

# DESEMPENHO DE PAVERS DRENANTES EM SISTEMAS DE PAVIMENTAÇÃO PERMEÁVEL

## PERFORMANCE OF DRAINAGE PAVERS IN PERMEABLE PAVEMENT SYSTEMS

**ALMEIDA**, Karla Bonifácio de<sup>1</sup>; **NERES**, Keisy Silva<sup>2</sup>; **BRITO**, Mauricio Laurencio Leão<sup>3</sup>; **PRADO**, Renato Nunes do<sup>4</sup>; **TENÓRIO**, Helen de Oliveira<sup>5</sup>

### RESUMO

Este trabalho aborda a análise de pavimentos drenantes, focando na resistência à compressão e no coeficiente de permeabilidade de pavers utilizados em pavimentação intertravada. A metodologia envolveu ensaios baseados nas normas NBR 9781:2013 e NBR 16416:2015, com testes em amostras de duas empresas (A e B). Os ensaios de compressão e permeabilidade foram realizados para avaliar a capacidade de carga e a eficiência na drenagem da água. Os resultados indicaram que os pavers da Empresa A apresentaram resistência superior à compressão, atendendo aos requisitos da norma, enquanto os pavers da Empresa B não cumpriram o padrão mínimo. Para o coeficiente de permeabilidade, ambas as amostras superaram os valores mínimos exigidos pela NBR 16416:2015, demonstrando eficiência na drenagem. O estudo reforça a importância dos pavimentos drenantes na gestão do escoamento pluvial urbano, com contribuições para o controle de inundações e a recarga dos aquíferos, sendo uma solução sustentável para a infraestrutura urbana.

**Palavras-chave:** Pavimentos drenantes, resistência à compressão, coeficiente de permeabilidade, pavers, NBR 9781:2013, NBR 16416:2015, drenagem urbana, sustentabilidade, escoamento pluvial, recarga de aquíferos.

### ABSTRACT

*This study addresses the analysis of drainage pavements, focusing on the compressive strength and permeability coefficient of pavers used in interlocking pavements. The methodology involved tests based on the standards NBR 9781:2013 and NBR 16416:2015, with samples from two companies (A and B). The compression and permeability tests were conducted to evaluate load-bearing capacity and water drainage efficiency. The results showed that the pavers from Company A exhibited superior compressive strength, meeting the required standards, while the pavers from Company B did not meet the minimum threshold. For the permeability coefficient, both samples exceeded the minimum values required by NBR 16416:2015, demonstrating effective drainage. The study emphasizes the importance of drainage pavements in urban runoff management, contributing to flood control and aquifer recharge, offering a sustainable solution for urban infrastructure.*

**Keywords:** Drainage pavements, compressive strength, permeability coefficient, pavers, 9781:2013, NBR 16416:2015, urban drainage, sustainability, runoff control, aquifer recharge. NBR

---

<sup>1</sup> Graduanda em Engenharia Civil no Centro Universitário Uni-Facunicamps. E-mail: Karla22bonifacio@gmail.com

<sup>2</sup> Graduanda em Engenharia Civil no Centro Universitário Uni-Facunicamps. E-mail: keisysneres@gmail.com

<sup>3</sup> Graduando em Engenharia Civil no Centro Universitário Uni-Facunicamps. E-mail: mauricioeng.civil@outlook.com

<sup>4</sup> Graduando em Engenharia Civil no Centro Universitário Uni-Facunicamps. E-mail: renatonprado3@gmail.com

<sup>5</sup> Mestre em Engenharia Civil. Orientadora. Centro Universitário Uni-Facunicamps. E-mail: helen.tenorio@gmail.com

## 1. INTRODUÇÃO

A crescente urbanização e a expansão das áreas urbanas têm gerado desafios significativos para a gestão das águas do período de chuva, levando à necessidade de soluções sustentáveis que minimizem os impactos dos temporais intensos. Nesse cenário, a pavimentação permeável se apresenta como uma alternativa eficaz, permitindo que a água se infiltre no solo, reduzindo o escoamento superficial e promovendo a recarga dos aquíferos. Os pavers drenantes, em particular, destacam-se como uma solução viável, combinando funcionalidade, estética e sustentabilidade.

A NBR 16416:2015:(Pavimentos permeáveis de concreto - requisitos e procedimentos), estabelece diretrizes para o uso de pavimentos permeáveis, fornecendo padrões na execução desses projetos de maneira a favorecer a infiltração e o escoamento controlado das águas pluviais, contribuindo para a gestão eficiente das chuvas nos centros urbanos. A norma ressalta a importância de considerar as características do solo, a escolha adequada dos materiais e as técnicas de instalação, visando à durabilidade e ao desempenho do pavimento.

Além disso, a implementação de pavimentos permeáveis pode contribuir significativamente para a mitigação das ilhas de calor urbano. Essas superfícies, ao permitirem a infiltração, ajudam a regular a temperatura do solo e do ambiente ao redor. Como apontado por França e Souza (2020), “a redução da temperatura superficial proporcionada pelos pavimentos permeáveis é um fator crucial na adaptação das cidades às mudanças climáticas”. O controle do escoamento superficial não apenas diminui os riscos de alagamentos, mas também melhora a qualidade da água, já que a infiltração permite a filtragem natural dos poluentes.

