

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DA CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

RAQUEL SERQUIZ ARRUDA PEREIRA

**CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DE DOSAGEM DE PEÇAS
INTERTRAVADAS DE CONCRETO PERMEÁVEL PARA
PAVIMENTAÇÃO**

FLORIANÓPOLIS, 2023.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DA CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

RAQUEL SERQUIZ ARRUDA PEREIRA

**CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DE DOSAGEM DE PEÇAS
INTERTRAVADAS DE CONCRETO PERMEÁVEL PARA
PAVIMENTAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido ao Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia de Santa
Catarina como parte dos requisitos para
obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientadora:
Prof^a. Luciana Maltez Calçada, Dr^a.

FLORIANÓPOLIS, 2023.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Pereira, Raquel Serquiz Arruda
Contribuição ao estudo de dosagem de peças intertravadas
de concreto permeável para pavimentação / Raquel Serquiz
Arruda Pereira; orientação de Luciana Maltez Calçada.
- Florianópolis, SC, 2024.

37 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal
de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado
em Engenharia Civil. Departamento Acadêmico
de Construção Civil.
Inclui Referências.

1. Pavimento intertravado. 2. Concreto permeável.
3. Dosagem. 4. Permeabilidade. 5. Resistência à compressão.
I. Maltez Calçada, Luciana. II. Instituto Federal
de Santa Catarina. III. Contribuição ao estudo de
dosagem de peças intertravadas de concreto permeável
para pavimentação.


CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DE DOSAGEM DE PEÇAS INTERTRAVADAS DE CONCRETO PERMEÁVEL PARA PAVIMENTAÇÃO

RAQUEL SERQUIZ ARRUDA PEREIRA


Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro Civil e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso de Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 12 de dezembro de 2023.


Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 LUCIANA MALTEZ CALCADA
Data: 19/02/2024 13:23:42-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Luciana Maltez Calçada, Doutora.
Instituto Federal de Santa Catarina

Documento assinado digitalmente
 JULIANA MACHADO CASALI PERUCH
Data: 19/02/2024 14:13:02-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Juliana Machado Casali Peruch, Doutora.
Instituto Federal de Santa Catarina

Documento assinado digitalmente
 ALEXANDRE LIMA DE OLIVEIRA
Data: 19/02/2024 16:35:41-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Alexandre Lima de Oliveira, Doutor.
Instituto Federal de Santa Catarina

Dedico esse trabalho a minha mãe,
Nandiara Serquiz Arruda.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, expresso minha profunda gratidão a Deus por colocar pessoas que me incentivaram e me deram forças para dar continuidade a este trabalho. Agradeço de coração à minha mãe, Nandiará Serquiz Arruda, que nunca permitiu que eu desmoronasse, oferecendo apoio constante e encorajamento em todos os momentos, tornando impossível para eu desistir. À minha família, que sempre demonstrou interesse e apoio no desenvolvimento deste trabalho.

Gostaria de estender meus agradecimentos à Sulcatarinense, em especial ao Messias, que gentilmente forneceu e entregou os agregados essenciais para a realização deste trabalho. À loja Tribikes, que doou a câmara de pneu de bicicleta, fundamental para o revestimento dos corpos de prova no ensaio de permeabilidade. Um reconhecimento especial ao Grupo Sorato pelo fornecimento do cimento essencial para este projeto.

Expresso minha sincera gratidão à minha orientadora por aceitar este desafiador tema e por sua orientação constante. Agradeço à minha banca por auxiliar no desenvolvimento do trabalho. Às bolsistas Yasmin e Gabriele, meu agradecimento por me ensinarem e auxiliarem no uso do misturador de alta eficiência. Ao técnico Rafael, expresso minha gratidão por manusear a prensa e realizar os ensaios de resistência à compressão. Ao meu chefe, Rodrigo Nilson, agradeço por permitir as trocas de serviço que tornaram possível a realização dos ensaios de laboratório.

“O sucesso é ir de fracasso em fracasso sem perder o entusiasmo”.

Winston Churchill

SUMÁRIO

RESUMO.....	8
1 INTRODUÇÃO.....	9
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	11
2.1 Concreto Permeável.....	11
2.2 Normativas para concretos permeáveis.....	12
2.3. Dosagem do concreto permeável.....	14
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	15
3.1. Estudo do esqueleto granular.....	15
3.2. Estudo da pasta.....	16
3.3. Estudo do teor da pasta.....	18
3.4. Moldagem das peças.....	20
3.5. Avaliação das peças no estado endurecido.....	20
3.5.1 Ensaio de permeabilidade.....	21
3.5.2 Ensaio de resistência à compressão.....	21
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	22
5 CONCLUSÃO.....	28
ABSTRACT.....	29
REFERÊNCIAS.....	30
APÊNDICE A - Caracterização dos agregados.....	32
APÊNDICE B - Ensaio de permeabilidade.....	33
APÊNDICE C - Ensaio de resistência à compressão.....	34

CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DE DOSAGEM DE PEÇAS INTERTRAVADAS DE CONCRETO PERMEÁVEL PARA PAVIMENTAÇÃO

Raquel Serquiz Arruda Pereira^{1*}

RESUMO

O aumento das inundações e enchentes em áreas urbanas tem causado prejuízos significativos à sociedade. Esses eventos são decorrentes do aumento populacional e, conseqüentemente, da impermeabilização do solo, e uma solução eficiente para mitigá-los é o uso do concreto permeável. Esse tipo de concreto possui vazios em sua estrutura, permitindo que a água que incide sobre sua superfície escoe para as camadas subjacentes. Apesar de alguns estudos já terem sido realizados no Brasil, a maioria deles adota um método de dosagem empírico para a produção do concreto permeável. Nesse contexto, o presente trabalho tem o objetivo de contribuir com parâmetros que possam agregar no desenvolvimento de métodos de dosagem do concreto para peças de pavimento intertravado permeável. Foram estudadas as características da pasta, e do esqueleto granular formado pelos agregados com vistas à seleção de composições de concreto para avaliação das propriedades do concreto permeável, quais sejam: permeabilidade e resistência à compressão. A partir dos parâmetros estabelecidos, foi possível obter uma composição que atende às normativas brasileiras. Os resultados comprovam a importância de uma abordagem sistemática e experimental na dosagem do concreto permeável, especialmente para peças de pavimentação intertravada. Este estudo contribui para o avanço do conhecimento de dosagem do concreto permeável.

Palavras-Chave: Pavimento intertravado. Concreto permeável. Dosagem. Permeabilidade. Resistência à compressão.

^{1*} Acadêmica do curso de Engenharia Civil do Instituto Federal de Santa Catarina. raquel.sap@aluno.ifsc.edu.br

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, tem-se observado um aumento significativo nos fenômenos de enchentes e inundações em áreas urbanas decorrentes de precipitações de chuvas repentinas e de grande volume. Esses fenômenos frequentemente geram diversos problemas, como danos à infraestrutura, prejuízos econômicos e riscos à segurança pública.

