

Eficiência de drenagem de um modelo de pavimento de concreto permeável sob chuva natural

Draining efficiency of a permeable concrete pavement model under natural rainfall

Leonardo Furtado(1); Aline de Almeida Mota(2); Fernando Grison(3); Mauro Leandro Menegotto(4)

1 Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Chapecó, SC, Brasil.

E-mail: leonardofurtadoo@hotmail.com | ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6010-0466>

2 Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Chapecó, SC, Brasil.

E-mail: aline.mota@uffs.edu.br | ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9158-8561>

3 Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Chapecó, SC, Brasil.

E-mail: fernando.grison@uffs.edu.br | ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5256-8744>

4 Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Chapecó, SC, Brasil.

E-mail: mauro.menegotto@uffs.edu.br | ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0660-9795>

Revista de Engenharia Civil IMED, Passo Fundo, vol. 8, n. 1, p. 128-144, janeiro-junho, 2021 - ISSN 2358-6508

[Recebido: junho 08, 2020; Aceito: agosto 17, 2020]

DOI: <https://doi.org/10.18256/2358-6508.2021.v8i1.4153>

Endereço correspondente / Correspondence address

Mauro Leandro Menegotto

Universidade Federal da Fronteira Sul, Campus Chapecó
Rodovia SC 484 - Km 02. Bairro Fronteira Sul, Chapecó –
SC, Brasil.

CEP 89815-899

Sistema de Avaliação: *Double Blind Review*

Editora: Aline Zanchet

Como citar este artigo / How to cite item: [clique aqui! / click here!](#)

Resumo

O crescimento das cidades traz consigo a construção de moradias, ruas asfaltadas, calçadas e diversas outras construções impermeáveis sobre o solo. Assim, a urbanização tem como uma das consequências o aumento do escoamento superficial da água da chuva. Diante dessa problemática é preciso encontrar práticas que melhorem o funcionamento da drenagem urbana. Deste modo, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a eficiência de drenagem de um modelo de pavimento de concreto permeável submetido à chuva natural. Inicialmente foram produzidos blocos de concreto permeável cuja a resistência à tração na flexão e a permeabilidade foram avaliadas. Posteriormente foi construído um modelo de pavimento permeável, com o devido dimensionamento das camadas de assentamento e de base e com dispositivos de coleta da água do escoamento superficial no pavimento. Os dados de escoamento superficial foram relacionados com os dados de chuva natural para o cálculo do coeficiente de escoamento superficial deste pavimento permeável. Também foi determinado o coeficiente de permeabilidade do pavimento, que apresentou um valor de $1,5 \cdot 10^{-2}$ m/s. Os resultados de resistência à tração na flexão e coeficiente de permeabilidade do concreto foram de 1,72 MPa e $1,8 \cdot 10^{-2}$ m/s, respectivamente. O coeficiente de escoamento superficial médio foi de 0,024, o que demonstra a eficiência do modelo de pavimento de concreto permeável na redução do escoamento superficial.

Palavras-chave: Concreto permeável. Pavimento permeável. Escoamento superficial. Drenagem urbana. Chuva natural.

Abstract

The growth of the cities brings about the construction of houses, paved streets, sidewalks and several other impermeable buildings. Thus, a consequence of the urbanization is a greater rainwater surface runoff. Faced with this problem, it is necessary to find practices that improve the urban drainage operation. The present paper aims to evaluate the drainage efficiency of a permeable concrete pavement model under natural rainfall. The flexural tensile strength and the permeability of the permeable concrete were evaluated. Also, a permeable pavement model was built with proper design of the bedding and aggregate layers. This model made it possible to collect the surface runoff generated and thus, by relating these data to natural rainfall, it was possible to calculate the runoff coefficient of the permeable pavement. The permeability coefficient of the permeable pavement was $1,5 \cdot 10^{-2}$ m/s. The results of flexural tensile strength and concrete permeability coefficient were 1,72 MPa and $1,8 \cdot 10^{-2}$ m/s. The mean runoff coefficient was 0,024. Therefore, this work shows the efficiency of the permeable concrete pavement model in reducing surface runoff.

Keywords: Permeable concrete. Permeable pavement. Surface runoff. Urban drainage. Natural rainfall.

1 Introdução

O crescimento das cidades traz consigo a construção de moradias, ruas asfaltadas, calçadas e diversas construções impermeáveis sobre o solo. Assim, a urbanização tem como consequência um maior escoamento superficial da água da chuva. Com isso, surgem problemas como alterações no volume e na qualidade do ciclo hidrológico. O gerenciamento da drenagem urbana tem tido como desafio direcionar o volume de água oriundo do escoamento superficial para galerias, que conduzem essas águas a jusante. Porém, pelo fato de cada vez mais a proporção de área impermeabilizada se tornar maior em relação à área com o solo exposto, os sistemas de drenagem urbana não suportam o volume de água, gerando assim, enchentes e inundações (ARAÚJO; TUCCI; GOLDEFUM, 2000). Para minimizar tal problema, nos últimos anos tem sido desenvolvidos sistemas e tipos de construções que visam a diminuição do escoamento superficial.

Uma das soluções empregadas para a redução do escoamento superficial é a utilização de pavimentos permeáveis, cujo objetivo é a infiltração da água da chuva através de uma superfície permeável, sendo direcionada a um reservatório de pedras localizado sobre a superfície do terreno (URBONAS; STAHR, 1993). Segundo Batezini (2013), a água que fica retida neste reservatório de pedras pode ser direcionada para um ponto de captação específico ou infiltrada no subsolo, promovendo a recarga do lençol freático e, conseqüentemente, uma melhora no balanço hídrico.

