ANÁLISE DE CONCRETO PERMEÁVEL EM PAVER PIGMENTADO PARA PAVIMENTAÇÃO EM ÁREAS URBANAS

ANALYSIS OF PERMEABLE CONCRETE IN PIGMENTED PAVERS FOR PAVEMENT APPLICATIONS IN URBAN AREAS

ANÁLISIS DE HORMIGÓN PERMEABLE EN ADOQUINES PIGMENTADOS PARA PAVIMENTACIÓN EN ÁREAS URBANAS

Brenda Maria Rudek[1]
Leticia de Lima Fonseca[2]
Monalisa Coelho Martins[3]

Resumo

Este artigo apresenta um estudo sobre a implementação de pavimentos permeáveis como alternativa sustentável para mitigar enchentes em áreas urbanas, agravadas pela impermeabilização do solo. A urgência dessa tecnologia é evidenciada pela crescente frequência de eventos climáticos extremos e inundações no país, que geram graves impactos socioeconômicos devido à incapacidade dos pavimentos tradicionais de absorver grandes volumes de água. O trabalho propõe o uso de blocos intertravados (pavers) de concreto permeável, cuja estrutura porosa facilita a infiltração, reduz o escoamento superficial e melhora a gestão das águas pluviais. Além da eficiência hidráulica, estrutural e de durabilidade, o estudo avalia a aplicação de pigmentos para aprimorar a estética e a integração paisagística urbana, analisando também a viabilidade econômica dessa adição. Os resultados fornecem dados relevantes para profissionais de engenharia, arquitetura e gestão ambiental em prol de cidades mais sustentáveis.

Palavras-chave: concreto permeável; drenagem urbana; dosagem; pigmentação; resistência à compressão.

Abstract

This article presents a study on the implementation of permeable pavements as a sustainable alternative to mitigate flooding in urban areas, a problem aggravated by soil impermeabilization. The urgency of this technology is evidenced by the increasing frequency of extreme weather events and floods in the country, which generate severe socioeconomic impacts due to the inability of traditional pavements to absorb large volumes of water. The study proposes the use of permeable concrete interlocking blocks (pavers), whose porous structure facilitates infiltration, reduces surface runoff, and improves stormwater management. In addition to evaluating hydraulic, structural, and durability performance, the study investigates the application of pigments to enhance aesthetics and urban landscape integration, while also analyzing the economic feasibility of this addition. The results provide relevant data for professionals in engineering, architecture, and environmental management, contributing to the development of more sustainable cities.

Keywords: permeable concrete; urban drainage; mix design; pigmentation; compressive strength.

Resumen

Este artículo presenta un estudio sobre la implementación de pavimentos permeables como una alternativa sostenible para mitigar las inundaciones en áreas urbanas, agravadas por la impermeabilización del suelo. La urgencia de esta tecnología se evidencia en la creciente frecuencia de fenómenos climáticos extremos e

[1] Engenheira Civil, graduada pelo Centro Universitário UniOpet. E-mail: bmariarudek@gmail.com
[2] Engenheira Civil, graduada pelo Centro Universitário UniOpet. Pós-graduada em Gestão Empresarial de Negócios em Construção Civil pelo IDD. E-mail: leticia25limallf@gmail.com
[3] Doutora em Engenharia de Construção Civil pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Mestre em Engenharia de Construção Civil pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Especialista em Formação Docente para a Era Digital pela UNINTER. Graduada em Engenharia Civil pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUC/PR) e em Tecnologia em Concreto pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9638-6205. Lattes: http://lattes.cnpq.br/3077308550665148. E-mail: Monalisa.coelho@ufpr.br

DOI: https://doi.org/10.22169/cadprog.v6n11.4083

inundaciones en el país, que generan graves impactos socioeconómicos debido a la incapacidad de los pavimentos tradicionales para absorber grandes volúmenes de agua. El trabajo propone el uso de bloques intertrabados (adoquines) de hormigón permeable, cuya estructura porosa facilita la infiltración, reduce la escorrentía superficial y mejora la gestión de las aguas pluviales. Además de la eficiencia hidráulica, estructural y de durabilidad, el estudio evalúa la aplicación de pigmentos para mejorar la estética y la integración paisajística urbana, analizando también la viabilidad económica de dicha adición. Los resultados aportan datos relevantes para profesionales de la ingeniería, la arquitectura y la gestión ambiental en favor de ciudades más sostenibles.

Palabras clave: hormigón permeable; drenaje urbano; dosificación; pigmentación; resistencia a la compresión.

1 Introdução

O rápido desenvolvimento urbano tem agravado problemas relacionados à impermeabilização do solo, como enchentes frequentes, inundações em grandes centros urbanos, poluição hídrica e sobrecarga dos sistemas de drenagem (Mikami, 2022). Esses problemas demandam soluções inovadoras capazes de minimizar os riscos de desastres e reduzir os impactos causados pelas inundações (Batezini, 2013). Nesse contexto, a necessidade de soluções sustentáveis para a gestão das águas pluviais torna-se evidente, e o concreto permeável destaca-se como uma alternativa promissora, pois sua capacidade de gerenciar as águas pluviais contribui para a redução do escoamento superficial e proporciona maior segurança hidráulica (Mikami, 2022).

