

## CONCRETO PERMEÁVEL DE CIMENTO PORTLAND: PERMEABILIDADE E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

### PERMEABLE PORTLAND CEMENT CONCRETE: PERMEABILITY AND COMPRESSIVE STRENGTH

Rafael Staparo Vale<sup>1</sup>  
Jorge Herculano de Oliveira<sup>2</sup>  
Leonardo Moraes Armesto<sup>3</sup>  
Ramoel Serafini<sup>4</sup>

**RESUMO:** O concreto permeável de cimento Portland (CPCP) é um material cimentício capaz de trazer benefícios em termos de drenagem urbana devido à sua maior permeabilidade. O uso do CPCP pode mitigar os danos à propriedade privada, reduzir o risco de doenças e até mesmo evitar vítimas relacionadas a enchentes urbanas. Do ponto de vista ambiental, o uso do CPCP reduz o escoamento de água da chuva, o que permite filtrar a poluição causada por óleos, fluidos de automóveis e outras substâncias encontradas na pavimentação urbana. Os aspectos mencionados fazem do CPCP uma solução alternativa para abordar as questões relacionadas à drenagem urbana de forma ambientalmente e economicamente adequadas. Nesse contexto, este trabalho apresenta as vantagens e desvantagens do CPCP, bem como uma campanha experimental voltada para avaliação da permeabilidade e resistência à compressão do material. Os resultados mostram que o CPCP é uma alternativa adequada para o gerenciamento da drenagem urbana, embora o aumento da permeabilidade resulte em um material cimentício com propriedades mecânicas reduzidas. O uso do CPCP pode minimizar os problemas ambientais decorrentes da impermeabilidade do solo causada pelos métodos convencionais de pavimentação, o que facilita o acesso da água aos aquíferos. Portanto, os resultados mostram a possibilidade de empregar o CPCP como solução para a drenagem urbana pelo aumento da permeabilidade do pavimento.

**Palavras-chave:** Drenagem Urbana. Concreto Permeável. Pavimento permeável. Permeabilidade. Resistência à compressão.

**ABSTRACT:** The Portland cement pervious concrete (PCPC) is a cementitious material capable of providing benefits in terms of urban drainage due to its increased permeability. The use of PCPC can mitigate the damages to private property, reduce the risk of diseases, and even avoid casualties related to urban flooding. From the environmental standpoint, the use of PCPC reduces the outflow of rainwater, which allows the filtering of pollution caused by oils, automobiles fluids, and other substances found in urban paving. The

<sup>1</sup>Engenheiro civil pela Universidade Paulista. Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3950-1737>

<sup>2</sup>Engenheiro civil pela Universidade Paulista. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4373-5045>

<sup>3</sup>Mestre em bioengenharia pela UNIESP – Universidade Brasil Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-1836-6871>

<sup>4</sup> Universidade de Caxias do Sul – UCS, Departamento de Ciências Exatas e Tecnologia. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-7698-649X>.

aforementioned aspects make the PCPC an alternative solution to address the issues related to urban drainage in a proper environmental and economical manner. In this context, this paper presents the advantages and disadvantages of PCPC, as well as an experimental campaign focused on evaluating permeability and compressive strength of the material. The results show that PCPC is a suitable alternative for the management of urban drainage, although the increased permeability results in a cementitious material with reduced mechanical properties. The use of PCPC can minimize environmental issues arising from soil impermeability caused by conventional paving methods, which eases the access of water to the aquifers. Therefore, the results show the possibility of employing PCPC as a solution to urban drainage by the increase in permeability of the paving.

**Keywords:** Urban Drainage. Pervious concrete. Permeable pavement. Permeability. Compressive strength.

## INTRODUÇÃO

Christofidis *et al* (2020) afirmam que no Brasil, cerca de 270 mil pessoas são afetadas por inundações anualmente, o que faz com que o país alcance a 11ª posição no ranking *15 Countries Account for 80% of Population Exposed to River Flood Risk Worldwide* da *World Resources Institute*. O sistema de drenagem predominante empregado no Brasil é o simples afastamento da água pluvial por escoamento superficial, já que o acúmulo de água pode causar transtornos sociais. Baseado nesta informação, é importante que os problemas relacionados à drenagem urbana das águas pluviais sejam resolvidos de forma duradoura. Nesse sentido, o Concreto Permeável de Cimento Portland (CPCP) foi empregado em vários países do mundo como Estados Unidos da América, Japão e China como solução para sistema de drenagem, enquanto o Brasil mostra considerável potencial para aplicação deste material. Alguns autores como Sartipi *et al* (2019) afirmam que vias de tráfego leve e calçadas públicas podem ser construídas utilizando este tipo de material, o que geraria ganhos consideráveis na drenagem urbana e também contribuir para a recarga de aquíferos subterrâneos.

O CPCP é um tipo de concreto em que os vazios estão interligados entre si permitindo a percolação da água por ação da gravidade, de acordo com a norma Brasileira ABNT NBR 16416 (2015). Além disso, a mesma norma apresenta que um concreto drenante de pavimentação é um sistema capaz de resistir aos esforços mecânicos de tráfego, ao mesmo tempo em que permite que a água penetre nos pavimentos.