A implantação de um pavimento permeável serve como uma técnica compensatória, eficiente no manejo das águas pluviais, diminuindo a solicitação dos sistemas de drenagem convencionais e a propensão de sobrecarga nos mesmos. Os pavimentos permeáveis oferecem elevada eficiência hidrológica e conseqüente redução do escoamento superficial (SILVA; MENEZES FILHO, 2019). De acordo com Lima et al. (2019), esse tipo de pavimento pode ser aplicado para tráfego considerado leve, como calçadas destinadas a circulação de pedestres, ciclovias e áreas onde não há carga demasiada sobre o pavimento.

Neste contexto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a eficiência do concreto permeável na redução do escoamento superficial por meio da construção de um modelo de pavimento permeável. Este modelo possibilitou a medição do volume escoado superficialmente em eventos de chuva natural. Em posse dos dados de escoamento e precipitação foi possível determinar a eficiência de infiltração do pavimento permeável por meio do coeficiente de escoamento superficial.

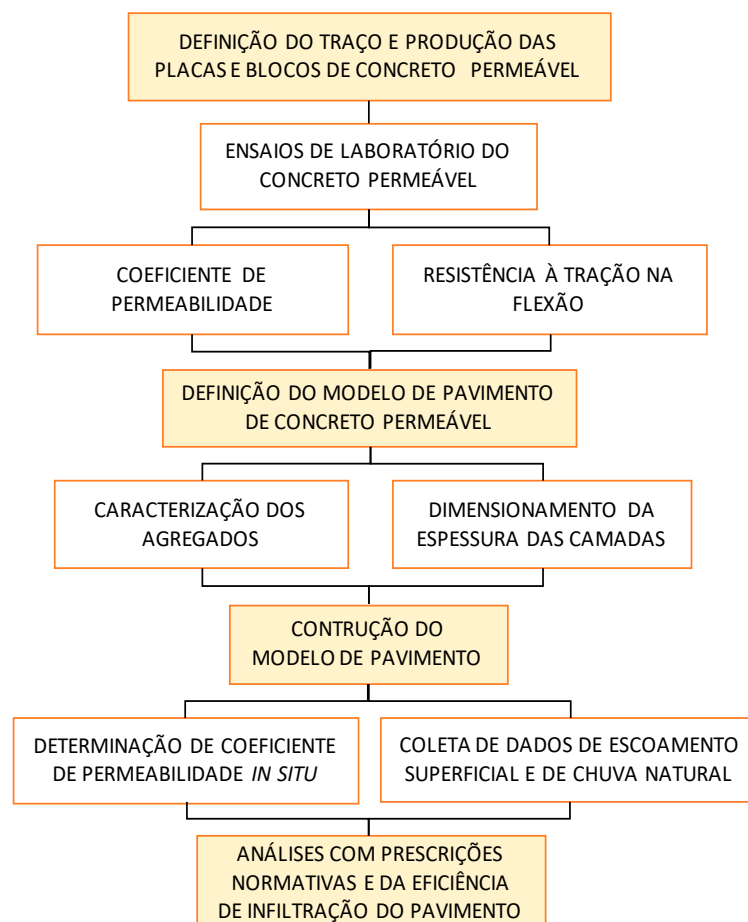
Alessi, Kokot e Gomes (2006) e Salbego e Silva (2018) desenvolveram um trabalho semelhante, porém com chuva artificial, com controle de intensidade da água precipitada. Isso implica em uma diferença importante com relação a esse estudo, em que a intensidade da chuva varia ao longo do tempo e é influenciada por fatores

meteorológicos. De acordo Cataldi et al. (2007), as variáveis umidade, temperatura média e a velocidade horizontal do vento interferem diretamente no comportamento da chuva e, conseqüentemente, influenciam no escoamento superficial. Com isso, o presente trabalho propôs um cálculo da eficiência de drenagem do pavimento mais representativo perante a realidade dos eventos de chuva do cotidiano.

2 Materiais e métodos

Inicialmente foi realizada a caracterização dos agregados utilizados na produção do concreto permeável e do modelo de pavimento. Em seguida, foram produzidos os blocos e as placas de concreto permeável para a avaliação, respectivamente, da resistência à tração na flexão e da permeabilidade. Posteriormente foi construído um modelo de pavimento permeável, com o devido dimensionamento das camadas de base e de assentamento, em conjunto com os dispositivos de coleta da água do escoamento superficial no pavimento. Os dados de escoamento superficial foram relacionados com os dados de chuva natural para o cálculo do coeficiente de escoamento superficial deste pavimento permeável. A Figura 1 apresenta um fluxograma que sintetiza as principais fases do trabalho.

Figura 1. Fluxograma com as principais fases do trabalho



1.1 Concreto permeável

Para a produção do concreto permeável, adotou-se o traço em massa de 1:4 analisado por Vieira (2018), que consistiu em 1 parte de cimento para 4 partes de brita nº 0 e 0,35 de relação água/cimento.

O cimento utilizado foi do tipo CP-V ARI (Cimento Portland de alta resistência inicial). Este tipo de cimento foi escolhido por apresentar características específicas para atingir altas resistências já nos primeiros dias da aplicação e ser ideal para obras onde há escoamento de fluidos e exposição ao ar livre.