Também conhecido como concreto poroso, este pavimento é composto por maiores proporções de agregado graúdo e reduzida quantidade de areia, podendo, inclusive, ser produzido sem a fração miúda. As suas camadas subsuperficiais podem ser projetadas com sistemas de coleta, drenagem ou condução das águas pluviais, possibilitando índices de permeabilidade de aproximadamente 60%, em comparação aos cerca de 5% observados no asfalto convencional.

2 Objetivos

Este estudo tem como objetivo avaliar a viabilidade técnica e econômica do concreto permeável colorido para aplicação em pavimentação urbana, destacando a sua eficácia como uma alternativa sustentável face aos desafios de gestão de águas pluviais da urbanização moderna. Para alcançar essa meta, o trabalho propõe-se a produzir e moldar corpos de prova de concreto permeável pigmentado em diferentes tonalidades, avaliando comparativamente seu desempenho mecânico e hidráulico; analisar a resistência do material por meio de ensaios de resistência à compressão; avaliar as propriedades físicas e hidráulicas dos pavimentos através de ensaios de índice de vazios e capacidade de permeabilidade; e, por fim, comparar a viabilidade econômica do concreto permeável colorido em relação ao concreto permeável convencional e ao pavimento tradicional.

3 Fundamentações Teórica

As referências bibliográficas discutidas neste estudo exploram as características essenciais do concreto permeável, abordando os materiais utilizados, métodos de produção e os resultados obtidos que servem como base para esta pesquisa. Conforme Mikami (2022) e Batezini (2013), o concreto permeável apresenta índices de vazios entre 15% e 35%, comparados aos cerca de 10% do concreto convencional. Essa estrutura porosa facilita a drenagem da água, tornando-o ideal para pavimentos em praças, parques, estacionamentos e vias de tráfego leve. O uso de pigmentos variados na mistura permite personalizar o design urbano, enquanto a aplicação em formato de paver oferece uma solução versátil e de rápida instalação para áreas externas.

3.1 Estudo da arte

No estudo de Batezini (2013), é investigada a viabilidade dos concretos permeáveis como revestimento para pavimentos em áreas de tráfego veicular, avaliando durabilidade, resistência à compressão e capacidade de infiltração. O autor empregou uma metodologia baseada em três misturas com diferentes granulometrias de agregados, mantendo constantes os seguintes parâmetros fundamentais: consumo de cimento de 374 kg/m³, consumo de agregado de 1.660 kg/m³, relação água/cimento de 0,3 e relação cimento/agregado de 1:4,44, utilizando cimento CP III 40 RS. Os resultados demonstraram que o controle rigoroso da porosidade e da energia de compactação otimiza o desempenho mecânico e hidráulico do material, servindo de base para ajustes em dosagens de pavimentos porosos.

Os resultados obtidos por Batezini (2013) para as três misturas estudadas revelaram um comportamento mecânico e físico consistente. Na Mistura 1, registraram-se resistência à tração na flexão de 2,16 MPa, tração indireta de 1,24 MPa, compressão uniaxial de 10,17 MPa, índice de vazios de 0,24 e massa específica aparente seca de 1.851 kg/m³. Na Mistura 2, os valores observados foram de 2,03 MPa para flexão, 1,45 MPa para tração indireta, 9,09 MPa para compressão uniaxial, índice de vazios de 0,25 e massa específica aparente seca de 1.851 kg/m³. Por fim, a Mistura 3 apresentou resistência à flexão de 2,22 MPa, tração indireta de 1,39 MPa, compressão uniaxial de 9,06 MPa, índice de vazios de 0,25 e massa específica aparente seca de 1.841 kg/m³.

No estudo conduzido por Mikami (2022), aborda-se a dosagem e otimização de misturas de concreto permeável por meio do controle sistemático da porosidade e da relação água/cimento. O autor propôs um método de dosagem focado na manipulação da estrutura

porosa para garantir o escoamento efetivo de água (com volume de vazios entre 15% e 35%). Destaca-se o traço de referência adotado de 1:4,8:0,28 (cimento : agregado : água), utilizando cimento CP II-F 32, o qual apresentou elevado desempenho mecânico e serviu como parâmetro fundamental para o presente trabalho. Os resultados do autor evidenciam que o ajuste de porosidades de projeto (como P20, P25 e P30) permite controlar diretamente a condutividade hidráulica e a resistência à compressão.

