafetar (vedação) e água potável da rede pública.

Realizou-se a varredura de cada ponto antes da execução de cada teste. Em sequência, fez-se a pré-molhagem (Figura 2c). Utilizaram-se 3,6 L de água para os ensaios buscando-se sempre manter o nível d'água entre as duas marcações (Figura 2b). Simultaneamente cronometrou-se o tempo para a total infiltração dos 3,6 L de água (ABNT, 2015). O cálculo do coeficiente de permeabilidade (k) deu-se conforme a equação (1) (ABNT, 2015):

$$k = \frac{C \cdot m}{(d^2 \cdot t)} \quad (1)$$

Onde: k – coeficiente de permeabilidade (mm/h); m – massa da água infiltrada (kg); d – diâmetro do cilindro de infiltração (mm); t – tempo necessário para toda água infiltrar (s); C – fator de conversão de unidades do sistema SI, com valor igual a 4 583 666 000.



Figura 02 – Determinação do coeficiente de permeabilidade: a) indicação de 3 dos 5 pontos analisados em uma faixa da calçada; b) marcações e nível de água durante o ensaio; c) realização da pré-molhagem.

Fonte: Autores.

2.3. Manifestações patológicas

Não há uma norma específica para identificar manifestações patológicas em pavimentos permeáveis, portanto os defeitos foram caracterizados por meio de uma adaptação metodológica do DNIT (2004).

DNIT (2004) tem por objetivo de estabelecer uma nomenclatura padronizada de defeitos que ocorrem em pavimentos rígidos de concreto de cimento Portland. Os

tipos de defeitos considerados a luz da norma foram: alinhamento de placas, fissura de canto, placa dividida, desnível pavimento - acostamento, fissuras lineares, grandes reparos, pequenos reparos, desgaste superficial, quebras localizadas, passagem de nível, fissuras superficiais e escamação, fissuras de retração plástica, esborcinamento ou quebra de canto, esborcinamento de juntas, placa "bailarina", assentamento e buracos.

2.4. Proposta alternativa

A proposta alternativa de pavimento permeável consistiu-se na formulação de melhorias técnicas na estrutura analisada. As especificações relacionadas aos critérios e materiais do projeto alternativo se basearam nos requisitos da NBR 16416 (ABNT, 2015).

Para o dimensionamento hidráulico da camada de base do pavimento utilizou-se o método da "curva envelope" (SILVEIRA; GOLDENFUM, 2007) porque este considera a maximização da diferença entre altura de entrada e altura de saída no tempo (equação 2).

$$V_{max} = \left(\sqrt{\frac{a}{60}} \cdot \sqrt{\beta} \cdot T^{\frac{b}{2}} - \sqrt{\frac{c}{60}} \cdot \sqrt{q_s} \right)^2 \quad (2)$$

Onde: V_{max} – volume máximo de reservação (mm); a , b , c – parâmetros da equação IDF de Talbot; β – produto do coeficiente de escoamento pela razão entre a área contribuinte e área do dispositivo; T – período de retorno (anos); q_s – vazão de saída constante do dispositivo (mm/h).

Adotou-se inicialmente como 10 anos o período de retorno da chuva de projeto, o mínimo exigido pela NBR 16416 (ABNT, 2015).

Na Tabela 1 apresentam-se os parâmetros de cálculo da estação pluviométrica escolhida, a mais próxima da área de estudo. A transformação dos parâmetros K , m , d e n para uma IDF de Talbot se baseou na solução numérica de Silveira e Goldenfum (2007).

Estação	Coeficientes			
Código	K	m	d	n
02649007	782,4	0,193	9,0	0,700

Tabela 01 – Estação pluviométrica escolhida e parâmetros da relação IDF.

Fonte: Back e Bonetti (2014).

Determinou-se o coeficiente β por meio da equação (3):

$$\beta = \frac{A_{pav.} + C \cdot A}{A_{pav.}} \quad (3)$$

Sendo: A_{pav} – área de pavimento permeável (m^2); C – coeficiente de escoamento superficial da área de contribuição; A – área de contribuição do pavimento permeável (m^2).