Um exemplo é a cidade de São Paulo onde, conforme relato pelo G1 (2023), no mês de abril, foram registrados diversos alagamentos devido às chuvas constantes, fazendo com que a entrada de lojas ficasse alagada e motoristas e pedestres ficassem ilhados (Figura 1). De acordo com o Centro de Gerenciamento de Emergências (CGE, 2023) “foram 80,8mm, o que equivale a 28,1% acima dos 63,1 mm esperados para o mês”. Segundo informações do G1 (2023), foram liberados R\$572,9 milhões para a prefeitura destinados às ações de prevenção e combate a enchentes no ano de 2023. Sendo assim, é perceptível que esses incidentes ocorrem frequentemente em São Paulo, principalmente por ser uma metrópole e envolvem custo de recuperação significativo.

Figura 1 - Carros ilhados devido ao alagamento



Fonte: Queiroz (2023).

Os pavimentos para o escoamento da água surgem como uma alternativa para combater estes incidentes, entre eles, o concreto permeável, como ilustrado na Figura 2. O concreto permeável proporciona fácil infiltração para as camadas subjacentes, alimentando lençóis freáticos ou direcionando a água para o sistema de drenagem. Segundo Repette (2011), esse tipo de pavimento pode drenar até 900 litros por minuto por metro quadrado e também pode ser utilizado na composição

das coberturas das lajes verdes. Ademais, o pavimento com revestimento drenante oferece uma série de outros benefícios ao ambiente em que está inserido.

Figura 2 - Concreto permeável



Fonte: Autor (2023).

Entretanto, no Brasil, pouco se discute sobre esse tipo de pavimentação e, em grande parte, os estudos existentes abordam a dosagem do concreto permeável de forma empírica, o que dificulta sua aplicação em território brasileiro. Diante desse contexto, o objetivo geral deste trabalho é contribuir com parâmetros que possam agregar no desenvolvimento de métodos de dosagem do concreto para peças de pavimento intertravado permeável. Para alcançar esse objetivo, serão adotados os seguintes objetivos específicos:

- a) Analisar a influência das características físicas dos agregados na estrutura granular componente do concreto permeável.
- b) Identificar as características da pasta cimentícia, no estado fresco, para a dosagem de concreto permeável.
- c) Avaliar a trabalhabilidade de diferentes composições entre a pasta cimentícia e estrutura granular para produção de peças de concreto para pavimento intertravado permeável.
- d) Verificar as propriedades das peças de concreto permeáveis produzidos com vistas à seleção da composição que melhor atenda aos requisitos da NBR 16416 (ABNT, 2015) de resistência à compressão e permeabilidade.

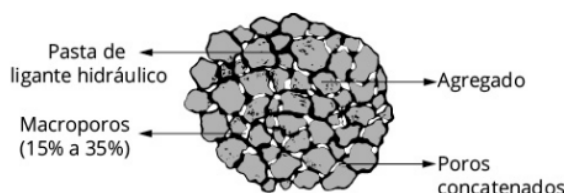
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Concreto Permeável

O concreto permeável, também conhecido como concreto drenante, é caracterizado pela ausência de finos, agregados graúdos de graduação aberta, cimento Portland e água conforme define o American Concrete Institute (ACI, 2010). Conforme a NBR 16416 (ABNT, 2015), o concreto permeável é definido como “concreto com vazios interligados que permitem a percolação de água por ação da gravidade”, enquanto Balbo (2020) considera os pavimentos permeáveis como estruturas porosas e planas que funcionam como dispositivos complementares de drenagem.

A estrutura interna do concreto permeável é formada pelo contato entre os grãos, e entre os grãos e pasta de cimento Portland (BALBO, 2020), conforme ilustrado na Figura 3. Segundo a ACI (2010), a composição do concreto resulta em uma estrutura em que os agregados graúdos ficam aglomerados, envolvidos por uma fina camada de pasta de cimento Portland endurecida nos pontos de contato.

Figura 3 - Estrutura do concreto permeável



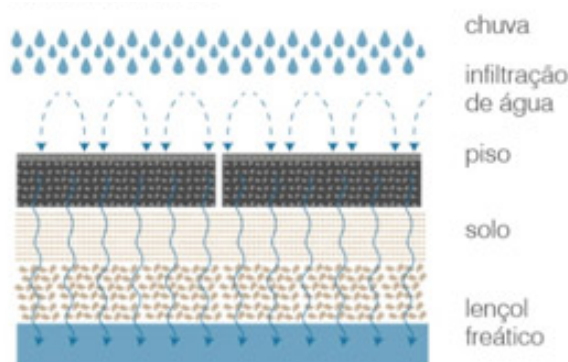
Fonte: Fabrizia M. Balbo (2020) apud Balbo (2020).

De acordo com Repette (2011), o índice de vazios desejado no concreto permeável varia entre 15% e 35% do volume total do concreto. E este dependerá da granulometria do agregado, teor de material cimentício, relação água/cimento e esforço de compactação (ACI, 2010, tradução nossa).

A NBR 16416 (ABNT, 2015) classifica os revestimentos em diferentes tipos: pavimento intertravado permeável com juntas alargadas ou com áreas vazadas ou de concreto permeável, placas de concreto permeável e pavimento de concreto permeável. Contudo, este estudo focaliza as peças de pavimento intertravado de concreto permeável que se caracterizam pela presença de vazios em

sua estrutura. A infiltração da água ocorre tanto por meio dos vazios presentes na peça de concreto quanto pelas juntas entre elas, como ilustra a Figura 4.

Figura 4 - Processo de infiltração de água em blocos de concreto permeáveis



Fonte: Adaptado de Braston (2023).

2.2 Normativas para concretos permeáveis

A norma brasileira que estabelece os limites, diretrizes, requisitos e características para o pavimento de concreto permeável é a NBR 16416 (ABNT, 2015). Esta norma recomenda a aplicação de pavimentos de concreto permeável em áreas com tráfego de pedestres e veículos leves, como calçadas e estacionamentos (ABNT, 2015). A Tabela 1, apresenta a quantidade de corpos de prova que devem ser produzidos e os tipos de ensaios a serem desenvolvidos. Enquanto na Tabela 2, estabelece os valores para as resistências mecânicas e a espessura mínima do revestimento permeável.

Tabela 1 - Amostragem mínima para ensaio em campo

Tipo de revestimento	Propriedade	Amostra mínima para lote de até 2500 m ² de pavimento	
		Prova	Contra prova
Peças ou placas de concreto	Inspeção visual das peças ou placas	6	6
	Avaliação dimensional das peças ou placas	6	6
	Resistência mecânica das peças ou placas	6	6
Todos	Coefficiente de permeabilidade	3	3

Fonte: Adaptado de NBR 16416 (2015).

Tabela 2 - Resistência mecânica e espessura mínima do revestimento de pavimento intertravado permeável

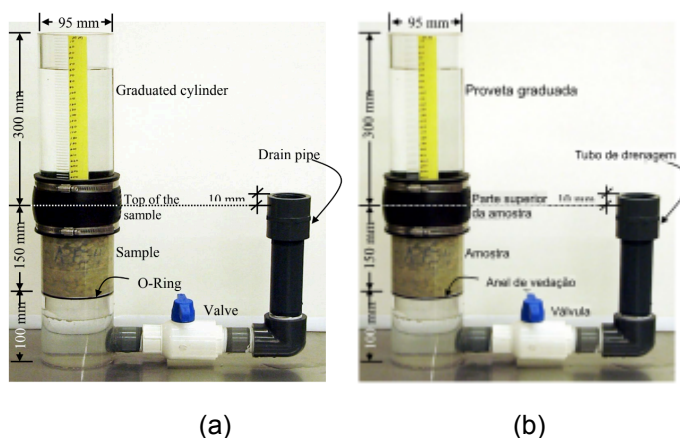
Tipo de revestimento	Tipo de solicitação	Espessura mínima (mm)	Resistência mecânica característica (MPa)	Método de ensaio
Peça de concreto permeável	Tráfego de pedestres	60,0	≥ 20,0 ^a	ABNT NBR 9781
	Tráfego leve	80,0		

^a determinação da resistência à compressão, conforme na ABNT NBR 9781.