Os pavers permeáveis, ou drenantes, são compostos por camadas de agregados granulados, como pedrisco, pó de brita e areia média, além de aditivos que proporcionam benefícios como maior resistência inicial, facilidade de desforma e aumento da impermeabilidade. A NBR 16416:2015

estabelece que a taxa de permeabilidade de pavers drenantes pode variar entre 50% e 70% na maioria dos modelos disponíveis, podendo chegar até 80% em designs otimizados, que incluem espaçamento adequado entre as peças e características que favorecem a infiltração. De acordo com Lima et al. (2018), “os pavimentos permeáveis desempenham um papel essencial na gestão das águas urbanas, mitigando enchentes e contribuindo para a sustentabilidade hídrica”. Esses pequenos pedaços de concreto se destacam na gestão das águas pluviais, contribuindo para cidades mais resilientes e sustentáveis.

## 2. OBJETIVOS

Este trabalho pretende apresentar a análise de pavers de duas empresas distintas, qualificando a sua resistência característica à compressão e o coeficiente de permeabilidade, permitindo assim o conhecimento prático das normas que regem a fabricação desse tipo de material, tão usual nas obras de infraestruturas existentes em nosso meio.

A relevância desta pesquisa se intensifica ao se alinhar com as diretrizes de sustentabilidade e resiliência urbana, contribuindo para a mitigação dos impactos das chuvas e para a preservação da qualidade ambiental. Ao longo deste trabalho, buscou-se que os resultados obtidos ofereçam insights valiosos, incentivando a adoção de soluções de pavimentação que harmonizem a infraestrutura urbana com os ciclos naturais, promovendo um desenvolvimento mais limpo e integrado.

### 2.1. Objetivos específicos

1. Abordar, de forma sucinta, as normas que abrangem o material;
2. Executar ensaio de permeabilidade, analisar e quantificar a capacidade de retenção de água dos pavers drenantes baseado nas especificações da NBR 16416:2015;
3. Realizar ensaio de resistência a compressão nos pavers moldados em conformidade com a NBR 9781:2013;
4. Verificar se as peças apresentam padrões de geometria descritos na NBR 9781:2013.

### **3. REFERENCIAL TEÓRICO**

#### **3.1. Contexto histórico**

Os pisos drenantes permeáveis com aspecto poroso tiveram sua primeira utilização em escala na França, no período de 1945-1950, não tendo muito sucesso devido aos materiais da época, não se tinha um controle de qualidade e nem parâmetros normativos, gerando um pavimento que não suportava a ligação devido à grande quantidade de vazios (Azzout *et al.*, 1994). Segundo Virgiliis (2009), novos estudos com uso dos pisos foram retomados de forma mais concentrada nos anos de 70, em diferentes países participantes como Estados Unidos, Japão, Suécia e França. Já no Brasil, teve suas pesquisas mais relevantes em 2007, buscando soluções com piso permeável drenantes para encontrar maneiras expressivas de mitigar problemas sobre drenagem urbana.

Uma das primeiras razões para se utilizar os pavimentos drenantes se deu com o crescimento mundial que acelerou uma sobrecarga em sistemas de drenagem existentes, pois se tornou necessários grandes trechos de estrada que foram projetados, com isso se tornou imprescindível a concepção de projetos procurando dimensionar o máximo de permeabilidade ao revestimento superficial, visando apresentar materiais com proteção contra o aumento da umidade.

Esse tipo de pavimentação tem a função de captar as águas fluviais, permitindo que penetre diretamente ao interior do solo ou, então, decorra ao interior das camadas de armazenamento temporário no terreno, a qual é absorvida gradualmente pelo lençol freático diminuindo assim a demanda no sistema público de drenagem urbana (Costa *et al.*, 2007). Os revestimentos de concreto permeáveis comumente utilizados em áreas de estacionamento, calçadas, ciclovias, desde que se tenha previamente executado uma base e subleito, passando por um projeto de drenagem que ajude no escoamento da água em excesso.

#### **4.2. Pavimentos drenantes**

O pavimento drenante tem sido bastante utilizado nas obras de engenharia e arquitetura nos últimos anos, devido à sua grande capacidade de ser um caminho alternativo a drenagem de água e a sua utilização também é uma alternativa para

construtores e arquitetos a fim que aumente área útil da construção sem afetar a taxa de permeabilidade mínima que deve ser deixada no lote. O paver drenante possui várias vantagens tanto em aspectos construtivos por ser um bom substituto ao concreto em áreas de passeio, quanto para o meio ambiente, permitindo a passagem das águas da chuva por sua superfície porosa.