As áreas de contribuição são ocupadas exclusivamente por edificações adensadas (coeficiente de escoamento superficial = 0,85). Mais detalhes sobre a delimitação das referidas áreas encontram-se nos trabalhos de Peixer (2017) e Muniz (2017).

O solo da região é predominantemente siltico-argiloso, de baixa condutividade hidráulica (EMBRAPA, 2004). Portanto, considerou-se nula para fins de cálculo a vazão de saída do subleito.

Por fim, a altura da camada de reservatório é resultante da razão entre o volume máximo de reservação e a porosidade do material de enchimento (equação 4).

$$H = \frac{V_{max}}{\eta} \quad (4)$$

Onde: H – altura do reservatório do pavimento permeável (mm); η – porosidade do material de enchimento do pavimento permeável (emprego de “brita 3” – $\eta = 35\%$).

2.4.1. Adaptação das alturas de reservatório

Grandes alturas da camada de reservatório podem elevar os custos da obra e ocasionar danos à estrutura devido às pressões hidrodinâmicas. Por esta razão adotou-se como 40 cm a altura máxima da camada de reservatório e recalculou-se a eficiência dos pavimentos que tiveram seu reservatório reduzido em relação ao dimensionamento inicial. Quantificou-se a nova eficiência por meio do período de retorno da chuva de projeto (equação 5).

$$T = \left(\frac{H \cdot \eta}{\frac{a}{60} \cdot \beta} \right)^{\frac{1}{b}} \quad (5)$$

Sendo: T – período de retorno (anos); H – altura do reservatório do pavimento permeável (mm); η – porosidade do material de enchimento do pavimento permeável; a – parâmetro da equação IDF de Talbot; β – equação (3).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Estrutura física (as built)

Na Figura 3 representa-se o perfil predominante dos pavimentos permeáveis implantados nas calçadas da Rua Nereu Ramos e Alameda Rio Branco.

Observa-se que se adotou o sistema de infiltração total no subleito, não havendo manta impermeável ou drenos na base da camada de reservação (Figura 3).

O revestimento implantado possui 6 cm de espessura (Figura 3) e não atende a espessura mínima requerida pela NBR 16416 para tráfego leve (ABNT, 2015). Não foi possível avaliar o comportamento mecânico do material.

Ao final da obra aplicou-se uma camada de areia sobre o revestimento com o intuito de manter preenchidas as juntas. Trata-se de uma etapa alinhada ao método convencional de execução convencional de peças intertravadas de concreto (GODINHO; GROSSI, 2002), sem considerar que tal ação pode colmatar as juntas e os poros do revestimento.

A camada de assentamento do pavimento conta com 2 cm de pó de brita compactada por rolo compactador liso. Neste caso a NBR 16416 (ABNT, 2015) recomenda a utilização de areia com faixa granulométrica entre 1,16 e 9,50 mm.

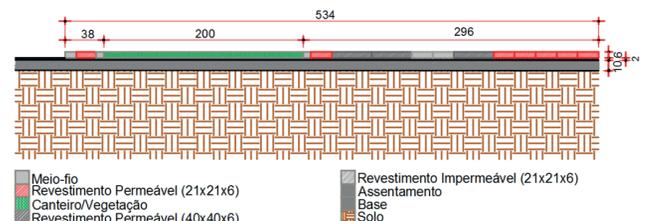


Figura 03 – Perfil predominante do pavimento implantado na Alameda Rio Branco, Blumenau, SC (sem escala/ medidas em centímetros).

Fonte: Autores.

A aplicação de pó de brita é inadequada do ponto de vista normativo porque pode prejudicar o desempenho hidráulico da estrutura. Além disso, a ausência de uma manta de geotêxtil entre a camada de assentamento e de base possibilita o transporte de sedimentos para o reservatório, reduzindo seu volume útil.

No que se refere à camada de base, isto é, ao reservatório (Figura 3), observou-se a execução de altura fixa de 10 cm de brita comercialmente denominada como “graduada” (mistura de brita 0, brita 1 e pó de brita). A altura fixa do reservatório em todas as calçadas revela que provavelmente o pavimento não foi dimensionado hidráulicamente. Ademais, o emprego da “brita graduada” não é comum na execução da camada de base, porque proporciona ao reservatório uma baixa capacidade de reservação por unidade de volume (ACIOLI, 2005).

