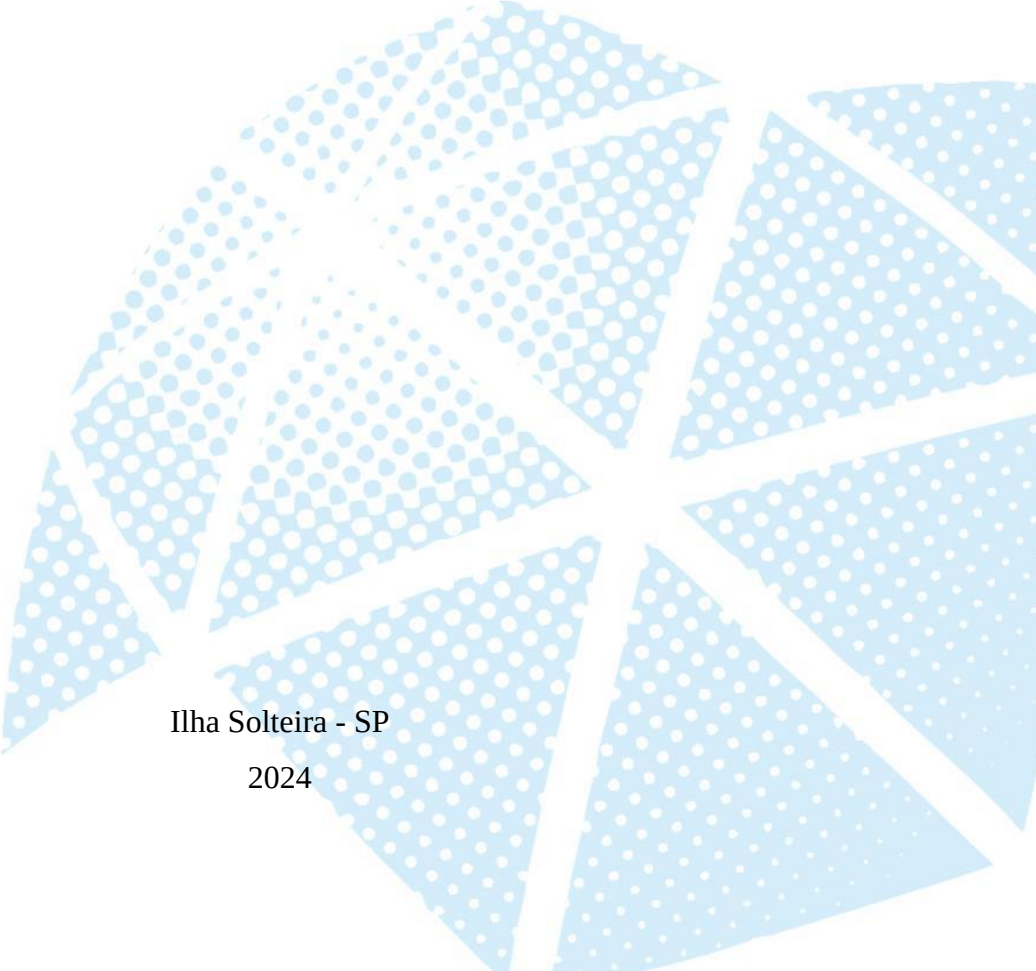


**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

ANDERSON MAURICIO CARVALHO SANTANA

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DAS ADIÇÕES DE FIBRA DE VIDRO ÁLCALI-
RESISTENTES NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO PERMEÁVEL**

Ilha Solteira - SP
2024



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ANDERSON MAURÍCIO CARVALHO SANTANA

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DAS ADIÇÕES DE FIBRA DE VIDRO ÁLCALI-
RESISTENTES NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO PERMEÁVEL**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira -UNESP para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Estruturas

Orientadora: Prof. Dr. Maria da Consolação Fonseca de Albuquerque.

Ilha Solteira

2024

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

Santana, Anderson Mauricio Carvalho.
S232e Estudo da influência das adições de fibra de vidro álcali-resistentes nas propriedades do concreto permeável / Anderson Mauricio Carvalho Santana. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2024
105 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Estruturas, 2024

Orientador: Maria da Consolação Fonseca de Albuquerque

Inclui bibliografia

1. Concreto permeável. 2. Resistência. 3. Permeabilidade. 4. Fibra de vidro AR.


Amanda Sertori dos Santos

Biblioteca - C15/S-9051
Seção Técnica de Referência, Atendimento ao
Usuário e Documentação
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: ESTUDO DA INFLUÊNCIA DAS ADIÇÕES DE FIBRA DE VIDRO ÁLCALI-RESISTENTES NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO PERMEÁVEL

AUTOR: ANDERSON MAURICIO CARVALHO SANTANA

ORIENTADORA: MARIA DA CONSOLAÇÃO FONSECA DE ALBUQUERQUE

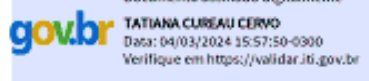
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil, área: Estruturas pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. MARIA DA CONSOLAÇÃO FONSECA DE ALBUQUERQUE (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP

Prof. Dr. EMERSON ALEXANDRO BOLANDIM (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira -



Profa. Dra. TATIANA CUREAU CERVO (Participação Virtual)
Departamento de Transportes / Universidade Federal de Santa Maria - UFSM



Ilha Solteira, 29 de fevereiro de 2024

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

O concreto permeável com adição de fibra é uma solução inovadora que contribui para o alcance do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 15, que visa proteger, restaurar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerenciar de forma sustentável as florestas, combater a desertificação e deter e reverter a degradação da terra.

O uso do concreto permeável com adição de fibra de vidro álcali-resistente (AR) em pavimentos traz o seguinte impacto esperado:

1. Sustentabilidade ambiental: O concreto permeável reduz o escoamento de águas pluviais na superfície, minimizando os problemas de drenagem urbana, como enchentes e alagamentos, e contribui para a melhoria da qualidade da água, pois o mesmo filtra a água em seus poros e contribui para recarregar o lençol freático, promovendo a conservação da água subterrânea.
2. Conforto térmico: O concreto permeável contribui para a minimização do efeito de ilha de calor, pois absorve menos calor em comparação com o concreto convencional, melhorando conforto térmico em áreas urbanas.
3. Conforto acústico: A utilização do concreto permeável contribui para a minimização do ruído causado pelo tráfego de veículos, pneus e superfícies, uma vez que o concreto permeável absorve parte do som, corroborando com o conforto acústico em áreas urbanas.
4. Melhoria ambiental nos centros urbanos: O uso do concreto permeável melhora a vegetação dos centros urbanos, pois a permeabilidade do material permite que as raízes das plantas tenham acesso à água e nutrientes do solo, promovendo um melhor desenvolvimento da vegetação.
5. Resistência: A pesquisa sobre concreto permeável com adição de fibra de vidro álcali-resistente (AR) pode levar ao desenvolvimento de materiais mais duráveis e resistentes, capazes de suportar as condições de tráfego intenso.

Em resumo, a pesquisa sobre o concreto permeável tem o potencial de promover a sustentabilidade ambiental, melhorar a qualidade de vida e criar infraestruturas mais resistentes e eficientes.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

Permeable concrete with fiber addition is an innovative solution that contributes to achieving Sustainable Development Goal 15, which aims to protect, restore, and promote the sustainable use of terrestrial ecosystems, sustainably manage forests, combat desertification, and halt and reverse land degradation.

The use of alkali-resistant (AR) fiberglass-reinforced permeable concrete in pavements brings the following expected impacts:

1. Environmental sustainability: Permeable concrete reduces surface runoff, minimizing urban drainage problems such as floods and puddles, and contributes to improving water quality as it filters water in its pores and helps recharge the groundwater, promoting groundwater conservation.
2. Thermal comfort: Permeable concrete contributes to minimizing the urban heat island effect, as it absorbs less heat compared to conventional concrete, improving thermal comfort in urban areas.
3. Acoustic comfort: The use of permeable concrete helps minimize noise caused by vehicle traffic, tires, and surfaces, as permeable concrete absorbs some sound, contributing to acoustic comfort in urban areas.
4. Environmental improvement in urban centers: The use of permeable concrete improves vegetation in urban centers, as the material's permeability allows plant roots to access water and nutrients in the soil, promoting better vegetation growth.
5. Strength: Research on alkali-resistant fiberglass-reinforced permeable concrete may lead to the development of more durable and resistant materials capable of withstanding heavy traffic conditions.

In summary, research on permeable concrete has the potential to promote environmental sustainability, improve quality of life, and create more resilient and efficient infrastructure.

DEDICATÓRIA

A Deus,
À minha mãe, Alaíde dos Santos Carvalho Santana,
Ao meu pai, Mauricio Aparecido Santana,
E a minha esposa Patrícia Francisca de Paula Santana.

AGRADECIMENTOS

A Deus, primeiramente pela sabedoria, conhecimentos e oportunidades sem as mesmas não seriam possíveis viver e alcançar este grande sonho.

Aos meus pais, Alaíde dos Santos Carvalho Santana e Maurício Aparecido Santana, que me apoiaram e ensinaram-me o valor da vida e das lutas diária pelos nossos objetivos.

À minha esposa e melhor amiga, Patrícia Francisca de Paula Santana, pelo amor, carinho, companheirismo, comprometimento, dedicação, e incentivos ao longo deste percurso.

À minha orientadora, Maria da Consolação Fonseca de Albuquerque, pela orientação, competência, dedicação e paciência obrigado por acreditar em mim, tenho certeza que sem esta confiança nada seria possível, para mim você será sempre mestre e amiga.

Aos técnicos do laboratório de Engenharia Civil da UNESP de Ilha Solteira, em especial, Gilson Campus Correa, Flávio Rogério Porato e Ozias da Silva Porto, por toda paciência e dedicação.

Aos meus professores da pós-graduação, verdadeiros mestres que compartilharam suas experiências profissionais e seus conhecimentos de anos de estudo que de alguma forma incentivaram-me a seguir em sua profissão.

Ao meu Professor do PAADES Emerson Alexandro Bolandim pelo aprendizado, apoio e incentivo no programa de atividades e aperfeiçoamento em docência no ensino superior.

Ao grupo de Pesquisa em Materiais Alternativos de Construção - MAC que participei durante a pós-graduação por toda lição, conhecimento e oportunidades de crescimento que levarei para a vida inteira.

Ao colega Pedro Henrique da Silva Cazella pela instrução, apoio e incentivo ao meu ingresso no mestrado.

A todos amigos que fiz durante e ao longo de 3 anos de mestrado pelos estudos, aprendizados, acertos e erros em especial ao amigo Guilherme Augusto Donegá Rocha e a todos que de alguma forma direta ou indiretamente tiveram uma parcela de contribuição para este trabalho.