A utilização desse tipo de material traz vantagens que vão desde a melhor utilização da área construída visto as exigências das legislações municipais relativas à permeabilidade dos terrenos. O concreto drenante é uma excelente solução para um melhor aproveitamento da área construída, permitindo que essa seja pavimentada e ainda seja permeável. Apresenta maior conforto e segurança para os usuários, reduzindo a formação de poças de água e possibilitando maior aderência da estrutura ao solo, e a redução de enxurradas e enchentes em regiões urbanas densamente ocupadas. Como destacado por Almeida e Santos (2019), “o concreto permeável representa uma inovação tecnológica que combina funcionalidade estrutural com benefícios ambientais, sendo essencial em cidades que enfrentam problemas de impermeabilização excessiva”.

Nos pavimentos convencionais, durante uma chuva, o volume de água a ser escoada aumenta rapidamente, demandando mais do sistema de drenagem urbana. A saturação desse sistema faz com que ocorram as enchentes e enxurradas em áreas urbanas. Os pavers fazem com que a água seja absorvida pelo solo, garantindo assim que o sistema urbano não seja sobrecarregado, como mostra a figura 1 abaixo:



**Figura 1** - Concreto permeável.

Os poros do concreto atuam como filtro, impedindo que impurezas e metais pesados atinjam o lençol freático, garantindo a realimentação dos lençóis subterrâneos, outro ponto e os benefícios financeiros, contribuindo para a redução de gastos com o sistema de drenagem, permitindo a redução de suas dimensões. O sistema de instalação como piso intertravado permite que seja dispensado o uso de cimento e argamassa de assentamento. Além disso, o material é reaproveitável, podendo ser utilizado em caso de remoções e manutenções.

Ao optar pela utilização desse produto torna-se necessário o desenvolvimento de um projeto de estrutura do piso. É comum encontrar a solicitação do uso do paver drenante, porém, os projetos não trazem detalhes de base e sub-base dessas áreas. Mesmo ajudando na alimentação do lençol freático e necessário um bom escoamento para a água que desce em excesso, para a utilização correta desse tipo de piso precisa que faça um bom dimensionamento da área da bacia de contribuição que existirá, levando em conta o índice pluviométrico.

Gonçalves e Oliveira (2014) definem os pavimentos permeáveis como estruturas que possuem passagens livres, pelos quais há escoamento de água que podem adentrar ao solo ou ser transportado através de um meio complementar de escoamento. O mesmo autor defende que pavimentos de concreto drenante que a camada superior é composta de material similar ao concreto do asfáltico poroso, que apresentam a retirada de uma fração de areia fina da mistura dos agregados de pavimento, resultando de 15% a 25% de vazios, formando poros que possibilitam quase que praticamente 100% das águas sejam percoladas em sua estrutura.

A NBR 9781:2013 trata o pavimento intertravado como pavimento flexível composto de base e sub-base, seguido de uma camada de revestimento de peças de concreto com preenchimento das juntas por material de rejuntamento e o intertravamento da estrutura, propiciado pela contenção, ela também nos traz como parâmetros básicos no ensaio de resistência característica a compressão os seguintes valores descritos na tabela 8 a seguir.

**Tabela 8** – Resistência mecânica e espessura mínima do revestimento permeável

Tipo de revestimento	Tipo de solicitação	Espessura mínima (mm)	Resistência mecânica característica (Mpa)	Método de ensaio
Peças de concreto (juntas alargadas ou áreas vazadas)	Tráfego de pedestres	60,0	$\geq 35,0^a$	ABNT NBR 9781
	Tráfego leve	80,0		
Peça de concreto permeável	Tráfego de pedestres	60,0	$\geq 20,0^a$	
	Tráfego leve	80,0		
Placa de concreto permeável	Tráfego de pedestres	60,0	$\geq 2,0^b$	ABNT NBR 15805
	Tráfego leve	80,0		
Concreto permeável moldado no local	Tráfego de pedestres	60,0	$\geq 1,0^c$	ABNT NBR 12142
	Tráfego leve	100,0	$\geq 2,0^c$	

<sup>a</sup> determinação da resistência à compressão, conforme na ABNT NBR 9781  
<sup>b</sup> determinação da resistência à flexão, conforme na ABNT NBR 15805  
<sup>c</sup> determinação da resistência à tração na flexão, conforme na ABNT NBR 12142

**Fonte:** NBR 9781:2013.

A NBR 16416:2015 define pavimento permeável como aquele que permite que as solicitações de esforços mecânico e condições de rolamento atuem simultaneamente, dando condições de que a estrutura suporte a percolação ou acúmulo temporário de água diminuindo o escoamento superficial, sem causar danos à mesma. Nela, trata-se ainda que estrutura permeável como sendo a combinação das camadas de sub-base permeável, base permeável, camada de assentamento permeável e revestimento permeável, dimensionada para permitir a sucção de água, além de distribuir os esforços no subleito e suportar as solicitações de tráfego. A tabela 7 contempla os valores mínimos que devem ser atingidos no cálculo do coeficiente de permeabilidade:

**Tabela 7** – Determinação do coeficiente de permeabilidade

Tipo de revestimento	Método de ensaio Local de avaliação		Coeficiente de permeabilidade do pavimento recém construído m/s
	Em laboratório	Em campo	
Peças de concreto (juntas alargadas ou áreas vazadas)	Anexo A		
Peça de concreto permeável	ABNT NBR 13292 ou Anexo A	Anexo A	$> 10^{-3}$
Placa de concreto permeável			
Concreto permeável moldado no local			