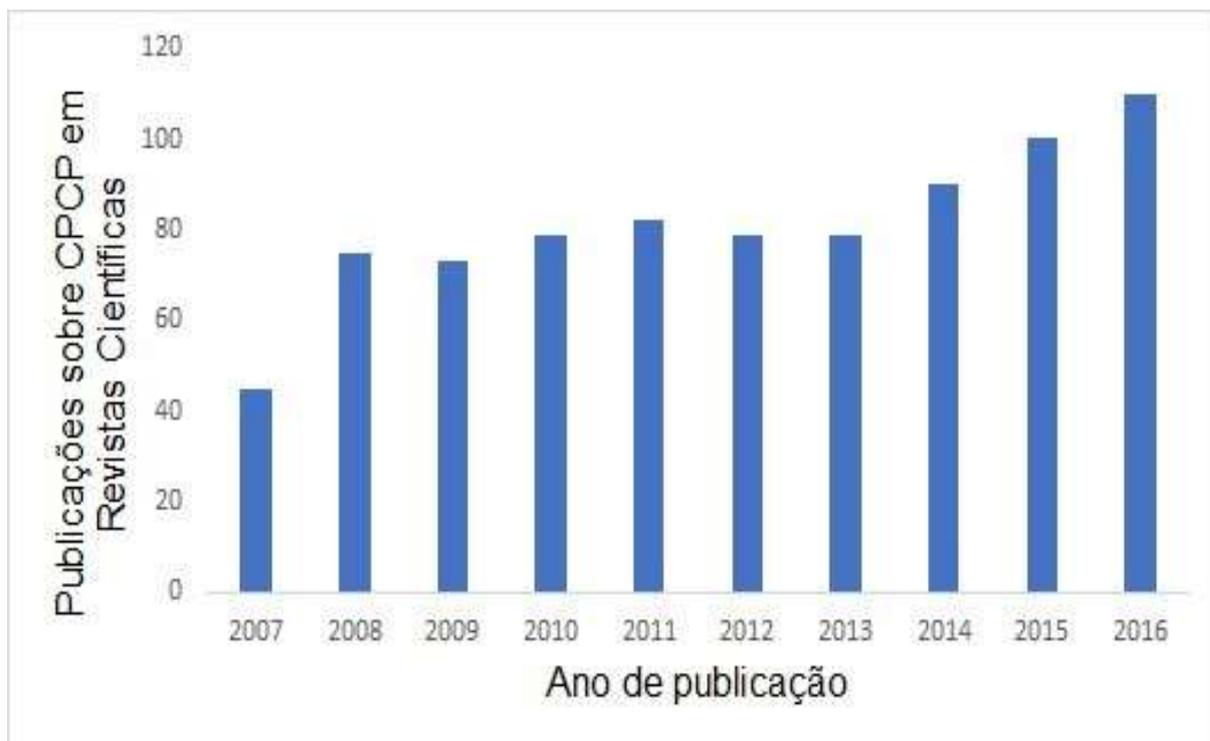
O CPCP pode ser definido também, de acordo com as considerações de Pils *et al* (2019) como um material com porosidade entre 15 e 35%, a fim de permitir a percolação de água. Lamb *et al* (2013) recordam que a dosagem do CPCP adota baixas quantidade de agregados finos (ou mesmo nenhum) e quantidade reduzida de pasta de cimento, o que permite a geração de diversos vazios entre os agregados graúdos. Isso resulta em um material cimentício capaz de escoar  $200 \ell/(\text{min.m}^2)$ , que é superior àquela capacidade de drenagem apresentada pelos solos. Nas pesquisas de Huang *et al* (2010), que utilizaram agregados finos, os resultados mostraram que a substituição de 7% em peso do agregado graúdo por areia de rio resultou em um aumento da resistência a compressão de 9,6 para 14,5 MPa aos 7 dias de idade, sem comprometer a porosidade que foi mantida acima dos 15% tomados como valor mínimo.

Portanto, a dosagem do CPCP contém, em sua maioria, pasta de cimento e agregados graúdos, visando a produção de um material poroso. De acordo com Lamb *et al* (2013), o *American Concrete Institute* (ACI) recomenda a utilização de agregados graúdos com diâmetro máximo de 9,5 mm, o que normalmente é seguido pela maioria dos estudos da literatura. Para Martins Filho *et al* (2020), o diâmetro dos agregados deve ser uniforme, pois esta é uma característica que está diretamente ligada às propriedades de endurecimento do material.

A relação água/cimento ( $a/c$ ) do CPCP está geralmente entre 0,26 e 0,45. Lian *et al* (2010) afirmam que a relação  $a/c$  ideal está entre 0,32 e 0,34, enquanto outros pesquisadores, como Elango *et al* (2020), sugerem que a razão  $a/c$  deve estar entre 0,26 e 0,40 com um consumo de cimento entre 350 e 400 kg/m<sup>3</sup>. A baixa relação  $a/c$  e a reduzida quantidade de pasta de cimento são responsáveis pela baixa consistência desse material no ensaio de abatimento. Para o CPCP, o resultado do teste de abatimento igual a zero é comum nos estudos, pois é um concreto com baixíssima fluidez. A utilização do CPCP no lugar do concreto convencional traz algumas vantagens, como explicam Xie *et al* (2019): a redução do efeito de ilha de calor, do ruído causado pelo contato dos pneus com o pavimento e dos sólidos em suspensão e de metais pesados na água da chuva; e a minimização da aquaplanagem.

Além disso, a produção do CPCP emprega menos cimento do que o concreto convencional, o que também atenua os efeitos da construção civil sobre o efeito estufa, considerando os estudos de Maury *et al* (2012). O CPCP ganhou notoriedade após ser reconhecido como um material sustentável pelo Conselho de Soluções Ecológicas dos Estados Unidos da América, responsável por classificar as construções sustentáveis através do sistema *LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)*. As características promissoras desse material justificam o aumento das pesquisas sobre esse tema no início do século XXI, conforme a **Figura 1**.

