

RESSALVA

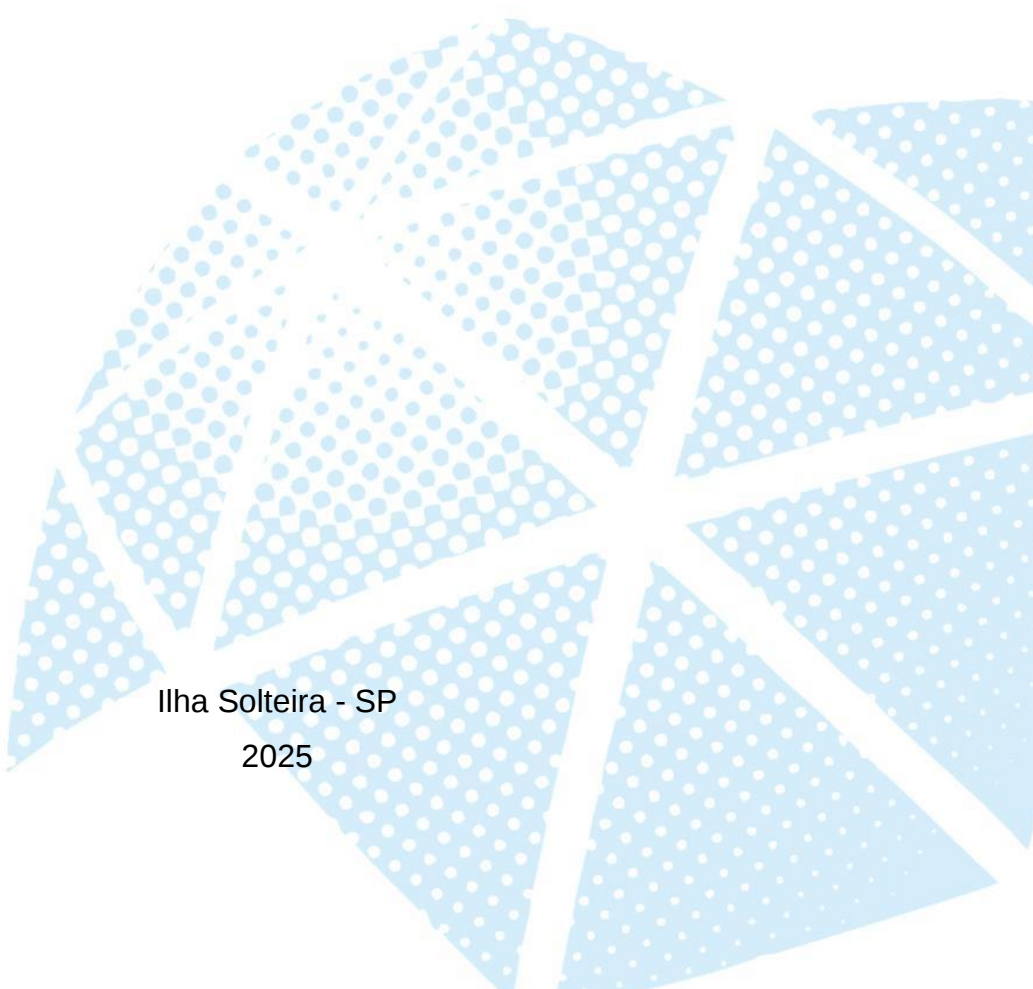
Atendendo solicitação do autor,
o texto completo deste documento será
disponibilizado a partir de
28/02/2027.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

GIULIANE ZANONI

**INFLUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS DE AGREGADOS GRAÚDOS NAS
PROPRIEDADES E POTENCIAL DE COLMATAÇÃO DO CONCRETO
PERMEÁVEL PRODUZIDO COM POROSIDADES FIXAS**

Ilha Solteira - SP
2025



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

GIULIANE ZANONI

**INFLUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS DE AGREGADOS GRAÚDOS NAS
PROPRIEDADES E POTENCIAL DE COLMATAÇÃO DO CONCRETO
PERMEÁVEL PRODUZIDO COM POROSIDADES FIXAS**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, para obtenção do título de Grau acadêmico Mestre em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Engenharia de Construção Civil

Orientador: Prof. Dr. Mauro Mitsuuchi Tashima

Coorientador: Dr. Rodrigo Garozi da Silva

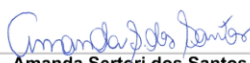
Ilha Solteira - SP

2025

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

- Z33i Zanon, Giuliane.
Influência das características de agregados graúdos nas propriedades e potencial de colmatação do concreto permeável produzido com porosidades fixas / Giuliane Zanon. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2025
99 f. : il.
- Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Engenharia de Construção Civil, 2025
- Orientador: Mauro Mitsuuchi Tashima
Co-orientador: Rodrigo Garozi da Silva
Inclui bibliografia
1. Pavimentos permeáveis. 2. Morfologia dos agregados. 3. Seixo rolado. 4. Colmatação. 5. Porosidade fixa.


Amanda Sertori dos Santos

Bibliotecária - CRB/8-9061
Seção Técnica de Referência, Atendimento ao
Usuário e Documentação
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

O concreto permeável é um material que contribui para o desenvolvimento urbano sustentável e a formação de cidades mais resilientes no aspecto hidrológico, sendo um material mundialmente investigado. Sabe-se que a porosidade e as características (tipo, forma das partículas e distribuição granulométrica) do agregado gráúdo que compõe o concreto permeável são parâmetros que influenciam seu desempenho e vida útil hidráulica. Portanto, ao confeccionar concretos permeáveis com porosidades fixas, aspecto pouco explorado na literatura, os efeitos exercidos pelo agregado são evidenciados. Investigar o uso de agregados com diferentes características (nesta pesquisa, brita basáltica e seixo rolado) permitirá fornecer dados que orientem a escolha desse material, a fim de obter um desempenho otimizado do concreto permeável. Além disso, ao demonstrar a aplicabilidade do seixo rolado como agregado para confecção do concreto permeável, pode-se promover a utilização desse material menos convencional em locais onde há pouca disponibilidade de agregados de rocha britada (como a brita basáltica), contribuindo para a popularização dos pavimentos de concreto permeável.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

Pervious concrete is a material that contributes to sustainable urban development and the creation of more resilient cities in terms of hydrology and is a material that has been investigated worldwide. It is known that the porosity and characteristics (type, particle shape and granulometric distribution) of the coarse aggregate that makes up pervious concrete are parameters that influence its performance and hydraulic service life. Therefore, when making pervious concrete with fixed porosities, an aspect little explored in the literature, the effects exerted by the aggregate are evidenced. Investigating the use of aggregates with different characteristics (in this research, crushed basalt and gravel) will provide data that guide the choice of this material, to obtain optimized performance of the pervious concrete. Furthermore, by demonstrating the applicability of gravel as an aggregate for the manufacture of pervious concrete, it is possible to promote the use of this less conventional material in places where there is little availability of crushed rock

aggregates (such as crushed basalt), contributing to the popularization of pervious concrete pavements.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: INFLUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS DE AGREGADOS GRAÚDOS NAS PROPRIEDADES E POTENCIAL DE COLMATAÇÃO DO CONCRETO PERMEÁVEL PRODUZIDO COM POROSIDADES FIXAS

AUTORA: GIULIANE ZANONI

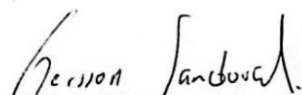
ORIENTADOR: MAURO MITSUUCHI TASHIMA

COORIENTADOR: RODRIGO GAROZI DA SILVA

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Engenharia Civil, área: Engenharia de Construção Civil pela Comissão Examinadora:

Dr. RODRIGO GAROZI DA SILVA (Participação Virtual)
Universidade Estadual Paulista - UNESP

Documento assinado digitalmente
RODRIGO GAROZI DA SILVA
Data: 28/02/2025 18:52:04-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>



Prof. Dr. GERSSON FERNANDO BARRETO SANDOVAL (Participação Virtual)
Escuela de Transporte y Vías / Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia - Facultad de Ingeniería

Documento assinado digitalmente
JORGE LUIS AKASAKI
Data: 28/02/2025 19:00:34-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. JORGE LUIS AKASAKI (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP

Ilha Solteira, 28 de fevereiro de 2025

Dedico este trabalho a meus pais e familiares, com todo amor.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, pelas oportunidades que surgiram em meu caminho e que me trouxeram até esse momento.