***“ Bem-aventurado o homem que acha
sabedoria, e o homem que adquire
conhecimento”
(Provérbio Cap 3 Vers 13)***

RESUMO

A impermeabilização do solo tem consequências negativas para a drenagem urbana. Sem a capacidade de absorção natural do solo, a água da chuva não consegue escoar adequadamente, resultando em alagamentos e enchentes. Além disso, a drenagem urbana inadequada também contribui para a poluição dos corpos d'água, pois leva consigo uma grande quantidade de resíduos sólidos e poluentes presentes nas ruas e calçadas. O concreto permeável surgiu como forma de mitigar os problemas. No presente trabalho, foram confeccionadas misturas de concreto permeável utilizando traço de 1:4,6, com 10% de sílica, 0,5% de aditivo superplastificante em relação ao peso do cimento e adicionou-se 0,34% (em relação ao cimento) de água para reação do cimento e absorção do agregado. Nessas misturas foi adicionado o percentual de 10% e 20%, em relação a massa total do traço, de fibra de vidro álcali-resistente (AR). As fibras de vidro AR são fibras resistentes as propriedades químicas e agressivas do concreto. Procurou-se observar a influência de adição das fibras nas propriedades mecânicas das misturas. Para isso foram realizados os ensaios de: resistência à compressão axial, tração por compressão diametral, flexão a três pontos, massa específica, índice de vazios e coeficiente de permeabilidade. Observou-se que o acréscimo de fibra de vidro AR causou queda na resistência à compressão axial na mistura com adição de 10% e 20% de fibra de vidro AR. Notou-se que ao adicionar 10% de fibra de vidro AR na mistura, a resistência a compressão diametral aumentou em comparação com a mistura de referência, sem essa fibra. Constatou-se que a mistura com adição de 10% de fibra de vidro AR obteve a maior resistência à flexão com um aumento de 24% em relação à mistura de referência. A massa específica seca da mistura com adição de 10% e 20% de fibra de vidro AR diminui em relação ao valor da mistura de referência. Também foi observado um aumento no índice de vazios nas misturas com a adição de 10% e 20% de fibras de vidro AR. Entretanto, reduziu o coeficiente de permeabilidade em comparação com a mistura de referência.

Palavras-chave: concreto permeável; resistência, permeabilidade; fibra de vidro ar.

ABSTRACT

Soil waterproofing has negative consequences for urban drainage. Without the soil's natural absorption capacity, rainwater is unable to drain properly, resulting in flooding and floods. In addition, inadequate urban drainage also contributes to the pollution of water bodies, as it carries a large amount of solid waste and pollutants present on the streets and sidewalks. Permeable concrete has emerged as a way to mitigate these problems. In this study, mixes of permeable concrete were made using a ratio of 1:4.6, with 10% silica, 0.5% superplasticizer additive in relation to the weight of the cement and 0.34% water (in relation to the cement) added for cement hydration and aggregate absorption. In these mixes, 10% and 20% of alkali-resistant fiberglass (AR) were added in relation to the total weight of the mix. AR fiberglass is resistant to the chemical and aggressive properties of concrete. The influence of adding fibers on the mechanical properties of the mixes was observed by conducting tests such as axial compression strength, compressive tensile strength, three-point bending, specific gravity, void content, and permeability coefficient. It was noted that the addition of AR fiberglass caused a decrease in axial compression strength in the mix with 10% and 20% of AR fiberglass. It was observed that adding 10% of AR fiberglass to the mix increased compressive tensile strength compared to the reference mix without this fiber. The mix with 10% AR fiberglass added obtained the highest bending strength with a 24% increase compared to the reference mix. The dry specific gravity of the mix with 10% and 20% added AR fiberglass decreased compared to the value of the reference mix. An increase in void content was also observed in the mixes with the addition of 10% and 20% of AR fiberglass. However, the permeability coefficient decreased compared to the reference mix.

Keywords: permeable concrete; strength; permeability; ar glass fiber.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Áreas Urbanizadas no Brasil 2019.....	21
Figura 2- Pavimento de Asfalto Permeável.....	22
Figura 3- Pavimento de Concreto Permeável.....	22
Figura 4- Pavimento de Blocos Intertravados	23
Figura 5- Concreto: Impermeável (a) e Permeável (b).....	27
Figura 6- Artigos publicados na plataforma Science Direct desde de 1997.....	29
Figura 7- Esquema de pavimento de concreto permeável seção superior.....	30
Figura 8- Esquema de pavimento de concreto permeável seção longitudinal.....	30
Figura 9- Projeto de pavimento de concreto permeável com infiltração total	31
Figura 10- Projeto de pavimento de concreto com infiltração parcial.	32
Figura 11- Projeto de pavimento de concreto sem infiltração	32
Figura 12- Correlação entre resistência e permeabilidade.....	34
Figura 13- Resistência à compressão x índice de vazios do concreto permeável	34
Figura 14- Resistência à tração x índice de vazios do concreto permeável	34
Figura 15- Corpo de prova: 1 ideal, 2 colmatado	37
Figura 16- Equipamentos para realizar a limpeza do pavimento permeável	39
Figura 17- Misturas: (1) pouca água, (2) quantidade ideal de água, (3) Excesso de água	40
Figura 18- Concreto permeável em funcionamento	41
Figura 19- Curva de distribuição granulométrica da sílica ativa e do cimento	43
Figura 20- Ensaio de resistência à compressão com adição de 10% de sílica no concreto convencional de alta resistência	43
Figura 21- Ensaio de resistência à tração com adição de 10% de sílica no concreto convencional de alta resistência	44
Figura 22-Variação do módulo de elasticidade para diferentes porcentagens de sílica do concreto convencional de alta resistência	44
Figura 23- Corpo de prova de concreto convencional com adição de fibras rompido (1), corpo de prova sem adição de fibras rompido (2)	47
Figura 24- Organograma dos materiais e métodos	50
Figura 25- Curva granulométrica da brita basáltica de 4,75/12,5mm	52
Figura 26- Fibra de Vidro AR	54
Figura 27- Aparelho Estufa com Temperatura a $110\pm 5^{\circ}\text{C}$	55

Figura 28- (a) Amostras de Concreto Permeável Endurecido Submergido Verticalmente no Recipiente Juntamente com o Martelo de Borracha (b) Balança Digital com o Equipamento de Pesagem na Parte Inferior Utilizada na Pesquisa Recomendada pela Norma Americana	57
Figura 29- Amostras Envoltas por Material Plástico Fino de Polímero	60
Figura 30- Corpo de Prova com Capeamento de Enxofre.....	63
Figura 31- Ensaio de Resistência à Tração por Compressão Diametral	63
Figura 32- Ensaio de Resistência à Flexão	64
Figura 33- Fluxograma da Fabricação do Concreto Permeável	66
Figura 34- Diagrama Adaptado para Dosagem das Amostras de Concreto Permeável	68
Figura 35- Massa Específica das Misturas	72
Figura 36- Índice de Vazios	73
Figura 37- Índice de Vazios x Massa específica	75
Figura 38- Coeficiente de Permeabilidade	76
Figura 39- Fibra de Vidro (AR) nos Poros do Concreto Permeável	76
Figura 40- Coeficiente de Permeabilidade X Adição de Fibra de Vidro (AR)	77
Figura 41- Resistência à Compressão Axial	78
Figura 42- Resistência à Compressão Axial x Misturas.....	80
Figura 43- Resistência à Tração por Compressão Diametral	81
Figura 44- Resistência à Flexão	83
Figura 45- Resultados do Módulo de Elasticidade Estático Equação de Goede (2009)	87
Figura 46- Resistência à Compressão Diametral Autor x Chhorn et al. (2018).....	88
Figura 47- Resistência à Flexão Experimental x Chhorn et al. (2018).....	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Tabela 1- Quantitativo de Misturas, Resistência à compressão Axial, Tração na Flexão e Coeficiente de Permeabilidade	36
Tabela 2- Comparação das Propriedades entre o Concreto Convencional e o Concreto Permeável	37
Tabela 3- Comparativo entre Revestimento Permeável com Convencional	39
Tabela 4- Comparação entre concreto convencional e permeável	42
Tabela 5- Percentual Ideal de Sílica, na Mistura do Concreto Permeável em Relação ao Peso do Cimento	45
Tabela 6- Percentual Ideal de Aditivo Retardador de Água na Mistura da Composição do Concreto Permeável, em Relação ao Peso do Cimento.....	46
Tabela 7- Percentual de Adição de Fibras de Vidro no Concreto Convencional	48
Tabela 8- Característica Física e Química do Material Cimentício	51
Tabela 9- Característica Física da Brita 4,75/12,5mm	52
Tabela 10- Característica Física da Sílica Ativa	53
Tabela 11- Característica Física das Fibras de Vidro AR	54
Tabela 12- Porcentagens do Teor de Vazios Sugeridos pelos Pesquisadores	58
Tabela 13- Coeficiente de Permeabilidade Utilizados por Alguns Autores.....	58
Tabela 14- Mistura dos Lotes Elaborados de Concreto Permeável.....	70
Tabela 15- Mistura - Massa Específica	73
Tabela 16- Teste-“t” Massa Específica	73
Tabela 17- Mistura – Índice de Vazios.....	74
Tabela 18- Teste-”t” Mistura x Índice de vazios.....	74
Tabela 19- Mistura x Permeabilidade.....	77
Tabela 20- Teste-”t” Mistura x Permeabilidade.....	77
Tabela 21- Resultados Médios do Ensaio de Resistência à Compressão Axial	80
Tabela 22- Teste-”t” para os Resultados de Resistência à Compressão Axial.....	81
Tabela 23- Resultado Médio do Ensaio de Resistência à Tração por Compressão Diametral.....	82
Tabela 24- Teste-”t” para os Resultados de Resistência à Tração por Compressão Diametral.....	83
Tabela 25- Resultado Médio do Ensaio de Resistência à Flexão a 3 Pontos	84
Tabela 26- Teste-”t” para os Resultados de Resistência à Flexão a 3 Pontos	85
Tabela 27- Propriedades mecânicas	85

Tabela 28- Módulo de Elasticidade Estático Utilizando a Equação de Goede (2009).....	86
Tabela 29- Módulo de Elasticidade Estático de Acordo com a Equação de Goede (2009).....	87
Tabela 30- Propriedades Mecânicas – Autor x Equação de Chhorn et al., (2018).....	88

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	American Society for Testing and Materials
BMPs	Best Management Practices
CP	Cimento Portland
EPA	Environmental Protection Agency
EUA	Estados Unidos da América
FEIS	Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ISO	International Organization for Standardization
LVDT	Linear Variable Differential Transformer
NBR	Norma Brasileira
NEPAE	Núcleo de Ensino e Pesquisa em Alvenaria Estrutural
NM	Norma Mercosul
PNAD	Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios
SP	São Paulo
UNESP	Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

LISTA DE SÍMBOLOS

AR	Álcali- Resistente
$\%$	Porcentagem
$^{\circ}C$	Graus Celsius
μ	Massa Específica
a/c	Relação água/cimento em Massa
b	Largura do Corpo de Prova Prismático
b	Quantidade de Brita em Massa
c	Comprimento
Cc	Consumo de Cimento
D	Massa específica aparente
E	Módulo de Elasticidade
f	Flecha no Meio do Vão do Corpo de Prova Prismático
f_c	Resistência à Compressão Axial
f_{cr}, f	Resistência à Flexão
f_{ct}	Resistência à Compressão Diametral
FS	“Flexural Stiffness” ou Módulo de Flexão
h	Altura do Corpo de Prova Prismático
I	Índice de Vazios
k	Coeficiente de Permeabilidade
l	Dimensão do Vão entre Apoios
P	Carga de Ruptura
R^2	Coeficiente de Determinação
γ_b	Peso Específico Brita
γ_{H2O}	Peso Específico Água
ε	Deformação
ρ_s	Massa Especifica Seca
M_r	Massa do recipiente
M_t	Massa total
V_r	Volume do recipiente
Φ	Índice de vazios do concreto