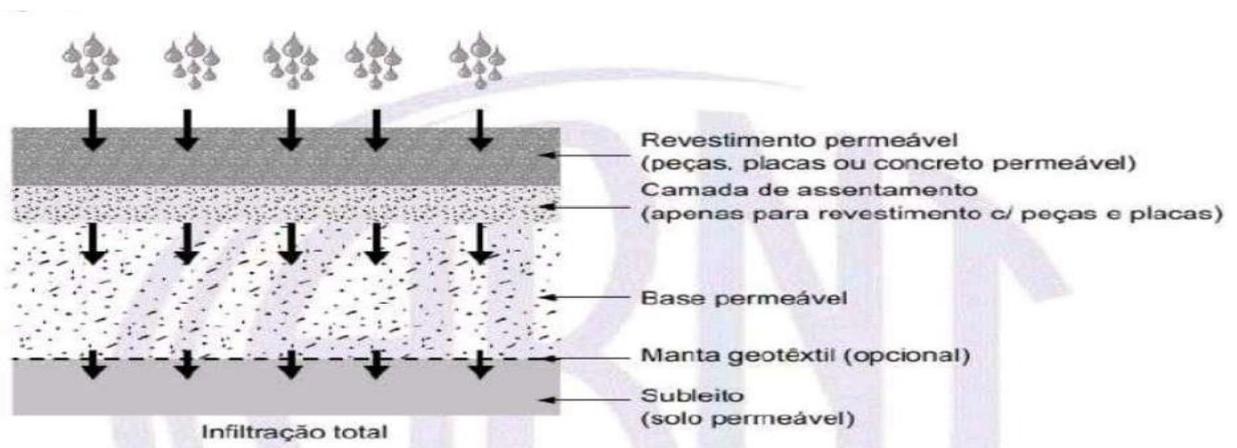
Fonte: NBR 16416:2015.

A NBR 16416:2015 traz três diferentes maneiras para o pavimento permeável sendo que a escolha depende das características do solo e de condição de projetos, sendo elas:

#### 4.2.1 Infiltração total

Nesse sistema de infiltração, toda a água precipitada alcança o subleito e se infiltra conforme mostra a figura 2.

**Figura 2** – Infiltração total.

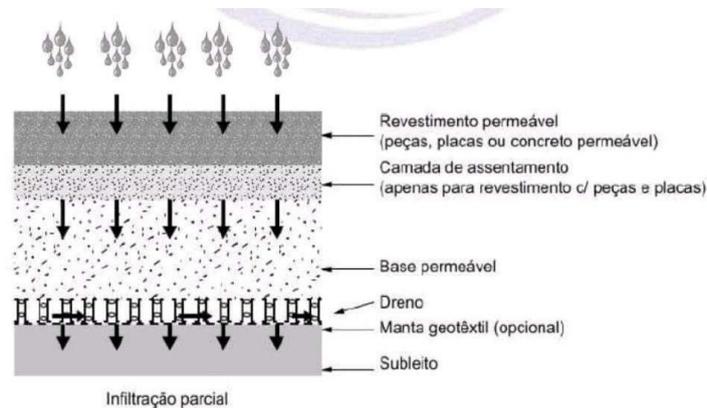


Fonte: NBR 16416:2015

#### 4.2.2 Infiltração parcial

Nesse sistema de infiltração, parte da água precipitada alcança o subleito e se infiltra, porém, parte da água fica temporariamente armazenada na estrutura permeável, sendo depois removida por dreno, como mostra a figura 3.

**Figura 3 – Infiltração parcial.**

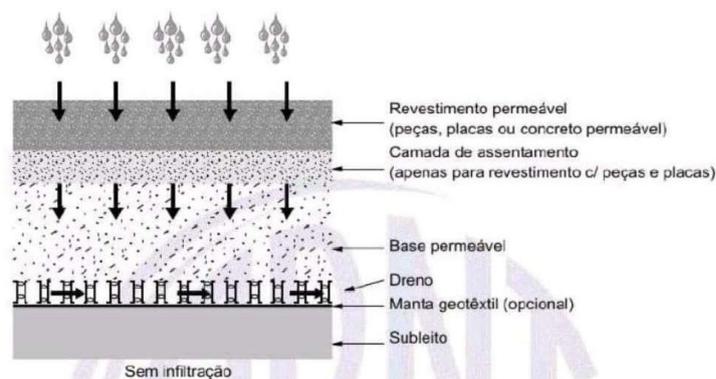


Fonte: NBR 16416:2015.

#### 4.2.3 Sem infiltração

A água precipitada fica temporariamente armazenada na estrutura permeável e não infiltra no subleito, sendo depois removida pelo dreno, conforme mostrado na figura 4.

**Figura 4 – Sem infiltração.**



Fonte: NBR 16416:2015.