À minha família, especialmente meus pais, a quem devo todas as minhas conquistas, agradeço de coração.

Agradeço grandemente meu orientador, Professor Mauro, que me guiou durante essa jornada de aprendizado, meu coorientador Rodrigo, que me acompanhou por todo o caminho, e aos professores do PPGEc por todos os seus ensinamentos.

Dedico um agradecimento em especial para minha amiga Karina, cujo apoio e incentivo foram essenciais para que eu desse o primeiro passo rumo ao mestrado, obrigada por sua grande paciência e seus conselhos.

Meu muito obrigada aos colegas de pós-graduação, em especial Yule, Bárbara, Lucas e João, por toda sua ajuda e por sua amizade, que tornaram os dias mais divertidos.

Agradeço também a todos os meus amigos que, mesmo longe, sempre estiveram ao meu lado nessa jornada.

Deixo meus agradecimentos ao grupo MAC (Materiais Alternativos de Construção) por todo o suporte durante o desenvolvimento desta pesquisa.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

RESUMO

O concreto permeável é um material que pode compor pavimentos permeáveis, cuja utilização contribui para a redução das áreas impermeáveis urbanas, mitigando o escoamento superficial de água pluvial, a ocorrência de enchentes e outros problemas associados a alta taxa de impermeabilização e ao desenvolvimento urbano desordenado. Para obter um concreto permeável com adequada permeabilidade e resistência mecânica a escolha do tipo de agregado graúdo utilizado na sua fabricação é crucial, pois suas propriedades são diretamente influenciadas pelas características do agregado. Considerando que diferentes tipos de agregado produzirão concretos com desempenhos diferentes, a presente pesquisa investigou o efeito da utilização de dois tipos de agregado graúdo (brita basáltica e seixo rolado), em duas distribuições granulométricas, nas propriedades mecânicas, físicas e hidráulicas do concreto permeável produzido com porosidades fixas. As porosidades foram fixas em 22% e 27%, com o propósito de limitar o efeito dessa propriedade nos resultados. Uma das principais limitações do uso do concreto permeável em pavimentos é sua suscetibilidade à colmatção, que é a redução parcial ou total da capacidade de infiltração de água no pavimento devido ao acúmulo de partículas nos poros da estrutura. Portanto, também foi avaliada a influência das características dos agregados no potencial de colmatção do concreto permeável e a capacidade de recuperação da taxa de infiltração do concreto colmatado através da limpeza com jato de água de alta pressão. Os resultados obtidos demonstram que o seixo rolado foi o agregado mais favorável à formação de concretos com maiores taxas de infiltração (em média 52,29% maiores, em relação a brita basáltica), mais resistentes à colmatção e com maior potencial de recuperação da permeabilidade após limpeza. Fatores como a maior porosidade (27%) e o uso de agregados com partículas de maior dimensão também afetaram positivamente a permeabilidade do concreto permeável. Por outro lado, a brita basáltica favoreceu a formação de estruturas porosas com resistência à compressão em média 56% maior do que o proporcionado pelo seixo rolado. A menor porosidade (22%) e a utilização de agregados com partículas de menor dimensão também beneficiaram a resistência mecânica.

Palavras-chave: pavimentos permeáveis; morfologia dos agregados; seixo rolado; colmatção; porosidade fixa.

ABSTRACT

Pervious concrete is a material which can form permeable pavements, whose use contributes to the reduction of urban impervious areas, mitigating stormwater runoff, the occurrence of floods and other problems associated with the high rate of impermeability and disorderly urban development. In order to obtain a pervious concrete with adequate permeability and resistance, the choice of the type of coarse aggregate used in its manufacture is crucial, since its properties are directly influenced by the characteristics of the aggregate. Considering that different types of aggregates produce concretes with different performances, the present research investigated the effect of the use of two types of coarse aggregates (crushed basalt and gravel), in two particle size distributions, on the mechanical, physical and hydraulic properties of pervious concrete produced with fixed porosities. The porosities were fixed at 22% and 27%, with the purpose of limiting the effect of this property on the results. One of the main limitations of using pervious concrete in pavements is its susceptibility to clogging, which is the partial or total reduction of the water infiltration capacity of the pavement due to the accumulation of particles in the pores of the structure. Therefore, the influence of the aggregate characteristics on the clogging potential of the pervious concrete and on the ability to recover the infiltration rate of the clogged concrete through cleaning through pressure washing was also evaluated. The results obtained demonstrate that gravel was the aggregate most favorable to the formation of concrete with higher infiltration rates (on average 52.29% higher, in relation to crushed basalt), more resistant to clogging and with greater potential for recovery of permeability after cleaning. Factors such as greater porosity (27%) and the use of aggregates with larger particles also positively affected the permeability of the pervious concrete. On the other hand, crushed basalt favored the formation of porous structures with resistance to improvement on average 56% higher than that provided by gravel. The lower porosity (22%) and the use of aggregates with smaller particles also benefit mechanical resistance.

Keywords: permeable pavements; aggregate morphology; gravel; clogging; fixed porosity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Etapas definidas para o programa experimental.	23
Figura 2 – Comparação entre o comportamento hidráulico do concreto convencional (esquerda) e do concreto permeável (direita).....	27
Figura 3 – Representação simplificada do arranjo de partículas lamelares (a), angulares (b) e arredondadas (c) de agregado gráúdo no concreto permeável.	32
Figura 4 – Representação da estrutura interna do concreto permeável.....	34
Figura 5 – Análise visual de amostras de concreto. A esquerda, (a) amostra com pasta cimentícia em excesso; a direita, (b) amostra com teor ideal de pasta cimentícia. ...	35
Figura 6 – Parte inferior (base) de corpos de prova cilíndricos (ϕ 10 cm) de concreto permeável, quase totalmente obstruídos devido ao escorrimento de pasta.....	36
Figura 7 – Estrutura interna do concreto permeável, ilustrando os poros conectados, semi-conectados (região assinalada pela linha tracejada) e isolados.....	37
Figura 8 – Agregado basáltico (A) e seixo rolado (B), separados em duas faixas granulométricas (1 e 2).	52
Figura 9 – Curva granulométricas dos agregados A e B.....	52
Figura 10 – Curva granulométrica do solo coletado.	53
Figura 11 – Representação simplificada do método de dosagem adotado.	56
Figura 12 – Concepção das misturas produzidas.	58
Figura 13 – Sequência de atividades realizadas durante a mistura do concreto permeável.....	60
Figura 14 – Molde e corpo de prova cilíndricos.....	61
Figura 15 – Representação esquemática do procedimento de moldagem de cada camada dos corpos de prova.	61
Figura 16 – Compactação de corpo de prova com haste em mesa vibratória (esquerda) e corpos de prova recém compactados (direita).	62
Figura 17 – Corpos de prova secos em estufa e submersos em água.	64
Figura 18 – Balança, tanque de água e cesto de arame utilizados para pesagem em água.	64
Figura 19 – Corpo de prova com envoltória plástica e indicação do nível de água a ser mantido.	65
Figura 20 – Representação esquemática do aparato utilizado para realização do ensaio de permeabilidade (medidas em mm).....	66