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	Considerações iniciais	19
1.2	Objetivos.....	24
1.3	Estrutura do trabalho	25
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	26
2.1	Concreto permeável: Maneira de mitigar às áreas impermeável	26
2.2	Perda da capacidade de infiltração do pavimento de concreto permeável	38
2.3	Concreto permeável.....	41
2.4	Estudo da resistência	48
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	50
3.1	Materiais.....	51
3.1.1	Aglomerantes	51
3.1.2	Agregados.....	51
3.1.3	Aditivo	52
3.1.4	Água	53
3.1.5	Sílica ativa	53
3.1.6	Fibras de vidro AR.....	53
3.2	PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICA DO CONCRETO PERMEÁVEL ...	54
3.2.1	Densidade	55
3.2.2	Índice de Vazios	56
3.2.3	Coeficiente de permeabilidade	58
3.2.4	Água de absorção do agregado graúdo de granulometria 4,75/12,5mm	60
3.2.5	Módulo de elasticidade.....	61
3.2.6	Ensaio de resistência mecânico.....	61
3.3	MISTURAS REALIZADAS NO LABORATÓRIO	64
3.3.1	Método para realizar a mistura	64
3.3.2	Moldagens das amostras de concreto permeável	66
3.3.3	Cura das amostras endurecidas de concreto permeável.....	67
3.3.4	Procedimentos antes da ruptura	67
3.3.5	Método adaptado de mistura	68
3.3.6	Análise estatística	71
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	72

4.1	Resistências mecânicas	78
5	CONCLUSÕES	90
5.1	Sugestões para trabalhos futuros	91
	REFERENCIAS	93

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações iniciais

O processo de urbanização no Brasil teve início principalmente a partir da década de 1940 e intensificou-se nas décadas seguintes. A mecanização da produção agrícola, aliada às políticas governamentais que estimulavam a modernização do campo, levou à expulsão de muitos trabalhadores rurais de suas terras. Esses trabalhadores, em busca de melhores condições de vida e oportunidades de emprego, migraram em massa para as cidades ocasionando o êxodo rural.

De acordo com dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) 2015, cerca de 84,72% dos brasileiros vivem em áreas urbanas e apenas 15,28% deste montante vivem em áreas rurais. (IBGE,2015).

Para Canholi (2015) a urbanização desordenada, inadequada e a má utilização do solo têm provocado uma redução na eficiência do armazenamento e escoamento da água resultando em enchentes e alagamentos, principalmente durante períodos de chuvas intensas.

Com o elevado crescimento populacional e urbano nas cidades, tem ocorrido a pavimentação de vias, calçadas e lotes, modificando a vegetação nativa. Esse processo gera vários problemas e impactos ambientais, como o aumento da impermeabilização do solo, que causa uma diminuição drástica da capacidade de absorção da água, resultando em enchentes e ilhas de calor, entre outros problemas (Lopes, W. *et al.*, 2020).

Teixeira *et al.*, (2020) salientam que o planejamento urbano e a delimitação da zona de ocupação e impermeabilização do solo impactam diretamente no controle dos recursos hídricos, de modo a prevenir enchentes e a poluição do lençol freático. Isso contribui para uma melhor sustentabilidade e qualidade de vida dos habitantes das cidades.

A urbanização provoca aumento na precipitação sobre áreas impermeáveis, resultando em maior velocidade no deslocamento da água. Isso, por sua vez, leva a um aumento no escoamento superficial e contribui para a diminuição da infiltração e evapotranspiração do solo, resultando em um aumento na vazão superficial, ou seja, nas enchentes (Tucci, 2016).

Teixeira *et al.*, (2020) destacam que, devido à falta de conhecimentos, estudos e, muitas vezes, planejamento urbano, o sistema de escoamento no Brasil ocorreu por meio da drenagem hidráulica, priorizando a eficácia da vazão, sem considerar os efeitos gerados a jusante.

Procurou-se conduzir as águas pluviais para fora da cidade sem levar em consideração seu destino e os impactos ambientais causados por elas.

Diante do contexto do crescimento populacional urbano Paula *et al.*, (2017), relatam que foram desenvolvidos novas técnicas e métodos capazes de atenuar os efeitos do escoamento das enchentes nas áreas urbanas visando a utilização de boas práticas que minimizam a drenagem escoada superficialmente.

Diante deste cenário, estão inseridas as “**Best Management Practices (BMPs)**” (Melhores Práticas de Gestão) elaboradas pela “**Environmental Protection Agency (EPA)**” (Agência de Proteção Ambiental) nos Estados Unidos da América (EUA). Esses métodos e práticas foram implementados nos anos 80 com o objetivo de evitar problemas de transferências de montante para jusante (Batezini, 2019).

Canholi (2015) ressalta que, entre esses métodos empregados, estão a utilização de reservatório de contenção de cheias e também os pavimentos permeáveis como forma de mitigar as enchentes, através do armazenamento e da infiltração do escoamento superficial nas áreas de urbanização.

Os pavimentos permeáveis tornaram-se uma ótima opção para minimizar os problemas de drenagem urbana, como a impermeabilização do solo, que resulta no escoamento da água pluvial para os rios, ocasionando inundação (Hammes *et al.*, 2018).

Santos (2020) afirma que existem dois grupos com diferentes métodos de drenagem urbana da água pluvial. O primeiro grupo consiste na percolação da água entre os poros do mecanismo, permitindo a infiltração e o retorno da água para o lençol freático, minimizando o impacto do escoamento na superfície. O segundo grupo consiste na utilização de caixas de retenção, técnica que colabora no armazenamento temporário da água antes de ser gradualmente liberada para o solo, minimizando o escoamento superficial. O pavimento de concreto permeável pode atuar entre ambos os grupos. Essa flexibilidade permite que o pavimento de concreto permeável seja adaptado aos requisitos específicos do local e das condições climáticas.

Por exemplo, em áreas com alto índice pluviométrico, pode ser mais eficiente direcionar a água pluvial para caixas de retenção, onde ela é armazenada e liberada gradualmente para evitar sobrecarregar o lençol freático. Em outros casos, onde o lençol freático é um recurso escasso, a percolação direta através do pavimento de concreto permeável pode ser mais adequada

Portanto, é crucial encontrar métodos e práticas construtivas que minimizem as áreas impermeáveis. Os pavimentos de concreto permeáveis têm um papel fundamental nessa demanda, contribuindo consideravelmente para a diminuição das áreas impermeáveis.

Figura 2 - Pavimento de Asfalto Permeável



Fonte: Martins (2010).

Figura 3 - Pavimento de Concreto Permeável



Fonte: TECNOSIL.

Figura 4 - Pavimento de Blocos Intertravados Permeável



Fonte: Martins (2010).

O concreto permeável tem se mostrado uma ótima opção para atenuar os impactos ambientais devido à impermeabilização do solo. O mesmo possui grandes quantidades de vazios em sua estrutura, o que possibilita uma grande infiltração em seus poros e, consequentemente, uma diminuição em sua resistência se comparado ao concreto convencional (Alshareedah *et al.*, 2019). Além disso, segundo Bigotto (2021), é essencial elaborar métodos e práticas tecnológicas construtivas relacionadas ao concreto permeável para diminuir os impactos ambientais causados pela impermeabilização, ao mesmo tempo em que se garante uma boa resistência mecânica.

Diante desse contexto, Qin *et al.*, (2021) mencionam que a adição de fibras de vidro ao concreto aumenta sua resistência ao desgaste, à compressão diametral e à tração na flexão.

As fibras de vidro são materiais que possuem seção longitudinal maior do que a seção transversal. Elas possuem alta resistência mecânica e são amplamente utilizadas na indústria da construção civil para reforçar o concreto convencional. No entanto, o concreto é um material alcalino, o que significa que possui um pH elevado. Esse ambiente alcalino pode afetar as propriedades químicas das fibras de vidro ao longo do tempo, resultando em alterações em sua estrutura e, consequentemente, perda de algumas características de resistência do concreto, como a resistência à compressão diametral e à tração na flexão.

Para minimizar os efeitos da alcalinidade, são utilizados revestimentos de proteção nas fibras de vidro antes de sua incorporação ao concreto. Esse revestimento é geralmente composto por material resistente à alcalinidade, como o óxido de zircônio, o qual ajuda a preservar as propriedades mecânicas das fibras durante sua vida útil no concreto. A norma Europeia EN 15422 (2008) determina que o teor mínimo admissível de óxido de zircônio nas fibras de vidro AR seja de 16%. Essa porcentagem torna as fibras resistentes à composição química do concreto. No Brasil, não existem normas técnicas para regulamentar as especificações das fibras de vidro e sua utilização em pavimentos.

O Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON), juntamente com a Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural (ABECE), elaborou o comitê técnico CT- 303 de prática recomendada IBRACON/ABECE 2017b para realizar o controle tecnológico das fibras de vidro AR e seu uso estrutural em concreto convencional (Manziona, 2019).

1.2 Objetivos

O uso do concreto permeável tem o potencial de mitigar os problemas relacionados à impermeabilização do solo. O concreto permeável possui características importantes como a infiltração da água, reabastecendo o lençol freático; purificação da água pluvial, através dos seus poros e contribui para abaixar a temperatura ambiente, amenizando o efeito estufa. Desse modo, este trabalho tem por objetivo os seguintes itens:

- a) apresentar uma breve revisão bibliográfica para melhor compreensão das principais características e estudos realizados sobre o concreto permeável para sua utilização em pavimentos.
- b) desenvolver traços de concreto permeável, com três diferentes misturas: mistura de referência; mistura com adição de 10% e 20%, de fibra de vidro AR, em relação ao volume do concreto, buscando investigar a massa específica, índice de vazios e coeficiente de permeabilidade.
- c) analisar as misturas em relação às propriedades mecânicas: resistência à compressão axial, resistência à tração por compressão diametral e resistência à flexão.
- d) realizar uma análise comparativa entre os resultados obtidos nos ensaios de propriedades mecânicas realizados no laboratório, tais como tração por compressão diametral e a flexão, e compará-lo com a equação desenvolvida pelos autores (Chornn *et al.*, 2018).

1.3 Estrutura do trabalho

O primeiro capítulo dessa dissertação apresenta uma breve introdução sobre áreas urbanas e superfícies impermeáveis, bem como seus prejuízos. Além disso, são apresentadas justificativas para o uso do pavimento em concreto permeável.

O capítulo dois aponta as principais características do concreto permeável e influência da adição de fibra de vidro AR, por meio de uma revisão da literatura bibliográfica.

O capítulo três destaca os materiais e métodos utilizados para a confecção dos corpos de prova e a realização de ensaios laboratoriais.

O capítulo quatro apresenta os resultados e a discussão, assim como considerações importantes sobre os resultados obtidos e comparados com a equação desenvolvida pelos autores (Chornn *et al.*, 2018).

O capítulo cinco apresenta as conclusões pertinentes à pesquisa e sugestões para trabalhos futuros.

Finalmente, o capítulo seis destaca as referências bibliográficas que foram empregadas na dissertação.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Concreto permeável: Maneira de mitigar as áreas impermeáveis

O grande crescimento populacional e a impermeabilização do solo têm gerado grandes debates em relação a drenagem urbana e seus impactos ambientais. A utilização do concreto permeável em pavimentos é uma das maneiras mais eficientes para infiltração da água pluvial (Pinheiro *et al.*, 2020).