## 5. METODOLOGIA

A metodologia presente foi embasada em pesquisas nas normas vigentes sobre o tema, artigos científicos, livros e demais trabalhos de mesma natureza, construindo um perfil qualitativo para o estudo, quanto a captura de dados para

desenvolvimento dos cálculos na pesquisa foi utilizado amostras de duas empresas distintas, sem conotação sobre marca e qualidade dos materiais, com o apoio de normas técnicas e ensaios que trouxeram os valores necessários para prosseguir com os estudos, sendo um de forma caseira para o coeficiente de permeabilidade e o outro com uma empresa parceira para o ensaio de resistência característica a compressão.

Foi necessária a realização de dois ensaios, o primeiro de resistência à compressão, para avaliar a capacidade dos pavers de suportarem possíveis cargas submetidas, esse teste mede a resistência do paver às compressões axiais até o ponto de ruptura, e deve ser realizado conforme os procedimentos especificados na NBR 9781:2013, descritos no anexo A e transcritos abaixo:

- I: A máquina de ensaio deve atender aos valores máximos admissíveis determinados pela ABNT NBR NM ISO 7500-1. Para laboratórios de ensaio, a máquina de ensaio deve ser classe 1 ou melhor.
- II: Para laboratórios instalados em fábricas, admite-se a utilização de máquina de ensaio classe 2.
- III: A estrutura de aplicação de força deve ter capacidade compatível com os ensaios a serem realizados, permitindo a aplicação controlada da força sobre a peça colocada entre os pratos de compressão. O prato que se desloca deve ter movimento na direção vertical, coaxial (perpendicular) ao prato fixo.
- IV: O corpo de prova deve ser posicionado de modo que, quando estiver centrado, seu eixo coincida com o da máquina, fazendo com que a resultante das forças passe pelo centro.
- V: O acionamento deve ser através de qualquer fonte estável de energia, de modo a propiciar uma aplicação de força contínua e isenta de choques. Somente para máquinas de classe 2 se aceita acionamento manual.

A aplicação do ensaio seguiu os seguintes procedimentos:

- a) As peças foram submersas em água 23 °C, por no mínimo 24 h anteriores ao ensaio;
- b) As superfícies de carregamentos devem ser planas;

c) As peças devem ser dispostas sobre as placas auxiliares de ensaio, com sua face superior em contato com a placa auxiliar superior, de modo que o eixo vertical que passa pelo seu centro coincida com o eixo vertical passante pelo centro das placas, na região da peça que apresenta largura mínima de 97 mm.

O carregamento deve ser feito continuamente, com velocidade de 550 kPa/s, com variação de mais ou menos 200 kPa/s. O carregamento deve prosseguir até a ruptura completa da peça. O resultado da resistência à compressão da peça, deve ser expressa em megapascals (MPa), é obtida dividindo-se a carga de ruptura, expressa em newtons (N), pela área de carregamento, expressa em milímetros quadrados (mm<sup>2</sup>), multiplicando-se o resultado pelo fator  $\rho$ , função da altura da peça, conforme Tabela A.1.

**Tabela A.1 – Fator multiplicativo  $\rho$**

<b>Espessura nominal da peça</b> mm	<b><math>\rho</math></b>
60	0,95
80	1
100	1,05

**Fonte:** NBR 9781:2013.

Já na análise do ensaio de permeabilidade foram adotados os parâmetros prescritos pela NBR 16416:2015, tendo no anexo A as especificações de materiais e equipamentos:

- a) Anel de infiltração com diâmetro de 300 mm e altura de 70 mm, marcado com duas linhas de referência com distância de 10 mm e 15 mm em relação à face da inferior do anel, para nivelamento controlado do volume de água durante a execução do ensaio;
- b) Balança com resolução de 0,1 g;
- c) Cronômetro com resolução de 0,1 s;
- d) Massa de calafetar para vedação entre pavers e entre paver e anel;
- e) Recipiente para conter o volume de água.

As etapas do ensaio seguiram a seguinte cronologia:

Os pares de amostras escolhidas para testes do coeficiente de permeabilidade foram limpas, de modo retirar sedimentos e outros materiais impuros:

- a) A paginação das seis unidades de cada amostra do conjunto foi montada sobre a grelha da estrutura de apoio;
- b) Sobre os pavers, foi fixado o anel de infiltração sendo posteriormente vedada à parte inferior com massa de calafetar a fim de conter vazamentos;
- c) De forma preliminar ao início do ensaio, é aplicada uma pré-molhagem com o volume de 18 litros nas amostras; o tempo de percolação d'água na pré-molhagem define a massa de água do ensaio, de acordo com a Tabela A.1.

**Tabela A.1 – Determinação da massa de água para ensaio**

<b>Tempo de pré-molhagem</b>	<b>Massa de água para o ensaio</b>
s	kg
$\leq 30$	$18 \pm 0,05$
$> 30$	$3,60 \pm 0,05$

Fonte: NBR 16416:2015.

d) Iniciar o ensaio em até 2 min depois da execução da pré-molhagem, no qual se despeja a água no anel de infiltração com velocidade suficiente para manter o nível da água entre as duas marcações inferiores e internas ao anel entre 10 e 15 mm;

e) Registrar o intervalo de tempo acionando o cronômetro assim que a água atingir a superfície do pavimento permeável, parando-se o cronômetro quando não houver mais água livre na superfície do mesmo. Registra-se o tempo com exatidão de 0,1 s, adotando-se o tempo médio de 1 medição para cada um dos 2 conjuntos amostrais.