Figura 21 – Corpos de prova cilíndricos com capeamento de enxofre nas bases. ...	67
Figura 22 – Corpos de prova posicionados para ensaio de compressão, antes e após a ruptura. As setas apontam as fissuras pós ruptura.	67
Figura 23 – Camada de areia argilosa aplicada em superfície de corpo de prova.	68
Figura 24 – Representação esquemática do ensaio de colmatação, ilustrando o dispositivo utilizado para aplicação de água na superfície do corpo de prova.	69
Figura 25 – Execução do procedimento de limpeza de corpo de prova com lavadora de alta pressão.	70
Figura 26 – Representação da sequência de passos para a realização do ensaio de colmatação cíclica.	71
Figura 27 – Valores médios da taxa de infiltração (k) dos corpos de prova selecionados para o ensaio de colmatação. A linha pontilhada delimita o valor mínimo estabelecido em norma (0,1 cm/s).	75
Figura 28 – Resistência à compressão média das misturas aos 28 dias.	78
Figura 29 – Relação entre os valores médios de taxa de infiltração e resistência à compressão de cada mistura.	79
Figura 30 – Taxas de infiltração (k) dos corpos de prova A1-22 (brita menor - porosidade 22%) pós colmatação (carga de sedimento) e pós limpeza, representadas em percentual. “k mínimo” corresponde a 0,1 cm/s.	80
Figura 31 – Porcentagem de recuperação da taxa de infiltração (pós limpeza de cada ciclo) dos corpos de prova A1-22 (brita menor - porosidade 22%).....	81
Figura 32 – Taxas de infiltração (k) dos corpos de prova A1-27 (brita menor - porosidade 27%) pós colmatação (carga de sedimento) e pós limpeza, representadas em percentual. “k mínimo” corresponde a 0,1 cm/s.	81
Figura 33 – Porcentagem de recuperação da taxa de infiltração (pós limpeza de cada ciclo) dos corpos de prova A1-27 (brita menor - porosidade 27%).....	82
Figura 34 – Taxas de infiltração (k) dos corpos de prova A2-22 (brita maior - porosidade 22%) pós colmatação (carga de sedimento) e pós limpeza, representadas em percentual. “k mínimo” corresponde a 0,1 cm/s.	82
Figura 35 – Porcentagem de recuperação da taxa de infiltração (pós limpeza de cada ciclo) dos corpos de prova A2-22 (brita maior - porosidade 22%).....	83
Figura 36 – Taxas de infiltração (k) dos corpos de prova A2-27 (brita maior - porosidade 27%) pós colmatação (carga de sedimento) e pós limpeza, representadas em percentual. “k mínimo” corresponde a 0,1 cm/s.	83

Figura 37 – Porcentagem de recuperação da taxa de infiltração (pós limpeza de cada ciclo) dos corpos de prova A2-27 (brita maior - porosidade 27%).	84
Figura 38 – Taxas de infiltração (k) dos corpos de prova B1-22 (seixo menor - porosidade 22%) pós colmatação (carga de sedimento) e pós limpeza, representadas em percentual. “k mínimo” corresponde a 0,1 cm/s.	84
Figura 39 – Porcentagem de recuperação da taxa de infiltração (pós limpeza de cada ciclo) dos corpos de prova B1-22 (seixo menor - porosidade 22%).	85
Figura 40 – Taxas de infiltração (k) dos corpos de prova B1-27 (seixo menor - porosidade 27%) pós colmatação (carga de sedimento) e pós limpeza, representadas em percentual. “k mínimo” corresponde a 0,1 cm/s.	85
Figura 41 – Porcentagem de recuperação da taxa de infiltração (pós limpeza de cada ciclo) dos corpos de prova B1-27 (seixo menor - porosidade 27%).	86
Figura 42 – Taxas de infiltração (k) dos corpos de prova B2-22 (seixo maior - porosidade 22%) pós colmatação (carga de sedimento) e pós limpeza, representadas em percentual. “k mínimo” corresponde a 0,1 cm/s.	86
Figura 43 – Porcentagem de recuperação da taxa de infiltração (pós limpeza de cada ciclo) dos corpos de prova B2-22 (seixo maior - porosidade 22%).	87
Figura 44 – Taxas de infiltração (k) dos corpos de prova B2-27 (seixo maior - porosidade 27%) pós colmatação (carga de sedimento) e pós limpeza, representadas em percentual. “k mínimo” corresponde a 0,1 cm/s.	87
Figura 45 – Porcentagem de recuperação da taxa de infiltração (pós limpeza de cada ciclo) dos corpos de prova B2-27 (seixo maior - porosidade 27%).	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resumo dos principais trabalhos literários que estudaram os efeitos de diferentes agregados graúdos no concreto permeável, ordenados por ano de publicação.	28
Tabela 2– Resumo de trabalhos literários que estudaram a colmatação do concreto permeável, ordenados por ano de publicação.....	42
Tabela 3 – Propriedades físico-químicas do cimento Portland CP V - ARI.....	50
Tabela 4 – Consumo de materiais.....	58
Tabela 5 – Relação agregado/cimento das misturas produzidas.....	59
Tabela 6 – Relação dos ensaios realizados e da quantidade de corpos de prova utilizados, referentes a uma mistura.....	63
Tabela 7 – Propriedades dos agregados graúdos.....	72
Tabelas 8 e 9 – Porosidades das misturas produzidas com agregado A (esquerda) e agregado B (direita).....	73

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a/c	Água/cimento
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACI	American Concrete Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
cm	Centímetro
cm ²	Centímetro quadrado
CP	Corpo de prova
EPA	Environmental Protection Agency
g	Grama
h	Hora
ISO	International Organization for Standardization
kg	Quilograma
LID	Low Impact Development
m	Metro
m ²	Metro quadrado
m ³	Metro cúbico
mm	Milímetro
mm ²	Milímetro quadrado
mm ³	Milímetro cúbico
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MPa	Mega Pascal
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
s	Segundo

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
k	Coeficiente de permeabilidade
A_h	Porosidade
D_h	Densidade
W	Volume de água utilizado no ensaio
A	Área transversal do corpo de prova
t	Tempo de infiltração da água
m_A	Massa seca
m_B	Massa na condição saturada superfície seca
m_C	Massa submersa
M	Massa unitária
V	Volume do molde
T	Peso do molde
G	Peso do agregado compactado no molde
W_w	Peso unitário da água
S	Densidade relativa do agregado na condição seca
Abs	Taxa de absorção de água do agregado
ρ_s	Densidade do agregado na condição seca
ρ_{sss}	Densidade do agregado na condição saturada superfície seca
%Voids	Volume de vazios
V_{p-min}	Volume mínimo necessário de pasta cimentícia
Φ_{design}	Porosidade desejada
$V_{void-agg}$	Volume de vazios do agregado
$\Phi_{obtained}$	Porosidade obtida experimentalmente
ΔV	Volume adicional de pasta
V_{paste}	Volume de pasta aperfeiçoado