Considerando estes dois fatores (gradação do material de enchimento e altura fixa da camada de reservação), pode-se inferir que não se concebeu o pavimento como de fato uma técnica compensatória do manejo de água pluvial sustentável.

	Rua Nereu Ramos, Blumenau, SC										Alameda Rio Branco, Blumenau, SC										
	Lado esquerdo (nº 845)					Lado direito (nº 828)					Lado esquerdo (nº 840)					Lado direito (nº 697)					
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
Tempo de infiltração (s)	3583	>3600				3592	846	>3600	843	>3600	2940	>3600				1783	>3600				3094
k - Coeficiente de permeabilidade (mm/s)	0,01	<0,01				0,01	0,06	<0,01	0,06	<0,01	0,02	<0,01				0,03	<0,01				0,02
Condição técnica – NBR 16416 (ABNT, 2015)	Inadequado (K < 1mm/s)																				

Tabela 2 – Coeficientes de permeabilidade das calçadas da Rua Nereu Ramos e Alameda Rio Branco, Blumenau, SC.

Fonte: Autores.

O reservatório constitui-se em um dos elementos “chave” da estrutura porque é o responsável por reter temporariamente a água pluvial e amortecer os picos de cheia de corpos d’água e/ou dos sistemas de drenagem.

Portanto, problemas vinculados ao reservatório reduzem ou até mesmo inviabilizam a produção de benefícios em vários aspectos. Do ponto de vista ambiental, um reservatório ineficaz não permite que as condições hidrológicas naturais sejam restauradas ou pelo menos minimamente afetadas (GONÇALVES; NUCCI, 2017). Já na perspectiva social, a falha de medidas estruturais gera dispêndio de recursos (públicos, neste caso) e uma falsa percepção de segurança da população em relação ao risco de inundações.

3.2. Desempenho hidráulico

Na Tabela 2 observam-se os resultados dos testes de determinação do coeficiente de permeabilidade da camada de revestimento dos pavimentos da Rua Nereu Ramos e da Alameda Rio Branco. Apresenta-se o tempo de infiltração da água utilizada no teste, bem como o próprio coeficiente de permeabilidade de cada ponto analisado.

Os valores expressos por “>3600” representam tempo de espera para a infiltração total superior a 3600 s (1 hora). De 1 a 5 estão numerados cada ponto de análise em cada lado/faixa de calçada.

Observa-se que os coeficientes de permeabilidade para este pavimento encontram-se abaixo do recomendado por norma (ABNT, 2015). Além disso, durante os ensaios observou-se que a infiltração da água ocorria pelas juntas e não pelo revestimento.

Alguns fatores podem ter contribuído para que não houvesse infiltração de água no revestimento. Os seus poros podem ter sido colmatados devido ao espalhamento de areia (etapa final da execução) ou de fato não há poros interconectados no material, característica fundamental

de materiais cimentícios permeáveis (COSTA et al., 2018).

Vale ressaltar, que a NBR 16416 (ABNT, 2015) não elimina a possibilidade de a água pluvial infiltrar exclusivamente pelas juntas do pavimento permeável. Todavia, há condições técnicas que devem ser consideradas como tamanho da junta, composição granulométrica do material de enchimento e índice de porosidade.

3.3. Manifestações patológicas

Na Figura 4a observa-se o principal e mais frequente defeito registrado após a implantação do pavimento permeável em estudo. Trata-se da manifestação patológica denominada pelo DNIT (2004) como “placa bailarina”.



Figura 04 – a) defeito do tipo placa “bailarina” em pavimentos permeáveis recém-implantados; b) execução de camada de concreto “seco” / poroso.

Fonte: Autores.

O fenômeno consiste na movimentação visível e vertical da placa ao ser submetida à ação de tráfego. Registrou-se sua ocorrência em quase todas as áreas com passagem de veículos automotores (Figura 4a). Em alguns casos essa movimentação associou-se ao rebaixamento da camada de assentamento e até mesmo à ruptura do revestimento.