Na figura 1 apresenta-se as imagens que exemplificam a execução do teste de permeabilidade das amostras:

Figura 1

a)



b)



c)



d)



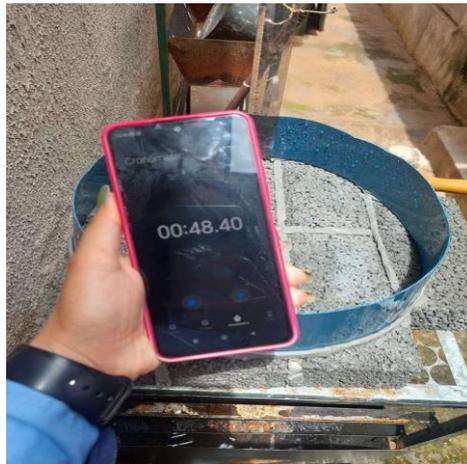
e)



f)



g)



Grelha vista planta (a); Grelha vista lateral (b); Montagem da paginação e anel (c); Calafetagem anel e peças (d); Teste de permeabilidade (e); Marcação de tempo empresa A (f); Marcação de tempo empresa B g).

**Fonte:** Autores (2024).

## 6. ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Foram utilizadas duas amostras com 4 peças cada de fabricante denominado A e B, ambas de pavimento intertravado tipo paver de seção 10 cm x 20 cm x 6 cm, totalizando 8 amostras. O equipamento para o ensaio atende aos requisitos previstos da NBR 9781:2013, de modo a garantir resultados precisos e claros a fim de auxiliar no desenvolvimento do trabalho.

Nesse ensaio, a peça foi colocada em uma prensa hidráulica com capacidade de aplicar carga até que ocorra a ruptura, antes do experimento o paver é posicionado em placa de aço para que ocorra a distribuição uniforme da carga durante o experimento. A carga segue aplicada de maneira contínua e em velocidade constante até o momento que ocorra a falha estrutural da peça apresentando trincas, ruptura ou desintegração. Após o ensaio, a carga máxima suportada é registrada para compor o cálculo de resistência, a equação para se obter o  $f_{pk}$  e descrita no anexo A da NBR 9781:2013. O valor da carga de ruptura é dividido pela área de carregamento para se obter o valor em Mpa, depois multiplica-se o valor pelo fator  $p$ , esse é determinado em função da altura da peça, a tabela A.1 traz esses valores, feito essa primeira etapa, calcula-se a média das cargas do conjunto de amostras e aplica-se na equação a seguir:

Equação 1

$$s = \sqrt{\frac{\sum (fp - fpi)^2}{n-1}}$$

Fonte: NBR 9781:2013.

Com o resultado do desvio padrão calculado pela fórmula acima aplica-se uma multiplicação com o coeficiente de *student* (t), esse coeficiente trata-se de um modulador referenciado pelo número de amostras estudadas, a NBR 9781:2013 traz esses valores na tabela A.2. Finalizando a aplicação da equação diminui-se o valor da resistência média das peças com o resultado da multiplicação do coeficiente de *student* (t) e o desvio padrão da amostra(s):

Equação 2

$$f_{pk,est} = f_p \cdot t \cdot s$$

Fonte: NBR 9781:2013

Realizada as contas conforme o passo a passo descrito anteriormente, o valor obtido é comparado com os valores estabelecidos pela NBR 9781:2013 e verificados os requisitos de projeto. Se o paver atender, ou ultrapassar a resistência estipulada por norma, esse é considerado adequado para aplicação em pavimentos.

## 6.1 Coeficiente de permeabilidade

Foram contempladas 2 amostras, que foram dispersas com a paginação de 6 unidades do material paver com seção de 10 cm x 20 cm x 6 cm, totalizando 12 unidades; contemplando uma seção de 40 cm x 30 cm, formando uma área de 120,000 cm<sup>2</sup>, como ilustrado nas fotos 3a e 3b. Devido à não aplicação do estudo, a uma área de valor próximo ao citado na norma NBR 16415:2015 foi feito o estudo com 2 amostragens de forma a obter o resultado que daria condições de realizar o estudo de caso. A norma estabelece também 3 critérios para inspeção visual (IV), avaliação dimensional (AD) e amostragem(A), entre os quais:

IV : aspecto homogêneo, ângulos retos, arestas regulares nas duas faces e nas paredes laterais, livre de defeitos ou rebarbas, sem delaminação ou descamação do concreto.

AD : tolerância dimensional para comprimento, largura e espessura de mais ou menos 3 mm em relação às respectivas medidas nominais.

A : os corpos de prova devem ser coletados de forma aleatória, de modo a representar todo o lote pavimentado; o lote máximo deve corresponder a uma área pavimentada de 10000 m<sup>2</sup>.

a)



Amostra 1 (a);

b)



Amostra 2 (b)

Fonte: Autores (2024).