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	18
1.2	JUSTIFICATIVA	20
1.3	OBJETIVOS	21
1.3.1	Geral	21
1.3.2	Específicos	22
1.4	ESTRATÉGIA DE PESQUISA.....	22
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO	23
2	REVISÃO DE LITERATURA	25
2.1	PAVIMENTO PERMEÁVEL	25
2.2	CONCRETO PERMEÁVEL	25
2.3	CARACTERÍSTICAS DOS AGREGADOS GRAÚDOS UTILIZADOS NO CONCRETO PERMEÁVEL	27
2.4	DOSAGEM E ADENSAMENTO	32
2.5	CARACTERÍSTICAS NO ESTADO FRESCO	34
2.6	CARACTERÍSTICAS NO ESTADO ENDURECIDO.....	36
2.6.1	Porosidade	36
2.6.2	Permeabilidade	38
2.6.3	Resistência à compressão	39
2.7	COLMATAÇÃO E RECUPERAÇÃO DA CAPACIDADE DE INFILTRAÇÃO DO CONCRETO PERMEÁVEL.....	41
3	MATERIAIS E MÉTODOS	50
3.1	MATERIAIS	50
3.1.1	Aglomerante.....	50
3.1.2	Água	51
3.1.3	Agregados.....	51

3.1.4	Solo.....	53
3.2	DESCRIÇÃO DOS PROCEDIMENTOS LABORATORIAIS	53
3.2.1	Caracterização dos agregados.....	53
3.2.2	Dosagem do concreto permeável	55
3.2.3	Procedimentos de mistura	59
3.2.4	Moldagem e cura dos corpos de prova	60
3.2.5	Ensaio para o concreto permeável	62
3.2.5.1	Porosidade e densidade	63
3.2.5.2	Permeabilidade	64
3.2.5.3	Resistência à compressão	66
3.2.5.4	Colmatação e limpeza	68
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	72
4.1	CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS.....	72
4.2	PROPRIEDADES DO CONCRETO PERMEÁVEL	73
4.2.1	Porosidade e permeabilidade.....	73
4.2.2	Resistência à compressão	77
4.3	COLMATAÇÃO E RECUPERAÇÃO DA PERMEABILIDADE	79
5	CONCLUSÃO	92
	REFERÊNCIAS.....	94

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo será contextualizado o tema abordado, apresentando as lacunas sobre o tema que motivaram a elaboração desta pesquisa e os objetivos propostos. Em seguida, estão descritas a estratégia de pesquisa adotada e a estrutura em que o trabalho está disposto.

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A expansão acelerada de áreas urbanas compõe um cenário de intensa transformação do espaço natural, com uma crescente impermeabilização do solo decorrente da pavimentação de vias e da construção de edificações e outras estruturas. As superfícies impermeáveis impedem a infiltração da água pluvial no subsolo, aumentando o escoamento superficial, podendo assim causar a contaminação de corpos d'água, ocasionar inundações e o esgotamento de reservatórios subterrâneos (MMA, 2016; Chang *et al.*, 2020; Yuan *et al.*, 2022; Adresi *et al.*, 2023; Wang *et al.*, 2024a)

A alta taxa de impermeabilização, que afeta os processos hidrológicos naturais, aliada a mudanças climáticas, cujos efeitos – como precipitações extremas – tendem a aumentar em severidade e frequência, elevam o risco de inundações em áreas urbanas (Wang *et al.*, 2024b). Usualmente, cidades são construídas de forma que as áreas impermeáveis estejam conectadas à rede de drenagem, a fim de que a água pluvial seja rapidamente coletada (Wang *et al.*, 2024a). No entanto, em muitos países, especialmente em grandes cidades, a construção e ampliação de redes de drenagem não ocorre na mesma velocidade do crescimento urbano, e os sistemas existentes podem tornar-se sobrecarregados e terem sua eficácia reduzida (MMA, 2016; Chang *et al.*, 2020).

Sob essa perspectiva, passaram a ser desenvolvidos e adotados mundialmente conceitos de gerenciamento de água de chuva mais sustentáveis, como o *Low Impact Development* (LID), que faz uso da infraestrutura verde – um conjunto de práticas que promovem a infiltração, retenção e filtração da água pluvial através de espaços vegetados e estruturas como jardins de chuva, telhados verdes e pavimentos permeáveis – (Chang *et al.*, 2020; Yang; Zhang, 2021; Wang *et al.*, 2024a).

Os pavimentos permeáveis possuem uma estrutura que permite a infiltração de água e um dos materiais que podem compor este tipo de pavimento é o concreto permeável, um material que permite a percolação de água por meio de sua estrutura porosa e que pode ser utilizado para confecção de calçadas, estacionamentos e vias de tráfego leve – vias principalmente residenciais, com tráfego limitado de ônibus e caminhões – (ABNT, 2015; Chen *et al.*, 2022; Adresi *et al.*, 2023). A utilização dos pavimentos de concreto permeável, em substituição ao concreto convencional, contribui para a redução e melhor gerenciamento do escoamento superficial, evitando assim a contaminação da água e permitindo que seja absorvida pelo solo localmente, recarregando aquíferos subterrâneos e mitigando outros problemas decorrentes da impermeabilização do solo, como as ilhas de calor (ACI, 2010; ABNT, 2015; Wang *et al.*, 2022a; Adresi *et al.*, 2023).

O material concreto permeável tem sido utilizado na Europa desde meados de 1800, tendo seu uso intensificado no período da Segunda Guerra Mundial (1939 - 1945); sua aplicação, no entanto, limitava-se a construção de moradias, na forma de painéis e blocos para composição de paredes (ACI, 2010; Adresi *et al.*, 2023). No início dos anos 1970, nos Estados Unidos, tem-se registro da aplicação do concreto permeável como pavimento em estacionamentos; logo, a *Environmental Protection Agency* (EPA) passou a recomendar o uso dos pavimentos permeáveis, visando amenizar o escoamento superficial de água pluvial (ACI, 2010). Nas últimas décadas, os pavimentos de concreto permeável têm se consolidado como elemento da infraestrutura verde e aliados ao desenvolvimento urbano sustentável devido a seus benefícios, sendo alvo de diversos estudos e se tornando um componente cada vez mais frequente da malha urbana em todo o mundo (ACI, 2010; Adresi *et al.*, 2023).

Apesar dos aspectos positivos e benefícios atrelados à utilização dos pavimentos de concreto permeável, existem desafios à sua popularização. Um dos problemas característicos desse material, e um dos principais fatores que levam ao fim de sua vida útil, é sua propensão à colmatação, fenômeno que provoca a redução da permeabilidade do concreto pelo acúmulo de partículas em seus poros e/ou superfície, afetando negativamente sua durabilidade e eficiência (Kia; Wong; Cheeseman, 2017; Sandoval *et al.*, 2020a; Adresi *et al.*, 2023). A limpeza insuficiente ou pouco frequente do pavimento aumenta os riscos de colmatação, portanto a realização de manutenção periódica torna-se fundamental para prolongar sua vida útil (Zhong; Leng; Poon, 2018). Outra característica negativa do concreto permeável é

sua limitada resistência mecânica (principalmente resistência a compressão), efeito da elevada porosidade desse material, fator que restringe seu uso a vias de tráfego leve (Zhong; Leng; Poon, 2018).