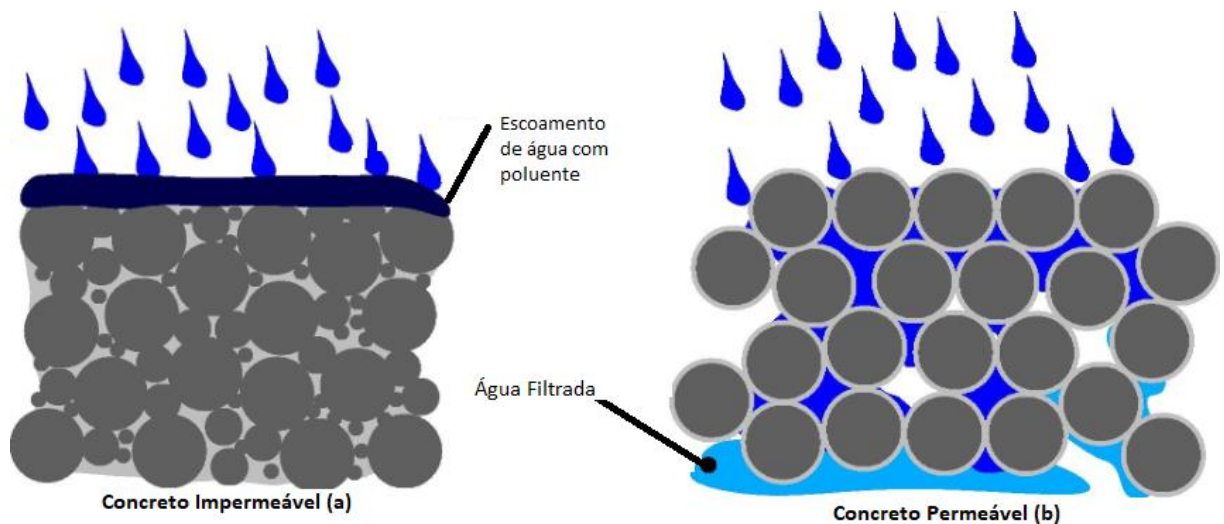
O concreto permeável é um material com grande potencial para solucionar os problemas causados pela impermeabilização do solo. Isso ocorre porque ele permite o escoamento da água em seus poros abertos, proporcionando um controle eficiente das águas pluviais. Essa característica contribui para resolver questões relacionadas às áreas impermeáveis, como ilhas de calor, ruído causado pelos pneus no pavimento, aquaplanagem, poluição e escassez de águas subterrâneas (Zhong *et al.*, 2018).

Xiang Shu *et al.*, (2011) mencionam que cada vez mais estão sendo utilizados pavimentos de concreto permeável devido ao seu impacto positivo ecologicamente. Este material está sendo empregado principalmente em pavimentos com baixo volume de tráfego e velocidade, como estacionamentos, por exemplo.

Liao *et al.*, (2023) destacam que o concreto permeável possui características importantes relacionadas à drenagem, como a purificação da água e a redução de ruídos por meio da absorção sonora, tornando-o um excelente material para ser utilizado em pavimentos urbanos, jardins e taludes de rodovias.

Ozel *et al.*, (2022) definem o concreto permeável como um material com grãos abertos, ou seja, com poucos ou nenhum fino em sua mistura. Esse tipo de concreto possui uma estrutura de poros interconectados que permite o rápido fluxo da água, o que o torna altamente funcional. A Figura 5 ilustra o concreto convencional (a) e o concreto permeável (b).

Figura 5 - Concreto :(a) Impermeável (b) Permeável



Fonte: Adaptado de ZHONG *et al.*, (2018).

Xie *et al.*, (2019) enumeram as principais vantagens de utilizar o concreto permeável em pavimentos.

Vantagens:

- Redução do escoamento de água pluvial na superfície, facilitando a infiltração e evitando problemas de enchentes e alagamentos.
- Reabastecimento de águas subterrâneas, permitindo a recarga dos aquíferos e garantindo o abastecimento de água para diferentes usos.
- Aumento da aderência a frenagem na superfície do concreto, o que melhora a segurança dos veículos durante a condução.
- Melhoria da qualidade da água do lençol freático, pois as águas infiltradas podem ser filtradas naturalmente, removendo impurezas e agentes poluentes antes de alcançar os aquíferos.
- Redução da aquaplanagem, evitando acidentes de trânsito causados por perda de controle em superfícies escorregadias devido à água acumulada.
- Minimização do efeito de calor, pois o concreto permeável absorve menos calor comparado ao concreto tradicional, ajudando a reduzir a formação de ilhas de calor nas áreas urbanas.
- Minimização do ruído do tráfego, uma vez que o concreto permeável absorve parte do som dos veículos em movimento, contribuindo para o conforto acústico nas áreas urbanas.

- Melhora da vegetação dos centros urbanos, pois a permeabilidade do concreto permite que as raízes das plantas tenham acesso à água e nutrientes do solo, promovendo um melhor desenvolvimento da vegetação.
- Aumento na segurança do tráfego, pois a infiltração adequada da água evita a formação de poças e reduz o risco de derrapagens e acidentes.
- Silva (2019) cita as principais desvantagens da utilização do concreto permeável em pavimentos.

Desvantagens:

- Risco de entupimento dos poros que pode ocorrer na produção ou manutenção inadequada do concreto permeável
- Baixa resistência em comparação com o concreto convencional
- Limitações na durabilidade do concreto permeável

Li *et al.*, (2013) afirmam que o escoamento superficial do pavimento em ruas, estradas e rodovias contém quantidades significativas de poluentes orgânicos e inorgânicos. Para mitigar esses problemas de drenagem urbana, o uso de pavimento de concreto permeável tem se mostrado viável em termos de infiltração e recarga do lençol freático.

Saadeh *et al.*, (2019) mencionam que a estrutura do concreto permeável purifica a água ao retirar as partículas suspensas quando a água se move entre os poros. Os pesquisadores afirmam que, quando em serviço, o concreto permeável remove 94,3% do teor de poluentes da água.

Chockalingam *et al.*, (2023), ressaltam que o uso do pavimento de concreto permeável é uma solução viável para aumentar a aderência na superfície e superar o problema de derrapagem, tornando o tráfego mais seguro.

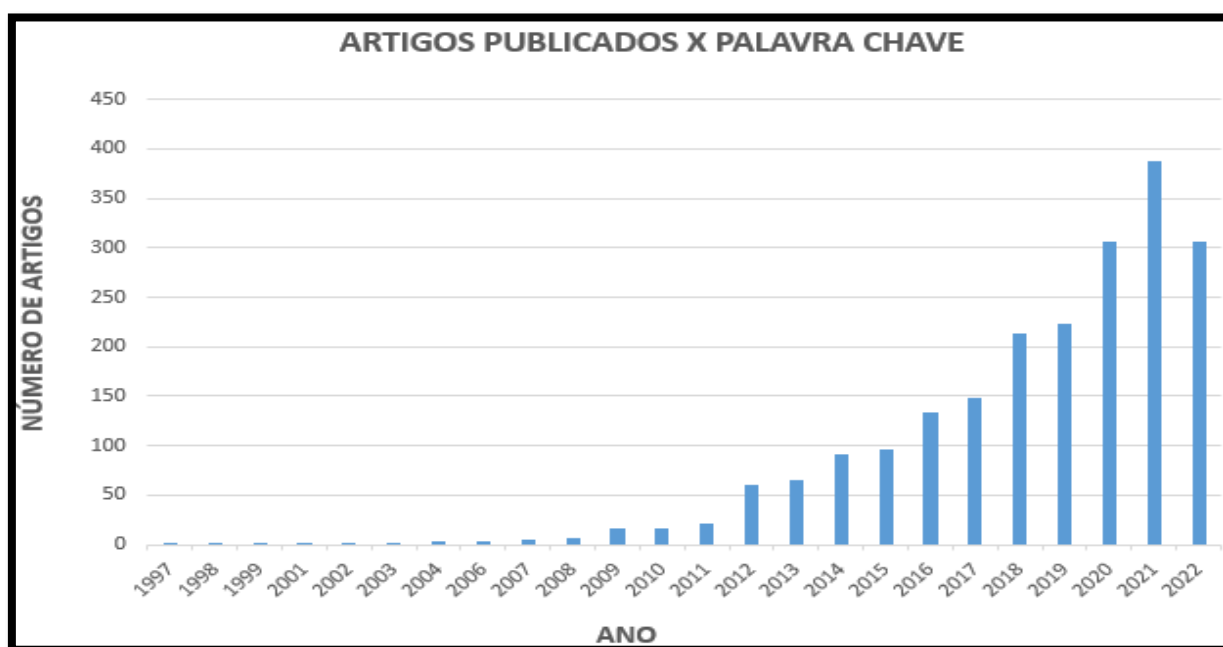
Singh *et al.*, (2020) declaram que o pavimento asfáltico impermeável funciona como meio de retenção de calor durante o dia e devolve o calor para a atmosfera durante a noite, aumentando assim a temperatura ambiente em aproximadamente de 2 a 12 °C, o que leva ao efeito "ilha de calor".

Li *et al.*, (2013) por sua vez, reiteram que o pavimento de concreto permeável reduz a temperatura em torno de 7°C, variando de acordo com a umidade do local, e diminui o efeito de "ilha de calor".

Chu *et al.*, (2017) apontam que é possível reduzir o nível de som gerado pelo atrito entre o pneu e o pavimento causado pela passagem de veículos em cerca de 90%, apenas modificando a granulometria utilizada na dosagem.

Impulsionados pela busca de metodologias ecologicamente corretas para minimizar os problemas de drenagens urbanas, o pavimento de concreto permeável apresentou-se de grande relevância. Isso pode ser observado na Figura 6, que mostra a grande quantidade de pesquisas publicadas em periódicos de relevância utilizando as palavras-chave "**pervious concrete sidewalk sustainability**" (pavimento e concreto permeável, sustentabilidade), como evidenciado na Figura 6.

Figura 6 - Artigos Publicados na Plataforma Science Direct desde de 1997



Fonte: Elaboração do autor.

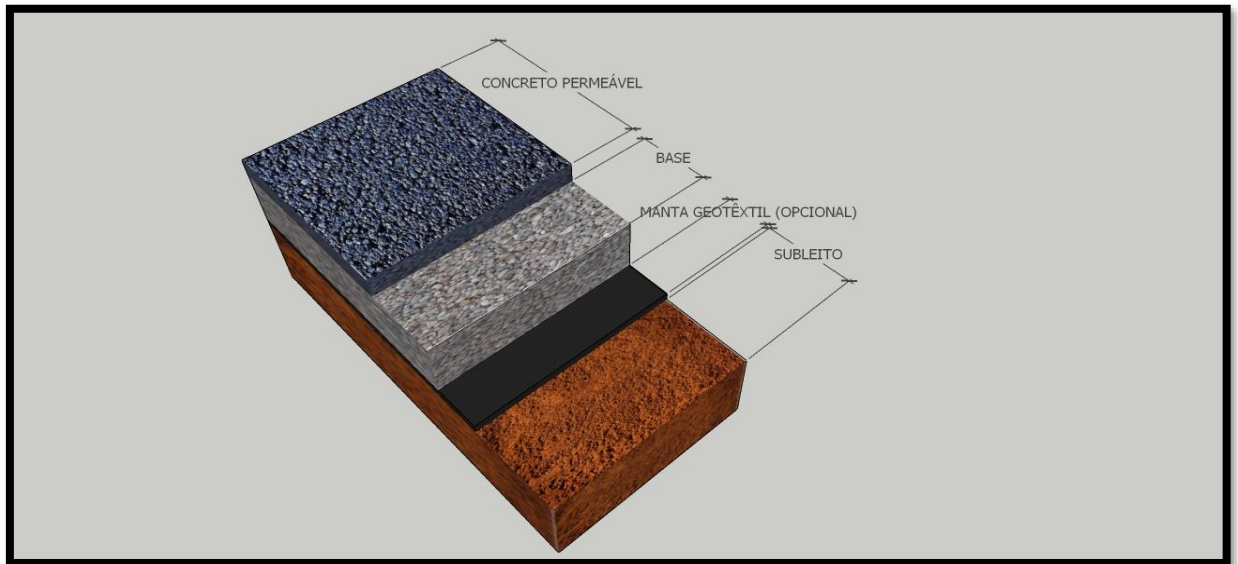
O pavimento permeável comumente é composto por um revestimento de concreto permeável na superfície, seguido por uma base e, por fim, por um subleito (solo). Pode incluir também uma manta geotêxtil permeável, embora não seja obrigatória (FERGUSON, 2005).