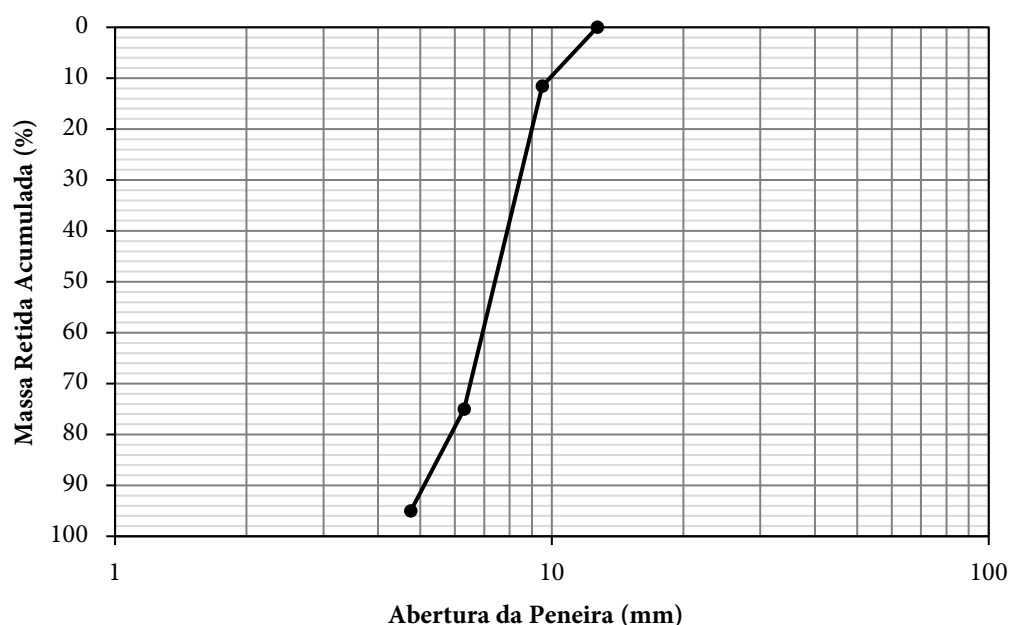
A brita nº 0, utilizada como agregado, foi adquirida em um britador localizado no município de Chapecó. Para a produção do concreto, utilizou-se a fração passante na peneira de 12,5 mm e retida na peneira de 4,8 mm (Figura 2).

Figura 2. Agregado usado na produção do concreto permeável



A caracterização do agregado foi realizada por meio dos ensaios de granulometria, de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003), e de determinação da massa unitária e do índice de vazios, conforme as prescrições da NBR NM 45 (ABNT, 2006).

A curva granulométrica da brita utilizada como agregado é apresentada na Figura 3. Observa-se que fração predominante na granulometria do agregado, brita nº 0, está na faixa entre 9,5 e 6,3 mm com cerca de 64%.

Figura 3. Curva granulométrica do agregado usado para a produção do concreto permeável

Para massa unitária do agregado obteve-se o valor de $1,694 \text{ g/cm}^3$, resultado que se aproxima do encontrado por Vieira (2018) de $1,717 \text{ g/cm}^3$. Determinada a massa unitária foi possível calcular um índice de vazios de 38,66% para este agregado.

De acordo com a NBR 16416 (ABNT, 2015), os tipos de ensaio que devem ser executados para determinar os parâmetros fundamentais para o concreto permeável são os testes de resistência e de permeabilidade. Para tal, a referida norma prescreve a resistência e a permeabilidade mínima de acordo com o tipo de revestimento e a sua aplicação. Para o presente projeto foi escolhido o concreto moldado no local e o tipo de solicitação por tráfego de pedestres, que exige uma resistência à tração na flexão mínima de 1,0 MPa, um coeficiente de permeabilidade (k) maior ou igual a 10^{-3} m/s e uma espessura mínima de 6,0 cm.

Para os ensaios de resistência foram produzidos 10 blocos prismáticos de concreto permeável com 40 cm de comprimento, 10 cm de altura e 10 cm de largura. Após 48 horas da produção do concreto, os corpos de prova foram submersos em água até os 28 dias da moldagem para, posteriormente, serem rompidos no ensaio de resistência à tração na flexão.

Para a avaliação prévia do coeficiente de permeabilidade foram confeccionadas três placas quadradas de concreto permeável, com área de aproximadamente $0,5 \text{ m}^2$ de área. Assim, as dimensões das placas ensaiadas foram 70 cm de lado e 6 cm de altura.

A determinação do coeficiente de permeabilidade foi realizada de acordo com o Anexo A da NBR 16416 (ABNT, 2015), sendo as placas suspensas de modo que houvesse um vão livre entre a sua superfície inferior e o piso (Figura 4a). Sobre a placa foi colocado um anel rígido, de 30 cm de diâmetro, posicionado no centro da placa

e vedado na parte externa com massa de calafetar. Este anel deve possuir, na face interna, duas linhas paralelas que servem de limite inferior e superior para a lâmina de água formada durante o ensaio. Estas marcações localizaram-se a 10 mm e a 15 mm da base do anel. Para cada ensaio foi utilizada uma massa de água de 18 kg e em cada placa o procedimento foi repetido quatro vezes, para a obtenção do coeficiente de permeabilidade médio. Considerou-se a média dos resultados das três placas como o coeficiente de permeabilidade do concreto permeável.

A NBR 12142 (ABNT, 2010) determina os procedimentos de ensaio que devem ser realizados para determinar a resistência à tração na flexão (Figura 4b). O procedimento de moldagem e cura dos corpos de prova foi executado conforme a NBR 5738 (ABNT, 2015) e a determinação dos parâmetros de absorção de água, o índice de vazios e a massa específica do concreto foram realizadas de acordo com a NBR 9778 (ABNT, 1987).

Figura 4. a) Ensaio para determinação do coeficiente de permeabilidade; b) Ensaio de resistência à tração na flexão do concreto



1.2 Modelo de pavimento permeável

As placas de concreto permeável confeccionadas para a avaliação prévia do coeficiente de permeabilidade, cuja produção foi descrita anteriormente, foram utilizadas como revestimento na construção do modelo de pavimento permeável. O modelo de pavimento permeável foi instalado na Área Experimental da UFFS, *Campus Chapecó*, ao lado de um pluviômetro digital, com o qual foram medidos os dados de precipitação pluviométrica com intervalo de monitoramento de 5 minutos. O funcionamento desse aparelho foi descrito por GRISON et al. (2017). A partir dos dados pluviométricos foram calculados os seguintes parâmetros de cada evento: intensidade

média, precipitação total e a duração. A duração foi calculada pela soma dos intervalos de tempo em que a precipitação medida no pluviômetro digital foi maior do que zero.