Se tratando da produção do concreto permeável, além de problemas relacionados a suas propriedades mecânicas e vida útil, outra questão merece atenção: a disponibilidade de agregados graúdos em diferentes localidades. Na maior parte do Brasil, agregados originados da britagem de rochas são os mais empregados (Battagin, 2020). Porém, em regiões onde o acesso a rochas britadas é limitado ou muito custoso, o uso de agregados de outras origens, como agregados reciclados (resíduos de construção e demolição, escória de aço, entre outros) ou seixo rolado, pode ser uma alternativa viável. Esse cenário ocorre na região norte do Brasil, onde, segundo Battagin (2020), há menor presença de rochas adequadas para produção de agregados britados, portanto o seixo rolado, obtido através da dragagem do fundo de rios, é amplamente utilizado como agregado. Ao considerar a questão da disponibilidade dos agregados britados e a possibilidade de utilizar agregados menos convencionais, a investigação dos impactos que agregados de diferentes origens causam nas propriedades do concreto permeável torna-se essencial.

No contexto apresentado, a presente pesquisa foi desenvolvida com intuito de ampliar o conhecimento a respeito dos efeitos de diferentes agregados (brita basáltica e seixo rolado) nas propriedades e na vida útil hidráulica do concreto permeável, buscando oferecer informações que proporcionem maior embasamento para a escolha do agregado graúdo que irá compor o concreto permeável, com base no desempenho desejado.

1.2 JUSTIFICATIVA

O concreto permeável é um elemento que pode ser utilizado no gerenciamento sustentável de água pluvial, como um elemento de infraestrutura verde que colabora para reduzir a sobrecarga nas redes de drenagem tradicionais (Wang *et al.*, 2022a; Adresi *et al.*, 2023). No entanto, o concreto permeável é um material que apresenta grande variabilidade em suas características e propriedades de acordo com sua composição e dosagem (Kia; Wong; Cheeseman, 2017; Adresi *et al.*, 2023). Adicionalmente, a predisposição dos pavimentos de concreto permeável à colmatção é um fator limitante à popularização desse material, exigindo cuidados em sua

dosagem e confecção, bem como manutenção periódica durante sua vida útil (Kia; Wong; Cheeseman, 2017; Wang *et al.*, 2022b).

Diversos estudos se dedicam a verificar os efeitos do tipo (natural ou artificial), granulometria e morfologia (forma e textura dos grãos) do agregado graúdo nas propriedades do concreto permeável, bem como no seu potencial de colmatação e de recuperação da capacidade de infiltração após procedimentos de limpeza. Embora esse seja um tema bastante explorado, foi identificada uma lacuna na literatura consultada: poucos estudos se propõem a fixar a porosidade do concreto permeável. Dentre os estudos consultados, apenas Kiran e Anand (2018) e Wang *et al.* (2022b) fixaram a porosidade das amostras de concreto permeável produzidas. Nesses estudos, as porosidades desejadas foram atingidas através da inclusão de agregado miúdo nas misturas e pela variação da energia de compactação aplicada, respectivamente. No entanto, esses métodos interferem nos resultados, afetando as propriedades mecânicas, físicas e hidráulicas do concreto permeável.

As características (tipo, forma das partículas e distribuição granulométrica) do agregado graúdo utilizado e a porosidade do concreto permeável são fatores que influenciam suas propriedades mecânicas e hidráulicas (Kiran e Anand, 2018; Chen *et al.*, 2022). Produzir concretos permeáveis com porosidades fixas (22% ou 27%) permite verificar isoladamente os efeitos exercidos pelos diferentes agregados (brita basáltica ou seixo) e responder a seguinte questão: “quais as características dos agregados graúdos que mais favorecem a resistência à compressão, a permeabilidade e a vida útil hidráulica do concreto permeável?”. É intuito desta pesquisa explorar a questão apresentada, contribuindo para o entendimento a respeito da relação entre as características dos agregados graúdos adotados e o desempenho do concreto permeável, em um contexto no qual a interferência da porosidade sobre os resultados é limitada.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Geral

Avaliar o efeito do tipo, da forma e da granulometria do agregado graúdo nas propriedades, no potencial de colmatação por sedimentos e na capacidade de

recuperação da permeabilidade após procedimentos de limpeza do concreto permeável produzido com porosidades fixas.

1.3.2 Específicos

- a) Aferir as propriedades físicas, hidráulicas e mecânicas (porosidade, permeabilidade, densidade e resistência a compressão) dos concretos desenvolvidos;
- b) Analisar a influência das características do agregado graúdo nas propriedades do concreto permeável;
- c) Avaliar a influência das características do agregado graúdo no processo de colmatção (perda de permeabilidade) do concreto permeável;
- d) Verificar o potencial de recuperação da permeabilidade do concreto colmatado através da realização de procedimentos de limpeza.

1.4 ESTRATÉGIA DE PESQUISA

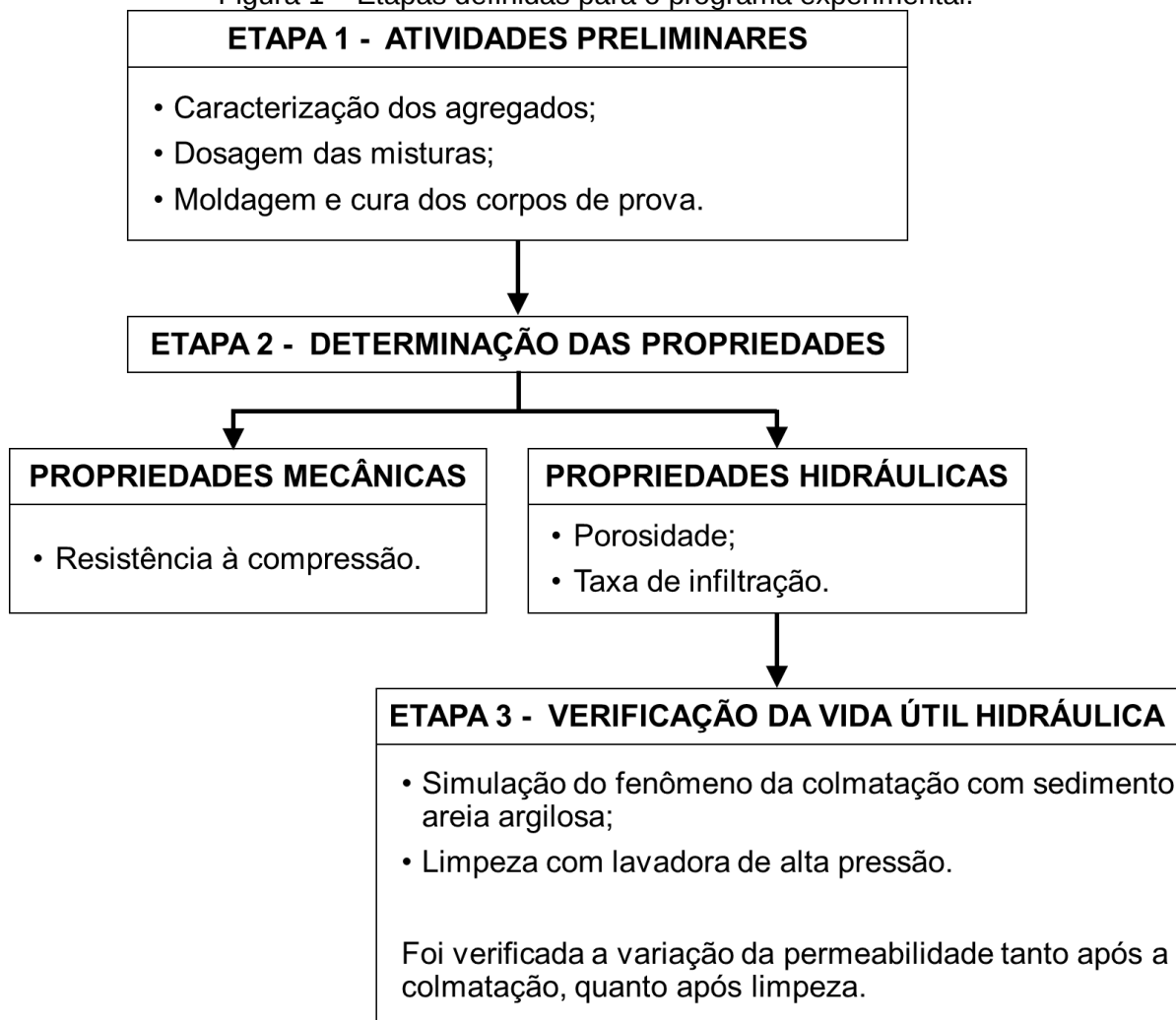
O presente estudo busca investigar o efeito de diferentes tipos e granulometrias de agregados graúdos nas propriedades do concreto permeável, estabelecendo relação entre as características dos agregados e o desempenho hidráulico e mecânico. Foram estabelecidos valores de porosidade e fator água/cimento (a/c) fixos para todas as misturas desenvolvidas; elementos como agregado miúdo e aditivos, não foram incorporados aos concretos produzidos, a fim de eliminar sua interferência nos resultados e manter o foco exclusivamente na influência do agregado graúdo.