Para solucionar o problema e evitar a movimentação do revestimento substituiu-se a camada de assentamento das áreas afetadas por uma camada de concreto “seco”, poroso (Figura 4b). Embora se tenha resolvido o defeito não se sabe o quanto essa camada de concreto é resistente, durável e permeável.

De maneira alternativa, menores peças de concreto permeável poderiam ser empregadas nessas regiões para evitar o fenômeno de “alavanca” e possibilitar um maior travamento do revestimento. A aplicação de menores placas também aumentaria a concentração de juntas por metro quadrado, o que possivelmente aumentaria o coeficiente de permeabilidade do revestimento.

3.4. Proposta alternativa

A seguir descreve-se a proposta alternativa de pavimento permeável nas calçadas da Rua Nereu Ramos e Alameda Rio Branco. Salienta-se que não se pretende aqui esgotar todas as especificações técnicas necessárias para a execução da estrutura. Já há uma ampla literatura técnica sobre o assunto (ABNT, 2015; ACI 2010; MARCHIONI; SILVA, 2011).

Objetiva-se neste item pontuar os aspectos mais relevantes para que a estrutura cumpra a sua função no manejo de água pluvial sustentável. Deste modo, considerando o caráter científico do estudo, também se discute e problematizam alguns aspectos normativos.

3.4.1. Perfil genérico e especificações

Na Figura 5 apresenta-se um perfil genérico e alternativo ao da obra em estudo baseado nas considerações da NBR 16416 (ABNT, 2015). Observa-se que cinco elementos compõe o pavimento, são eles: revestimento, camada de assentamento, reservatório, drenos e manta geotêxtil.

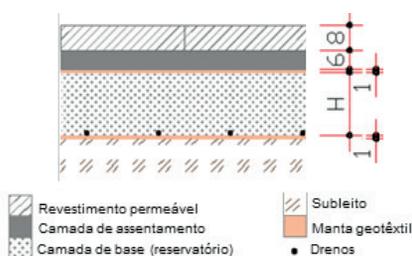


Figura 05 – Perfil genérico proposto para o pavimento permeável (sem escala/ medidas em centímetros / “H” variável, resultado do dimensionamento hidráulico).

Fonte: Autores.

O revestimento do pavimento pode ser composto por *pavers* com juntas alargadas, peças de concreto permeável intertravadas, placas de concreto permeável ou concreto permeável moldado no local (ABNT, 2015). Caso se escolha um revestimento de concreto permeável moldado no local a espessura deve possuir pelo menos 10 cm (tráfego leve), os demais devem possuir espessura mínima de 8 cm (tráfego leve). Na literatura científica encontram-se inúmeros estudos que permitem desenvolver um concreto permeável com um

desempenho adequado do ponto da NBR 16416 (ACI, 2010; CARLS, 2018; MOURA; CARMO; COLDEBELA, 2018; NGUYEN et al., 2014).

Na camada de assentamento propõe-se que o material granular seja compactado o mínimo possível nas regiões de tráfego exclusivo de pedestres. Sugere-se uma altura de 6 cm para esta camada e o emprego de agregados graúdos com dimensão igual ou inferior a 9,5 mm. Deve-se evitar o uso de areia fina, média ou pó de brita.

O reservatório do pavimento (camada de base) deve ser composto por agregados de distribuição granulométrica aberta, proporcionando um maior número de vazios. Em geral, para evitar que os reservatórios tenham grandes alturas empregam-se agregados graúdos de 25 a 50 mm de diâmetro, denominados comercialmente como “brita 3” (SOUZA, 2002).

Na Figura 5 também se constata o emprego de duas camadas de manta geotêxtil. Uma entre a camada de assentamento e o reservatório e outra entre a camada de reservatório e o subleito. Assim busca-se evitar o transporte de sedimentos para o reservatório, fenômeno físico que resultaria na diminuição da sua capacidade de reservação.

Por fim, propõe-se a aplicação de drenos na base do reservatório com a finalidade de escoar gradativamente o volume de água para o sistema de drenagem local e amortecer os picos de cheia durante eventos de chuva intensa.

3.4.2. Dimensionamento hidráulico

Na Figura 6 indicam-se os trechos dimensionados hidráulicamente pelo método da “curva envelope”. Trata-se de um método que considera os parâmetros de chuva da região e que por esta razão a NBR 16416 permite que seja utilizado.