O valor da intensidade média de precipitação (mm/h) foi determinado por meio da equação 1.

$$i = \frac{P}{t} \quad \text{Eq. 1}$$

onde:

i - intensidade média de precipitação (mm/h);

P - precipitação total de cada evento, em mm;

t - duração de cada evento, em horas.

De acordo com Moraes, Bandeira e Menegotto (2018) o solo do local caracteriza-se como residual de basalto, de textura argilo-siltosa com pouca areia e elevado índice de vazios. Através de um ensaio de infiltração foi determinada a permeabilidade do solo no seu estado natural, dado que influencia no dimensionamento do pavimento permeável. O coeficiente de infiltração do solo (f), que serviu de subleito do protótipo, foi de 0,22 m/h. Esse parâmetro é considerado elevado para solos de textura argilosa, mas característico de solos residuais com elevado índice de vazios devido aos macroporos existentes entre as aglomerações de partículas mais finas.

O revestimento do modelo de pavimento permeável se constituiu em duas placas quadradas de concreto permeável dispostas lateralmente, assim as dimensões finais do revestimento foram de 70 x 140 x 6 cm. Desse modo, o modelo foi construído com área total de 0,98 m² e com inclinação média de 6%, de modo a facilitar o escoamento da água para o recipiente de medição. Em uma das laterais do protótipo foi acoplada uma calha coletora de PVC, para o direcionamento da água escoada superficialmente para um recipiente com capacidade máxima de 12 litros. O volume coletado foi medido após cada evento de chuva.

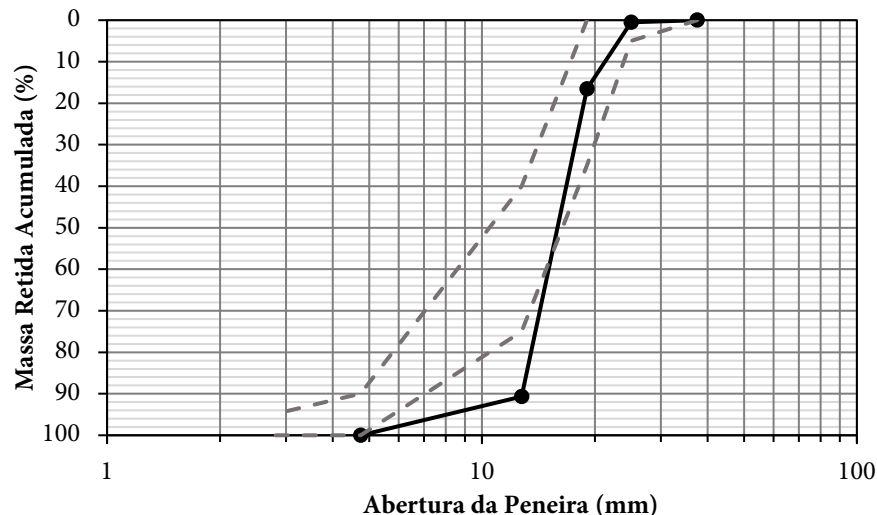
Como a medida da precipitação equivale a uma altura de água uniforme, em mm, interceptada por unidade de área, em m², a área da superfície do modelo de pavimento também ficou muito próxima de 1,0 m², contribuindo com uma maior representatividade das medidas de escoamento superficial realizadas.

O modelo de pavimento permeável teve uma base de brita, denominado reservatório de pedras. O dimensionamento hidráulico da camada de base foi determinado de acordo com a NBR 16416 (ABNT, 2015), optando-se por uma camada de brita nº 1 de rocha basáltica, caracterizada através de ensaios granulométricos de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003), massa unitária e índice de vazios de acordo com a NBR NM 45 (ABNT, 2006).

A Figura 5 apresenta a curva granulométrica da brita nº1, usada como base do pavimento. As linhas tracejadas referem-se aos limites recomendados pela NBR 16416

(ABNT, 2015). Observa-se que a curva granulométrica que se aproxima dos limites, com exceção da massa retida acumulada na peneira de 12,75 mm, que é cerca de 15% maior que o limite superior. Ainda, esta brita possui um **índice** de vazios de 41%, o que atende ao mínimo de 32% prescrito na referida norma.

Figura 5. Curva granulométrica da brita da base do pavimento permeável



A intensidade da chuva de projeto foi calculada a partir da equação de chuvas intensas para Chapecó/SC disponível em Back, Henn e Oliveira (2011). Considerando um tempo de retorno de 10 anos e 60 minutos de duração, que são os valores mínimos recomendados pela NBR 16416 (ABNT, 2015), a intensidade da chuva de projeto foi de 55,8 mm/h. Como o coeficiente de infiltração do solo no local de instalação do protótipo foi de 0,22 m/h, o dimensionamento hidráulico resultou numa espessura da camada de base negativa. Portanto, adotou-se o valor mínimo recomendado que é de 10 cm, para a adequada compactação de camadas granulares.

Pode-se observar que a elevada permeabilidade do subleito faz com que a camada de base se torne menos espessa por promover um aumento da eficiência de drenagem do pavimento permeável como um todo. Ao contrário, solos com permeabilidade baixa resultam em camada de base mais espessa, o que pode comprometer a sua viabilidade de instalação.