Kia *et al.*, (2017) descreveram o pavimento de concreto permeável como sendo composto por uma camada de concreto permeável, que possui um índice de vazios de 15 a 35%. A base, na maioria das vezes, é feita de agregados graúdos e sua espessura é determinada pelo impacto resultante das cargas e também pela capacidade de drenagem. É opcional a utilização de uma manta geotêxtil permeável entre a base e o solo. Por fim, temos o subleito, que é o solo.

Rojas *et al.*, (2018) afirmam que o pavimento de concreto permeável deve ser projetado e dimensionado corretamente para ter um bom desempenho, garantindo assim um pavimento

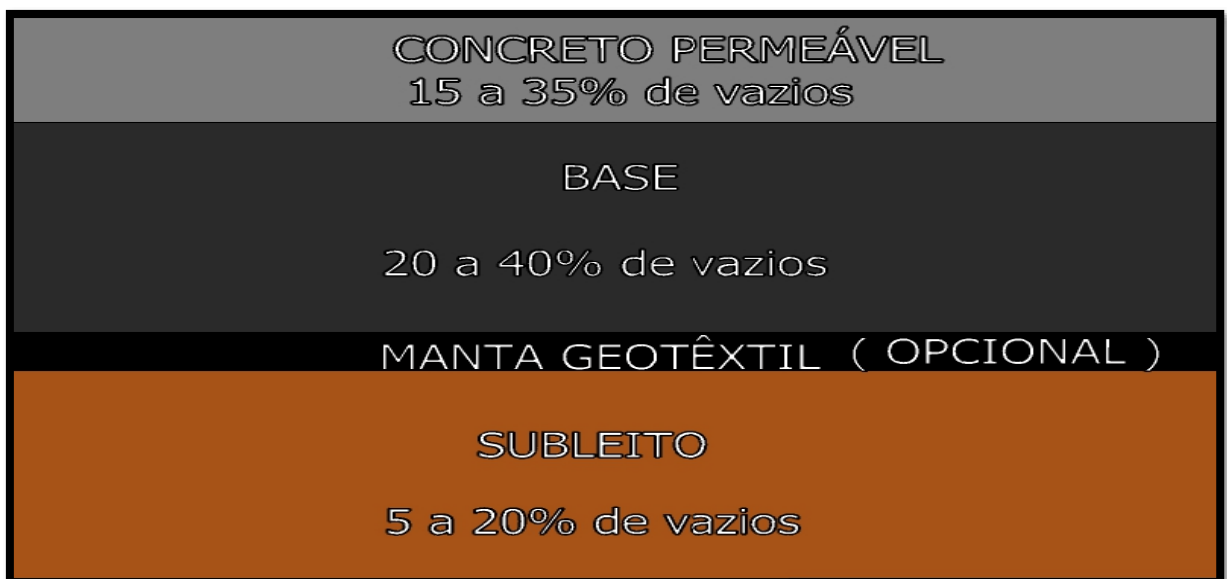
adequado para o tráfego de pedestres ou veículos leves, além de manter a infiltração de água pluvial. As Figuras 7 e 8 ilustram o pavimento de concreto permeável.

Figura 7 - Esquema de Pavimento de Concreto Permeável Seção Superior



Fonte: Elaboração do autor.

Figura 8 - Esquema de Pavimento de Concreto Permeável Seção Longitudinal



Fonte: Elaboração do autor.

As características do subleito, têm um impacto significativo no funcionamento de um pavimento permeável. Se o solo tiver alta permeabilidade, isso significa que ele possui a capacidade de absorver e drenar a água com eficiência, tornando o pavimento permeável eficaz na remoção da água da superfície.

No entanto, se o subleito não apresentar condições adequadas de infiltração, isso significa que a água não será capaz de penetrar no solo e será armazenada na estrutura do pavimento. Isso pode resultar em problemas, tais como deterioração da camada superficial, perda de capacidade de drenagem e até mesmo falhas estruturais.

Nesses casos, é necessário incluir drenos no projeto do pavimento permeável para remover a água acumulada. Esses drenos ajudam a evitar problemas decorrentes do acúmulo de água, permitindo que ela seja removida adequadamente e evitando danos ao pavimento.

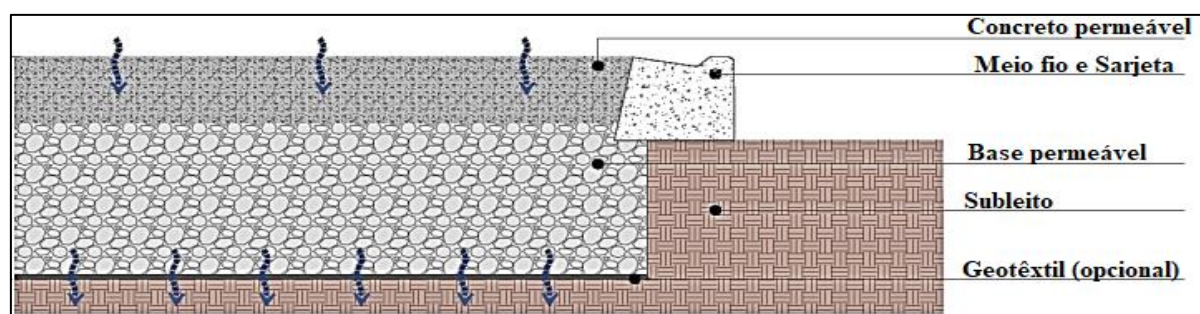
Em situações em que o solo apresenta uma permeabilidade relativamente alta, mas ainda insuficiente para lidar com eventos de chuva mais intensos, é necessário considerar que parte da precipitação será capaz de se infiltrar no solo, enquanto outra parte será escoada pelo sistema de drenagem. Isso é essencial para garantir que a quantidade de água que atinge a estrutura do pavimento seja gerenciada de forma adequada.

Portanto, as propriedades do subleito são um aspecto crucial a ser considerado no projeto de um pavimento permeável. Um solo com baixa permeabilidade pode exigir a inclusão de drenos adicionais, enquanto um solo com alta permeabilidade pode garantir a eficácia do pavimento permeável na remoção da água da superfície (Eisenberg *et al.*, 2015).

O pavimento de concreto permeável pode ser fabricado de três maneiras (ABCP 2013, Eisenberg *et al.*, 2015, ABNT 16416, 2015).

- a) **Com infiltração total no solo:** O subleito possui boa permeabilidade, permitindo que toda a água percolada entre os poros do concreto permeável retorne ao subsolo, conforme observado na Figura 9.

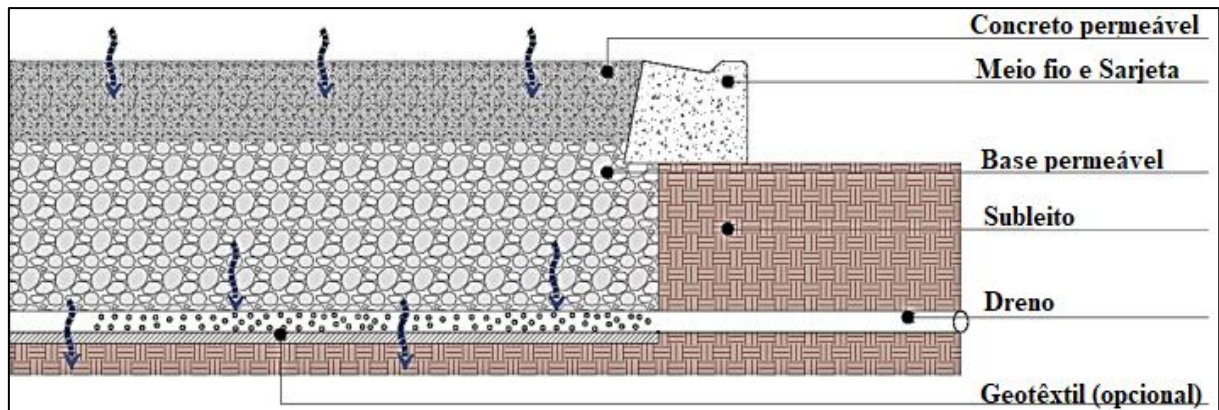
Figura 9 - Projeto de Pavimento de Concreto Permeável com Infiltração Total



Fonte: Adaptado da ABCP (2013).

- b) **Com infiltração parcial no solo:** O subleito não suporta toda a água drenada pelo pavimento de concreto permeável parte da água é absorvida pelo subleito, e o restante escoar através de drenos. De acordo com a ilustração da Figura 10

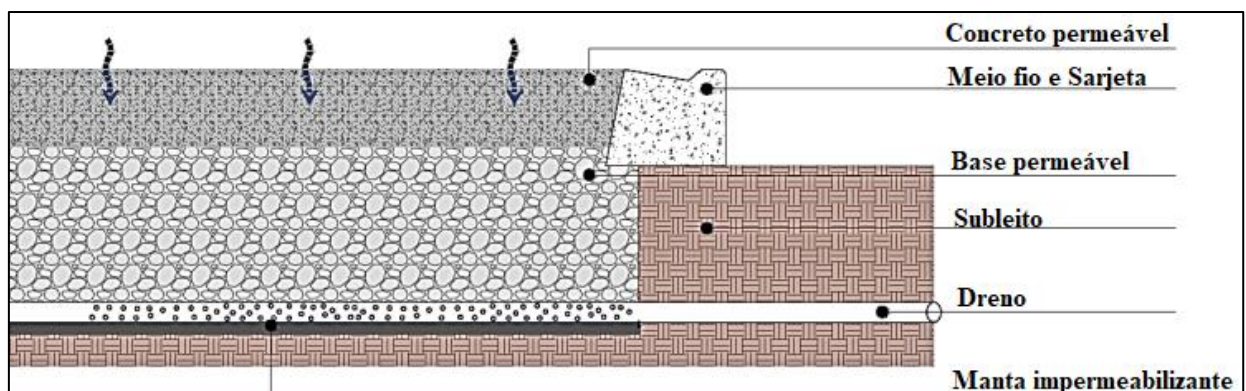
Figura 10 - Projeto de Pavimento de Concreto Permeável com Infiltração Parcial



Fonte: Adaptado da ABCP (2013).

- c) **Sem infiltração no solo:** O subleito não apresenta capacidade drenante, toda a água percolada é escoada através do dreno, como pode ser observado na Figura 11.

Figura 11 - Projeto de Pavimento de Concreto Permeável sem Infiltração



Fonte: Adaptado da ABCP (2013).

Para analisar as propriedades do concreto permeável, é de suma importância estudar a permeabilidade e o índice de vazios, que são características peculiares desse material. Para isso, buscou-se literaturas pertinentes ao tema.

Fu *et al.*, (2023) estimam que, para um concreto permeável ter uma boa característica de permeabilidade, é recomendado que possua de 15% a 35% de índice de vazios, a fim de garantir uma boa percolação entre os poros, juntamente com uma resistência à compressão axial de 7 a 25 MPa.