Fonte: NBR 16416 (2015).

A NBR 16416 (ABNT, 2015) também determina que a permeabilidade mínima para as peças de concreto permeável deve ser superior a 0,001 m/s. Enquanto a ACI (2010) recomenda que, para os estudos laboratoriais, o ensaio de permeabilidade seja realizado usando um permeômetro de carga variável, conforme ilustrado na Figura 5.

Figura 5 - Permeômetro de carga variável, versão Neithalath (a) original (b) traduzido



Fonte: Adaptado de Neithalath et al., (2003) apud American Concrete Institute (2010).

O ensaio de permeabilidade consiste na inserção do corpo de prova em um sistema de vasos comunicantes. Inicialmente, esse corpo de prova deve ser saturado com água, garantindo que os níveis inicial e final estejam em equilíbrio. Após isso, a válvula do sistema é fechada e é adicionada água até atingir uma determinada altura. Em seguida, a válvula é aberta, e o tempo necessário para a água atingir novamente o equilíbrio é registrado. Com base nessas medições, é possível calcular o coeficiente de permeabilidade (k). Para efeito de comparação, os valores de coeficiente de permeabilidade obtidos no ensaio serão confrontados com os resultados de Batezini e Balbo (2015).

Além disso, a NBR 9781 (ABNT, 2013) estabelece os requisitos e os métodos de ensaios para aceitação do pavimento intertravado.

2.3. Dosagem do concreto permeável

No Brasil, a maioria dos estudos sobre o concreto permeável, especialmente no contexto de pavimentação, apresenta uma dosagem empírica, seja baseada em revisões bibliográficas ou em pesquisas anteriores. De acordo com Balbo (2020), existem vários centros de pesquisa que buscam estabelecer critérios racionais, como mostrado na Tabela 3. No entanto, é válido destacar que, até o momento, apenas a ACI conseguiu estabelecer um ponto de partida para a dosagem, como apresentado na Tabela 4.

Tabela 3 - Traços empregados em experimentos acadêmicos no Brasil

Instituição	Ligante	Consumo (kg/m ³)	Agregado graúdo (kg/m ³)	Agregado miúdo (kg/m ³)	Origem do agregado graúdo	Relação água/cimento	Porcentagem de agregados reciclados ou materiais suplementares	Plastificante em massa de cimento (%)
USP	CP III 40 RS	374	1.600	-	Granito	0,3	-	0,35
PUC-Campinas	CP V	374	1.660	-	Basalto	0,30	0-15-20 (RCD-A)	0,45
Unesp	CP II F 40	331	1.565	-	Basalto	0,26	-	0,5
UFRGS	CP V	Vários estudos	Vários estudos	Vários estudos	Basalto	Vários estudos	Sílica ativa; fibras de polipropileno	-
UFSM	CP V	303 (REF)	1.211	-	Diabásio	0,36	-	-
		316 (BA)	1.202	63	Diabásio	0,36	-	-

Fonte: Balbo (2020).

Tabela 4 - Proporção dos materiais para concretos permeáveis

Material	Faixa
Materiais cimentícios	270 para 415 kg/m ³
Agregado	1190 para 1480 kg/m ³
Relação água/cimento	0,27 a 0,34
Relação agregado/cimento	4 a 4:5:1
Relação agregado miúdo/agregado graúdo	0 a 1:1

Fonte: Adaptado de American Concrete Institute (2010).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do concreto permeável para pavimentação, é fundamental caracterizar os materiais que irão compô-lo, a fim de que, o concreto atinja as propriedades necessárias e que mantenha as resistências exigidas pela NBR 16416 (ABNT, 2015). Logo, na sequência serão apresentados os materiais, equipamentos e métodos a serem empregados neste trabalho.

Para o desenvolvimento do programa experimental foram utilizados Cimento CP V-ARI, aditivo superplastificante e quatro diferentes agregados, quais sejam: brita 0 de origem granítica, dois pedriscos de origem granítica de fabricantes distintos, um agregado miúdo silicoso e natural.

3.1. Estudo do esqueleto granular

No estudo do esqueleto granular, foram examinados os cinco tipos de agregados, cujas principais propriedades encontram-se na Tabela 5. A partir deles, foi gerado o Gráfico 2 (Apêndice A), no qual é possível observar as curvas de distribuição granulométrica dos agregados estudados, valendo ressaltar que estas curvas são muito parecidas para os dois pedriscos utilizados.

Assim, com base na análise desses dados, foram pré-selecionados os agregados considerados adequados para a composição dos esqueletos granulares. A seleção levou em consideração a quantidade de vazios de cada agregado, buscando manter o volume de vazios entre 15% e 35%, conforme mencionado anteriormente no item 2.1. Devido à granulometria maior da brita em comparação com os outros agregados, optou-se por misturá-la com outros agregados. As composições realizadas incluíram pedrisco 1, pedrisco 2, brita 0, brita 0 com areia e brita 0 com pedrisco 2.

Tabela 5 - Informações sobre a caracterização dos agregados

		Areia	Pedrisco 1	Pedrisco 2	Brita 0
	Massa Unitária Compactada (kg/dm³)	1,50	1,40	1,46	1,52
	Massa Específica (kg/dm³)	2,61	2,64	2,59	2,56
	Volume de Vazios (%)	42,6%	46,9%	43,8%	40,8%
	Material Pulverulento (%)	3,90	0,32	0,79	0,18
% Retida acumulada	25,4 mm	0	0	0	0
	19,1 mm	0	0	0	8
	12,5 mm	0	0	1	81
	9,5 mm	0	2	4	99
	6,3 mm	0	21	29	100
	4,75 mm	0	52	62	100
	2,36 mm	3	99	94	100
	1,18 mm	13	100	99	100
	600 µm	37	100	99	100
	300 µm	68	100	100	100
	150 µm	86	100	100	100
	Fundo	100	100	100	100
	Módulo de Finura	2,07	5,53	5,58	8,07

Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

3.2. Estudo da pasta

Na composição das pastas cimentícias, optou-se pelo uso do cimento Portland do tipo CP V - ARI RS, devido à sua predominância em estudos anteriores mencionados na revisão da literatura. Além disso, incorporou-se o aditivo superplastificante da marca GCP - Mira Flow 973 em algumas das pastas. Para a mistura dessas pastas, utilizou-se um misturador de alta eficiência, acionado durante 70 segundos, conforme ilustrado nas Figuras 6 e 7, com pausas intercaladas para remover a pasta que se acumulava nas laterais do recipiente.

Figura 6 - Misturador de alta eficiência

Fonte: Autor (2023).

