

## Dimensionamento hidrológico de um pavimento permeável revestido com *pavers*

### Hydrological design of permeable pavement using *pavers* wearing

#### RESUMO

**Bruno Milaré Albuquerque**  
[brunoalbuquerque@alunos.utfpr.edu.br](mailto:brunoalbuquerque@alunos.utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil.

**Murilo Cesar Lucas**  
[muriloelucas@utfpr.edu.br](mailto:muriloelucas@utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil.

**Fabrcio Rodolfo Calgarotto**  
[fabrciocalgarotto@outlook.com](mailto:fabrciocalgarotto@outlook.com)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil.

As rápidas expansões urbanas usualmente aumentam a quantidade de áreas impermeáveis, ocasionando alterações no ciclo hidrológico. Essas alterações ocorrem por causa da redução da infiltração de água no solo, conseqüentemente, a redução da recarga de águas subterrâneas e aumento do escoamento superficial. Essa problemática causa diversos impactos em uma região urbana, como por exemplo as enchentes, sobrecarregando os sistemas de drenagem atuais. Nesse contexto surgem os pavimentos permeáveis, dispositivos de drenagem sustentáveis que reduzem o volume e o tempo de pico do escoamento superficial, sendo mais eficaz que os pavimentos convencionais. Entretanto, no Brasil ele ainda é pouco utilizado para esse fim, mesmo já tendo uma norma (NBR 16416 - Pavimentos permeáveis de concreto: Requisitos e procedimentos) para consulta do dimensionamento, especificações, implantação e manutenção do pavimento. O objetivo deste trabalho é dimensionar um pavimento permeável, utilizando o método hidráulico apresentado na NBR 16416 (ABNT, 2015) aplicando em um estudo real de caso, onde um profissional da área normalmente é confrontado. Os resultados desse trabalho serão úteis para servir de base para outros trabalhos aprimorarem o método de dimensionamento, até mesmo, desenvolverem novos métodos, contribuindo para que os pavimentos permeáveis sejam uma opção mais eficaz para drenagem urbana, no Brasil.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sistema de drenagens sustentáveis, inundações urbanas, escoamento superficial.

**Recebido:** 19 ago. 2019.

**Aprovado:** 01 out. 2019.

**Direito autoral:** Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



#### ABSTRACT

The rapid expansion of urbanization usually increases impermeable surfaces causing changes in the hydrological cycle. These changes occur due to the reduction of soil water infiltration, consequently, the reduction of groundwater recharge, and the increase runoff. This problem causes several impacts in an urban region, such as floods, overloading traditional storm water drainage systems. Permeable pavements arise as sustainable drainage devices that reduce the volume and peak runoff time, being more effective than conventional concrete pavements. However, in Brazil it is still little used for this purpose, even though it already has a standard (NBR 16416 - Permeable Concrete Pavements: Requirements and procedures) to consult the design, specifications, implementation and maintenance of the pavement. The objective of this work is to dimension an operating system, using the hydraulic model of NBR 16416 (ABNT, 2015) applying in a real case study, where a work professional is confronted. The results of this work will be useful as a basis for other works to improve the design method, even to develop new methods, contributing to the permeable pavements being a more effective option for urban drainage in Brazil.

## INTRODUÇÃO

Os projetos de drenagem urbana têm como filosofia o conjunto de elementos destinados a recolher as águas pluviais precipitadas sobre uma determinada região e que escorrem sobre sua superfície, conduzindo-as a um destino final. (DE SOUZA; MORAES; BORJA 2003, p. 163). Dado que o crescimento urbano promove a impermeabilização de grandes áreas, esses projetos transferem a problemática de um pouco para o outro, aumentando a frequência e o nível de inundação de jusante. Diferentemente do funcionamento dos Sistemas sustentáveis de drenagem urbana que tem por finalidade imitar a condição hidrológica de pré desenvolvimento (urbano) por meio da captação e do armazenamento das águas da chuva, agindo na fonte do escoamento superficial. Exemplos: valas e poços de infiltração, lagoas de acumulação, pavimentações permeáveis.