Elango *et al.*, (2021) recomendam que o concreto permeável tenha um coeficiente de permeabilidade entre 2 a 8 mm/s para garantir uma drenagem eficiente. Entretanto, não há um valor padrão estabelecido na literatura para o coeficiente de permeabilidade.

A NBR 16416 (ABNT, 2015) é uma norma brasileira responsável por estabelecer e determinar as características do concreto permeável. Esta norma recomenda um mínimo de 1 mm/s como coeficiente de permeabilidade.

Elango *et al.*, (2021) referem-se a esse valor normativo como sendo baixo, considerando que uma das principais características negativas do concreto permeável é o entupimento dos poros e, conseqüentemente, a impermeabilização do pavimento.

Joshi e Dave (2021) mencionam que, para obter um bom índice de vazios na produção do concreto permeável, é necessário reduzir ou eliminar os materiais finos utilizados na sua fabricação, tais como os agregados miúdos.

Diante desse cenário, é primordial que haja estudos prévios quanto ao local onde será aplicado o concreto permeável, tais como a intensidade, frequência e duração das chuvas, além da área de contribuição do escoamento (Silva, 2019).

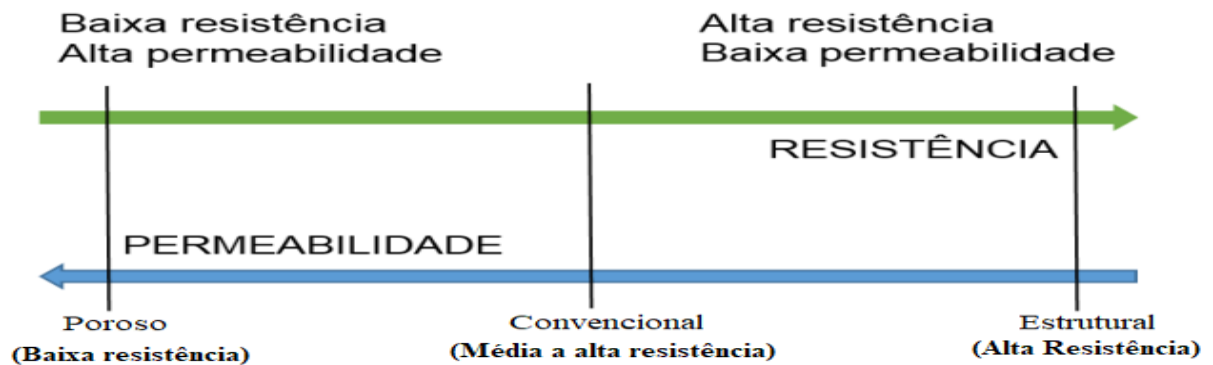
Segundo Liao *et al.*, (2023), a resistência à compressão axial do concreto permeável é baixa, variando geralmente de 5 a 30 MPa. Além disso, o índice de vazios desse tipo de concreto costuma ser de 15% a 30%. Isso ocorre porque a relação de vazios é inversamente proporcional à resistência, ou seja, quanto maior o índice de vazios, menor será a resistência do concreto permeável.

Putman e Neturno (2011) afirmam que a resistência à compressão axial, diametral e à flexão do concreto permeável é significativamente diferente do concreto comum. Isso se deve ao fato de que o concreto permeável possuir menor resistência devido à carência de materiais finos e à presença de uma maior quantidade de poros em sua estrutura.

Al-Shareedah e Nassiri (2021) mencionam que a resistência e o índice de vazios do concreto permeável são inversamente proporcionais. Em outras palavras, quanto maior a resistência do concreto permeável, menor será o índice de vazios e, conseqüentemente, menor será a permeabilidade.

Dellate (2005) concluiu que existe uma correlação entre a resistência e a permeabilidade, o que significa que quanto maior a resistência, menor será a permeabilidade. Essa relação explica o fato do concreto permeável possuir baixa resistência, pois o mesmo tem um alto índice de porosidade em sua estrutura. A Figura 12 apresenta a correlação entre resistência e permeabilidade, para os concretos poroso, convencional e estrutural.

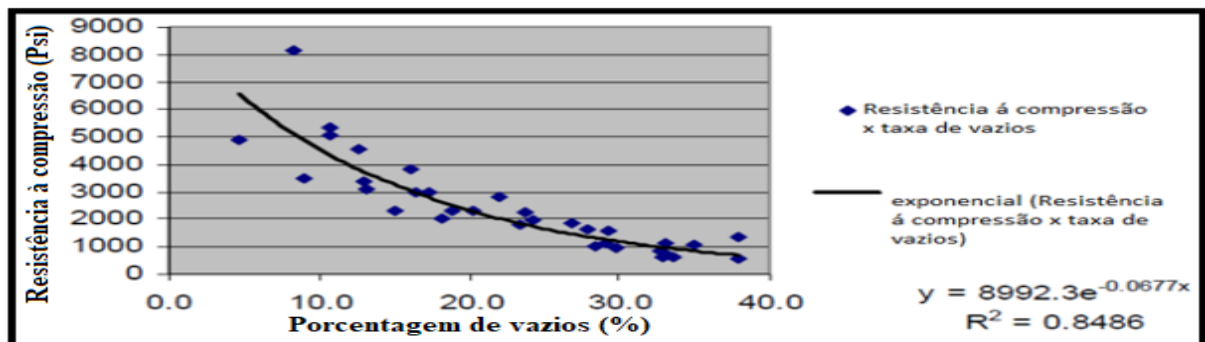
Figura 12 - Correlação entre Resistência e Permeabilidade



Fonte: Adaptado de Dellate (2005).

Delatte *et al.*, (2009) correlacionam a resistência à compressão e tração com o índice de vazios e permeabilidade do concreto permeável. Ao analisar a linha exponencial, observa-se que o aumento da resistência reduz o índice de vazios, conforme ilustrado nas Figuras 13 e 14.

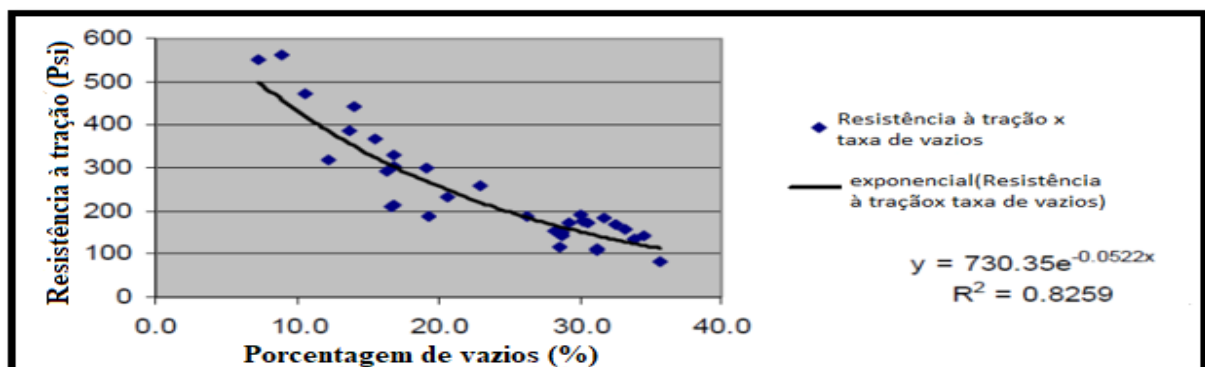
Figura 13 - Resistência à Compressão x Índice de Vazios do Concreto Permeável



Fonte: Adaptado Dellate *et al.*, (2009).

Legenda: 1 Psi equivale a 0,00689476 Mpa

Figura 14 - Resistência à Tração x Índices de Vazios do Concreto Permeável



Fonte: Adaptado Dellate *et al.*, (2009).

Legenda: 1 Psi equivale a 0,00689476 Mpa.

No concreto convencional, facilmente se obtém uma resistência à compressão axial acima de 30 MPa. Esses valores são muito superiores em comparação com a resistência do concreto permeável.

A baixa resistência do concreto permeável torna-se um fator limitante em relação à sua utilização. A NBR 16416 (ABNT, 2015) descreve algumas aplicações para o concreto permeável, como tráfego de pedestres e veículos leves, em situações onde alta resistência não é necessária.

O American Concrete Institute (Instituto Americano do Concreto) também descreve algumas funcionalidades para a utilização do concreto permeável (ACI 522, 2010).

- Calçadas;
- Estacionamentos;
- Pavimentos de tráfego de veículos leves;
- Quadras para tênis;
- Camada de base para pavimentos;
- Paredes com finalidade de isolamento acústico;
- Aterros de ponte;
- Decks de piscinas;

Outro ponto importante a relatar é o fator água-cimento, pois ele não influencia apenas na trabalhabilidade, mas também na resistência do concreto. A falta de água prejudica a hidratação do cimento, resultando em perda de resistência. Por outro lado, o excesso de água causa segregação da pasta de cimento, que escorre entre os agregados e se deposita no fundo, podendo ocasionar a obstrução dos poros na parte inferior do concreto permeável.

Sing *et al.*, (2020) sugerem que o fator água cimento (a/c) seja de aproximadamente 0,25 a 0,45 em relação à quantidade de cimento. Eles mencionam que se for adicionada uma quantidade de água acima desses valores, pode ocorrer o processo de colmatação, ou seja, o entupimento dos poros.

Elango *et al.*, (2021) afirmam que, para produzir um concreto permeável com boas características de resistência e permeabilidade, o teor de água/cimento pode variar de 0,26 a 0,45, o índice de vazios entre 15% e 30%, e a resistência à compressão pode variar de 2,8 a 28 MPa.

De acordo com Kia *et al.*, (2021), a resistência do pavimento de concreto permeável é inferior a 30 MPa, devido ao índice de vazios que varia de 15 a 30%. Essa resistência é considerada baixa quando comparada ao concreto convencional.

A Tabela 1 descreve alguns autores, quantidades de materiais, resistência à compressão axial, resistência à tração na flexão e coeficiente de permeabilidade para as respectivas misturas de concreto permeável.

Tabela 2- Quantitativo de Misturas, Resistência à compressão Axial, Tração na Flexão e Coeficiente de Permeabilidade

Autor	Fator cimento/agregado (1:m)	Fator água/cimento (A/C)	Resistência à compressão axial (MPa)	Resistência à tração na flexão (MPa)	Permeabilidade (mm/s)
Batezini, R.(2013).	1:4,44	0,30	7,51	2,03	1,4
Bigotto, S, A, M., (2021).	1:3,5	0,35	21,6	ND	8,39
Garozzi, (2013).	1:5	0,29	9,57	ND	16,2
Ibrahim <i>et al.</i> , (2014).	1:8	0,35	3,22	0,65	24,1
	1:8	0,40	3,67	0,84	27,0
	1:7	0,35	3,07	0,65	24,1
	1:6	0,35	5,14	0,81	15,8
Joshi e Dave (2021).	1:3,97	0,40	15,27	2,91	ND
Lamberti, L, A., (2019).	1:4	0,36	7,72	2,19	13
Lim <i>et al.</i> , (2013).	1:4,25	0,30	13,7	3,05	15,4
	1:6,45	0,3	8,5	ND	ND
	1:4,25	0,30	14,25	1,92	22,1
Zaetang <i>et.al.</i> , (2013).	1:4,5	0,24	13-17	2,8-4,8	2,2-10.1
Yap <i>et al.</i> , (2018).	1:3,6 – 1:4,1	0,35	5,5 – 11,4	1,7 – 2,4	14,2 - 26,4

Fonte: Elaboração do autor.