Tabela 1: resultados do estudo de Mikami (2022)

Parametro	P20	P25	P30
Porosidade (%)	20	25	30
Condutividade hidraulica (cm/s)	1,00 a 1,55	0,5 a 1,00	0,07 a 0,5
Resistência a compressão (MPa)	29,4	19,5	9,5
Índice de Vazios (%)	16 a 20	21 a 26	27 a 32

Fonte: Adaptado do estudo Mikami (2022).

Por fim, o estudo desenvolvido por Botteon (2017) teve como objetivo caracterizar o concreto permeável para uso em blocos intertravados em estacionamentos, avaliando o desempenho mecânico e hidráulico de três misturas distintas com variações na compactação e na adição de areia. Diante da ausência de uma dosagem consolidada, a autora baseou-se na análise granulométrica de agregados, no uso de cimento CP V-ARI e no desenvolvimento do traço 1:4 (cimento/agregado), com consumos de 400 kg/m³ de cimento, 1.600 kg/m³ de agregado e relação a/c de 0,35.

Os resultados indicaram que o concreto atendeu aos requisitos de drenagem para tráfego leve (com permeabilidade variando de 0,13 cm/s a 0,90 cm/s e índice de vazios entre 0,21 e 0,45), embora tenha apresentado limitações na resistência à compressão (atingindo até 23,8 MPa), confirmando a necessidade de ajustes na dosagem para atender rigorosamente às exigências normativas de pavimentação.

4 Materiais e métodos

4.1 Materiais

O estudo utilizou o cimento CP V-ARI, fabricado pela Votorantim, caracterizado por sua alta resistência inicial, elevada reatividade em idades precoces e ausência de adições significativas, exceto até 5% de material carbonático, conforme permitido pela NBR 16697 (2018). Esse material foi escolhido pela sua eficiência em estudos similares, como demonstrado

por Botteon (2017), e foi adquirido pelas autoras. A água utilizada na mistura será fornecida pela instituição UniOpet, distribuída pela SANEPAR, atendendo aos padrões de potabilidade. Os agregados graúdos e miúdos foram obtidos da mesma instituição e caracterizados conforme a NBR 7211 (2022).

Para o agregado graúdo, consideraram-se apenas as amostras retidas nas peneiras de malhas 19,00 mm e 12,50 mm. Na dosagem do concreto, foi empregado pigmento em pó à base de óxido de ferro, disponível nas cores Verde, Vermelho, Amarelo, Terracota, Preto e Azul. O fabricante recomenda que a dosagem do pigmento gire em torno de 5% da massa de cimento utilizado, com ajuste proporcional e uso de cimento branco quando se deseja obter cores mais claras. A mistura deve respeitar a proporção definida pela relação a/c do cimento, garantindo que a quantidade de água seja ajustada para manter a trabalhabilidade e evitar interferências na hidratação e na resistência do concreto.

Para a determinação da granulometria da brita, adotou-se como referência a NBR 17054 (2022). O procedimento consistiu na separação e secagem em estufa de duas amostras de 500 g (Amostra A e Amostra B), submetidas ao ensaio de peneiramento com verificação de tolerância máxima de variação de 0,3% entre as massas, obtendo-se ao final a distribuição percentual retida por faixa granulométrica.

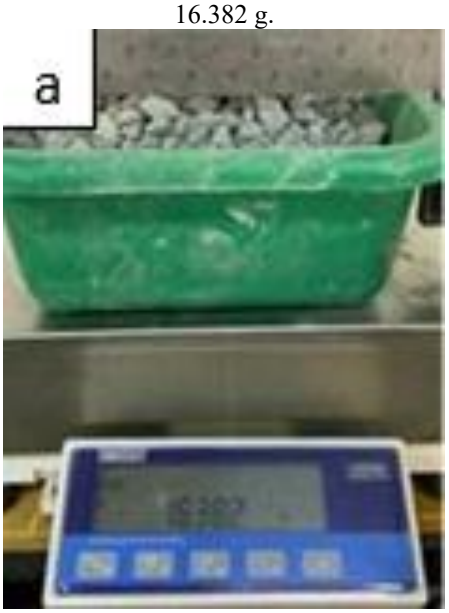
Figura 1: a) Britas peneiradas na Graduação 19,0mm e b) Britas peneiradas Graduação 12,5mm.



Fonte: as autoras (2024)

O ensaio de índice de vazios foi realizado com brita nas peneiras 19,0 mm e 12,5 mm, conforme a NBR 16972:2021, utilizando um recipiente de volume conhecido (Vr = 10.140 cm³) preenchido com massa de agregado seco de 16.382g.

Figura 2: Volume do recipiente de (15 x 26 x 26 cm) utilizado foi de 10.140 cm³, junto ao peso da pedra foi de 16.382 g.