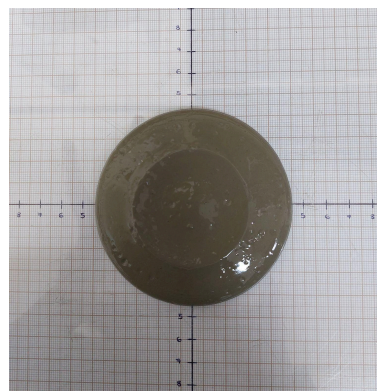
Figura 7 - Misturador de alta eficiência

Fonte: Autor (2023).

No estudo da pasta, foram consideradas duas relações água/cimento: 0,40 e 0,30. Inicialmente, a relação água/cimento de 0,40 foi investigada sem o uso de aditivos, e posteriormente, foi adicionado 0,2% de aditivo à pasta. Além disso, foi escolhida a relação água/cimento de 0,30 com o uso de aditivo, sendo analisadas diversas dosagens até atingir o ponto de saturação, sendo que a utilização de 0,3% de aditivo apresentou melhores resultados. Estas faixas de relações água/cimento foram selecionadas com base nas recomendações apresentadas no item 2.3 deste trabalho. O ensaio do cone de Kantro foi realizado para analisar a fluidez das pastas, conforme ilustrado nas Figuras 8 e 9.

Figura 8 - Ensaio do cone de Kantro

Fonte: Autor (2023).

Figura 9 - Ensaio do cone de Kantro

Fonte: Autor (2023).

No total, foram produzidas seis pastas, das quais duas foram selecionadas após a análise dos resultados, devido às suas características de fluidez distintas. Em uma das moldagens, devido a quantidade de corpos de prova a serem produzidos, optou-se pelo uso do liquidificador. No entanto, ao realizar o ensaio do cone de Kantro, a pasta não apresentava a mesma viscosidade que quando era produzida no misturador de alta eficiência. Portanto, para a moldagem

dos corpos de prova com relação à água/cimento 0,4, foram utilizados o liquidificador e o misturador de alta eficiência separadamente. Os corpos não foram descartados inicialmente para possibilitar a comparação de dados. As pastas selecionadas estão detalhadas na Tabela 6.

Tabela 6 - Dados das pastas selecionadas

Tipo de Cimento	Relação a/c	Aditivo (SP)	Diâmetro (cm)
CP V - ARI	0,4*	-	5,35
	0,4	-	7,00
	0,3	0,30%	4,65
* Pasta produzida no liquidificador.			

Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

3.3. Estudo do teor da pasta

Para a investigação do teor da pasta, foram realizadas combinações manuais entre as duas pastas selecionadas e os esqueletos granulares escolhidos. Nessa análise preliminar, foi realizada uma avaliação visual, iniciando com um baixo teor de pasta que foi gradualmente aumentado. O processo foi interrompido quando se observou que todas as superfícies de contato dos agregados estavam envoltos de pasta, conforme ilustrado na Figura 10. Mediu-se a quantidade inicial e final do recipiente que continha a pasta, possibilitando o cálculo da quantidade de pasta usada em cada esqueleto granular.

Figura 10 - Mistura da pasta com os agregados selecionados



Fonte: Autor (2023).

Posteriormente, os corpos de prova foram moldados e, após sete dias de cura imersa em água saturada de cal, o ensaio de permeabilidade foi realizado com

o equipamento ilustrado nas Figuras 11 e 12. Para evitar vazamentos laterais de água, o corpo de prova foi envolvido com dez camadas de plástico de PVC e uma camada de borracha, conforme mostra a Figura 13.

Figura 11 - Ensaio de permeabilidade



Fonte: Autor (2023).

Figura 12 - Ensaio de permeabilidade



Fonte: Autor (2023).

Figura 13 - Ensaio de permeabilidade



Fonte: Autor (2023).

No total, 18 corpos de prova foram avaliados, conforme preconiza a NBR 16416 (ABNT, 2015). Nesta etapa, foram selecionados os agregados, cujas composições apresentaram coeficiente de permeabilidade próximo ao estudo de referência mencionado no item 2.2. Optou-se, também, aumentar os teores de pasta, e novamente o ensaio de permeabilidade foi realizado, com os valores obtidos de acordo com a norma. Ao fim desse processo, foram selecionadas duas pastas, três esqueletos granulares e um teor de pasta, resultando em seis composições.

3.4. Moldagem das peças

Após a análise do teor da pasta e a seleção das composições adequadas, foram produzidos corpos de prova cilíndricos com dimensões aproximadas de 10 x 8 cm, produzidos em moldes cilíndricos de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura.

Cada corpo de prova foi composto por duas camadas, sendo que ambas foram compactadas com 18 golpes usando soquete de ensaio de compactação do solo do tipo cilindro metálico grande, conforme especificado na NBR 7182 (ABNT, 2016), com altura de queda de aproximadamente 1 cm, como mostrado nas Figuras 14 e 15. A partir da massa unitária compactada dos agregados, foi calculada a quantidade necessária de material para garantir uma altura final do corpo de prova de 8 cm. Entretanto, mesmo com esses cuidados, as alturas dos corpos de prova variaram. Após a moldagem, os corpos de prova permaneceram nos moldes por 24h em uma superfície horizontal. Posteriormente, foram transferidos para cura imersa em água saturada de cal, onde permaneceram até completar 28 dias.

Figura 14 - Soquete.



Fonte: Autor (2023).

Figura 15 - Altura de queda do soquete.



Fonte: Autor (2023).

3.5. Avaliação das peças no estado endurecido

Na fase de seleção das composições, foram analisadas 27 combinações entre pasta e esqueleto granular, com o intuito de conduzir o ensaio de permeabilidade e, subsequentemente, realizar a seleção definitiva. Após a seleção definitiva, cada combinação resultou na moldagem de seis corpos de prova, totalizando 54 corpos cilíndricos destinados aos ensaios de resistência à compressão e permeabilidade.

3.5.1 Ensaio de permeabilidade

O ensaio de permeabilidade serviu como critério de aceitação para determinar se a composição do corpo de prova seria aceitável ou não. Dessa forma, esse ensaio foi repetido várias vezes para chegar às composições finais.

Na etapa final, após definido todos os componentes dos corpos de prova, esperou-se sete dias de cura para proceder o ensaio de permeabilidade, conforme mencionado no item 2.2. Foram utilizados três corpos de prova de cada combinação, conforme preconizado pela NBR 16416 (ABNT, 2015).

3.5.2 Ensaio de resistência à compressão

A fim de avaliar a resistência à compressão, foi necessário realizar o capeamento com pasta de cimento Portland nos corpos de prova, preparando a superfície para o ensaio de resistência à compressão. Os corpos de prova foram ensaiados após 28 dias de moldagem e imersão no tanque de cura, utilizando a prensa universal, conforme ilustrado na Figura 16. Como as alturas dos corpos de prova variaram durante a moldagem, foi necessário realizar a correção das tensões, conforme orienta a NBR 9781 (ABNT, 2013).

Figura 16 - Ensaio de resistência à compressão na prensa universal



Fonte: Autor (2023).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a condução deste estudo, foram adotados parâmetros específicos com o objetivo de produzir o concreto permeável que atendesse aos requisitos mínimos de permeabilidade e resistência mecânica. Esses parâmetros incluem a seleção do esqueleto granular, da pasta, e o teor da pasta a ser utilizada na dosagem do concreto permeável.