Foram utilizados dois agregados graúdos, devido a sua disponibilidade na região do estudo, separados em duas faixas granulométricas. Foram produzidos 11 corpos de prova para cada mistura desenvolvida para a realização de todos os ensaios propostos; foram desenvolvidas oito misturas distintas, resultando em 88 corpos de prova.

A realização da fase experimental desta pesquisa foi dividida em três etapas principais: 1) atividades preliminares; 2) determinação das propriedades; e 3) verificação da vida útil hidráulica; conforme apresentado no fluxograma da Fig 1. A primeira etapa envolve a escolha, separação granulométrica e caracterização dos agregados, a determinação das misturas e confecção dos corpos de prova, a definição

do método de adensamento e a cura dos concretos produzidos. A Segunda etapa compreende a realização de ensaios para determinação das propriedades mecânicas e hidráulicas do concreto permeável. Na etapa três, após aferir as propriedades hidráulicas, são realizados o ensaio que simula a colmatção e a tentativa de recuperação da permeabilidade através da limpeza dos corpos de prova colmatados. Ao fim das etapas experimentais, é realizada a análise dos resultados obtidos.

Figura 1 – Etapas definidas para o programa experimental.



Fonte: Desenvolvido pela autora (2024).

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente estudo está organizado em seis capítulos, incluindo a Introdução, como descrito a seguir.

O capítulo 1 apresenta uma contextualização breve do tema, tratando dos problemas relacionados à impermeabilização do solo e suas possíveis soluções. A justificativa, os objetivos propostos e a estrutura desta pesquisa também compõem o capítulo.

O capítulo 2 contém a revisão de literatura, apresentando em maior detalhe o material concreto permeável, suas características e os estudos que embasaram a presente pesquisa.

O capítulo 3 trata dos materiais e métodos, onde são descritos os procedimentos adotados durante a fase experimental da pesquisa.

No capítulo 4, os resultados obtidos são apresentados e discutidos.

O capítulo 5 exibe as conclusões.

Por fim, estão listadas as referências.

5 CONCLUSÃO

O concreto permeável desempenha um papel fundamental no desenvolvimento urbano sustentável, e compreender como as características dos agregados graúdos influenciam as suas propriedades é essencial para garantir seu desempenho adequado. O presente estudo investigou a influência que as características de diferentes agregados graúdos (brita basáltica e seixo) exercem nas propriedades do concreto permeável com porosidades fixas (22% e 27%), com ênfase na taxa de infiltração, resistência à compressão, colmatção e recuperação da permeabilidade. A fixação da porosidade, fator pouco explorado na literatura, permitiu limitar a influência dessa propriedade sobre os resultados.

Os resultados obtidos indicam que o tipo, a distribuição granulométrica e a forma das partículas dos agregados graúdos afetam significativamente a permeabilidade, a resistência mecânica e a vida útil hidráulica do concreto permeável. Verificou-se que a utilização do seixo (agregado B) ocasionou taxas de infiltração aproximadamente 52% maiores do que as obtidas com a brita basáltica (agregado A), devido a forma mais esférica das partículas do seixo, que favorecem a formação dos poros e a permeabilidade. Por sua vez, o uso da brita basáltica resultou em resistência à compressão aproximadamente 56% superior, em relação ao seixo. A forma irregular do agregado britado favorece o intertravamento da estrutura do concreto permeável, o que propicia a maior resistência à compressão. O maior volume de pasta cimentícia nas misturas com agregado basáltico também pode ter influência sobre essa propriedade.

Para a maioria das misturas, os dois primeiros ciclos do ensaio de colmatção (C1 e C2) foram os mais críticos, onde a taxa de infiltração é reduzida em mais de 50%. Dentre todas as misturas, B2-27 (seixo maior - porosidade 27%) se destacou, demonstrando alta resistência à colmatção em relação às demais misturas, o que aliado à sua alta taxa de infiltração inicial (1,99 cm/s) torna essa a mistura com melhor desempenho hidráulico, porém com o menor valor de resistência à compressão (6,82 MPa).

Três fatores afetaram de forma mais positiva a resistência mecânica do concreto permeável: 1) menor porosidade (22%); 2) uso de agregado com partículas angulares (brita basáltica); e 3) uso de agregados de menor dimensão. Ao considerar os três fatores isoladamente, a resistência à compressão foi afetada mais

intensamente pelo tipo de agregado (basalto ou seixo), seguido pela variação da porosidade (22% para 27%) e, por fim, pela variação da dimensão das partículas do agregado.

Quanto à taxa de infiltração, a resistência à colmatção e a capacidade de recuperação da permeabilidade do concreto permeável, os fatores mais favoráveis foram: 1) maior porosidade (27%); 2) uso de agregado com partículas arredondadas (seixo); e 3) uso de agregados de maior dimensão. Esses fatores tendem a promover a formação de poros de maior dimensão, mais interconectados e menos tortuosos, aspectos que afetam positivamente a permeabilidade do concreto e, nas condições desta pesquisa, também reduziram sua suscetibilidade à colmatção e facilitaram sua limpeza e recuperação da capacidade de infiltração. Ressalta-se que os três fatores citados beneficiam o aspecto hidráulico do concreto permeável em detrimento ao aspecto mecânico.