Fonte: as autoras (2024)

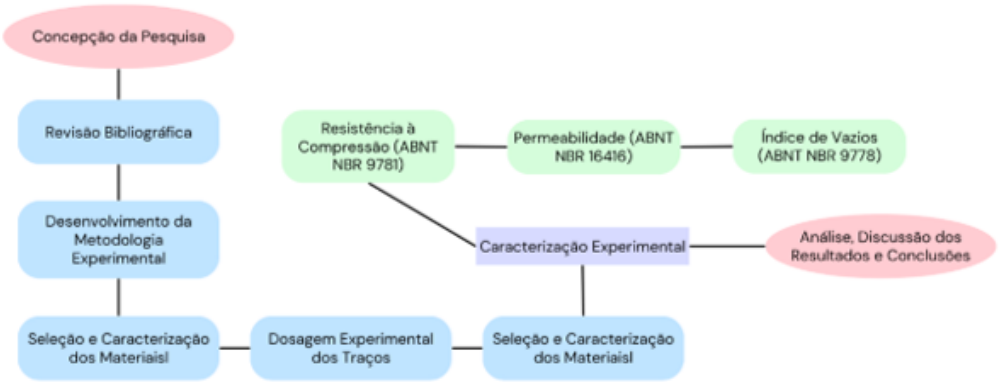
O índice de vazios (Vi) foi calculado relacionando-se o volume do recipiente e o volume real dos sólidos (Vs), determinando-se uma massa unitária de 1,61 g/cm e adotando-se a massa específica dos grãos da rocha de 2,65 g/cm³. Por meio da aplicação da fórmula Vi = (Vr − Vs) / Vr × 100 o resultado indicou um índice de vazios de aproximadamente 39%, evidenciando o espaço vazio real entre as partículas do agregado graúdo.

4.2 Método

Este trabalho empregou uma metodologia experimental com base nos estudos de Botteon (2017) e Mikami (2022), moldando 9 unidades de corpos de prova em formato de paver para simular as resistências específicas das peças. O objetivo principal é avaliar a resistência mecânica com pigmentação na massa de cimento. Os traços de referência adotaram as proporções 1:4:0,35 (cimento: agregado: água) do estudo de Botteon e 1:4,8:0,28 do de Mikami, reconhecidos por adquirirem valores significativamente altos no ensaio de resistência mecanica.

Para os traços pigmentados, a relação água/cimento foi ajustada para valores entre 0,28 e 0,35. A dosagem de pigmento utilizada atendeu às orientações do fabricante, variando entre 3,3% e 6,6% em relação à massa de cimento (50 g a 100 g para cada 1,5 kg). Assim, o traço ajustado de Botteon (utilizando 6,6% de pigmento) resultou na proporção final de 1:4:0,066:0,29 (cimento: agregado: pigmento: água).

Figura 3: Fluxograma metodológico

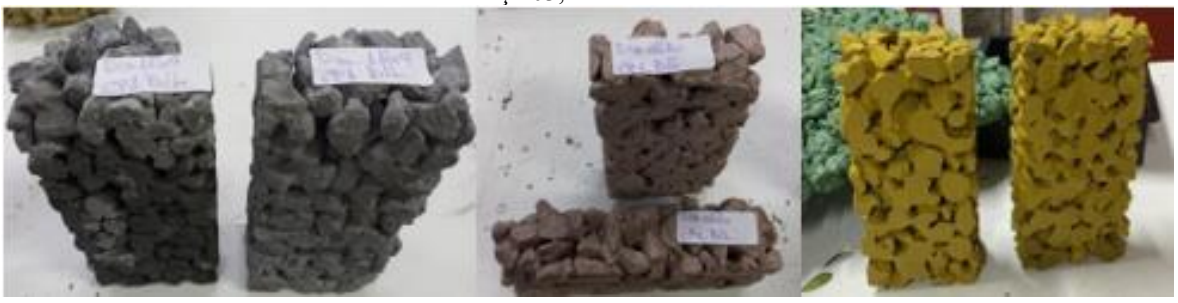


Fonte: as autoras (2024)

Para a realização dos ensaios mecânicos, foram moldadas 9 unidades de corpos de prova em formato de paver (20x10x10 cm). Devido às limitações logísticas e de cronograma laboratorial, a amostragem foi distribuída da seguinte maneira: 1 corpo de prova por traço para avaliação preliminar do ganho de resistência aos 7 dias (totalizando 3 unidades) e 2 corpos de prova por traço para a determinação da resistência final aos 28 dias (totalizando 6 unidades).

Após a desmoldagem (24 horas), os corpos passaram por cura inicial em água saturada com cal por 7 dias, promovendo a formação de compostos hidratados e garantindo uma boa resistência inicial. A cura foi finalizada em ambiente seco até as respectivas datas de rompimento (7 e 28 dias).