**Figura 1** – Número de artigos de pesquisa publicados durante 2007 e 2016 segundo Zhong *et al* (2018)



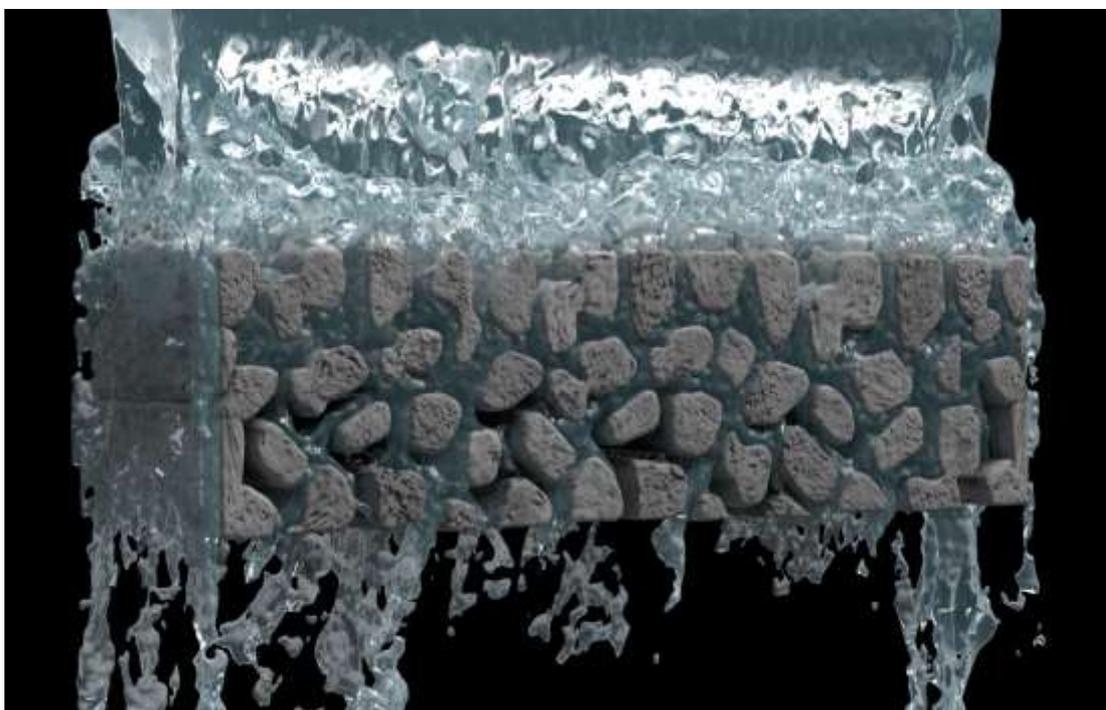
**Fonte:** Adaptado de Zhong *et al* (2018)

Entretanto, Sartipi *et al* (2019) alertam que a vegetação pode crescer dentro dos poros do CPCP, razão por trás do uso de inibidores de crescimento de vegetação neste material. Além disso, a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) afirma que o uso do CPCP não evita a contaminação dos aquíferos pela água da chuva e que o acúmulo de sedimentos nas camadas mais próximas ao solo pode causar reduções na

permeabilidade, fenômeno conhecido como *clogging*. Outro fator importante – ponderam Joshaghani *et al* (2015) - é que a alta porosidade resulta em menor resistência à compressão quando comparado ao concreto convencional.

A permeabilidade é uma propriedade intrínseca do CPCP que permite a passagem de um fluido por sua matriz. Essa característica é atribuída ao fato de o CPCP possuir uma rede de poros interligados que favorecem a drenagem de água, conforme ilustra a **Figura 2**.

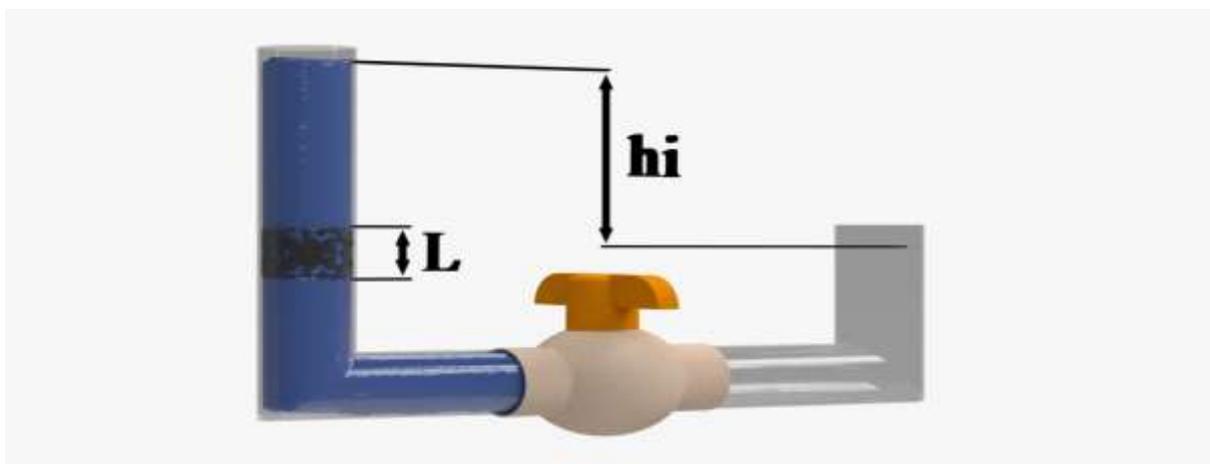
**Figura 2** – Representação de água percolando amostra de CPCP



**Fonte:** Adaptado de Salomão *et al* (2019)

A condutividade hidráulica é uma característica chave deste material e a dosagem dos materiais pode afetá-la consideravelmente. Portanto, a quantidade de pasta de cimento deve ser suficiente para cobrir a área superficial dos agregados graúdos, conforme recomendam Li *et al* (2016). Portanto, a permeabilidade do CPCP está associada à porosidade do material, ao diâmetro do agregado graúdo e à proporção de pasta de cimento na mistura, em que os poros medem entre 1 e 10 mm, de acordo com os estudos de Sartipi *et al* (2019). A fim de determinar a permeabilidade do CPCP, a maioria dos estudos sugere o uso de um permeômetro, conforme ilustrado na Figura 3.