A escolha do agregado e o controle da porosidade são fatores cruciais para otimizar as propriedades hidráulicas e mecânicas do concreto permeável, bem como propiciar melhor desempenho durante sua vida útil. Fixar o valor da porosidade restringiu a influência dessa propriedade, limitando as interferências sobre os resultados e facilitando sua análise. Por fim, verificou-se que, comparada ao agregado basáltico, a utilização do agregado tipo seixo rolado para confecção do concreto permeável melhora o desempenho hidráulico e contribui para a formação de uma estrutura mais resiliente quanto à ação de sedimentos, porém de baixa resistência mecânica. Portanto, deve-se usar esse agregado com cautela, buscando produzir concretos com resistência e durabilidade adequadas para sua aplicação na pavimentação.

REFERÊNCIAS

- ADRESI, M.; YAMANI, A.; TABARESTANI, M. K.; ROOHOLAMINI, H. A comprehensive review on pervious concrete. **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v. 407, 133308, 1 dez. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.133308>. Acesso em: 23 abr. 2024.
- ALIABDO, A. A.; ELMOATY, A. E M. A.; FAWZY, A. M. Experimental investigation on permeability indices and strength of modified pervious concrete with recycled concrete aggregate. **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v. 193, p. 105-127, 30 dez. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.10.182>. Acesso em: 15 maio 2024.
- ALSHAREEDAH, O.; NASSIRI, S. Spherical discrete element model for estimating the hydraulic conductivity and pore clogging of pervious concrete. **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v. 305, 124749, 25 out. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124749>. Acesso em: 10 maio 2024.
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 522R-10**: Report on pervious concrete. Farmington Hills, 2010, 42 f.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. **ASTM C29/C29M**: Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate. Book of Standards, v. 04.02, 2023, 5 f.
- ANSARI, A.; MAHAJAN, M. **Influence of compaction methods on functional and structural performance of pervious concrete**. International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET), v. 11, n. 7, p. 94-105, jul. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.34218/IJCIET.11.7.2020.009>. Acesso em: 10 mai. 2024.
- ARCOLEZI, K. H. **Influence of aggregate sizes and packing combination on the properties of pervious concrete**. Orientador: Jorge Luís Akasaki. 2022. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2022. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/217938>. Acesso em: 10 maio 2024.
- ARCOLEZI, K. H.; DA SILVA, R. G.; SORIANO, L.; BORRACHERO, M. V.; MONZÓ, J.; PAYÁ, J.; TASHIMA, M. M.; AKASAKI, J. L. Effect of Aggregates Packing with the Maximum Density Methodology in Pervious Concrete. **Sustainability**, Basel, v. 15, 4939, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su15064939>. Acesso em: 15 maio 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015, 9 f.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018, 9 f.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16416:** Pavimentos permeáveis de concreto - Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2015, 25 f.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16917:** Agregado graúdo - Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2021, 6 f.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16697:** Cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro, 2018, 12 f.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **MMA - Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima** : volume 2 : estratégias setoriais e temáticas. Portaria MMA nº 150 de 10 de maio de 2016, Ministério do Meio Ambiente. Brasília, MMA, 2016. 2 v. 295 p. Disponível em: https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/mudanca-do-clima/clima/arquivos/livro_pna_plano-nacional_v2_copy_copy.pdf. Acesso em: 23 abr. 2024.

BHUTTA, M. A. R.; HASANAH, N.; FARHAYU, N.; HUSSIN, M. W.; TAHIR, M. M.; MIRZA, J. Properties of porous concrete from waste crushed concrete (recycled aggregate). **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v. 47, p. 1243-1248, out. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.06.022>. Acesso em: 15 maio 2024.

CAI, J.; CHEN, J.; SHI, J.; TIAN, Q.; XU, G.; DU, Y. A novel approach to evaluate the clogging resistance of pervious concrete. **Case Studies in Construction Materials**, Amsterdam, v. 16, e00864, jun. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00864>. Acesso em: 15 maio 2024.

CHANDRAPPA, A. K.; BILIGIRI, K. P. Pervious concrete as a sustainable pavement material – Research findings and future prospects: A state-of-the-art review. **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v. 111, p. 262-274, mai. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.054>. Acesso em: 23 abr. 2024.

CHANG, I.; ZHAO, M.; CHEN, Y.; GUO, X.; ZHU, Y.; WU, J.; YUAN, T. Evaluation on the integrated water resources management in China's major cities -- Based on City Blueprint® Approach. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 262, 121410, 20 jul. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121410>. Acesso em: 25 abr. 2024.

CHEN, X.; YANG, Y.; ZHANG, C.; HU, R.; ZHANG, H.; LI, B.; ZHAO, Q. Valorization of construction waste materials for pavements of sponge cities: A review. **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v. 356, 129247, 21 nov. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129247>. Acesso em: 4 jun. 2024.

CHOCKALINGAM, T.; VIJAYAPRABHA, C.; RAJ, J. L. Experimental study on size of aggregates, size and shape of specimens on strength characteristics of pervious concrete. **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v. 385, 131320, 3 jul.

2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131320>. Acesso em: 10 maio 2024.

CIMENTO NACIONAL. **Ficha de informações de segurança de produtos químicos – FISPQ**. Companhia Nacional de Cimentos - CNC, Sete Lagoas, 2018. Disponível em: <https://www.cimentonacional.com.br/produto/max-performance-cp-v-ari>. Acesso em: 23 abr. 2024.

ĆOSIĆ, K.; Korat, L.; Ducman, V.; Netinger, I. Influence of aggregate type and size on properties of pervious concrete. **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v. 78, p. 69–76, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.12.073>. Acesso em: 8 maio 2024.

DENG, X.; YU, W.; SHI, J.; HUANG, Y.; LI, D.; HE, X.; ZHOU, W.; XIE, Z. Characteristics of surface urban heat islands in global cities of different scales: Trends and drivers. **Sustainable Cities and Society**, Amsterdam, v. 107, 105483, 15 jul. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105483>. Acesso em: 8 maio 2024.

DEO, O.; NEITHALATH, N. Compressive response of pervious concretes proportioned for desired porosities. **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v. 25, n. 11, p. 4181-4189, nov. 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.04.055>. Acesso em: 23 abr. 2024.

DEO, O.; SUMANASOORIYA, M.; NEITHALATH, N. Permeability Reduction in Pervious Concretes due to Clogging: Experiments and Modeling. **Journal of Materials in Civil Engineering**, Reston, v. 22, n. 7, 5 jan. 2010. Disponível em: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000079](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000079). Acesso em: 22 maio 2024.

GENTIL, F. dos S.; RIBEIRO, F. R. C.; MENEGOTTO, C. W.; SILVA, I. W. da; KAZMIERCZAK, C. de S. Influence of cement paste thickness and volume of on pervious concrete properties. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, São Paulo, v. 17, n. 5, e17509, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1983-41952024000500009>. Acesso em: 10 dez. 2024.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 17785-1**: Testing methods for pervious concrete – Part 1: Infiltration rate. Switzerland, 2016, 9 f.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO/FDIS 17785-2**: Testing methods for pervious concrete – Part 2: Density and void content. Switzerland, 2018, 12 f.

JIONG, Z.; GUODONG, M.; ZHAOXIA, D.; RUIPING, M.; XINZHUANG, C.; RUI, S. Numerical study on pore clogging mechanism in pervious pavements. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 565, p. 589-598, out. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.08.072>. Acesso em: 4 jun. 2024.