Com a aplicação do método da “curva envelope” não foi possível considerar o tempo de duração da chuva recomendado pela NBR 16416 (60 minutos). Isto porque o método considera sempre o tempo em que ocorre a máxima diferença entre altura de entrada (água escoada superficialmente) e altura de saída (água infiltrada pelo subleito + água drenada).



Figura 06 – Perfil genérico proposto para o pavimento permeável (sem escala).

Fonte: Adaptada de Google Maps (2018).

Alameda Rio Branco								Rua Nereu Ramos					
Quadra	H (cm)	Quadra	H (cm)	Quadra	H (cm)	Quadra	H (cm)	Quadra	H (cm)	Quadra	H (cm)	Quadra	H (cm)
1	25	7	25	13	25	19	25	20	40	26	60*	32	25
2	45*	8	25	14	40			21	25	27	25	33	25
3	25	9	25	15	25			22	25	28	25	34	70*
4	25	10	25	16	25			23	25	29	25	35	25
5	25	11	25	17	25			24	60*	30	70*	36	25
6	40	12	35	18	55*			25	25	31	25	37	25

Tabela 3 – Localização dos trechos dimensionados e a sua respectiva altura de reservatório (H).

Fonte: Autores.

* Alturas de reservatório alteradas posteriormente.

Cada trecho dimensionado (Figura 6 e Tabela 3) corresponde a uma quadra, isto é, unidades independentes, as quais recebem água pluvial escoada superficialmente e proveniente exclusivamente da sua área.

A Alameda Rio Branco possui 19 quadras dimensionadas e a Rua Nereu Ramos 18, formando ao todo 37 unidades. Nesta última Rua dimensionou-se até o cruzamento com a Rua Pastor Stutzer porque se trata do local de término da obra (Figura 6).

As alturas de reservatório (H) variaram de 25 a 70 cm, sendo resultantes de arredondamento por números múltiplos de cinco. Duas quadras (nº 2 e 18) na Alameda Rio Branco e quatro quadras (nº 24, 26, 30 e 34) na Rua Nereu Ramos tiveram alturas maiores que 40 cm (Tabela 3). Todas estas seis quadras recebem água escoada superficialmente de lotes privados e em nenhum caso as áreas de contribuição superaram a área do pavimento em 500% (recomendação da NBR 16416).

Não obstante, espera-se que futuramente estes lotes particulares apliquem técnicas compensatórias de manejo de água pluvial e “assumam” o volume produzido em sua propriedade. Por esta razão propõe-se limitar para 40 cm a altura dos reservatórios. Além disso, busca-se evitar que grandes fluxos de água gerem manifestações patológicas no pavimento.

Esta limitação de altura do reservatório não está contemplada na NBR 16416, ainda que se possa considerar que a questão é indiretamente abordada na restrição do tamanho da área de contribuição. No entanto, observa-se que a recomendação é insuficiente e ainda permite a obtenção de alturas pouco usuais em trabalhos científicos que monitoraram o comportamento da estrutura por um período significativo de tempo (ACIOLI, 2005; CASTRO et al., 2013; PINTO, 2011; VIRGILIIS, 2009).

Ainda sim, se reconhece o caráter empírico da atribuição. Não foram encontradas pesquisas que correlacionem o efeito de propriedades hidrodinâmicas internas na durabilidade de pavimentos permeáveis.

Deste modo, na Tabela 4 encontra-se quantificado o impacto da redução da altura dos reservatórios no tempo de retorno da chuva de projeto, ou seja, no parâmetro que traduz a probabilidade de falha hidráulica da estrutura.

Quadra	H _{dim} (cm)	H _{nova} (cm)	T _{novo} (anos)
2	45	40	1,4
18	55		7,6
24	60		1,3
26	60		1,4
30	70		0,4
34	70		0,4

Tabela 04 – Impacto da redução da altura dimensionada (H_{dim}) no período de retorno da chuva de projeto (T_{novo}).

Fonte: Autores.

Nota-se que o período de retorno da chuva de projeto dos seis trechos analisados se reduz significativamente em relação ao período de retorno inicialmente adotado (10 anos).