**Figura 3** - Representação de permeâmetro de carga variável com registro fechado



Fonte: Adaptado de Mikami *et al* (2018)

Devido à alta porosidade do CPCP, sua permeabilidade pode ser determinada pela equação 1:

$$K = \frac{[A_1 * L]}{[A_2 * t]} * \ln(h_i / h_f) \quad (1)$$

onde K é o coeficiente de permeabilidade do material (m/s);  $A_1$  é a área transversal da amostra (m<sup>2</sup>);  $A_2$  é a área da seção transversal da coluna d'água (m<sup>2</sup>); L é a altura do corpo de prova (m);  $h_i$  é o nível de água inicial em relação ao vertedouro (m);  $h_f$  é o nível final da água em relação ao vertedouro (m); e t é o tempo necessário para a coluna d'água baixar de  $h_i$  para  $h_f$  (s).

De acordo com alguns estudos, dentre os quais os de Ludirdja *et al* (1989), o teste de permeabilidade pode ser realizado tomando como base a lei de Darcy que correlaciona a taxa de fluxo de fluido através de um meio poroso com o gradiente de energia potencial do fluido. Portanto, a permeabilidade pode ser calculada a partir da equação 2:

$$K = \frac{(Q * L)}{(A * P)} \quad (2)$$

Onde  $K$  é o coeficiente de permeabilidade do material (m/s);  $Q$  é a vazão volumétrica (m<sup>3</sup>/s);  $L$  é o comprimento da amostra (m);  $A$  é a área da seção transversal da amostra (m<sup>2</sup>); e  $P$  é a carga hidrostática no permeâmetro (m). Huang *et al* (2010) afirmam que a lei de Darcy pode não ser aplicada a materiais com alta porosidade e que os resultados podem ser influenciados pelas dificuldades de vedação completa do equipamento, o que também contribui para a falta de testes de permeabilidade amplamente aceitos para CPCP.

A norma brasileira ABNT NBR 16416 (2015) sugere um método de ensaio em que uma massa de água, determinada em função do tempo de pré-molhagem do pavimento, é despejada no topo de um anel de 30 cm de diâmetro com marcações em 1 e 1,5 cm, entre as quais a água deve estar contida enquanto é despejada durante o ensaio. Se o tempo de molhagem for inferior a 30 s, a quantidade de água será de 18,00 ± 0,05 kg; se maior que 30 s, a massa de água é 3,60 ± 0,05 kg. O tempo necessário para que toda a água seja drenada é registrado e o coeficiente de permeabilidade do CPCP é calculado de acordo com a equação 3:

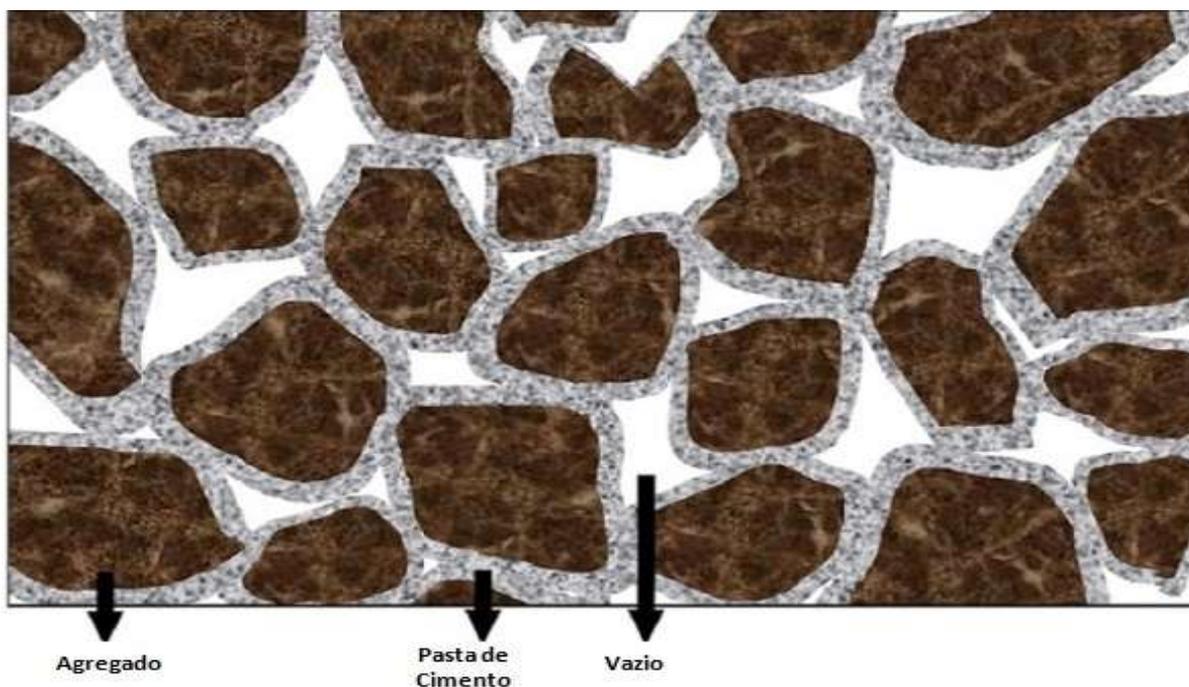
$$K = (C*m)/(d^2*t) \quad (3)$$

Onde  $K$  é o coeficiente de permeabilidade do material (m/s);  $C$  é o fator de conversão para as unidades do SI sendo fornecida pela NBR 16416 (2015) e igual a 4.583.666.000;  $m$  é a massa da água despejada no teste (kg);  $d$  é o diâmetro do anel (mm); e  $t$  é o tempo necessário para que a massa total de água se infiltre no pavimento (s). A ABNT NBR 16416 (2015) proíbe que o ensaio seja realizado antes de 24h da última chuva, e restringe a dois procedimentos por dia.