KIA, A.; WONG, H. S.; CHEESEMAN, C. R. Clogging in permeable concrete: A review. **Journal of Environmental Management**, Amsterdam, v. 193, p. 221-233,

15 mai. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.02.018>. Acesso em: 8 maio 2024.

KIA, A.; WONG, H. S.; CHEESEMAN, C. R. Defining clogging potential for permeable concrete. **Journal of Environmental Management**, Amsterdam, v. 220, p. 44-53, 15 ago. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.05.016>. Acesso em: 10 mai. 2024.

KIRAN, V. K.; ANAND, K. B. Study on identically voided pervious concrete made with different sized aggregates. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCES IN MATERIALS AND MANUFACTURING APPLICATIONS (IConAMMA-2017), Bengaluru, 2017. **Proceedings** [...]. Bengaluru: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, v. 310, 2018. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/310/1/012064>. Acesso em: 4 jun. 2024.

LE, B.; VU, V.; SEO, S.; TRAN, B.; NGUYEN-SY, T.; LE, M.; VU, T. Predicting the compressive strength and the effective porosity of pervious concrete using machine learning methods. **KSCE Journal of Civil Engineering**, v. 26, p. 4664–4679, 6 set. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12205-022-1918-z>. Acesso em: 8 maio 2024.

LIAO, L.; WU, S.; HAO, R.; ZHOU, Y.; XIE, P. The compressive strength and damage mechanisms of pervious concrete based on 2D mesoscale pore characteristics. **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v. 386, 131561, 10 jul. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131561>. Acesso em: 4 jun. 2024.

NAN, X.; WANG, Z.; HOU, J.; TONG, Y.; LI, B. Clogging mechanism of pervious concrete: From experiments to CFD-DEM simulations. **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v. 270, 121422, 8 fev. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121422>. Acesso em: 4 jun. 2024.

NGUYEN, D. H.; SEBAIBI, N.; BOUTOUIL, M.; LELEYTER, L.; BARAUD, F. A modified method for the design of pervious concrete mix. **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v. 73, p. 271-282, 30 dez. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.09.088>. Acesso em: 10 maio 2024.

OZEL, B. F.; SAKALLI, Ş.; ŞAHİN, Y. The effects of aggregate and fiber characteristics on the properties of pervious concrete. **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v. 356, 129294, 21 nov. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129294>. Acesso em: 8 maio 2024.

SANDOVAL, G. F. B.; GALO BARDES, I.; MOURA, A. C. de; TORALLES, B. M. Hydraulic behavior variation of pervious concrete due to clogging. **Case Studies in Construction Materials**, Amsterdam, v. 13, e00354, dez. 2020a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00354>. Acesso em: 28 maio 2024.

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**, Oxford, v. 29, 101203, mai. 2020b. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101203>. Acesso em: 28 maio 2024.

SANDOVAL, G. F. B.; GALO BARDES, I.; TEIXEIRA, R. S.; TORALLES, B. M. Comparison between the falling head and the constant head permeability tests to assess the permeability coefficient of sustainable Pervious Concretes. **Case Studies in Construction Materials**, Amsterdam, v. 7, p. 317-328, dez. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2017.09.001>. Acesso em: 28 maio 2024.

SILVA, R. G. da; ALBUQUERQUE, M. da C. F. de; BORTOLETTO, M.; SPÓSITO, F. de A.; GONÇALVES, A. C.; ALCÂNTARA, M. A. de M. The Effect of Periodic Maintenance on Pervious Concrete Pavements. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro v. 26, n. 4, 2021. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/rm/article/view/46204>. Acesso em: 28 maio 2024.

SINGH, A.; SAMPATH, P. V.; BILIGIRI, K. P. A review of sustainable pervious concrete systems: Emphasis on clogging, material characterization, and environmental aspects. **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v. 261, 120491, 20 nov. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120491>. Acesso em: 4 jun. 2024.

WANG, J.; MENG, Q.; ZOU, Y.; QI, Q.; TAN, K.; SANTAMOURIS, M.; HE, B. Performance synergism of pervious pavement on stormwater management and urban heat island mitigation: A review of its benefits, key parameters, and co-benefits approach. **Water Research**, London, v. 221, 118755, 1 ago. 2022a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118755>. Acesso em: 29 abr. 2024.

WANG, X.; WANG, Y.; GE, X.; TONG, B.; SCHAEFER, V.; WANG, K.; LI, C. The quantitative assessment of clogging and cleaning effects on the permeability of pervious concrete. **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v. 335, 127455, 13 jun. 2022b. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127455>. Acesso em: 10 maio 2024.

WANG, Y. ZHANG, X.; GONG, L.; WANG, W.; SHE, D.; LIU, J. On the relationship between surface runoff and impervious area in the urban RPA (Receiving Pervious Area)-DIA (Disconnected Impervious Area) system: A simple equation expressing the sensitivity of runoff to changes in imperviousness. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 631, 130836, mar. 2024a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.130836>. Acesso em: 4 jun. 2024.

WANG, Z.; LI, Z.; WANG, Y.; ZHENG, X.; DENG, X. Building green infrastructure for mitigating urban flood risk in Beijing, China. **Urban Forestry & Urban Greening**, Muenchen, v. 93, 128218, 1 mar. 2024b. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2024.128218>. Acesso em: 10 maio 2024.

WU, S.; WU, Q.; SHAN, J.; CAI, X.; SU, X.; SUN, X.. Effect of morphological characteristics of aggregate on the performance of pervious concrete. **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v. 367, 130219, 27 fev. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.130219>. Acesso em: 22 maio 2024.

- XIE, C.; YUAN, L.; TAN, H.; ZHANG, Y.; ZHAO, M.; JIA, Y. Experimental study on the water purification performance of biochar-modified pervious concrete. **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v. 285, 122767, 24 mai. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122767>. Acesso em: 4 jun. 2024.
- XIONG, B.; WU, X.; LIU, W.; LU, X.; GAO, H.; LV, W. Influence of different aggregate characteristics on pervious concrete. **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v. 460, 139789, 24 jan. 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.139789>. Acesso em: 28 jan. 2025.
- YANG, W.; ZHANG, J. Assessing the performance of gray and green strategies for sustainable urban drainage system development: A multi-criteria decision making analysis. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 293, 126191, 15 abr. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126191>. Acesso em: 10 jun. 2024.
- YUAN, Y.; ZHANG, Q.; CHEN, S.; LI, Y. Evaluation of comprehensive benefits of sponge cities using meta-analysis indifferent geographical environments in China. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 836, 155755, 25 ago. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155755>. Acesso em: 29 abr. 2024.
- ZHANG, W.; YUAN, Z.; LI, D.; ZHANG, K.; ZHAO, L. Mechanical and vegetation performance of porous concrete with recycled aggregate in riparian buffer area. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 332, 130015, 15 jan. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130015>. Acesso em: 29 abr. 2024.
- 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**, Amsterdam, v. 183, p. 544-553, 20 set. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.06.131>. Acesso em: 22 maio 2024.
- ZHOU, H.; LI, H.; ABDELHADY, A.; LIANG, X.; WANG, H.; YANG, B. Experimental investigation on the effect of pore characteristics on clogging risk of pervious concrete based on CT scanning. **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v. 212, p. 130-139, 10 jul. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.310>. Acesso em: 10 maio 2024.