Nesse sentido três aspectos podem ser levantados. Primeiro referente à importância de que cada lote contribua efetivamente para um manejo de água pluvial sustentável, de modo que não diminua a eficiência das estruturas implantadas em locais públicos (Tabela 4).

Segundo, concernente à recomendação estipulada pela NBR 16416 de utilizar um período de retorno da chuva de projeto de pelo menos 10 anos. Ao propor este nível de eficiência o/a projetista deve se atentar à dinâmica hidrológica do local da implantação. Pouco adianta dimensionar o pavimento considerando um período de retorno da chuva de projeto igual a 10 anos, se a área de implantação é inundada com mais frequência devido a fatores de macro escala, pouco impactados pelo uso de técnicas compensatórias (questão de macrodrenagem).

Para exemplificar, pode-se citar o caso da própria área de estudo, que se localiza as margens do Rio Itajaí-açu (Figura 6), principal corpo d’água da bacia do Rio

Itajaí-açu. O período de retorno de inundação da área devido ao extravasamento deste rio é próximo aos 10 anos (CEOPS, 2017; DEFESA CIVIL DE BLUMENAU, 2017). Em outras palavras, pode-se inferir que em média a cada 10 anos a área é inundada ao menos uma vez devido a fatores relacionados ao canal principal. Neste caso seria baixo o efeito de técnicas compensatórias uma vez que a área urbanizada não alcança 5% do território da bacia (COMITE DO ITAJAI, 2010). Assim, não seria lógico dimensionar o pavimento para um período de retorno de chuva de projeto maior que 10 anos, já que é muito provável que o pavimento seja submerso, antes mesmo que ocorra a falha hidráulica da estrutura.

Por fim, estes aspectos apontam uma terceira questão: a limitação das técnicas compensatórias. Destaca-se que o pavimento permeável atua no controle do volume de água (cheia, enchente, processo hidrológico) e não nas condições de escoamento do canal (processo hidráulico). Remete-se, portanto, a necessidade da gestão urbana considerar todos os fatores que constroem o risco de desastres associados às inundações.

Outra questão que revela a limitação de qualquer obra de engenharia hidráulica é o próprio período de retorno da chuva de projeto. O parâmetro traduz a probabilidade de falha hidráulica da estrutura e é definido em função de aspectos técnicos, econômicos e operacionais. Os/As projetistas devem esclarecer isso aos/às gestores/as públicos/as e à população. Medidas estruturais visam reduzir o risco de danos e não possuem capacidade de prevenir desastres associados às inundações (MOURA; VIEIRA; BOHN, 2016). Por esta razão é importante que a implantação de pavimentos permeáveis seja resultante de uma política pública urbana articulada com o Plano de Bacia Hidrográfica e que aborde outros temas igualmente importantes como: regulação do uso e ocupação do solo, educação ambiental e qualificação continuada do quadro técnico público (projetistas, fiscais, etc.).

4. CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS

A presente pesquisa objetivou avaliar tecnicamente o pavimento permeável implantado no município de Blumenau-SC num contexto em que pouco se sabia sobre a medida recentemente implantada pelo poder público municipal.

Os resultados indicaram desajustes técnicos nos reservatórios do pavimento, bem como baixo coeficiente de permeabilidade do revestimento e defeitos do tipo “placa bailarina”. Embora as manifestações patológicas tenham sido resolvidas, salienta-se que os outros problemas comprometem o funcionamento da estrutura no manejo de água pluvial sustentável.

Por esta razão, se elaborou uma proposta alternativa. Detalhou-se um perfil genérico da estrutura permitindo que o pavimento não apenas reduza o escoamento superficial, mas também reserve e amortee os picos de cheia durante eventos de chuva. Portanto, concebeu-se o pavimento permeável como uma medida de redução de cheia (enchente). Este aspecto poderia ser adicionado à terminologia da NBR 16416 ao se referir ao pavimento permeável. Assim deixa-se esclarecida a sua principal função no manejo de água pluvial sustentável.

O dimensionamento hidráulico realizado considerou aspectos técnicos e discutiu algumas recomendações da NBR 16416 como o tempo de duração e o período de retorno da chuva de projeto. Deve-se considerar a dinâmica hidrológica local ao estabelecer um valor mínimo para o tempo de retorno, tendo em vista que as técnicas compensatórias são projetadas considerando as incertezas inerentes a qualquer obra de engenharia.