Figura 4: Corpos de prova em formato paver (20x10x10 cm) a) traço 01, cor: preto, b) traço 02, cor: vermelho, c) traço 03, cor: amarelo



Fonte: as autoras (2024)

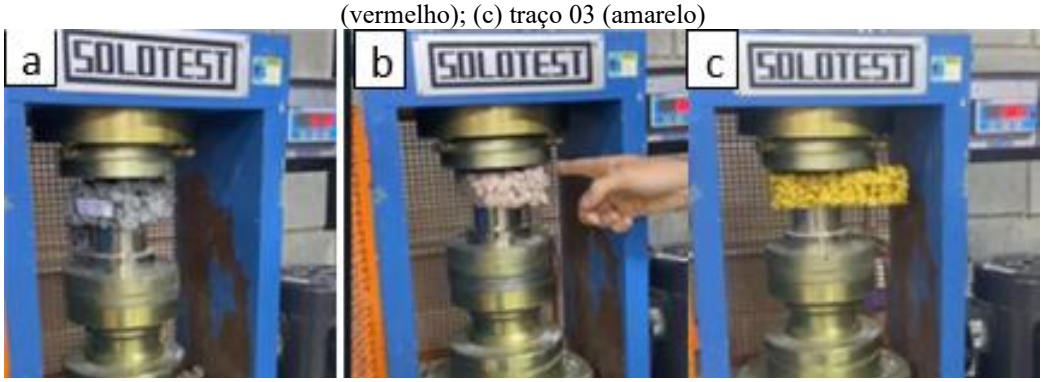
4.3 Ensaios mecânicos

4.3.1 Ensaio de compressão

Duas séries de blocos intertravados de concreto (pavers), com dimensões nominais de 0,20 m x 0,10 m, foram submetidas ao ensaio de resistência à compressão axial aos 7 e 28 dias, utilizando uma prensa hidráulica calibrada.

O carregamento foi aplicado na face maior de cada espécime. Devido às limitações físicas dos pratos da prensa (0,10 m x 0,10 m), a área efetiva sob carregamento direto restringiu-se à região central de 0,01 m² (10.000 mm²), valor este padronizado e adotado como área de contato para a determinação da resistência à compressão nominal.

Figura 5: Corpos de prova de blocos intertravados no ensaio de compressão axial traço 01 (preto); (b) traço 02 (vermelho); (c) traço 03 (amarelo)



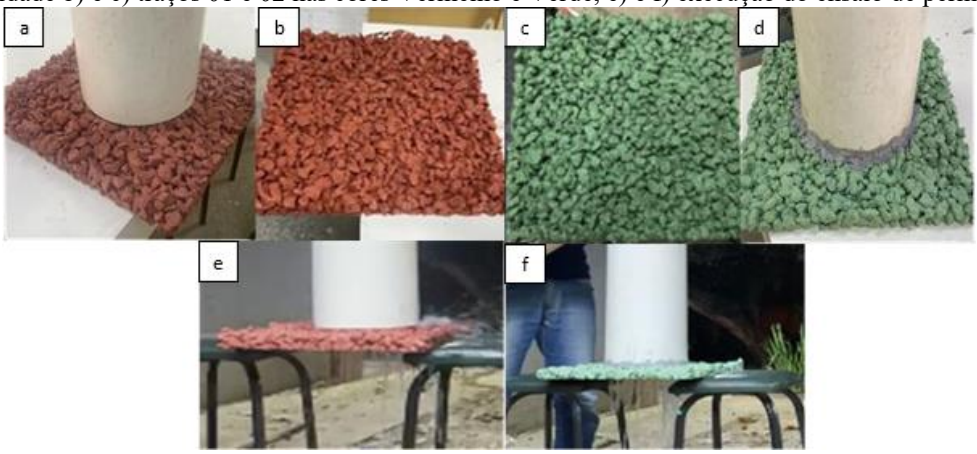
Fonte: as autoras (2024)

4.3.2 Ensaio de permeabilidade

No ensaio de permeabilidade, duas placas de concreto permeáveis foram moldadas com dimensões de 45x45x10 cm, de acordo com a NBR 16416/2015. As placas foram produzidas com os mesmos Traços 1 e 2 utilizados nos corpos de prova de compressão, porém pigmentadas nas cores vermelho e verde, respectivamente — cores distintas das usadas nos pavers (preto e vermelho) devido à disponibilidade de pigmento no momento da moldagem das placas. Não há, portanto, correspondência entre a cor das placas de permeabilidade e a cor dos pavers homônimos.

A confecção de corpos de prova nestas dimensões para o Traço 3 não foi realizada devido a limitações de cronograma, priorizando-se os Traços 1 e 2 para viabilizar a conclusão desta etapa do estudo. Antes da realização do ensaio, as placas foram vedadas com massa PU cinza para evitar vazamentos, saturadas e depois secas. O objetivo foi avaliar a resistência do concreto à penetração de líquidos, essencial para a durabilidade em ambientes agressivos. O ensaio consistiu na aplicação de pressão controlada para forçar a penetração de água, registrando dados de pressão e tempo de penetração.