Os pavimentos permeáveis são dispositivos de infiltração onde o escoamento superficial é desviado através de uma superfície permeável para dentro de um reservatório de pedras localizado sob a superfície do terreno. (ANDRADE FILHO; SZÉLIGA; SZESZ, 2000, p. 51). São capazes de reduzir o volume de água escoada e vazões de picos das chuvas a níveis iguais ou inferiores aos observados antes do crescimento urbano.

A NBR 16416, disponível para consulta em território nacional, pontua principais processos envolvendo os pavimentos permeáveis: dimensionamento hidráulico, especificações, implantação e manutenção do pavimento. A metodologia da norma para o dimensionamento considera a equação do balanço hídrico para determinar a espessura máxima base/sub-base capaz de drenar a água precipitada pela chuva. Assim, o objetivo do estudo é simular um caso real de dimensionamento de um pavimento permeável para descobrir a espessura total do mesmo.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O pavimento permeável é uma estrutura implantada sobre o solo terraplanado composto por camadas permeáveis: sub-base, base, camada de assentamento e revestimento, além do revestimento que permite a entrada d'água no sistema.

Para o dimensionamento hidrológico do pavimento, optou-se por utilizar a metodologia apresentada na NBR 16416 - Pavimentos permeáveis de concreto – Requisitos e procedimentos. Sendo disponível no Brasil, o acesso a norma torna-se fácil, permitindo que qualquer profissional na área possa desenvolver um projeto de micro drenagem e ainda se precaver de possíveis problemas futuros.

O dimensionamento de um pavimento permeável consiste em determinar a altura da base e/ou sub-base capaz de armazenar toda água que nele precipita de tempo de retorno e duração previamente adotados. A espessura máxima do reservatório, encontrada com a utilização da equação disponível na NBR 16416 tem como base a equação do balanço hídrico: o volume de estudo é o reservatório do pavimento, a componente hidrológica de entrada tem sinal positivo, e o de saída, negativo. Como ilustrada na Eq. (1):

$$H_{máx} = \frac{\Delta Q_c R + P - f T e}{V_r} \quad (1)$$

Onde,  $H_{m\acute{a}x}$  é a altura do reservatório (m);  $\Delta Q_c R$  é o produto entre a precipitação excedente ( $\Delta Q_c$ ) e a área de contribuição para uma dada chuva de projeto pela relação entre área de contribuição e a área do pavimento permeável ( $R$ );  $P$  é precipitação projeto (m);  $f$  taxa de infiltração do solo (m/h);  $T_e$  o tempo de enchimento da camada de reservatório (h) e  $Vr$  o índice de vazios da base. Para simplificação de cálculos foi definido como 0 (zero) o produto  $\Delta Q_c R$ .

A precipitação projeto será majorada utilizando a equação IDF de Pato Branco, região da área de estudo. A partir de sensoriamento remoto, REIS (2017) definiu a IDF de Pato Branco, como sendo a seguinte:

$$i = \frac{986,7 \cdot TR^{0,1457}}{(t+9,791)^{0,7244}} \quad (2)$$

Onde:  $i$  é a intensidade da precipitação (mm/h);  $TR$  é o tempo de retorno (anos) (2 anos) e  $t$  é o tempo de duração da chuva (min) (10 min).

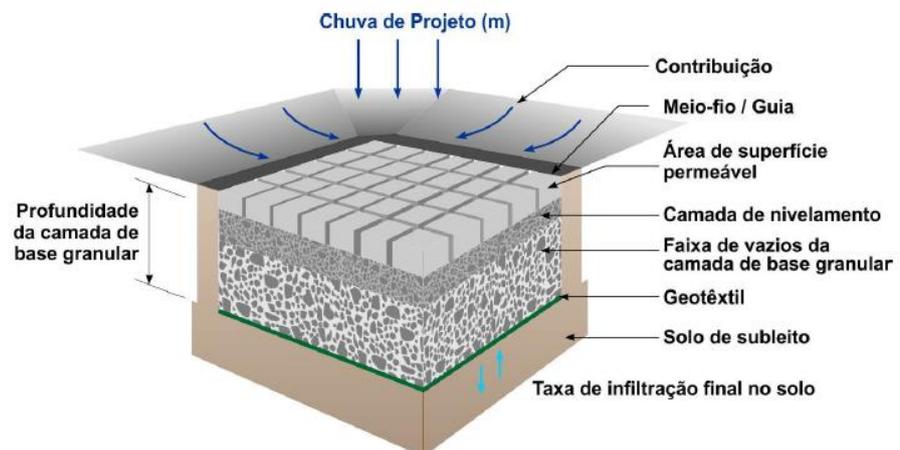
A NBR 16416 recomenda que o tempo de enchimento seja de duas 2 horas, valor este que está relacionado com o tipo de material utilizado na base e sub-base.