Na Tabela 1 as letras ND representam "não determinado pelo autor".

A Tabela 2 ilustra as propriedades do concreto convencional e do concreto permeável, tais como índice de vazios, resistência à compressão e densidade.

Tabela 2 – Comparação das Propriedades entre o Concreto Convencional e o Concreto Permeável

Propriedades	Concreto Convencional	Concreto permeável
ÍNDICE DE VAZIOS	3% a 5%	15% a 40%
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	20 MPa a 50MPa	5 MPa a 25MPa
DENSIDADE	2400 kg/m ³ a 2500 kg/m ³	1800 kg/m ³ a 2100 kg/m ³

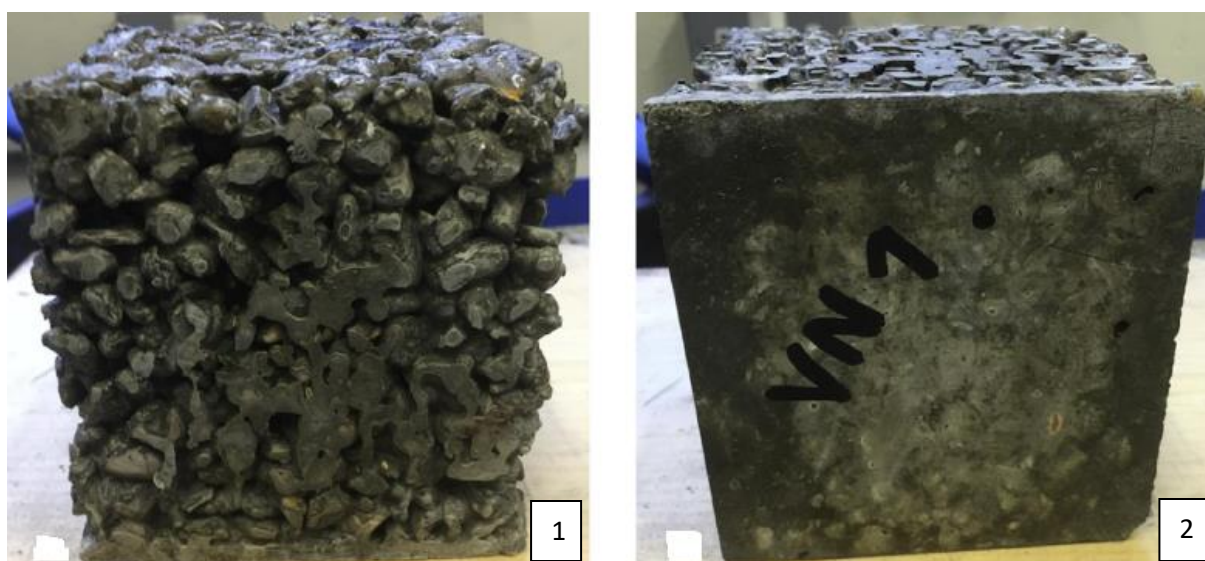
Fonte: JOSHI TEJAS.; DAVE URMIL (2021).

Um dos maiores desafios na utilização do concreto permeável é superar a baixa resistência. É crucial dosar corretamente a relação água/cimento (a/c), pois o excesso de água pode obstruir os poros e comprometer a durabilidade do concreto permeável (Li *et al.*, 2017).

O processo de colmatação no concreto permeável pode ser ocasionado devido ao excesso de água ou à compactação excessiva, o que leva à segregação do agregado e aglomerante, resultando no entupimento dos poros (BIGOTTO, 2021). O pesquisador afirma que o método de compactação que utiliza o martelo de Proctor nos corpos de prova produzidos in loco é semelhante ao procedimento de compactação realizado em laboratório.

Putman e Neturno (2011) mencionam que o método de compactação é utilizado para unir os agregados com a pasta cimentícia e afirmam que o excesso de compactação pode ocasionar o desprendimento da pasta de cimento com a brita, levando-a para a parte inferior e diminuindo a porcentagem de vazios, o que pode causar entupimento no concreto permeável. Este caso é ilustrado na Figura 15.

Figura 15 - Corpo de Prova: 1 Ideal, 2 Colmatado



Fonte: KIA *et al.*, (2017).

2.2 Perda da Capacidade de Infiltração do Pavimento de Concreto Permeável

A norma NBR 16416 (2015) estabelece os requisitos e métodos de ensaio para avaliação do desempenho de pavimentos permeáveis. Essa norma define procedimentos para a realização do ensaio de infiltração de água e estabelece critérios de aceitação para o índice de coeficiente de permeabilidade do pavimento.

Kayhanian *et al.*, (2012) realizaram um estudo sobre a permeabilidade de 20 pavimentos de estacionamentos fabricados com concreto permeável em diferentes localidades da Califórnia (EUA). Os pesquisadores identificaram que a taxa de infiltração de água varia de acordo com a região. Esse estudo também observou que a permeabilidade do concreto permeável diminui ao longo do tempo devido à acumulação de sujeira e detritos. Portanto, torna-se necessário realizar uma manutenção regular para garantir a eficácia do sistema de drenagem.

Os pavimentos permeáveis são uma opção eficiente para o controle do escoamento superficial em áreas urbanas. No entanto, é importante o desenvolvimento de diretrizes e normas técnicas que auxiliem na implementação adequada dessas estruturas, levando em consideração a gestão de manutenção (limpeza) dos sedimentos presentes no pavimento, que podem levar à impermeabilização do mesmo. Alguns exemplos de sedimentos são: decomposição de partículas finas de borracha resultantes do atrito entre pneus e superfície do pavimento, partículas provenientes do desgaste do próprio pavimento e partículas vegetais resultantes da presença de vegetação nas proximidades (ALSUBIH *et al.*, 2016).

KIA *et al.*, (2017) mencionam que a vida útil do pavimento permeável varia de acordo com diversos fatores, como o tipo de material utilizado, a qualidade da instalação e a manutenção realizada ao longo do tempo. Em geral, estima-se que a vida útil do pavimento permeável esteja entre 6 e 20 anos. Para prolongar a vida útil do pavimento permeável e evitar a colmatção, é necessário realizar manutenções periódicas, como a remoção de detritos, a limpeza dos poros e a reposição de material quando necessário.

A limpeza recomendada pela norma NBR 16416 (2015) inclui a remoção de sedimentos por varrição mecânica ou manual, seguidos dos procedimentos de sucção e jato de água sob pressão. Além disso, a norma especifica que o pavimento deve apresentar uma permeabilidade mínima de 0,8 mm/s da capacidade inicial de 1 mm/s, de acordo com a normativa de pavimento permeável, para garantir uma drenagem eficiente. A Figura 16 apresenta os equipamentos para a realização da limpeza do pavimento: (a) equipamento de sucção e (b) jato de água sob pressão.

Figura 16 - Equipamentos para Realizar a Limpeza do Pavimento Permeável



Fonte: ALENCAR (2013).

Acioli (2005) realizou uma tabela comparativa entre o revestimento de concreto convencional e o revestimento de concreto permeável descrito na Tabela 3.

Tabela 3 - Comparativo entre Revestimento Permeável com Convencional

Revestimento	Concreto permeável	Concreto convencional
Critério de uso	Todos os usos, porém com estrutura reforçada	Todos os usos
Índice de infiltração	Boa	Ruim
Frequência de manutenção	Ocorre de acordo com o uso varia de (6 meses a 2 anos)	Depende do local
Valor de implantação	Médio	Médio
Valor de manutenção	Médio a alto	Baixo
Resistência	Média	Boa
Aderência	Boa	Média

Fonte: Adaptado de Acioli (2005).

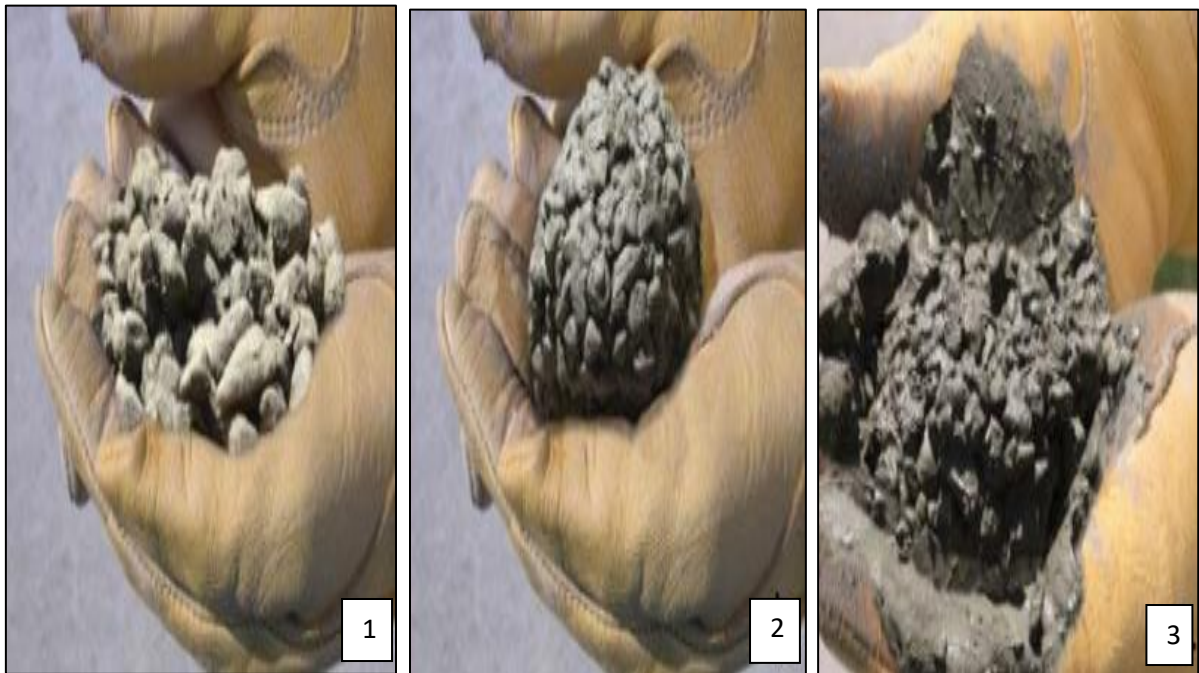
Batezini (2013) relata que não existe um método para analisar a consistência do concreto permeável e menciona que as verificações podem ser realizadas de maneiras distintas: visualmente e pelo tato, ou através da massa unitária, que corresponde a cerca de 70% da massa do concreto plástico.

Leming e Akers (2014) relatam que ao pegar um pouco da porção do concreto permeável nas mãos e apertar levemente, é possível constatar se a amostra está adequada para utilização. Se a pasta escorrer entre os dedos, isso significa que há uma grande quantidade de água. Ao pressionar a amostra com as mãos e não obter uma liga homogênea entre os agregados e

aglomerados, demonstrando um aspecto seco, significa que faltou água. Por outro lado, se a amostra estiver visualmente brilhante e com um aspecto tátil moldável, isso indica que a mistura é ideal.

As ilustrações da Figura 17 apresentam claramente os aspectos do concreto permeável com diferentes misturas de água: (1) pouca quantidade de água (2) quantidade ideal de água (3) excesso de água (3).

Figura 17 - Misturas: (1) Pouca Água (2) Quantidade Ideal de Água (3) Excesso de água



Fonte: TENNIS *et al.*, (2004).