Em relação à resistência à compressão do CPCP, os menores valores quando comparados ao concreto convencional são atribuídos, por Lamb *et al* (2013), à alta porosidade do material. Essa característica, segundo Huang *et al* (2010), é um fator que reduz a durabilidade do CPCP e limita seu uso em vias de tráfego leve ou de pedestres, podendo ser utilizado também em calçadas.

Os estudos de Joshaghani *et al* (2015) concluíram que essa desvantagem pode ser minimizada com uma dosagem adequada em laboratório, além da adoção de agregados graúdos de menor diâmetro para aumentar a área de contato entre eles, conforme mostrado na **Figura 4**.

**Figura 4** - Área de contato entre a pasta de cimento e os agregados graúdos utilizados no CPCP



**Fonte:** Adaptado de Xie *et al* (2020)

Resultados de Kia *et al* (2018) também apontam uma redução de 4% na resistência à compressão para cada 1% de aumento na porosidade do CPCP. Além disso, o aumento do tamanho do agregado graúdo e da relação a/c induzem à redução da resistência mecânica do CPCP, enquanto o uso de agregados graúdos com diâmetro entre 2,4 e 9,5 mm aumenta a resistência à compressão do material, de acordo com as conclusões de Zhong *et al* (2016).

Neste contexto, este estudo visa avaliar a eficiência deste tipo de pavimento permeável em termos de permeabilidade e resistência à compressão. Uma campanha experimental foi realizada com o objetivo de avaliar a resistência à compressão e a permeabilidade do CPCP.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 Dosagem de CPCP e moldagem de amostras

A proporção da mistura de concreto foi baseada no estudo de Schwetz *et al* (2015), em que os resultados mostraram uma relação razoável entre resistência à compressão e permeabilidade. Os autores optaram por empregar um agregado graúdo de granito com diâmetro máximo de 9,5 mm, de acordo com a discussão fornecida na Seção 1. A relação a/c foi escolhida para ser 0,30 com base nos resultados obtidos no trabalho de Elango *et al* (2020). Foi utilizado um cimento tipo CII E-32 segundo as normas brasileiras, que contém escória de alto-forno na composição. Uma balança com precisão de  $\pm 1$  g foi empregada para quantificar os materiais. A Tabela 1 resume a dosagem para o CPCP empregado neste estudo.

**Tabela 1** – Dosagem de materiais empregados para a produção de CPCP

Descrição	Dosagem (kg/m <sup>3</sup> )
Cimento CII-E 32	474
Agregado graúdo de granito (f <sub>max</sub> = 9.5 mm)	1896
Água potável	142

**Fonte:** Autoria própria

O CPCP foi produzido com betoneira de tambor e o procedimento adotado foi o seguinte: 1) adicionou-se à betoneira toda a massa de agregado graúdo de granito e metade da água total, seguido de mistura durante 60 s; 2) o teor total de cimento foi adicionado e misturado por 180 s; 3) por último, a outra metade de água foi adicionada e os materiais foram misturados por mais 120 s. Este procedimento foi adotado para garantir propriedades satisfatórias da zona de transição interfacial entre os agregados e a pasta de cimento, como explicam Costa *et al* (2019). O teste de abatimento foi realizado conforme ABNT NBR 16889 (2020) em três camadas e aplicando 25 golpes com a haste de aço, mantendo o mesmo operador a fim de garantir a mesma energia de compactação em todas as amostras.

Após a produção do CPCP, os corpos de prova para o ensaio de permeabilidade foram produzidos conforme as orientações da ABNT NBR 16416 (2015) em uma superfície plana de 75 x 75 cm, o que gera uma área de 0,56 m<sup>2</sup>, atendendo ao requisito de área mínima de 0,5 m<sup>2</sup> prescrito pela diretriz brasileira. A espessura dos corpos de prova foi de 10 cm de acordo com as prescrições da ABNT NBR 9781 (2013). O concreto foi vazado dentro das fôrmas e nivelado com régua de alumínio. Um total de 7 corpos de prova foram produzidos para o teste de permeabilidade para se obter um maior espaço amostral e menor erro nos resultados.

Os corpos de prova para o ensaio de resistência à compressão foram produzidos como peças de CPCP, tipo I, de acordo com as orientações da ABNT NBR 9781 (2013). O CPCP foi moldado com dimensões de 20 x 10 x 10 cm (comprimento x largura x altura) em duas camadas. O processo de compactação foi realizado com uma haste de aço e um total de 12 batidas foram realizadas de forma distribuída. Um total de 20 corpos de prova foram produzidos para o ensaio de resistência à compressão, os quais foram divididos igualmente para as idades de cura de 7 e 28 dias.

## 2.2 Teste de permeabilidade

Aos 18 dias de idade, o CPCP foi avaliado para a determinação do coeficiente de permeabilidade. O ensaio foi realizado de acordo com as diretrizes da ABNT NBR 16416 (2015). Todas as amostras avaliadas foram submetidas à uma pré-molhagem de 25 s, o que resultou em massas de água de  $18,00 \pm 0,05$  kg. Os anéis com marcas de 1,0 e 1,5 cm foram cortados a seco de tubos de policloreto de vinila (PVC) com diâmetro de 30 cm, e posteriormente montados sobre os corpos de prova antes da calafetagem. Após o término do preparo, o volume de água foi derramado sobre as amostras de forma que a água permanecesse entre as marcações. Simultaneamente, foi determinado o intervalo de tempo necessário para a drenagem total da água com cronômetro digital com precisão de 0,01 s.

A Figura 5 ilustra o procedimento acima mencionado. Com base nos dados coletados, a Eq. 3 foi empregado para determinar o coeficiente de permeabilidade do CPCP.

**Figura 5** – Ensaio de permeabilidade empregado no estudo



Fonte: Autoria própria.