Para a instalação do pavimento foi retirada a vegetação superficial e nivelado o solo. Também, foi construída uma fôrma em madeira para delimitar a área do estudo e dar suporte lateral para o pavimento. Depois de executada a camada de base, foi lançada a camada de assentamento com 5 cm de areia grossa, conforme o recomendado pela NBR 16416 (ABNT, 2015).

As Figuras 6, 7 e 8 ilustram o modelo de pavimento permeável com as dimensões em planta, as espessuras resultantes das especificações e do dimensionamento, bem como o sistema de coleta da água escoada superficialmente.

Figura 6. Planta baixa do modelo de pavimento de concreto permeável, com medidas em centímetros

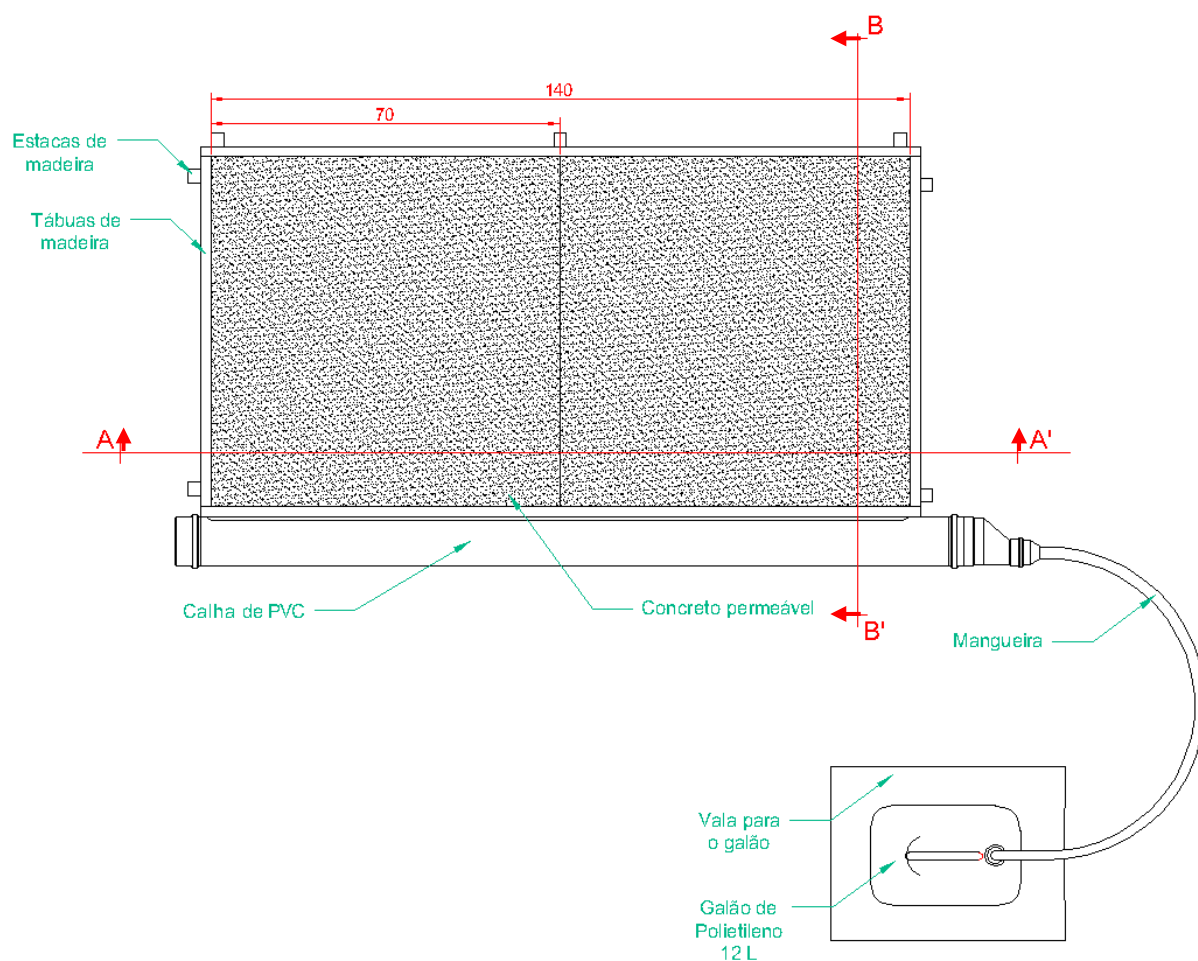


Figura 7. Corte AA' do modelo de pavimento de concreto permeável

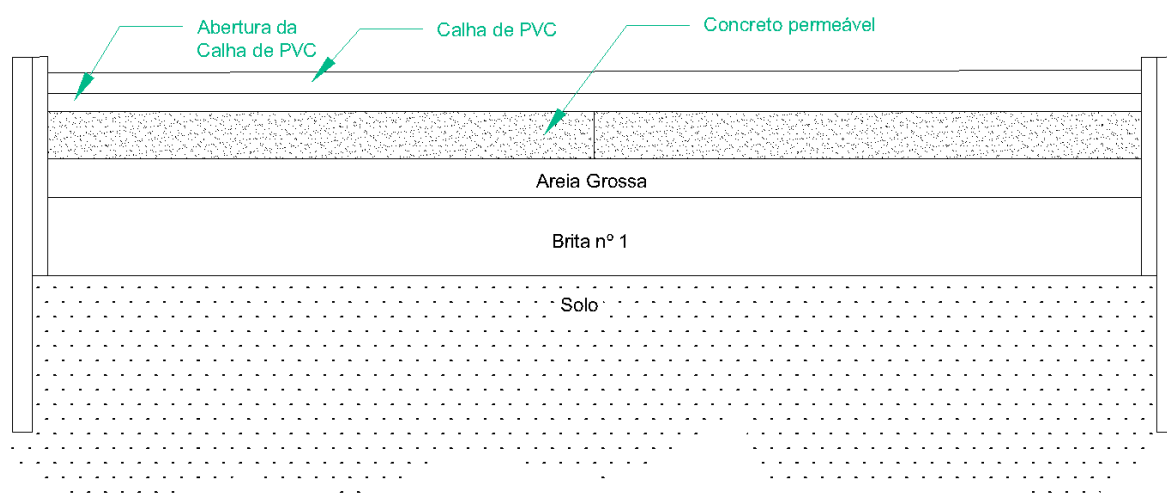
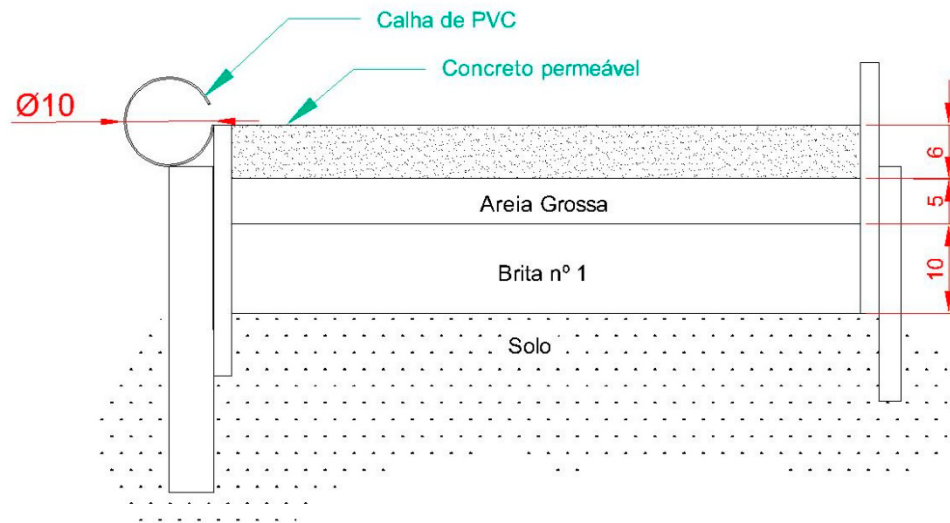


Figura 8. Corte BB' do modelo de pavimento de concreto permeável, com medidas em centímetros



A Figura 9 mostra o modelo instalado em campo, na qual se pode observar também a colocação de uma lona de proteção para evitar que a água precipitada sobre a calha coletora fosse captada pelo sistema.

Figura 9. Modelo de pavimento de concreto permeável instalado



Para avaliar a eficiência de drenagem do modelo, foram determinados dois coeficientes para o pavimento de concreto permeável: a) coeficiente de permeabilidade (k), que foi determinado seguindo a mesma metodologia utilizada para a determinação do coeficiente de permeabilidade do concreto permeável; e b) coeficiente de escoamento superficial (C), obtido pela razão entre o volume escoado superficialmente e o volume gerado pela precipitação total sob a área do pavimento.

O cálculo do coeficiente de escoamento superficial foi realizado por meio da equação 2.

$$C = \frac{V_e}{A \cdot P \cdot 1000} \quad \text{Eq. 2}$$

onde:

C - coeficiente de escoamento superficial (adimensional);

V_e - volume escoado superficialmente, em mL;

A - área do pavimento, em m^2 ;

P - altura pluviométrica, em mm.

2 Resultados e Discussões

2.1 Concreto permeável

A Tabela 1 exibe os resultados dos ensaios de laboratório para o concreto permeável produzido.

Tabela 1. Resultados dos ensaios de laboratório para o concreto permeável

Massa Específica Seca (g/cm^3)	Massa Específica Saturada (g/cm^3)	Massa Unitária (g/cm^3)	Absorção de Água por Imersão (%)	Índice de Vazios (%)	Resistência à Tração na Flexão (MPa)	Coeficiente de Permeabilidade (m/s)
2,408	2,582	1,621	7,20	17,37	1,72	$1,8 \cdot 10^{-2}$

Os resultados de resistência e permeabilidade do concreto permeável atenderam ao mínimo exigido pela NBR 16416 (ABNT, 2015).

A resistência à tração na flexão média obtida foi de 1,72 MPa, valor superior ao mínimo de 1,0 MPa prescrito pela norma para tráfego de pedestres. Ainda, este resultado foi superior ao resultado encontrado por Silva et al. (2018) de 1,27 MPa, com um traço semelhante ao usado neste trabalho.

O valor do coeficiente de permeabilidade do concreto permeável foi de $1,8 \cdot 10^{-2}$ m/s, resultado praticamente 18 vezes maior do que o mínimo de 10^{-3} m/s exigido pela referida norma. Esse resultado também é muito próximo ao encontrado por Vieira (2018) e por Strzoda et al. (2017), que utilizaram traço similar. O coeficiente de variação do coeficiente de permeabilidade medido nas três placas foi de 0,9%, demonstrando uma baixa variabilidade nos resultados obtidos.

Os resultados para absorção de água por imersão e índice de vazios se encontram próximos aos resultados de Vieira (2018), que apresentou 6,9% e 16,3%, respectivamente. As massas específicas seca e saturada também são muito semelhantes aos valores de Vieira (2018), que obteve 2,386 e $2,549 \text{ g}/\text{cm}^3$, respectivamente.