Figura 6: Corpos de prova para ensaio de Permeabilidade (45x45x10 cm) a) e d) preparativo para ensaio de permeabilidade b) e c) traços 01 e 02 nas cores Vermelho e Verde, e) e f) execução do ensaio de permeabilidade



Fonte: as autoras (2024)

4.3.3 Ensaio de índices de vazios

O ensaio de índice de vazios foi realizado com base nas diretrizes da NBR 9778:2005. Três corpos de prova foram curados por 28 dias e, após esse período, submetidos à secagem em estufa a 105 ± 5°C até atingirem massa constante (aproximadamente 24h), registrando-se a massa seca. Em seguida, os corpos de prova foram saturados em água até a estabilização do peso, garantindo que os poros estivessem completamente preenchidos para a obtenção da massa saturada. Por fim, realizou-se a pesagem hidrostática, com os corpos de prova submersos em água. O índice de vazios foi calculado por meio da relação entre as massas seca, saturada e submersa, conforme os preceitos da norma.

Figura 7: Corpos de prova para ensaio de índice de vazios a) a c) Pavers traço 1,2 e 3 pesos seco, d) a f) Pavers traço 1,2 e 3 Saturado



Fonte: as autoras (2024)

5 Resultados e discussões

Os ensaios realizados avaliaram a resistência à compressão, o coeficiente de permeabilidade e o índice de vazios para três diferentes traços de concreto permeável: Traço 01 (Preto), Traço 02 (Vermelho) e Traço 03 (Amarelo). Os resultados obtidos revelaram variações significativas entre os traços, refletindo diferenças em suas propriedades mecânicas, hidráulicas e de porosidade, evidenciando o impacto da composição nas características finais das peças.

O ensaio de resistência à compressão foi realizado aos 7 e 28 dias. Aos 7 dias, os resultados mostraram valores menores para todos os traços: 2,5 MPa para o Traço 01 (Preto), 2,8 MPa para o Traço 03 (Amarelo) e 3,0 MPa para o Traço 02 (Vermelho). Aos 28 dias, o Traço 02 apresentou a maior resistência, com uma carga máxima de 8,0 MPa, seguido pelo Traço 03 com 7,5 MPa e o Traço 01 com 6,0 MPa. Esses dados indicam um ganho contínuo de resistência ao longo do período de cura, com o Traço 02 destacando-se em ambas as idades de teste.

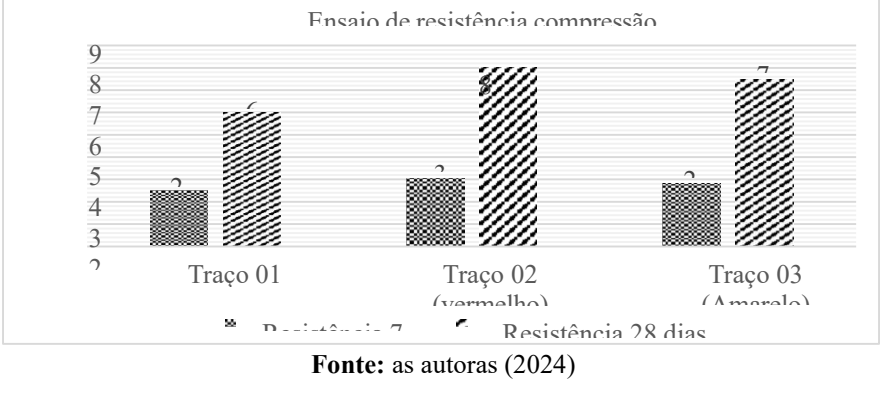
Tabela 2: Resistencia a Compressão

Traço	Resistência 7 dias (MPa)	Resistência 28 dias (MPa)
Traço 01 (Preto)	2,5	6,0
Traço 02 (Vermelho)	3,0	8,0
Traço 03 (Amarelo)	2,8	7,5

Fonte: as autoras (2024)

Ressalta-se que, em virtude do caráter experimental e exploratório deste estudo, bem como da limitação quantitativa da amostragem, os dados de resistência expressos na Tabela 2 representam a leitura direta para a idade de 7 dias e a média aritmética simples para a idade de 28 dias. A ausência do cálculo de desvio padrão e do coeficiente de variação justifica-se pelo tamanho reduzido da amostra testada. Recomenda-se, para desdobramentos futuros desta pesquisa, a utilização de amostragens ampliadas e estatisticamente representativas, em estrita conformidade com as diretrizes normativas de controle tecnológico.

Gráfico 1: resultado do ensaio de resistência a compressão dos pavers aos 7 e 28 dias



Fonte: as autoras (2024)

Nos ensaios realizados aos 7 e 28 dias, obteve-se um ganho de resistência durante o período de cura, conforme demonstrado na Tabela 2. O Traço 02 se destacou por apresentar a maior resistência à compressão aos 28 dias, superando o Traço 01 em 33,33% e o Traço 03 em 6,67%. Esse desempenho indica uma superioridade em durabilidade, sendo ideal para aplicações que priorizam alta resistência mecânica. O Traço 03, por sua vez, apresentou 25% mais resistência que o Traço 01, posicionando-se como uma alternativa intermediária em termos de desempenho mecânico e compactação.