Na escolha das pastas, considerou-se a fluidez das mesmas, ou seja, pastas que possuíam consistências diferentes que poderiam interagir com os agregados estudados, conforme mostra a Tabela 7. Dessa forma, optou-se por duas pastas: uma com relação água/cimento de 0,4 e outra de 0,3. Essas escolhas foram feitas considerando que a pasta com relação água/cimento de 0,4, sem o uso de superplastificante, apresentava fluidez intermediária entre as pastas estudadas, visto que procurava-se uma consistência que não fosse excessivamente fluida, a ponto de preencher completamente os vazios dos agregados ou escorrer a ponto de vedar os poros em uma das extremidades do corpo de prova impedindo o fluxo de água, o que foi o caso da pasta com relação água/cimento 0,4 com aditivo superplastificante. Por outro lado, a pasta de 0,3, com 0,3% de superplastificante, exibia uma consistência maior em comparação às demais, no entanto, devido à baixa relação água/cimento seria a pasta estudada de maior resistência. Além disso, teores mais baixos de aditivo geraram pastas muito secas e já descartadas e o aumento do teor de aditivo para esta relação água/cimento não resultou em aumento significativo da fluidez, não justificando o seu uso.

Tabela 7 - Informações extraídas a partir do ensaio do cone de Kantro

Tipo de Cimento	Relação a/c	Aditivo (SP)	Diâmetro (cm)
CP V - ARI	0,4	-	7,00
	0,4	0,20%	8,45
	0,3	0,30%	4,65
	0,3	0,35%	4,35
	0,3	0,40%	4,90
	0,3	0,45%	4,75

Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Para a escolha das composições de agregados, foram confeccionados corpos de prova com as duas pastas selecionadas e com o mínimo teor de pasta capaz de envolver completamente os grãos dos agregados. A seleção se deu considerando-se, principalmente, o volume de vazios entre os grãos, a porcentagem de material pulverulento e os coeficientes de permeabilidade. Assim, a areia clara foi descartada devido à sua porcentagem de material pulverulento ser superior à areia escura. Optou-se por dois tipos de pedriscos devido aos seus formatos distintos: o pedrisco 1 com formato mais cúbico e o pedrisco 2 com formato angular. Enquanto a brita, dispondo de apenas um tipo para estudo, foi incluída para comparação com os demais.

Na seleção final dos agregados, levou-se em consideração os coeficientes de permeabilidade (k) da Tabela 8.

Tabela 8 - Ensaio de permeabilidade para seleção

Materiais	a/c	Aditivo	k (cm/s)
Pedrisco 1	0,4	-	1,05
Pedrisco 2			0,74
Brita 0			1,00
Brita 0 + Pedrisco 2			0,93
Brita 0 + 2,5% de Areia			0,92
Brita 0 + 5% de Areia			0,81
Pedrisco 1			0,3
Pedrisco 2	0,86		
Brita 0	0,94		
Brita 0 + Pedrisco 2	1,13		
Brita 0 + 2,5% de Areia	0,86		
Brita 0 + 5% de Areia	1,13		

Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Considerando os altos coeficientes de permeabilidade obtidos, tomando-se como base os coeficientes de permeabilidade fornecidos por Batezini e Balbo (2015), que indicam mínimo de 0,47 cm/s e máximo de 0,77 cm/s, foram definidos três tipos de esqueletos granulares distintos: pedrisco 1; pedrisco 2 e brita 0 com pedrisco 2. A opção de utilizar brita com areia foi descartada, pois para reduzir o coeficiente de permeabilidade, seria necessário aumentar significativamente a porcentagem de areia na composição, demandando mais pasta

para envolvê-las, o que diminuiria a permeabilidade. Portanto, optou-se pela brita com pedrisco 2, por conter uma quantidade considerável de finos e pelos grãos serem maiores que a areia, sendo assim, promovendo o fechamento de grandes vazios da brita e reduzindo a porosidade do esqueleto granular o que conseqüentemente aumentaria a resistência, sem a necessidade de tanta pasta como seria o caso do uso de areia.

Mesmo após a definição do esqueleto granular e da pasta, era necessário determinar o teor de pasta a ser utilizada nas composições. Assim, foram calculados o volume e porcentagem de pasta e vazios. Com base nesses dados, identificou-se a possibilidade de aumentar a quantidade do teor de pasta, resultando na moldagem de corpos de prova com o dobro do teor utilizado na etapa anterior. Além do teor de pasta definido, acrescentou-se a quantidade de pedrisco 2 na composição com brita. Novamente moldou-se um corpo de prova de cada composição para avaliação do coeficiente de permeabilidade, cujos resultados mostraram atendimento a este requisito da NBR 16416 (ABNT, 2015), como indicado na Tabela 9.

Tabela 9 - Ensaio de permeabilidade seleção final

Materiais	a/c	Aditivo	k (cm/s)
Pedrisco 1	0,4	-	0,45
Pedrisco 2			0,12
Brita 0 + Pedrisco 2			0,28
Pedrisco 1	0,3	0,30%	0,19
Pedrisco 2			0,20
Pedrisco 1			0,31
k = coeficiente de permeabilidade.			

Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Visando alcançar alta resistência, buscou-se manter um padrão de volume de vazios e pasta para que as combinações atingissem o mínimo de permeabilidade, conforme estabelecido pela NBR 16416 (ABNT, 2015). Dessa forma, foram definidas as composições de concreto, apresentadas na Tabela 10, para a moldagem de seis corpos de prova para avaliação final do coeficiente de permeabilidade e da resistência característica à compressão.

Tabela 10 - Dados das composições de concreto permeável

Material	Pedrisco 1	Pedrisco 2	Brita 0 + Pedrisco 2	Pedrisco 1	Pedrisco 2	Brita 0 + Pedrisco 2
Relação a/c	0,4			0,3		
% de Pasta (em massa)	26,05%	24,10%	23,92%	28,17%	35,94%	24,38%
Quant. Agregado 1	0,88	0,91	0,95	0,88	0,91	0,95
Quant. Agregado 2	-	-	0,16	-	-	0,16
Quant. Cimento	0,22	0,22	0,19	0,28	0,36	0,26
Quant. Água	0,09	0,09	0,07	0,08	0,14	0,11

Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Os resultados dos ensaios individuais do ensaio de permeabilidade estão registrados na tabela 12 (Apêndice B), enquanto os resultados dos ensaios individuais do ensaio de resistência à compressão realizados nos corpos de prova estão registrados na Tabela 13 (Apêndice C), ressaltando a necessidade de que o concreto permeável, destinado à fabricação de peças de concreto, alcance no mínimo 20 MPa de resistência à compressão. Os coeficientes de permeabilidade e resistência característica à compressão médios determinados, juntamente com os respectivos desvios padrões e coeficientes de variação estão apresentados na Tabela 11 e no Gráfico 1.