A metodologia para obter o valor da infiltração do solo foi dos anéis concêntricos. Dos valores para cada ponto do ensaio foi feito uma média simples, para que o valor final tenha representatividade dos locais de estudo.

Por fim, para a caracterização dos materiais de assentamento e rejuntamento foi aplicado os métodos da NBR 45 - Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Considerando para a base/sub-base brita 2 e pó de brita para as camadas de assentamento e rejuntamento. A NBR 16416 exige índice de vazios, para todas as camadas, maiores que 32%.

A escolha da utilização da brita 2 para a base e sub-base e do pó de brita para as camadas de assentamento e rejuntamento foi devido a disponibilidade desses materiais no canteiro de obras da UTFPR – Pato Branco. Assim, foi definido que a camada de base e sub-base fosse composta pelo mesmo material granular, da mesma forma as camadas de assentamento e rejuntamento.

Figura 1 – Perfil de um pavimento permeável.



Fonte: Pinto (2011).

A instalação de uma manta impermeável entre o subleito e a camada de base/sub-base pode ser justificada pelas condições do subleito, a proximidade de um reservatório de águas naturais, ou até mesmo a finalidade do pavimento permeável. Sua função é impedir a passagem de água do reservatório para o subleito.

Além da manta impermeável, pode se optar por instalar uma manta geotêxtil que tem a função de impedir a migração de material granular através das camadas do pavimento. Ela é feita de material não tecido, como definido na NBR 16416, que permite apenas a percolação da água.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Quadro 1 mostra o resultado dos valores obtidos com o dimensionamento hidráulico com pavimento permeável do estudo.

Quadro 1 – Resultado do dimensionamento hidrológico.

| Componentes hidrológicas | Descrição do Parâmetro  | Valor de dimensionamento |
|--------------------------|---|--------------------------|
| $\Delta Q_c$             | Precipitação excedente da área de contribuição para uma dada chuva de projeto | 0 m                      |
| $R$                      | Relação entre a área de contribuição e a área de pavimento permeável          | 0 m                      |
| $P$                      | Chuva de projeto  | 0,125 m                  |
| $f$                      | Taxa de infiltração no solo   | 0,0126 m/h               |

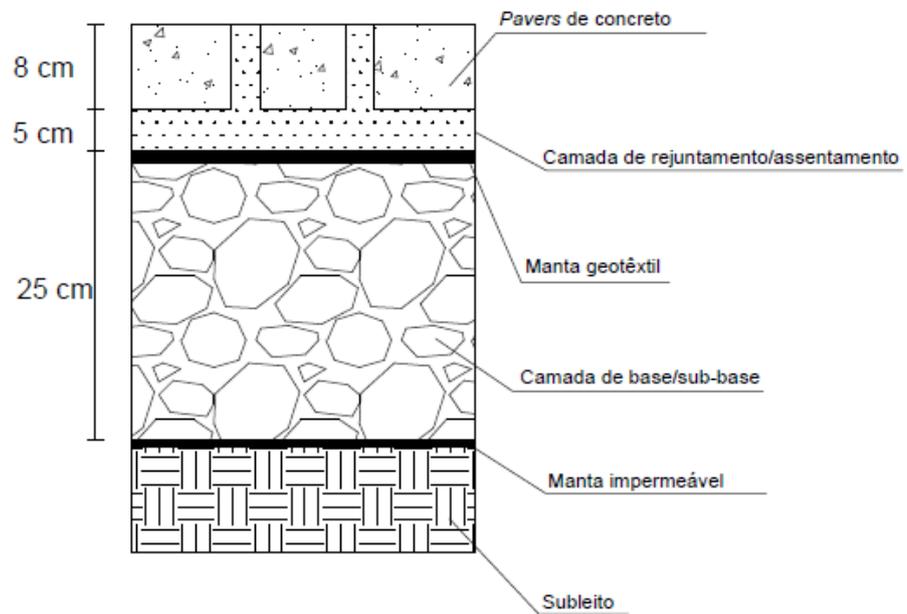
Fonte: Autoria própria.