## 7. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na obtenção dos resultados do ensaio de compressão do paver foi adotado o método descrito na NBR 9781:2013, contemplado no anexo A e realizado os cálculos conforme a equação 1 a seguir:

Equação 1

$$f_{pk,est} = f_p \times s$$

sendo

$$s = \sqrt{\frac{\sum (f_p - f_{pi})^2}{n-1}}$$

Fonte: NBR 9781:2013.

Onde

$f_p$ : é a resistência média das peças, expressa em megapascals (MPa);

$f_{pi}$ : é a resistência individual das peças, expressa em megapascals (MPa);

$f_{pk,est}$ : é a resistência característica estimada à compressão, expressa em megapascals (MPa);

$n$ : é o número de peças da amostra;  $s$  é o desvio-padrão da amostra, expresso em megapascals (MPa);

$t$ : é o coeficiente de *Student*, fornecido na Tabela A.2, em função do tamanho da amostra.

**Tabela A.2** – Coeficiente de Student (nível de confiança de 80%)

<b>n</b>	<b>t</b>
6	0,920
7	0,906
8	0,896
9	0,889
10	0,883
12	0,876
14	0,870
16	0,866
18	0,863
20	0,861
22	0,859
24	0,858
26	0,856
28	0,855
30	0,854
32	0,842

**Fonte:** NBR 9781:2013.

No quadro 1, são apresentados os resultados do ensaio de compressão realizado nos dois conjuntos de amostras analisados:

**Quadro 1** - Resistência característica à compressão

LOTE	IDADE	RESISTÊNCIA INDIVIDUAL (MPA)	MÉDIA (MPA)	DESVIO PADRÃO S (MPA)	FPK (MPA)
EMPRESA A	28	29,18 23,35 28,66 25,61 25,76	26,8	2,43	24,57
LOTE	IDADE	RESISTÊNCIA INDIVIDUAL	MÉDIA	DESVIO	FPK (MPA)

		(MPA)	(MPA)	PADRAO S (MPA)	
EMPRESA B	28	20,84	19,11	3,15	16,21
		20,22			
		15,35			
		16,34			
		22,79			

**Fonte:** Autores (2024).

Com base nos valores obtidos neste ensaio, foram apurados os resultados de resistência característica a compressão (f<sub>pk</sub>) calculados conforme a equação 1. A amostra da empresa A essa acima do mínimo exposto na tabela 8 da NBR 16416:2015, com um valor de resistência de 24,57 Mpa, ou seja, considera-se aprovada, já os pavers da empresa B, numa média geral apresentou valores abaixo do especificado em norma, atingindo um valor de 16,21 Mpa.

Após os testes necessários, são extraídas as informações e aplicado a equação presente na NBR 16416:2015, como expressa na fórmula abaixo:

Equação 2

$$K = \frac{c \cdot m}{(d^2 \cdot t)}$$

**Fonte:** NBR 9781:2013.

K: é o coeficiente de permeabilidade expressa em milímetros por hora (mm/h);

m: é a massa de água infiltrada em quilogramas (kg);

d: é o diâmetro interno do cilindro de infiltração expresso em milímetros (mm);

t: é o tempo necessário para toda a água percolar expresso em segundos (s);

C: fator de conversão dos dados das unidades para o Sistema Internacional (SI) de medidas para C = 4 583 666 000.

No quadro 2 , apresenta-se o resultado obtido na aplicação da fórmula do coeficiente de permeabilidade (k) nas amostras estudadas:

**Quadro 2 - Coeficiente de permeabilidade**

LOTE	m	d	t	c	k	
A	18	300	46	4583666000	19928,98	$19 \cdot 10^{-3}$
B	18	300	48	4583666000	19098,61	$19 \cdot 10^{-3}$

Fonte: Autores (2024).

No ensaio de resistência característico à compressão, apenas a empresa A atingiu os resultados propostos na NBR 16416:2015. Aplicando os dados que foram aferidos para o cálculo coeficiente de permeabilidade (k) determinados de acordo com a equação 1, observamos que obtiveram parâmetros positivos para o lote de ambas as amostras coletadas. Confrontando os valores obtidos nos cálculos, confirmamos que resultaram em conformidade com o parâmetro estabelecido na NBR 16416:2015, que estabelece o resultado da expressão numérica para valores da permeabilidade (velocidade) maiores que  $1 \cdot 10^{-3}$  m/s ( $>10^{-3}$ ) como referência para a experimentação dos testes.

## 8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como objetivo avaliar as propriedades de resistência à compressão e permeabilidade de pavers produzidos por duas empresas, A e B, com foco na conformidade dos materiais com as normas técnicas, principalmente a NBR 16416:2015 e NBR 9781:2013, que estabelece as diretrizes para o uso de pavimentos drenantes em áreas urbanas.