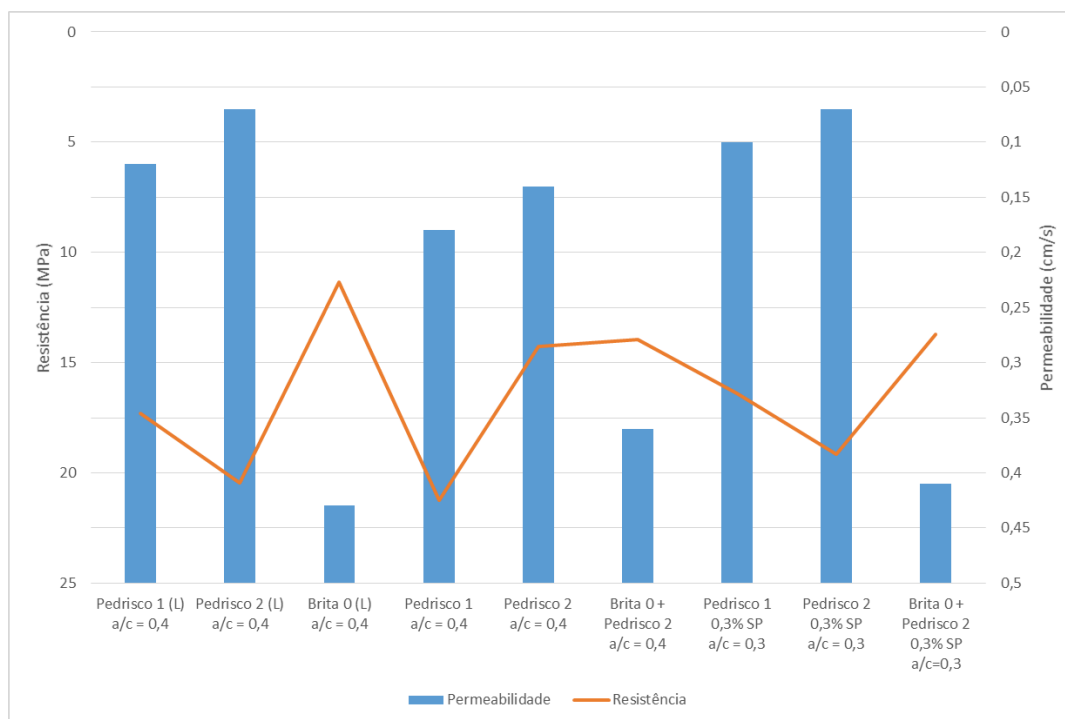
Tabela 11 - Resultados dos ensaios de permeabilidade e resistência à compressão

a/c	Composição	h (mm)	Coeficiente de permeabilidade			Resistência característica à compressão		
			μ (cm/s)	σ	cv (%)	μ (MPa)	σ	cv (%)
0,4	Pedrisco 1 (L)	98,33	0,12	0,01	8,01%	17,30	2,09	12,06%
	Pedrisco 2 (L)	107,39	0,07	0,02	23,97%	20,45	1,90	9,30%
	Brita 0 (L)	87,56	0,43	0,09	20,11%	11,34	1,45	12,76%
	Pedrisco 1	94,11	0,18	0,02	10,11%	21,25	1,44	6,78%
	Pedrisco 2	104,28	0,14	0,03	17,80%	14,25	0,98	6,90%
	Brita 0 + Pedrisco 2	93,61	0,36	0,01	2,11%	13,97	0,93	6,69%
0,3	Pedrisco 1	99,33	0,10	0,02	18,72%	16,40	1,99	12,13%
	Pedrisco 2	111,28	0,07	0,01	11,59%	19,15	3,55	18,56%
	Brita 0 + Pedrisco 2	0,00	0,41	0,02	5,03%	13,72	2,86	20,85%

h = altura do corpo de prova; μ = média; σ = desvio padrão; cv = coeficiente de variação.

Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Gráfico 1 - Relação entre composição, resistência e permeabilidade



Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Os resultados dos ensaios revelaram que nem todas as composições alcançaram resultados satisfatórios. Conforme indicado na Tabela 11, as composições envolvendo pedrisco 1 e 2 com uma relação água/cimento 0,3, e pedrisco 2 com uma relação água/cimento de 0,4 (com uso de liquidificador), não atingiram o coeficiente de permeabilidade mínimo exigido pela norma. A composição com pedrisco 2 (com uso de liquidificador) não obteve o resultado esperado devido a homogeneidade da pasta. Enquanto as composições 4 e 5, provavelmente devido a dificuldade de mistura e envolvimento dos grãos deste agregado com uma pasta de baixa fluidez. Conforme a Tabela 11, todas as composições que apresentaram coeficiente de permeabilidade abaixo do esperado possuíam volume de vazios baixo em relação às outras composições. Portanto, qualquer alteração na mistura acarretaria diferenças significativas em relação ao estudado anteriormente. Observou-se, para todas as misturas contendo a brita 0, que os coeficientes de permeabilidade foram bastante superiores ao mínimo exigido na NBR 16416 (ABNT, 2015), o que indica a possibilidade de redução da quantidade de vazios destas misturas seja pelo aumento da quantidade de pedrisco ou do teor de pasta ou, ainda, aumentando-se o grau de compactação na moldagem.

Para a resistência característica à compressão, os resultados da Tabela 11 apresentam que apenas duas composições atingiram o valor mínimo

preconizado pela NBR 161416 (ABNT, 2015), sendo eles: pedrisco 2 com o uso de liquidificador e pedrisco 1, ambos com relação água/cimento de 0,4. Conforme já esperado, por meio do Gráfico 1 é possível constatar que resistência à compressão e permeabilidade são inversamente proporcionais; portanto quanto maior a permeabilidade, menor a resistência, como evidenciado nas composições que envolvem brita.

Além disso, os ensaios realizados demonstraram uma variabilidade significativa na avaliação das peças no estado endurecido, principalmente nos ensaios de resistência à compressão. Isso evidenciou que o método empregado nos corpos de prova carece de uma maior padronização ou que outros fatores não controlados podem ter influenciado nos resultados, requerendo uma análise mais aprofundada para compreender as razões por trás dessa variabilidade.

Em suma, entre as composições estudadas, a composição de pedrisco 1 com relação água/cimento 0,4 correspondeu a todas as exigências estabelecidas no início do trabalho. Essa composição conseguiu atingir os valores mínimos de resistência à compressão e permeabilidade. Além disso, o manuseio da produção desse tipo de concreto foi fácil, principalmente devido à menor quantidade de finos em sua composição, o que não exigiu uma grande quantidade de pasta para envolvê-los em comparação com o pedrisco 2. A pasta também mostrou-se ser mais trabalhável em comparação àquela com relação água/cimento de 0,3, eliminando o uso de aditivo superplastificante.

Observa-se ainda que, embora as composições contendo a brita 0 e o pedrisco 2 não tenham atingido a resistência mínima, seus coeficientes de permeabilidade apresentam folga significativa se comparados com o mínimo exigido por norma. Isto indica que seria possível estudar novas composições com estes agregados visando a redução do índice de vazios em busca do atendimento à resistência preconizada pela NBR 16416 (ABNT, 2015). Vale ressaltar que os demais concretos apresentaram resistências significativamente abaixo da desejada e não têm margem significativa nos coeficientes de permeabilidade que indiquem valer a pena novos estudos com estas composições.

Assim, este estudo não apenas cumpriu com as normativas vigentes, mas também identificou e validou experimentalmente uma composição ideal que atende

tanto a critérios de resistência quanto de permeabilidade, contribuindo para a pesquisa de concretos permeáveis.