2.2 Modelo de pavimento permeável

O coeficiente de permeabilidade medido no modelo de pavimento permeável foi de $1,5 \cdot 10^{-2}$ m/s, apresentando um valor significativamente maior que o encontrado em outros pavimentos. Esse valor obtido em campo é superior ao valor mínimo de 10^{-3} m/s exigido pela NBR 16416 (ABNT, 2015). O coeficiente de variação do coeficiente de permeabilidade do pavimento permeável em campo foi de 1,32%, demonstrando a pequena variabilidade entre as medidas realizadas. Ono, Balbo e Gargnin (2017) encontraram um valor de $4,9 \cdot 10^{-3}$ m/s para o coeficiente de permeabilidade de um pavimento permeável de bloco de concreto unidirecionalmente articulado.

Para a determinação do coeficiente de escoamento superficial foram utilizados dados de sete eventos pluviométricos. Pode-se observar que foram eventos bem distintos em relação à duração e a altura pluviométrica, o que permite uma amostra mais representativa para a realização dos cálculos de escoamento (Tabela 2).

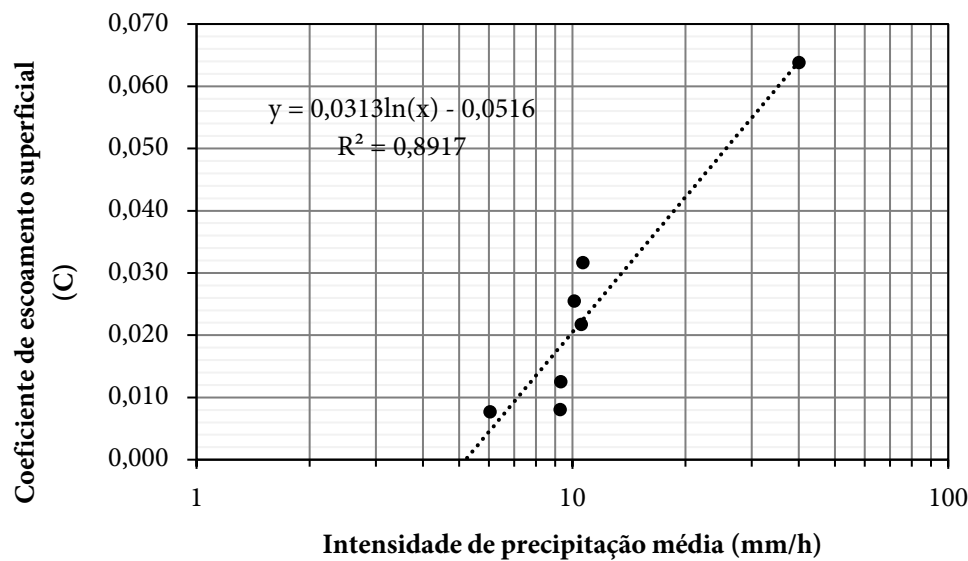
Tabela 2. Dados dos eventos para o cálculo do Coeficiente de Escoamento Superficial

Evento	Data	Duração do evento (horas)	Altura pluviométrica total (mm)	Intensidade média (mm/h)	Volume escoado superficialmente (mL)	Coeficiente de escoamento superficial (C)
1	03/10/19	5,56	51,60	9,28	414,00	0,008
2	06/10/19	3,97	24,00	6,04	184,00	0,008
3	21/10/19	4,80	44,80	9,33	560,00	0,012
4	28/10/19	3,29	34,80	10,56	755,00	0,022
5	01/11/19	4,01	42,80	10,68	1355,00	0,032
6	06/11/19	2,00	20,20	10,12	514,00	0,025
7	07/11/19	0,57	22,80	40,12	1454,50	0,064
Média						0,024

O modelo de pavimento permeável apresentou um coeficiente de escoamento superficial médio de 0,024 mostrando assim sua elevada eficiência de drenagem, pois em média 97,6% do volume precipitado infiltrou no pavimento. Alessi, Kokot e Gomes (2006) realizaram uma comparação do escoamento superficial gerado por pavimentos permeáveis em blocos de concreto e asfalto poroso. O resultado encontrado pelos autores foi um coeficiente de escoamento superficial médio de 0,37 para o pavimento com blocos de concreto e 0,35 para o pavimento de asfalto poroso.

Ainda na Tabela 2, observa-se que o valor do coeficiente de escoamento superficial calculado não apresenta uma correlação significativa com as variáveis de duração do evento, altura pluviométrica total e volume de precipitação escoado. Entretanto, o coeficiente de escoamento superficial apresenta certa relação com a intensidade de precipitação média (Figura 10).

Figura 10. Variação do Coeficiente de Escoamento Superficial com a Intensidade Média de Precipitação



Na Figura 10 é possível observar uma tendência de aumento do coeficiente de escoamento superficial com o aumento da intensidade média de precipitação. Esse comportamento também foi constatado por Salbego e Silva (2018) e Alessi, Kokot e Gomes (2006). Ainda, na mesma figura, é possível admitir que o modelo de pavimento permeável inicia a geração de escoamento superficial para uma intensidade de precipitação média superior a 5,2 mm/h.

3 Considerações finais

Este trabalho foi realizado com o intuito de avaliar a eficiência, quanto à redução do escoamento superficial, de um modelo de pavimento permeável submetido à chuva natural.

Os resultados dos ensaios de laboratório encontrados para o concreto permeável foram 1,72 MPa para a resistência de tração na flexão e $1,8 \cdot 10^{-2}$ m/s para o coeficiente de permeabilidade, sendo que ambos estão de acordo com os valores mínimos prescritos pela NBR 16416 (ABNT, 2015). Destaca-se que a permeabilidade é 18 vezes maior que o exigido na norma.