Na avaliação das amostras foram realizados dois ensaios o de resistência característica à compressão (f<sub>pk</sub>) e o de coeficiente de permeabilidade (k). Antes da realização dos testes, foi feita uma análise geométrica das amostras colhidas, nessa etapa as peças não tiveram divergências com a tolerância dimensional de  $\pm 3$  mm, atendendo à NBR 9781:2013. No entanto, nos ensaios de resistência, os resultados obtidos foram divergentes expressando valores de 24,57 MPa para a compressão no lote da empresa A e o valor de 16,21 Mpa nos pavers da empresa B, tendo como resultado satisfatório somente a amostra A com valor acima de 20,00 MPa conforme especificado na NBR 16416:2015, tabela 8; Para o coeficiente de permeabilidade k os valores obtidos nas duas amostras foram satisfatórios, superando o mínimo que a NBR 16416:2015 prescreve que é  $10^3$ , na amostra A e B o valor encontrado foi

19.10<sup>3</sup>.

Tendo em vista esses dados, percebemos que a continuidade dos estudos sobre a temática do sistema de pavimentação drenante, deve ser um caminho de grandes descobertas, em razão da possibilidade de promover o controle do escoamento pluvial urbano e da remoção de poluentes, além da reposição dos fluxos aos lençóis freáticos. O estudo de outras metodologias de pavimentos porosos de concreto já embasados e testados com a busca de melhorar outros aspectos físicos, mecânicos e hidráulicos, podem resultar em ações de esclarecimentos e posterior estudo técnico para viabilização dos pisos drenantes, como processo de construção de cidades cada vez mais ecológicas e com um viés econômico de sustentabilidade.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 9781**: Peças de concreto para pavimentação - Especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

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

ALMEIDA, J.; SANTOS, R. **Concreto permeável: aplicações e benefícios no meio urbano**. Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade, v. 8, n. 1, p. 14-25, 2019.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação asfáltica**: materiais, projeto e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentos de concreto**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentos de concreto permeáveis**: uma visão ambiental da tecnologia sustentável emergente. São Paulo: Oficina de Textos, 2020.

COSTA, Alfredo Ribeiro da et al. **Curso básico de Hidrologia Urbana**: nível 3. Brasília: ReCESA, 2007.

DINIZ, Maria Ingridy Lacerda et al. Estudo da eficiência de pavimentos permeáveis: análise da permeabilidade e das propriedades mecânicas. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, São Paulo, v. 12, n. 3, p. 398-407, 2021.

FRANÇA, L.; SOUZA, T. **Impactos do uso de pavimentos permeáveis em áreas urbanas**. Revista de Engenharia Urbana, v. 15, n. 3, p. 23-35, 2020.

GONÇALVES, Andre Bertoletti; OLIVEIRA, Rafael Henrique de. **Pavimentos permeáveis e sua influência sobre a drenagem**. Seminários da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, São Paulo, 2014.

LA-J, Lucas. **Manual paver drenante**. P. 2, 2018. Disponível em: <file:///C:/Users/Acer/Downloads/TCC%20DESEMPENHO%20DE%20PAVERS%20DRENANTES%20EM%20SISTEMAS%20DE%20PAVIMENTAC%CC%A7AO%20PERMEAVEL.pdf>. Acesso em: 16 dez. 2024.

LIMA, P.; SILVA, M.; OLIVEIRA, A. **Gestão de águas pluviais: a importância dos pavimentos permeáveis no contexto urbano**. Engenharia Ambiental, v. 10, n. 2, p. 45-56, 2018.

MELLO, Luiz Carlos Brasil de Brito; AMORIM, Sergio Roberto Leusin de. O subsetor de edificações da construção civil no Brasil: uma análise comparativa em relação à União Europeia e aos Estados Unidos. **Produção**, v. 19, n. 2, p 388-399,2009.

PARRA, Geovana Geloni; TEIXIRA, Bernardo A. do Nascimento. 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**, Tupã, v. 03, n. 15, p. 142-157, 2015.

PINTO, Liliana Lopes Costa Alves. **O desempenho de pavimentos permeáveis como medida mitigadora da impermeabilização do solo urbano**. 2011. Tese de Doutorado (Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental - PHA), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

SILVA, Felipe Barros Vasconcelos da. **Drenagem urbana com pavimentos drenantes**. Disponível em: <https://revistaft.com.br/drenagem-urbana-com-pavimentos-drenantes/>. Acesso em: 15 out. 2024.

SUZUKI, Carlos Yukio; AZEVEDO, Angela Martins; KABBACH JÚNIOR, Felipe Issa. **Drenagem subsuperficial de pavimentos**: conceitos e dimensionamento. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

TETRACON. **A história do paver**: o pavimento intertravado pelo mundo. Disponível em: <https://tetraconind.com.br/blog/a-historia-do-paver-o-pavimento-intertravado-pelo-mundo/>>. Acesso em: 15 out. 2024.

VIRGILIIS, Afonso Luís Corrêa de. **Procedimentos de projeto e execução de pavimentos permeáveis visando retenção e amortecimento de picos de cheias**. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2009.

SCHROEDER, Alessandro. Pavimentos drenantes: Estudo sobre peças de concreto permeável tipo paver intertravado poroso. **Revista da UNIFEBE**. Disponível em: <https://periodicos.unifebe.edu.br/index.php/RevistaUnifebe/article/view/871>. Acesso em: 10 nov. 2024