Deste modo espera-se que novas iniciativas de implantação de pavimentos permeáveis sejam incorporadas ao planejamento urbano, considerando fatores técnicos, econômicos e ambientais, proporcionando benefícios ao desenvolvimento sustentável das cidades.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 16416 – Pavimentos permeáveis de concreto – Requisitos e procedimentos**. Rio de Janeiro: 2015.
- ACI – AMERICAN CONCRETE INSTITUTE - ACI 522R-10. **Report on pervious concrete**. Farmington Hills, Michigan: American Concrete Institute; 2010. 38p.
- ACIOLI, L. A. **Estudo experimental de pavimentos permeáveis para o controle do escoamento superficial na fonte**. 2005. Dissertação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- BACK, Á. J.; BONETTI, A. V. Chuva de projeto para instalações prediais de águas pluviais de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 4, p.260-267, dez. 2014.
- CALDAS, L. R.; LINS, D. N.; SPOSTO, R. M. Avaliação do

ciclo de vida de um pavimento de concreto drenante considerando diferentes unidades funcionais. **MIX Sustentável**, v. 3, n. 3, p. 14-23, 2017.

CARLS, B. **Coefficiente de permeabilidade, resistência mecânica e durabilidade de concreto permeável dosado por três diferentes métodos**. 2018, 121 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Regional de Blumenau, Blumenau.

CASTRO, A. S. et al. Avaliação da evolução do comportamento quantitativo de pavimentos permeáveis no controle do escoamento superficial. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, n. 1, p. 263-273, 2013.

CEOPS - CENTRO DE OPERAÇÕES DO SISTEMA DE ALERTA. **Relatório de Cota-enchente de Blumenau**, 2012. 35 p. Disponível em: <http://ceops.furb.br/cotas/Relatorio_Final_Cotas_Enchentes-09-11-2012.pdf> Acesso em: 08 out. 2017.

COMITE DO ITAJAI. **Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Itajai**. Caderno síntese. 2010. Disponível em: <http://www.aguas.sc.gov.br/...rio-itajai/...rio-itajai/.../173_162158b668453a53c5b010ac0aa>. Acesso em: 03 jan 2019.

COSTA, F. B. P. et al. Best practices for pervious concrete mix design and laboratory tests. **Rev. IBRACON Estrut. Mater.** v. 11, n. 5, p. 1151-1159, 2018.

DEFESA CIVIL DE BLUMENAU. **Cotas de Enchentes**. Disponível em: <<http://alertablu.cob.sc.gov.br/p/cotas>> Acesso em: 08 out. 2017.

DNIT-DEPARTAMENTONACIONALDEINFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **061: Pavimento rígido - Defeitos - Terminologia**. Rio de Janeiro: Diretoria de Planejamento e Pesquisa, 2004. 13 p.

EMBRAPA. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**. Solos do Estado de Santa Catarina. 2004. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/.../BPD462004SantaCatarina.pdf>>. Acesso em: 7 mar 2017

GODINHO, D. P.; GROSSI, L. C. **Pavimentos de concreto intertravado**. 2002. Disponível em: <<http://piniweb17.pini.com.br/construcao/noticias/>

pavimentos-de-concreto-intertravados-80764-1.aspx> Acesso em: 02 jan 2019.

GONÇALVES, F. T.; NUCCI, J. C. Sistemas de drenagem sustentável (SUDS): proposta para a bacia do rio Juveve, Curitiba-PR. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 42, p. 192-209, 2017.

GOOGLE MAPS. **Google Maps**. Disponível em: <<https://maps.google.com/>>. Acesso em: 21 dez 2018.

IBGE. **Blumenau, Santa Catarina, Brasil**. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=420240>>. Acesso em: 2 set 2018.

KUMAR, K. et al. In-situ infiltration performance of different permeable pavements in a employee used parking lot–A four-year study. **Journal of Environmental Management**, v. 167, p. 8-14, 2016.

MARCHIONI, M.; SILVA, C. O. **Pavimento Intertravado Permeável - Melhores Práticas**. São Paulo, Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), 2011. 24 p.