O ensaio realizado em campo, para determinar o coeficiente de permeabilidade do modelo de pavimento, apresentou um valor de $1,5 \cdot 10^{-2}$ m/s, também superior ao mínimo recomendado pela norma. Ainda, o modelo de pavimento permeável se mostrou eficiente para a aplicação na redução do escoamento superficial, por apresentar um resultado médio do coeficiente de escoamento superficial de 0,024, o que caracteriza uma elevada capacidade de infiltração do pavimento. Estes resultados são mais favoráveis à infiltração da água do que os obtidos em outros tipos de pavimentos

tradicionalmente usados para esta finalidade, como o pavimento intertravado e o asfalto poroso.

Salienta-se, ainda, a importância do tipo de solo do subleito no dimensionamento de pavimentos permeáveis, pois solos com permeabilidade baixa podem resultar em camada de base espessa, o que pode comprometer a viabilidade de instalação.

O modelo de pavimento permeável produzido no presente trabalho pode ser uma alternativa para a aplicação em calçadas, passeios, praças, construções residenciais, entre outros, pois demonstrou uma grande eficiência para a redução do escoamento superficial. Porém, ressalta-se a necessidade do seu correto dimensionamento, de acordo com as características do solo no local de instalação, e da observação das restrições de aplicabilidade prescritos em norma, para que não ocorram problemas estruturais por excesso de carga sobre o pavimento.

Referências

- ALESSI, F.; KOKOT, P. J.; GOMES, J. Comparação do escoamento superficial gerado por pavimentos permeáveis em blocos de concreto e asfalto poroso. *Da Vinci*. Curitiba, v. 3, n. 1, p. 139-156, 2006.
- ARAÚJO, P. R.; TUCCI, C. E. M.; GOLDENFUM, J. A.: Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução do escoamento superficial. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v. 5, n. 3, p. 21-29, 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR NM 248*. Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR NM 26*. Agregados – Amostragem. Rio de Janeiro, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR NM 45*. Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7211*. Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 9778*. Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa Específica. Rio de Janeiro, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 12142*. Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos – Requisitos e procedimentos, Rio de Janeiro, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 16416*. Pavimentos permeáveis de concreto – Requisitos e procedimentos, Rio de Janeiro, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5738*. Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro. 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5739*. Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994.
- BACK, A. J.; HENN, A.; OLIVEIRA, J. L. R. Heavy rainfall equations for Santa Catarina, Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 35, p. 2127-2134, 2011.
- BATEZINI, R.: *Estudo preliminar de concretos permeáveis como revestimento de pavimentos para áreas de veículos leves*. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.
- CATALDI, M.; MACHADO, C. O.; GUILHON, L. G. F.; CHOU, S. C.; GOMES, J. L.; BUSTAMANTE, J. F. Análise das previsões de precipitação obtidas com a utilização do modelo Eta como insumo para modelos de previsão semanal de vazão natural. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 12, n. 3, p. 5-17, 2007.

- GRISON, F.; MOTA, A. A.; BATISTEL, L.; CAUVILLA, V. B.; LODI, M. R. Desempenho de um pluviômetro digital em campo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 22., 2017, Florianópolis. *Anais eletrônicos...* Porto Alegre: Ed. ABRHidro, 2017. p. 1-8.
- LIMA, D. A.; SANTOS, M. F.; OLIVEIRA, E. A.; LAVOR, D. A.; ALENCAR, D. B.; BRITO, C. R. Study of the mechanical and physical characteristics of the permeable concrete using empirical dosage method. *Journal of Engineering and Technology for Industrial Applications*, v. 5, n. 18, p. 18-22, 2019.
- MARCHIONI, M.; SILVA, C. O. Conceitos e Requisitos para pavimento intertravado permeável. *São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland*, 2011. 8 p.
- MORAIS, M.; BANDEIRA, F.; MENEGOTTO M. L. Geotechnical properties of mixtures of basalt residual soil with tire rubber waste. *Geotecnia*, Lisboa, v. 144, p. 35-50, nov. 2018.
- ONO, B. W.; BALBO, J. T.; CARGNIN, A. Análise da capacidade de infiltração em pavimento permeável de bloco de concreto unidirecionalmente articulado. *Transportes*, v. 25, n. 3, p. 90, 2017.
- PARRA, G. G.; TEIXEIRA, B. A. N. Análise da permeabilidade e dos métodos de instalação de pavimentos permeáveis contidos em artigos científicos e em catálogos técnicos. *Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades*, v. 3, n. 15, p. 142-157, set. 2015.
- SALBEGO, A. G.; SILVA, A. M. S. Influência das intensidades de precipitações na eficiência de pavimento intertravado de concreto permeável. In: CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA, 2018, Maceió, Alagoas. *Anais eletrônicos...* 2018. p. 1-5.
- SILVA, L. H.; MENEZES FILHO, F. C. M. Avaliação da eficiência hidrológica de pavimentos permeáveis e sistemas de biorretenção em loteamento residencial. *REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil*, Goiânia, v. 15, n. 2, p. 17-34, set. 2019.
- SILVA, I. A. FERREIRA, R. S.; SILVA, R. F.; VIANA, F. M. P. C.; RODRIGUES, E. C.; PEREIRA, M. S. Avaliação do comportamento mecânico de concreto permeável com incorporação de sementes de açaí submetido à tração na flexão. In: CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEIS, 3., Coimbra, 2018. *Anais eletrônicos...* Coimbra: UC, 2018. p. 1-8.
- STRZODA, F. A.; MORAES, M. L.; MAGALHÃES, F. C.; REAL, M. V. Concreto permeável como alternativa para pavimentos retroportuários. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, Ponta Grossa, v. 9, n. 2, p. 155-164, ago. 2017.
- URBONAS, B.; STAHR, P. *Stormwater: Best Management Practices and Detention*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, 1993. 450 p.
- VIEIRA, J. R. *Produção de concreto permeável com resíduos de construção e demolição*. 2018. 21 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul, Chapecó, 2018.