5 CONCLUSÃO

O pavimento de concreto permeável é um elemento complementar para o escoamento de água, especialmente em áreas suscetíveis a alagamentos e inundações frequentes. Apesar de suas várias características positivas, a dosagem desse tipo de concreto enfrenta desafios consideráveis, e, por isso, as universidades brasileiras têm se dedicado a estudos nesse campo. Este tipo de concreto é afetado por diversos fatores que dificultam a definição de um método de dosagem, especialmente porque cada região possui materiais específicos, como os agregados.

O estudo sobre a dosagem do concreto permeável revelou a influência de vários fatores em suas propriedades. Mesmo ao escolher três parâmetros para a produção, havia uma infinidade de combinações possíveis de esqueletos granulares, relações água/cimento e teores de pasta, indicando que, com mais tempo, seria possível explorar combinações adicionais para atingir os valores mínimos de permeabilidade e resistência à compressão. Outro parâmetro passível de estudo seria a obtenção de diferentes graus de compactação. Embora o cimento CP V - ARI seja o mais utilizado de acordo com o estudo bibliográfico realizado, o uso de outros tipos de cimento Portland, não tão finos, possa permitir o uso de pastas com boa trabalhabilidade e relações água/cimento mais baixas, o que pode contribuir com resistências mais elevadas. Sendo assim seria interessante a realização de novos estudos envolvendo tipos diferentes de cimento Portland.

Entre as composições realizadas, apenas uma conseguiu atingir os valores mínimos exigidos na NBR 16416 (ABNT, 2015), permitindo assim o cumprimento integral dos objetivos propostos por este trabalho. Além disso, a análise dos dados coletados evidenciou que permeabilidade e resistência são inversamente proporcionais, o que complica a busca por uma composição que atenda plenamente às normas. No entanto, foi possível estabelecer uma sequência de seleção de parâmetros que direcionaram para o encontro de uma mistura que atendesse aos requisitos da NBR 16416 (ABNT, 2015) quanto à resistência e permeabilidade. Esta sequência foi: estudo da pasta, estudo do esqueleto granular,

estudo da combinação dos parâmetros anteriores com vistas à permeabilidade e por último verificação de atendimento da resistência característica mínima à compressão

Portanto, o estudo do concreto permeável revela-se desafiador, tanto na seleção de materiais adequados quanto na dosagem precisa. Isso destaca a importância de uma abordagem minuciosa para garantir a conformidade com todas as exigências normativas.

Contribution to the study of the dosage of interlocking pieces of pervious concrete for paving

ABSTRACT

The increase in flooding in urban areas has caused significant damage to society. These events are due to population growth and, consequently, soil sealing, and an efficient solution to mitigate them is the use of permeable concrete. This type of concrete has voids in its structure, allowing the water that falls on its surface to flow into the underlying layers. Although some studies have already been carried out in Brazil, most of them use an empirical dosage method to produce permeable concrete. In this context, the aim of this study is to contribute parameters that can be added to the development of concrete dosing methods for permeable interlocking paving pieces. The characteristics of the paste and the granular skeleton formed by the aggregates were studied with a view to selecting concrete compositions for evaluating the properties of permeable concrete, namely: permeability and compressive strength. Based on the parameters established, it was possible to obtain a composition that complies with Brazilian standards. The results prove the importance of a systematic and experimental approach to the dosage of permeable concrete, especially for interlocking paving pieces. This study contributes to the advancement of knowledge in the dosage of permeable concrete.

Keywords: Interlocking sidewalk. Pervious concrete. Permeability. Compressive strength.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182: Solo - Ensaio de compactação**. Rio de Janeiro, 2016

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

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

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **Report on Chemical Admixtures for Concrete: reported by ACI Committe 212**. Farmington Hills, 2010.

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

BATEZINI, R.; BALBO, J.T. Estudo da condutividade hidráulica com carga constante e variável em concretos permeáveis. **IBRACON Structures and Materials Journal**, São Paulo, jun 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/riem/a/bX8ccnWyVj76RCN9ZKBSJdN/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 16 de mai. de 2023.

BRASTON. **Piso drenante é 8 vezes mais permeável que o paver comum**. [2015?]. 1 fotografia, color. Disponível em: <https://braston.com.br/novidade/piso-drenante-e-8-vezes-mais-permeavel-que-o-paver-comum/>. Acesso em: 11 de abr. 2023.

CENTRO DE GERENCIAMENTO DE EMERGÊNCIAS CLIMÁTICAS DA PREFEITURA DE SÃO PAULO. Abril termina com 28,1% de chuvas acima do esperado. **Sala de Imprensa - CGE**, São Paulo, 02 de mai. 2023. Disponível em: <https://www.cgesp.org/v3/sala-de-imprensa.jsp>. Acesso em: 05 de mai. de 2023.

G1. Chuva provoca alagamentos em estações de trem e terminal de ônibus e deixa cidade de SP em estado de atenção. **Portal de notícias da Globo**, São Paulo, 18 de mai. 2023. Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/sao-paulo/noticia/2023/04/18/manha-vira-noite-em-sp-e-chuva-deixa-cidade-em-estado-de-atencao-para-alagamentos.ghtml>. Acesso em: 05 de mai. de 2023.

G1. Prefeitura de SP utilizou até agora apenas 4% da verba destinada ao combate a enchentes e alagamentos na cidade em 2023. **Portal de notícias da Globo**, São Paulo, 21 de mar. 2023. Disponível em:

<https://g1.globo.com/sp/sao-paulo/noticia/2023/03/21/prefeitura-de-sp-utilizou-ate-agora-apenas-4percent-da-verba-destinada-ao-combate-a-enchentes-e-alagamentos-na-cidade-em-2023.ghtml>. Acesso em: 05 de mai. de 2023.

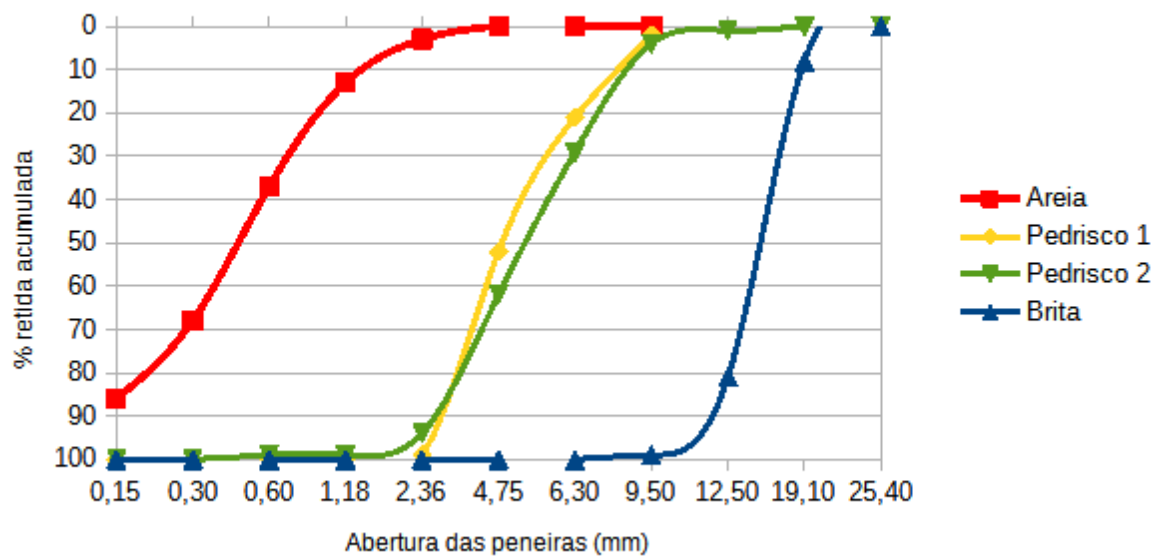
QUEIROZ, Tiago. **Vista de trecho interditado por alagamento no Elevado João Goulart, popularmente conhecido como Minhocão, na zona oeste de São Paulo** [2023]. 1 fotografia, color. Disponível em:

<https://g1.globo.com/sp/sao-paulo/noticia/2023/03/21/prefeitura-de-sp-utilizou-ate-agora-apenas-4percent-da-verba-destinada-ao-combate-a-enchentes-e-alagamentos-na-cidade-em-2023.ghtml>. Acesso em: 05 de mai. de 2023.