MARTINS, J. R. S. Gestão da drenagem urbana: só tecnologia será suficiente. **Revista DAEE**, v. 1, p. 1-11, 2012.

MOURA, J. M. B. M.; VIEIRA, R.; BOHN, N. Barragem de Contenção de Cheias e Políticas Públicas: o caso de Ituporanga–SC, Brasil. **Sustentabilidade em Debate**, v. 6, n. 3, p. 70-88.

MOURA, J. M. B. M.; CARMO, J. L. ; COLDEBELA, A. . Proposta de implantação de pavimentos permeáveis em ciclovias e ciclofaixas: estudo de caso em Blumenau-SC. In: VI Encontro de Sustentabilidade em Projeto, 2018, Florianópolis. **Anais... ENSUS 2018**. Florianópolis: UFSC/VIRTUHAB, 2018. v. 2. p. 672-682, 2018.

MUNIZ, P. P. **Análise técnica de pavimentos permeáveis implantados no município de Blumenau-SC: um estudo de caso na Rua Nereu Ramos**. Trabalho de Conclusão de Curso. Engenharia Civil, Fundação Universidade Regional de Blumenau. 2017.

NGUYEN, D. H. et al. A modified method for the design of pervious concrete mix. **Construction and Building Materials**, v. 73, p. 271-282, 2014.

PEIXER, N. **Análise técnica de pavimentos permeáveis implantados no município de Blumenau-SC: um estudo de caso na Alameda Rio Branco**.

Trabalho de Conclusão de Curso. Engenharia Civil, Fundação Universidade Regional de Blumenau. 2017.

PINTO, L. L. C. A. **O desempenho de pavimentos permeáveis como medida mitigadora da impermeabilização do solo urbano**. 2011, 283 p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

RODRÍGUEZ-ROJAS, M. I. et al. A study of the application of permeable pavements as a sustainable technique for the mitigation of soil sealing in cities: A case study in the south of Spain. **Journal of Environmental Management**, v. 205, p. 151-162, 2018.

SILVEIRA, A.L.L.; GOLDENFUM, J. A. 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, V. C. B. S. **Estudo experimental de trincheiras de infiltração no controle da geração do escoamento superficial**. 2002, 137 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

VIRGILIS, A. L. C. **Procedimento de projeto e execução de pavimentos permeáveis visando retenção e amortecimento de picos de cheias**. 2009, 191 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) –Universidade de São Paulo, São Paulo.

AUTORES

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4847-3160>

JOÃO MARCOS BOSI MENDONÇA DE MOURA, MSc. | Universidade Regional de Blumenau | Departamento de Engenharia Civil | Blumenau, SC - Brasil | Correspondência para: R. São Paulo, 3250, sala i-102 - Itoupava Seca, Blumenau - SC, 89030-000 | E-mail: joaomarcosmm@hotmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9308-8878>

NÚBIA PEIXER | Universidade Regional de Blumenau | Curso de Engenharia Civil | Blumenau, SC - Brasil | Correspondência para: R. São Paulo, 3250, sala i-102 - Itoupava Seca, Blumenau - SC, 89030-000 | E-mail: nubiapeixer@hotmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8575-229X>

PALOMA PFIFFER MUNIZ | Universidade Regional de Blumenau | Curso de Engenharia Civil | Blumenau, SC - Brasil | Correspondência para: (R. São Paulo, 3250, sala i-102 - Itoupava Seca, Blumenau - SC, 89030-000) | E-mail: palomapfiffer@gmail.com

COMO CITAR ESTE ARTIGO

MOURA, João Marcos Bosi Mendonça de; PEIXER, Núbia; MUNIZ, Paloma Pfiffer. Análise técnica de pavimentos permeáveis: aspecto físico, hidráulico e manifestações patológicas. **MIX Sustentável, [S.l.], v. 5, n. 1, p. 75-84, mar-jun. 2019**. ISSN 24473073. Disponível em: <<http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel>>. Acesso em: dia mês. ano. doi:<https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2019.v5.n1.75-84>.

DATA DE ENVIO: 07/01/2019

DATA DE ACEITE: 13/02/2019