Esses resultados reforçam a importância da adequação das características às necessidades específicas de cada aplicação, considerando não apenas a resistência, mas também outros fatores como eficiência hidráulica e índice de vazios. O Traço 02, por sua alta resistência, é mais indicado para aplicações sujeitas a maiores solicitações mecânicas, enquanto o Traço 03 atende demandas de compactação e desempenho intermediário com boa transferência e permeabilidade. Essa análise evidencia a necessidade de alinhar o projeto dos traços aos critérios técnicos e normativos, buscando maximizar o desempenho e a funcionalidade do concreto permeável.

O ensaio de permeabilidade foi realizado no Traço 01, apresentando um coeficiente de 0,3713 cm/s após 35 segundos de vazão. Esse resultado evidencia uma excelente capacidade de drenagem, tornando o material altamente eficiente para a gestão de águas pluviais, característica crucial para a durabilidade em ambientes sujeitos à umidade e agentes agressivos.

No que tange à porosidade, o ensaio de índice de vazios revelou diferenças marcantes entre os traços: o Traço 01 apresentou o maior índice (19,1%), indicando menor compactação e maior porosidade. Em contrapartida, o Traço 03 (16,3%) e o Traço 02 (14,6%) apresentaram índices menores, favorecendo maior compactação. Nota-se que os resultados seguiram o comportamento físico esperado para concretos permeáveis: o Traço 01, por possuir o maior índice de vazios, apresentou a menor resistência à compressão (6,0 MPa); por outro lado, o Traço 02, com o menor índice de vazios, atingiu a maior resistência (8,0 MPa), conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3: Índice de Vazios (%)

Traço	Índice de vazios (%)
Traço 01 (Preto)	19,1
Traço 02 (Vermelho)	14,6
Traço 03 (Amarelo)	16,3

Fonte: as autoras (2024)

Tabela 4: Comparativos dos estudos da Arte

Parâmetro/Traço	Mikami (2022)	Botteon (2017)	Brenda e Leticia (2024)
Traço	**1:4,8:-:0,28**	**1:4:-:0,35**	**1:4:0,066:0,29**
Permeabilidade (cm/s)	**0,07 a 1,55**	**0,13 a 0 ,9**	**0,371**
Índice de Vazios (%)	**16 a 30**	**21 a 45**	**14,6 a 19,1**
Resistencia a Compressão (MPa)	**9,5 a 29,4**	**Até 23,8**	**6 a 8,0**

Fonte: as autoras (2024): (Nota: Para o estudo das autoras, o traço é apresentado em quatro termos, explicitando a proporção de cimento, agregado, pigmento e relação água/cimento, respectivamente).

Conforme sintetizado na Tabela 4, a comparação com os estudos de referência de Mikami (2022) e Botteon (2017) revela que as misturas desenvolvidas neste trabalho apresentaram menores índices de vazios e resistências à compressão inferiores, embora tenham mantido coeficientes de permeabilidade perfeitamente alinhados com a literatura. Essa aparente divergência — em que uma estrutura mais compacta nem sempre resultou em maiores ganhos mecânicos — evidencia que a resistência do concreto permeável não depende exclusivamente da porosidade global, mas é fortemente condicionada por fatores como a distribuição granulométrica dos agregados, a eficiência do adensamento local e as características da matriz cimentícia modificada pela adição de pigmentos.

Adicionalmente, enquanto a capacidade de drenagem se mostrou altamente satisfatória, as resistências obtidas restringem a aplicação dos *pavers* desenvolvidos a áreas de solicitação mecânica reduzida e tráfego estrito de pedestres (conforme diretrizes da NBR 16416:2015), ponderando-se que a pesquisa focou no desempenho global das matrizes coloridas sem isolar estatisticamente o impacto isolado do aditivo estético.

6 Colmatação

O concreto permeável pode sofrer colmatação ao longo do tempo devido à deposição de partículas finas (como poeira e areia), processo que obstrui os poros, reduz o índice de vazios e diminui drasticamente a capacidade de drenagem. A escolha do traço impacta diretamente na vulnerabilidade a esse fenômeno: misturas com maior porosidade e poros abertos, a exemplo do Traço 01 (19,1% de vazios), tendem a mitigar a colmatação, pois facilitam o escoamento de micropartículas e respondem melhor aos procedimentos de manutenção. Em contrapartida, os Traços 02 (14,6%) e 03 (16,3%), embora apresentem superioridade em resistência mecânica, possuem uma estrutura interna mais fechada e tornam-se mais suscetíveis ao entupimento precoce.

Como a perda de permeabilidade é progressiva e influenciada pelas condições ambientais locais, os resultados reforçam a necessidade de ponderar o equilíbrio entre o

desempenho mecânico e a durabilidade hidráulica. Assim, a seleção do traço deve alinhar a prioridade de drenagem e resistência às exigências específicas da aplicação urbana, mitigando os impactos da colmatação ao longo da vida útil do pavimento.