REPETTE, Wellington L. Concretos de última geração e para fins especiais. *In*: IBRACON, (org.). **Concreto: Ciência e Tecnologia**. São Paulo: IBRACON, 2011. p. 1807-1842.

APÊNDICE A - Caracterização dos agregados

Gráfico 2 - Distribuição granulométrica dos agregados estudados



Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

APÊNDICE B - Ensaio de permeabilidade

Tabela 12 - Dados ensaio de permeabilidade

	AMOSTRA	k (cm/s)		AMOSTRA	k (cm/s)
Pedrisco 1 a/c = 0,4	CP 1	0,20	Pedrisco 1 a/c = 0,3	CP 1	0,08
	CP 2	0,17		CP 2	0,10
	CP 3	0,17		CP 3	0,12
Pedrisco 2 a/c = 0,4	CP 1	0,12	Pedrisco 2 a/c = 0,3	CP 1	0,08
	CP 2	0,15		CP 2	0,06
	CP 3	0,17		CP 3	0,07
Brita 0 + Pedrisco 2 a/c = 0,4	CP 1	0,37	Brita 0 + Pedrisco 2 a/c = 0,3	CP 1	0,39
	CP 2	0,35		CP 2	0,41
	CP 3	0,36		CP 3	0,43
Pedrisco 1 Liquidificador a/c = 0,4	CP 1	0,12			
	CP 2	0,14			
	CP 3	0,12			
Pedrisco 2 Liquidificador a/c = 0,4	CP 1	0,06			
	CP 2	0,09			
	CP 3	0,06			
Brita 0 + Pedrisco 2 Liquidificador a/c = 0,4	CP 1	0,42			
	CP 2	0,52			
	CP 3	0,34			

Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

APÊNDICE C - Ensaio de resistência à compressão

Tabela 13 - Resultados individuais do ensaio de resistência à compressão final

(continua)

TIPO	CP	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	Carga (kN)	h/d	Carga Corrigida (kN)	fpi	fp	fpk,est
Pedrisco 1 Liquidificador a/c = 0,4	1	100	91,33	137,79	0,91	137,79	17,54	19,22	17,30
	2		89,33	162,89	0,89	162,89	20,74		
	3		91,33	163,15	0,91	163,15	20,77		
	4		88,33	159,81	0,88	159,81	20,35		
	5		91,00	123,66	0,91	123,66	15,74		
	6		90,00	158,33	0,90	158,33	20,16		
Pedrisco 2 Liquidificador a/c = 0,4	1	100	95,33	155,53	0,95	155,53	19,80	22,20	20,45
	2		99,67	162,57	1,00	162,57	20,70		
	3		99,67	195,75	1,00	195,75	24,92		
	4		100,33	177	1,00	178,77	22,76		
	5		99,00	168,54	0,99	168,54	21,46		
	6		96,00	184,85	0,96	184,85	23,54		
Brita 0 + Pedrisco 2 Liquidificador a/c = 0,4	1	100	105,67	103,23	1,06	105,29	13,41	12,67	11,34
	2		109,33	92,77	1,09	94,63	12,05		
	3		112,00	82,74	1,12	85,22	10,85		
	4		106,00	96,51	1,06	98,44	12,53		
	5		105,33	92,94	1,05	94,80	12,07		
	6		106,00	116,16	1,06	118,48	15,09		

Tabela 13 - Resultados individuais do ensaio de resistência à compressão final

(continua)

TIPO	CP	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	Carga (kN)	h/d	Carga Corrigida (kN)	fpi	fp	fpk,est
Pedrisco 1 a/c = 0,4	1	100	89,67	167,14	0,90	167,14	21,28	22,57	21,25
	2		88,67	196,01	0,89	196,01	24,96		
	3		89,33	172,02	0,89	172,02	21,90		
	4		87,33	171,84	0,87	171,84	21,88		
	5		83,67	170,39	0,84	170,39	21,69		
	6		86,67	186,28	0,87	186,28	23,72		
Pedrisco 2 a/c = 0,4	1	100	93,33	112,31	0,93	112,31	14,30	15,16	14,25
	2		94,33	116,91	0,94	116,91	14,89		
	3		95,67	113,09	0,96	113,09	14,40		
	4		95,00	132,33	0,95	132,33	16,85		
	5		92,33	124,09	0,92	124,09	15,80		
	6		94,00	115,66	0,94	115,66	14,73		
Brita 0 + Pedrisco 2 a/c = 0,4	1	100	104,00	112,8	1,04	113,93	14,51	14,82	13,97
	2		103,00	128,35	1,03	129,63	16,51		
	3		105,00	109,83	1,05	110,93	14,12		
	4		104,67	108,9	1,05	109,99	14,00		
	5		105,67	117,52	1,06	119,87	15,26		
	6		103,33	113,13	1,03	114,26	14,55		

Tabela 13 - Resultados individuais do ensaio de resistência à compressão final

(conclusão)

TIPO	CP	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	Carga (kN)	h/d	Carga Corrigida (kN)	fpi	fp	fpk,est
Pedrisco 1 a/c = 0,3	1	100	90,00	170,24	0,90	170,24	21,68	18,23	16,40
	2		91,00	144,88	0,91	144,88	18,45		
	3		94,33	139,37	0,94	139,37	17,75		
	4		94,33	147,15	0,94	147,15	18,74		
	5		94,33	133,5	0,94	133,50	17,00		
	6		97,67	124,14	0,98	124,14	15,81		
Pedrisco 2 a/c = 0,3	1	100	96,67	200,09	0,97	200,09	25,48	22,42	19,15
	2		100,67	132,72	1,01	134,05	17,07		
	3		101,67	178,86	1,02	180,65	23,00		
	4		99,00	149,47	0,99	149,47	19,03		
	5		99,00	193,73	0,99	193,73	24,67		
	6		99,00	198,73	0,99	198,73	25,30		
Brita 0 + Pedrisco 2 a/c = 0,3	1	100	111,00	119,15	1,11	122,72	15,63	16,35	13,72
			110,67	127,91	1,11	131,75	16,77		
			109,00	165,32	1,09	168,63	21,47		
			113,67	112,43	1,14	115,80	14,74		
			112,67	98,95	1,13	101,92	12,98		
			110,67	125,94	1,11	129,72	16,52		

Fonte: Elaborado pela autora, 2023.