### 2.3 Teste de resistência à compressão

A resistência à compressão do CPCP foi determinada com base nas prescrições da ABNT NBR 9781 (2013). Os testes foram realizados no laboratório da ABCP em São Paulo, SP. As amostras foram saturadas em água a uma temperatura de  $23 \pm 5$  °C durante 24 h antes do ensaio, e a superfície em contato com o equipamento foi tratada com cobertura de enxofre e capeada. O ensaio foi controlado por carga a uma taxa de 0,5 kN/s até que ocorresse a ruptura dos corpos de prova. Tomando como base os valores de carga registrados durante o ensaio, foi determinada a resistência à compressão.

Os ensaios de resistência à compressão foram realizados nas idades de 7 e 28 dias. A resistência à compressão (MPa) foi calculada dividindo-se a carga de ruptura (N) pela área resistente do concreto (mm<sup>2</sup>), além de multiplicar os resultados por um fator de 1,05 devido à espessura do corpo de prova – conforme norma brasileira ABNT NBR 9781 (2013). O desvio padrão foi calculado com a equação 4:

$$s = \left\{ \frac{\sum [(f_p - f_{pi})^2]}{(n-1)} \right\}^{(1/2)} \quad (4)$$

Onde  $s$  é o desvio padrão da amostra (MPa);  $f_p$  é a resistência à compressão média do grupo (MPa);  $f_{pi}$  é a resistência à compressão de cada corpo de prova (MPa);  $n$  é o tamanho do grupo. Por fim, a resistência à compressão estimada é dada pela Equação 5:

$$f_{pk, est} = f_p - t*s \quad (5)$$

Onde  $f_{pk, est}$  é a resistência à compressão estimada (MPa);  $f_p$  é a resistência à compressão média do grupo (MPa);  $t$  é o Coeficiente de Student baseado no tamanho do grupo e fornecido pela ABNT NBR 9781 (2013); e  $s$  é o desvio padrão do grupo (MPa).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Resultados do ensaio de abatimento por tronco de cone

A consistência da mistura de concreto CPCP foi verificada por meio do teste de abatimento. Os resultados estão resumidos na Tabela 2. Os resultados mostram que o CPCP possui baixa fluidez, conforme apresentado na Figura 6. O baixo valor de abatimento e a baixa fluidez verificada estão de acordo com os resultados obtidos por Costa *et al* (2019). Portanto, os resultados mostram que a fluidez no estado fresco é próxima de nula para o CPCP.

**Tabela 2** – Resumo dos resultados do *slump test*

Número do teste	Abatimento (em mm)
1	0,0
2	7,0
3	5,0
4	0,0
<b>Média</b>	<b>3,0</b>

**Fonte:** Autoria própria.

**Figura 6** – Ensaio do abatimento por tronco de cone



Fonte: Autoria própria

### 3.1 Resultados de permeabilidade

A Tabela 3 resume os resultados obtidos para o teste de permeabilidade. Com base nos resultados obtidos, é possível observar que o CPCP possui capacidade de drenagem superior ao valor mínimo de  $10^{-4}$  m/s prescrito na norma brasileira ABNT NBR 16416 (2015). Os autores identificaram o fato de que a metodologia proposta pela normativa é altamente suscetível a variáveis externas que podem aumentar a dispersão dos resultados. Um dos aspectos é a dificuldade em manter o nível da água dentro dos parâmetros aceitáveis durante os testes.

**Tabela 3** – Resultados obtidos durante o ensaio de permeabilidade

Amostra	Tempo de percolação (s)	Coeficiente de permeabilidade	
		mm/h ( $\times 10^3$ )	m/s ( $\times 10^{-3}$ )
1	27,80	35,29	1,0
2	17,36	56,51	1,6
3	19,78	49,60	1,4
4	15,31	64,07	1,8
5	19,41	50,55	1,4
6	17,97	54,59	1,5
7	14,86	66,00	1,8

Fonte: Autoria própria

### 3.2 Resultados de resistência à compressão

A **Tabela 4** mostra os resultados do ensaio de resistência à compressão para a idade de 7 e 28 dias. Com base nos resultados obtidos, o coeficiente de Student foi de 0,883 para ambas as idades. A  $f_{pk, est}$  foi de 4,1 ( $\pm 0,5$ ) MPa e 3,5 ( $\pm 1,0$ ) MPa para as respectivas idades de 7 e 28 dias (desvio padrão fornecido entre parênteses). Nesse sentido, não foi encontrada diferença estatisticamente significativa entre a resistência à compressão nas idades estudadas.

**Tabela 4** – Resultados dos ensaios de resistência à compressão

Amostra	7 dias		28 dias	
	Carga de ruptura (kN)	$f_{pi}$ (MPa)	Carga de ruptura (kN)	$f_{pi}$ (MPa)
1	27,4	5,1	20,0	3,7
2	27,7	5,1	28,0	5,2
3	24,0	4,4	15,0	2,8
4	25,7	4,8	25,0	4,6
5	23,6	4,4	32,0	5,9
6	24,2	4,5	26,0	4,8
7	21,6	4,0	19,0	3,5
8	23,6	4,4	20,0	3,7
9	19,5	3,6	22,0	4,1
10	24,3	4,5	28,0	5,2

Fonte: Autoria própria

Os valores obtidos nesta campanha experimental foram inferiores aos valores mínimos prescritos pela ABNT NBR 16416 (2015). Mesmo com essa limitação, diversos autores também apresentam resultados inferiores ao valor mínimo prescrito devido à alta porosidade do material como Costa *et al* (2019), Schwetz *et al* (2015) e Pils *et al* (2019). Ainda assim, o CPCP avaliado neste estudo não pôde ser empregado para pavimentação por não atender a resistência mínima à compressão.