7 Custos

Para avaliar a viabilidade financeira do concreto permeável colorido, foi realizada uma comparação de custos em relação ao concreto permeável sem cor e ao concreto convencional. A análise considerou os valores de mercado dos insumos principais — cimento, agregados graúdos e pigmentos —, avaliando por metro quadrado (m²) para um pavimento com 10 cm de espessura, conforme demonstrado na Tabela 5.

Tabela 5: Comparativo de Custos

Material	Concreto Permeável Colorido	Concreto Permeável Sem Cor	Concreto Convencional
Cimento	R$ 32,00	R$ 32,00	R$ 28,00
Agregado	R$ 32,00	R$ 32,00	R$ 32,40
Pigmento	R$ 44,24	R$ -	R$ -
Custo total por m²	R$ 108,24	R$ 64,00	R$ 60,40

Fonte: as autoras (2024) - (Nota: O custo foi calculado considerando o rendimento para a produção de 1 m² de pavimento com 10 cm de espessura. Os insumos foram cotados com o cimento a R$ 40,00/saco de 50 kg e o pigmento a R$ 22,12/kg).

Conforme evidenciado na Tabela 5, a incorporação de pigmentos acarreta um acréscimo de aproximadamente 69% no custo por metro quadrado do concreto permeável em relação à versão sem cor, devido ao valor do aditivo estético. Frente ao concreto convencional, a variação representa um incremento de cerca de 79%. Embora o material pigmentado gere esse acréscimo orçamentário, a análise por metro quadrado demonstra elevada viabilidade comercial: o investimento agrega valor estético e paisagístico sem comprometer a eficiência sustentável na gestão de águas pluviais, justificando técnica e economicamente a sua aplicação.

8 Conclusão

Este estudo teve como objetivo avaliar a viabilidade técnica e econômica do concreto permeável colorido em moldes de *paver* para pavimentação urbana, analisando suas propriedades mecânicas, físicas, hidráulicas e de integração estética. Os objetivos propostos foram alcançados por meio do desenvolvimento e ensaio de matrizes cimentícias pigmentadas em diferentes tonalidades, fundamentadas em proporções teóricas de referência da literatura.

Os resultados experimentais demonstraram que as misturas desenvolvidas alcançaram índices de vazios entre 14,6% e 19,1% e um coeficiente de permeabilidade de 0,371 cm/s. Essa capacidade de percolação garante um fluxo contínuo de água pluvial através da estrutura porosa, atuando ativamente na redução do escoamento superficial urbano. No âmbito mecânico, os valores de resistência à compressão axial aos 28 dias situaram-se na faixa de 6,0 a 8,0 MPa. Frente às diretrizes técnicas de pavimentação, tais índices restringem a aplicação dos *pavers* desenvolvidos a áreas de solicitação mecânica reduzida e tráfego estrito de pedestres e ciclistas, como calçadas, praças e parques, onde a eficiência drenante e a estética são prioritárias.

A principal contribuição deste trabalho reside em comprovar a viabilidade funcional e arquitetônica do concreto permeável pigmentado para a microdrenagem urbana. A incorporação de pigmentos à matriz porosa agregou valor estético às peças de pavimentação sem comprometer a capacidade de transporte hidráulico do pavimento. Sob a perspectiva econômica, a análise indicou que o acréscimo de custo decorrente da dosagem de pigmentos mantém a relação custo-benefício favorável em comparação com soluções convencionais de infraestrutura urbana, viabilizando sua adoção em projetos de cidades sustentáveis.

Por fim, reconhece-se como limitação metodológica da pesquisa a ausência de um grupo de controle experimental isento de pigmentação produzido sob as mesmas condições de moldagem e cura, pautando-se a validação técnica na comparação com referências teóricas. Como desdobramentos para pesquisas futuras, recomenda-se a realização de ensaios comparativos diretos contendo amostras testemunhas em branco para isolar estatisticamente o impacto microestrutural dos pigmentos, além da avaliação do comportamento à colmatação e da durabilidade do concreto permeável colorido sob condições reais de campo ao longo do tempo.

Referências

BATEZINI, R. Estudo preliminar de concretos permeáveis como revestimento de pavimentos para áreas de veículos leves. 2013. 139 f. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Civil) — Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. Disponível em: https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-19072013-155819/pt-br.html. Acesso em: 14 out. 2026.

BOTTEON, L. M. Desenvolvimento e caracterização de concreto permeável para utilização em blocos intertravados para estacionamento. 2017. 93 f. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Engenharia Civil) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2017.

MIKAMI, R. J. Dosagem e otimização de misturas de concreto permeável por controle de porosidade pelo método do grau de compactação. 2022. 165 f. **Tese** (Doutorado em Engenharia de Construção Civil) — Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2022.

Data da submissão: 27/08/2026
Data de aceite: 08/10/2026