O índice de vazios para a brita número 2, utilizada na base/sub-base, foi de 41% e para o pó de brita 40,9%.

A espessura da camada de revestimento recomendada pela NBR 16416 deve estar no intervalo entre 20 mm e 60 mm na condição não compactada.

Assim, usando os parâmetros adotados e calculados (Quadro 1) na equação (Eq. 1), o valor da altura da base/sub-base foi de 25 cm e altura total do pavimento 38 cm. O perfil é mostrado:

Figura 2 – Perfil do pavimento permeável.



Fonte: Autoria própria

## CONCLUSÃO

Os procedimentos, métodos, recomendações das normas regulamentam a implantação de novas tecnologias no mercado brasileiro. Seus resultados são sustentados através de observações, estudos científicos levando em consideração o melhor funcionamento da tecnologia, segurança do trabalho, caracterização de materiais, entre outros.

A NBR 16416 permite o engenheiro a desenvolver um projeto de drenagem urbana sustentável com garantia de requisitos de qualidade, regras de padronização de medidas, técnicas de segurança da vida útil do projeto, beneficiando-se de um produto final padrão de qualidade que desempenha com eficiência sua função. Também serve como garantia, caso futuramente ele precisa responder por danos/problemas futuros.

Apesar da norma atual de pavimentos permeáveis ser utilizada para o dimensionamento, alguns pontos ainda precisam ser revisados e/ou justificados, como por exemplo, o tempo de enchimento recomendando o valor de 2 horas. A disponibilidade de materiais pode variar conforme o lugar de implantação do pavimento. Além disso, a norma precisa se adaptar as tecnologias futuras sendo capaz de se adequar aos novos desafios. Atualmente os pavimentos permeáveis não tem resistência mecânica suficiente para suportar grandes fluxos de tráfego.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 45: **Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16416: **Pavimentos permeáveis de concreto – Requisitos e procedimentos**. Rio de Janeiro, 2015.

ANDRADE FILHO, A. G. de.; SZÉLIGA, M. R.; SZESZ, J. R. S. **Utilização de micro reservatório de detenção para atenuações de inundações em bacias urbanas**. Publicatio UEPG, Ciências Exatas e da Terra, Ciências Exatas e Engenharia, v. 6, n. 1, p. 47-68, 2000. Disponível em : <https://www.revistas2.uepg.br/index.php/exatas/article/view/746>. Acesso em: 10 ago. 2019.

DE SOUZA, V. C.B.; MORAES L. R. S.; BORJA P. C.; **DÉFICIT NA DRENAGEM URBANA: buscando o entendimento e contribuindo para a definição**. Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA). Gesta, v. 1, n. 2 – Souza, Moraes e Borja, p. 162-175, 2013 – ISSN: 2317-563X. Disponível em : <https://portalseer.ufba.br/index.php/gesta/article/view/7213>. Acesso em: 10 ago. 2019.

PINTO, L. L. C. A. **O Desempenho de Pavimentos Permeáveis Como Medida Mitigadora da Impermeabilização do Solo Urbano**. 2011. Tese (Doutorado) (Doutor em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, São Paulo, 2011. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-31082011160233/pt-br.php>. Acesso em: 10 ago. 2019.

REIS D. L. dos. **Avaliação do desempenho de equações idf a partir de dados de precipitação de sensoriamento remoto (tmpa-v7)**. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2017. Disponível em: [http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/8609/1/PB\\_COECI\\_2017\\_1\\_12.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/8609/1/PB_COECI_2017_1_12.pdf). Acesso em: 10 ago. 2019.