## CONCLUSÕES

O CPCP é um material amplamente empregado em todo o mundo, principalmente em países como Estados Unidos da América, Japão, Alemanha, Índia e China. Este material tem se mostrado eficiente para aumentar a permeabilidade dos pavimentos, embora desafiador em termos de se atingir uma resistência à compressão razoável ou evitar

a redução da permeabilidade devido à deposição de sedimentos ao longo do tempo. Outro aspecto relevante é que o teste de permeabilidade é altamente influenciado por variáveis externas e podem ser citadas as dificuldades relacionadas à manutenção do nível da água dentro da faixa aceitável.

Em relação à resistência à compressão, novos estudos podem ser desenvolvidos com o objetivo de potencializar essa propriedade para que esse inconveniente do CPCP seja minimizado. Atingir um equilíbrio entre permeabilidade e resistência à compressão é necessário na fase de pré-projeto, a fim de garantir tanto a manutenção quanto a capacidade de suporte do pavimento em uso.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Eng. Jesus Valcarce pela gentileza de fornecer os materiais e equipamentos utilizados neste artigo; aos membros do laboratório ABCP pela atenção e oportunidade de realização dos testes.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. *Projeto Técnico: Pavimento Permeável*. São Paulo, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 16416:2015: Pavimentos Permeáveis de Concreto – requisitos e procedimentos*. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 16889:2020: Concreto – determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone*. Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5738:2015 (versão corrigida em 2016): Concreto – procedimentos para moldagem e cura de corpos de prova*. Rio de Janeiro, 2016.

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

BECKER, N.; PINHEIRO, I. Potencialidade dos pavimentos permeáveis na melhoria da qualidade da água do escoamento superficial: uma revisão. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*. Curitiba, vol. II, fev. 2019. [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2175-33692019000100221&tlng=pt](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2175-33692019000100221&tlng=pt). <https://doi.org/10.1590/2175-3369.011.002.AO07>

CHRISTOFIDIS, D.; ASSUNÇÃO, R. S. F. V.; KLIGERMAN, D. C. A Evolução histórica da Drenagem Urbana: da drenagem tradicional à sintonia com a natureza. *Saúde em Debate*. Rio de Janeiro, vol. 43, n. 03, dez. 2019. [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=So103-11042019000700094](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=So103-11042019000700094). <https://doi.org/10.1590/0103-11042019S307>

COSTA, M. C. B.; SILVA, L. S.; NOGUEIRA, M. H. P.; LIMA, G. K. M.; BATISTA, N. J. S. Estudo da viabilidade técnica de concreto permeável em pavimentos urbanos de baixo tráfego utilizando agregado graúdo regional. *Revista de Ciência e Tecnologia*. Boa Vista, vol. 05, n. 08, 2019.

ELANGO, K. S.; GOPI, R.; SARAVANAKUMAR, R.; RAJESHKUMAR, V.; VIVEK, D.; RAMAN, S. V. Properties of pervious concrete – A state of the art review. *Materials Today: Proceedings*. Versão online, dez. 2020. [https://www.researchgate.net/publication/347528267\\_Properties\\_of\\_pervious\\_concrete\\_-\\_A\\_state\\_of\\_the\\_art\\_review](https://www.researchgate.net/publication/347528267_Properties_of_pervious_concrete_-_A_state_of_the_art_review). <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.839>

HUANG, B.; WU, H.; SHU, X.; BURDETTE, E. G. Laboratory evaluation of permeability and strength of polymer-modified pervious concrete. *Construction and Building Materials*. Vol. 24, n. 05, p. 818-823, mai. 2010. <https://daneshyari.com/en/article/259531>. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.10.025>

JOSHAGHANI, A.; RAMEZANIANPOUR, A. A.; ATA EI, O.; GOLROO, A. Optimizing pervious concrete pavement mixture design by using the Taguchi metho. *Construction and Building Materials*. Vol. 101, p. 317-325, dez. 2015. [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061815305158?dgcid=raven\\_sd\\_recommender\\_email](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061815305158?dgcid=raven_sd_recommender_email). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.10.094>

KIA, A.; WONG, H. S.; CHEESEMAN, C. R. Defining clogging potential for permeable concrete. *Journal of Environmental Management*. Londres, vol. 220, p. 44-53, ago. 2018. [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479718305358?dgcid=raven\\_sd\\_recommender\\_email#bib21](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479718305358?dgcid=raven_sd_recommender_email#bib21). <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.05.016>

LAMB, G. S.; OLIVEIRA, I. A.; PERERA, G.; PASSUELO, A.; LORENZI, A.; SILVA FILHO, L. C. P. Estudo do comportamento de elementos de drenagem confeccionados em concretos permeáveis. In: 55<sup>o</sup> Congresso Brasileiro do Concreto – Ibracon. Anais [...]. Gramado, Out. 2013. [https://www.researchgate.net/profile/Luiz-CarlosSilvaFilho/publication/283796373\\_Estudo\\_do\\_comportamento\\_de\\_elementos\\_de\\_drenagem\\_confeccionados\\_em\\_concretos\\_permeaveis/links/5647a00008ae54697fbb8b6/Estudo-do-comportamento-de-elementos-de-drenagem-confeccionados-em-concretos-permeaveis.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Luiz-CarlosSilvaFilho/publication/283796373_Estudo_do_comportamento_de_elementos_de_drenagem_confeccionados_em_concretos_permeaveis/links/5647a00008ae54697fbb8b6/Estudo-do-comportamento-de-elementos-de-drenagem-confeccionados-em-concretos-permeaveis.pdf).

LI, X.; XU, Q.; CHEN, S. Na experimental and numerical study on water permeability of concrete. *Construction and Building Materials*. Vol. 105, p. 503-510, fev.

2016. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061815308564>.  
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.184>

LIAN, C.; ZHUGE, Y. Optimum mix design of enhanced permeable concrete – An experimental investigation. *Construction and Building Materials*. Vol. 24, p.2664-2671, 2010.

<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0950061810001789?token=270D8E3E97500F186FF7D1F20F4AA85596BF06345D3260D540D0018BC2FFA4F711695E30885E15556C834FooC896A6AD>. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.04.057>

LUDIRDJA, D.; BERGER, R. L.; YOUNG, J. F. Simple Method for Measuring Water Permeability of Concrete. *Materials Journal*. Vol. 86, n. 05, p. 433-439, jan. 1989. <https://www.concrete.org/publications/internationalconcreteabstractsportal/m/details/id/2000>.

MARTINS FILHO, S. T.; BOSQUESI, E. M.; FABRO, J. R.; PIERALISI, R. Caracterização do concreto permeável com foco em ensaios não destrutivos. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*. São Paulo, vol. 13, n. 03, maio 2020. [https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1983-41952020000300483&script=sci\\_arttext&tlng=pt](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1983-41952020000300483&script=sci_arttext&tlng=pt). <https://doi.org/10.1590/S19834195202000030003>

MAURY, M. B.; BLUMENSCHNEIN, R. N. Produção de Cimento: Impactos à saúde e ao meio ambiente. *Revista Sustentabilidade em Debate*, Brasília, vol. 03, n. 01, p. 75-96, jan./jun. 2012. Disponível em: <<https://repositorio.unb.br/handle/10482/12110>>; acesso em: 23 nov. 2021.

MIKAMI, R. J.; KRUGER, P.; PEREIRA, E.; KUMMER, A. C. B.; DÖLL, M. M. R. Influência do teor de cerâmica vermelha do agregado reciclado nas propriedades do concreto permeável. *Revista Matéria*. Vol. 23, n. 03, 2018. <https://www.scielo.br/j/rmat/a/yjFNdrqGmMdNCpHbcspRx9Q/?format=pdf&lang=pt>

NEITHALATH, N.; SUMANASOORIYA, M. S.; DEO, O. Characterizing pore volume, sizes, and connectivity in pervious concretes for permeability prediction. *Materials Characterization*. Vol. 61, n. 08, p. 802-813, ago. 2010. <https://fddocuments.in/document/characterizing-pore-volume-sizes-and-connectivity-in-pervious-concretes-for.html>. <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2010.05.004>

PIERALISI, R.; CAVALARO, S.H.P.; AGUADO, A. Advanced numerical assessment of the permeability of pervious concrete. *Cement and Concrete Research*. Vol. 102, p. 149-160, dez. 2017. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0008884617303265>. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.09.009>

PILS, S. E.; OLIVEIRA, P.; REGOSO, F.; PAULON, V. A.; COSTELLA, M. F. Concretos drenantes: estudo de dosagem e adição de fibras de polipropileno. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*. São Paulo, vol. 12, n. 01, p. 101-121, fev. 2019.

[https://www.scielo.br/pdf/riem/v12n1/pt\\_1983-4195-riem-12-01-00101.pdf](https://www.scielo.br/pdf/riem/v12n1/pt_1983-4195-riem-12-01-00101.pdf).  
<https://doi.org/10.1590/S1983-41952019000100009>

SANDOVAL, G. F. B.; GALO BARDES, I.; CAMPOS, A.; TORALLES, B. M. Assessing the phenomenon of clogging of pervious concrete (Pc): Experimental test and model proposition. *Journal of Building Engineering*. Vol. 29, mai. 2020. [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235271021931558X?dgcid=raven\\_sd\\_recommender\\_email](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235271021931558X?dgcid=raven_sd_recommender_email). <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101203>

SARTIPI, M.; SARTIPI, F. Stormwater retention using pervious concrete pavement: Great Western Sidney case study. *Case Studies in Construction Materials*. Vol. 11, dez. 2019. [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214509519303766?dgcid=raven\\_sd\\_recommender\\_email](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214509519303766?dgcid=raven_sd_recommender_email). <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2019.e00274>

SCHWETZ, P. F.; SILVA FILHO; L. C. P.; LINHARES V.; LORENZI, A.; FERREIRA, L. Z.; PARISOTO, M. Concreto Permeável: otimização do traço para pavimentação de fluxo leve. In: CONPAT 2015. Lisboa, set. 2015. [https://www.researchgate.net/profile/Alexandre-Lorenzi/publication/279513221\\_Concreto\\_permeavel\\_otimizacao\\_do\\_traco\\_para\\_pavimentacao\\_de\\_fluxo\\_leve/links/5593f96708ae5af2boecde7a/Concreto-permeavel-otimizacao-do-traco-para-pavimentacao-de-fluxo-leve.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Alexandre-Lorenzi/publication/279513221_Concreto_permeavel_otimizacao_do_traco_para_pavimentacao_de_fluxo_leve/links/5593f96708ae5af2boecde7a/Concreto-permeavel-otimizacao-do-traco-para-pavimentacao-de-fluxo-leve.pdf).

XIE, N.; AKIN, M.; SHI, X. Permeable concret pavements: A review of environmental benefits and durability. *Journal of Cleaner Production*. Vol. 210, p. 1605-1621, fev. 2019. [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618335376?dgcid=raven\\_sd\\_recommender\\_email](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618335376?dgcid=raven_sd_recommender_email). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.134>

306

WORLD RESOURCES INSTITUTE BRAZIL. 15 Countries Account for 80% of Population Exposed to River Flood Risk Worldwide. <https://wricidades.org/noticia/os-15-paises-com-mais-pessoas-expostas-aos-inundacoes-causadas-pelos-rios>.

ZHONG, R.; LENG, Z.; POON, C. Research and application of pervious concrete as a sustainable pavement material: A state-of-the-art and state-of-the-practice review. *Construction and Building Materials*. Vol. 183, set. 2018. [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061818315289?dgcid=raven\\_sd\\_recommender\\_email](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061818315289?dgcid=raven_sd_recommender_email). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.06.131>

ZHONG, R.; WILLE, K. Compression response of normal and high strength pervious concrete. *Construction and Building Materials*. Vol. 109, p. 177-187, abr. 2016. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061816300514>. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.01.051>