Não há norma no Brasil que especifique a dosagem da mistura, controle de qualidade e transporte do concreto permeável. Os pesquisadores, bem como os projetistas, se baseiam em estudos bibliográficos e na norma NBR 12655 (ABNT, 2015), que é responsável pelo preparo, fabricação e recebimento do concreto convencional.

Além das características das propriedades mecânicas do concreto permeável, a permeabilidade é importante no estudo deste material com a finalidade de sua utilização em pavimentos. Nesse contexto, buscou-se em literaturas métodos para melhorar o desempenho da resistência mecânica sem diminuir significativamente a permeabilidade. As fibras de vidro AR estão sendo apresentadas em estudos como uma alternativa para melhorar as resistências.

2.3 Concreto permeável

O concreto permeável, também conhecido como concreto poroso, é produzido utilizando os mesmos materiais do concreto convencional. Esses materiais incluem agregados graúdos, aglomerantes, pouca ou nenhuma quantidade de finos. Também podem ser adicionados materiais pozolânicos, sílica, aditivo superplastificante e fibras, desde que nas proporções corretas, visando melhorar o desempenho da resistência (SILVA, 2019).

Este material possui poros interligados e um grande número de vazios em sua estrutura, resultando em um alto coeficiente de permeabilidade. Isso ocorre devido à ausência ou quantidade reduzida de agregado miúdo. No entanto, sua resistência à compressão, tração e flexão é menor em comparação com o concreto convencional. Na Figura 18, é possível observar o concreto permeável em funcionamento.

Figura 18 - Concreto Permeável em Funcionamento



Fonte: JOSHI TEJAS.; DAVE URMIL (2021).

Bigotto (2021) afirma que, para aumentar a resistência do concreto permeável sem diminuir excessivamente o índice de vazios e a permeabilidade características únicas do concreto permeável são utilizados alguns recursos, como materiais pozolânicos, sílica, aditivo redutor de pega e fibras. O autor descreve que o teor ideal de sílica na mistura é de aproximadamente 10% em relação ao peso do cimento.

Adil *et al.*, (2020) descrevem que o percentual ideal de substituição de partes do aglomerante pela sílica varia de 5 a 10%. Essas taxas dependem da granulometria dos agregados, da energia de compactação e da relação água/cimento, o que resulta em um aumento da resistência e da durabilidade do concreto permeável.

De acordo com Shelote *et al.*, (2023), a substituição de parte do cimento por sílica ativa nas proporções de 7,5% a 12%, aumenta as características de resistência, mantendo o índice de vazios e a infiltração da água em seus poros conectados, devido à finura das partículas da sílica em comparação com a do Cimento Portland.

Monteiro (2010) realizou um estudo comparativo entre o concreto convencional e o concreto permeável, desenvolvendo uma tabela que apresenta a comparação entre os dois tipos de concreto. A Tabela 4 ilustra esse comparativo.

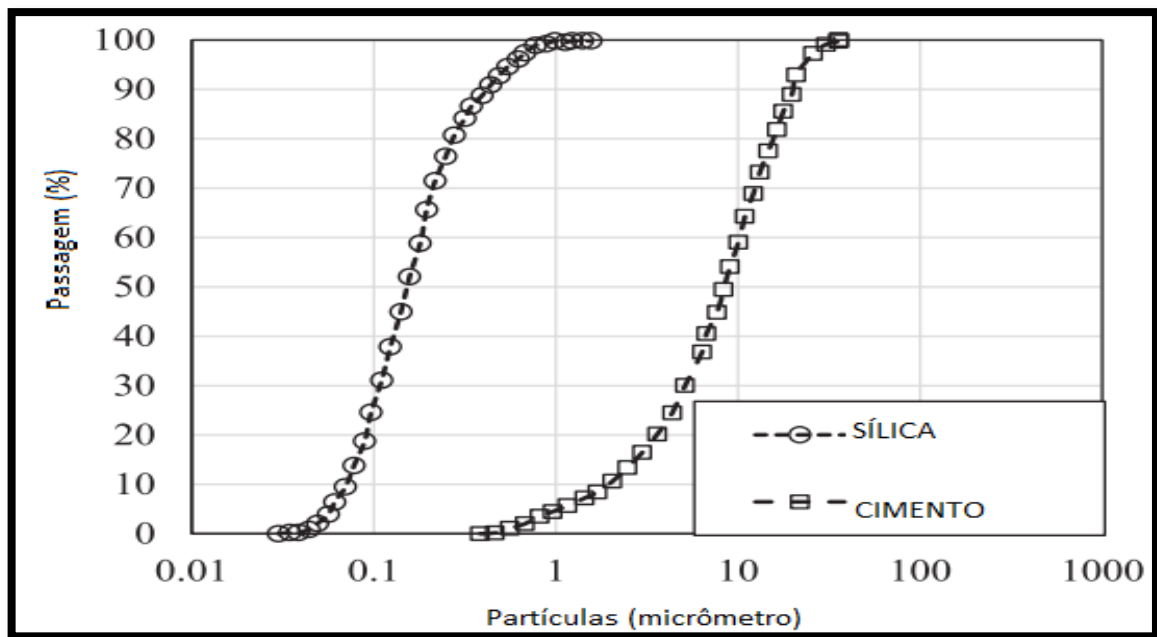
Tabela 4 - Comparação entre concreto convencional e permeável

Concreto	Brita	Areia	Aditivo	Resistência à Compressão (MPa)
Convencional	Bem graduada, grãos arredondados	30% a 50% do agregado total	Opcional	20 a 60
Permeável	Graduação aberta, grãos angulosos (Brita 0)	Pouco ou nenhum	Redutor de água, retardador de pega e incorporador de ar	3 a 30

Fonte: Adaptado de MONTEIRO (2010).

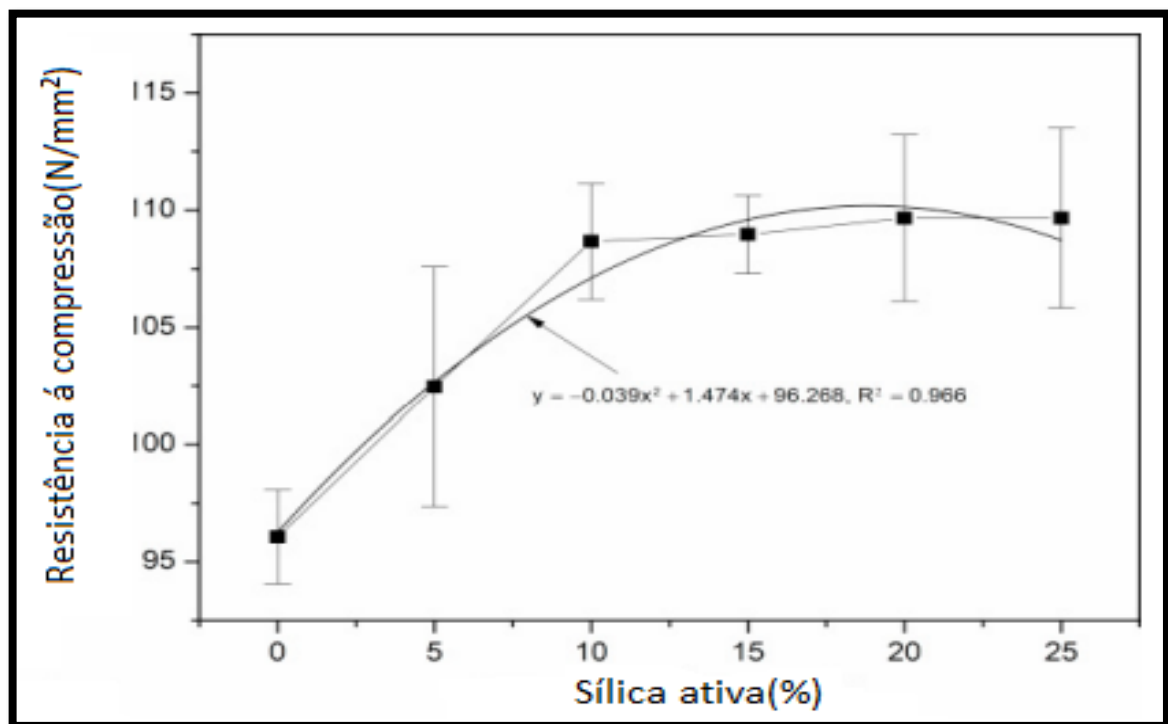
Smarzewski (2019) relata ter realizado vários testes em amostras com diferentes porcentagens de adição de sílica. Ele comprovou, entre os resultados, que as amostras contendo 10% de sílica em relação ao peso do cimento apresentaram o melhor desempenho nas propriedades de resistência. Os pesquisadores declaram que a partir de uma determinada quantidade de substituição do cimento por materiais pozolânicos, como a sílica, a resistência começa a diminuir devido ao nível de finura desses materiais. O material começa a sofrer o processo de absorção de parcelas de água de hidratação, o que resulta na redução das resistências. A Figura 19 ilustra e relaciona as partículas de finura entre a sílica ativa e o Cimento Portland, enquanto as Figuras 20, 21 e 22 mostram o teor, denominado pelo autor, como ideal para a substituição de parte do aglutinante pela sílica.

Figura 19 - Curva de Distribuição Granulométrica da Sílica Ativa e do Cimento



Fonte: Adaptado SHELOTE *et al.*, (2023).

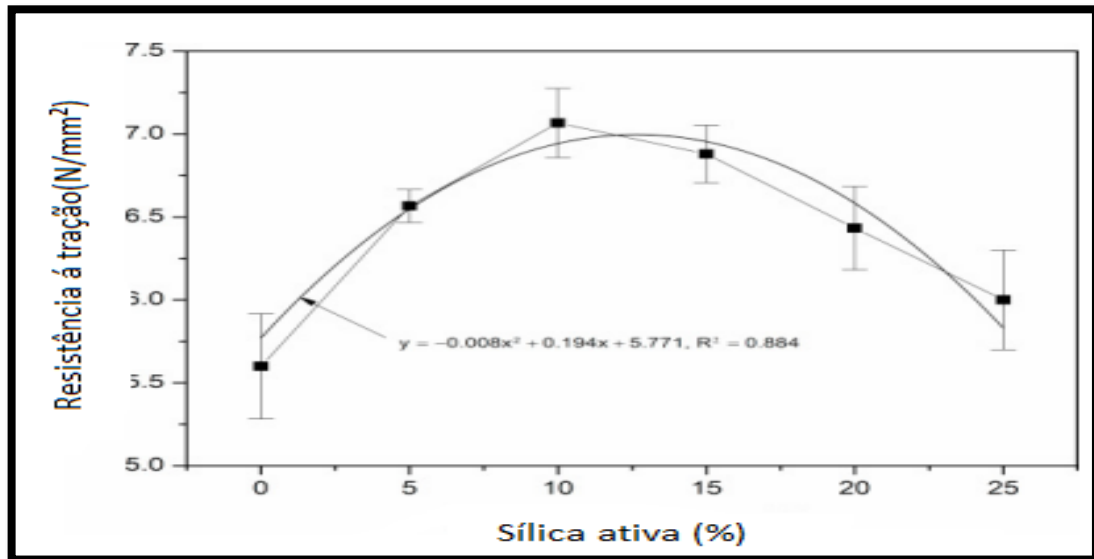
Figura 20 - Ensaio de Resistência à Compressão com Adição de 10% de Sílica no Concreto Convencional de Alta Resistência.



Fonte: Adaptado SMARZEWSKI (2019).

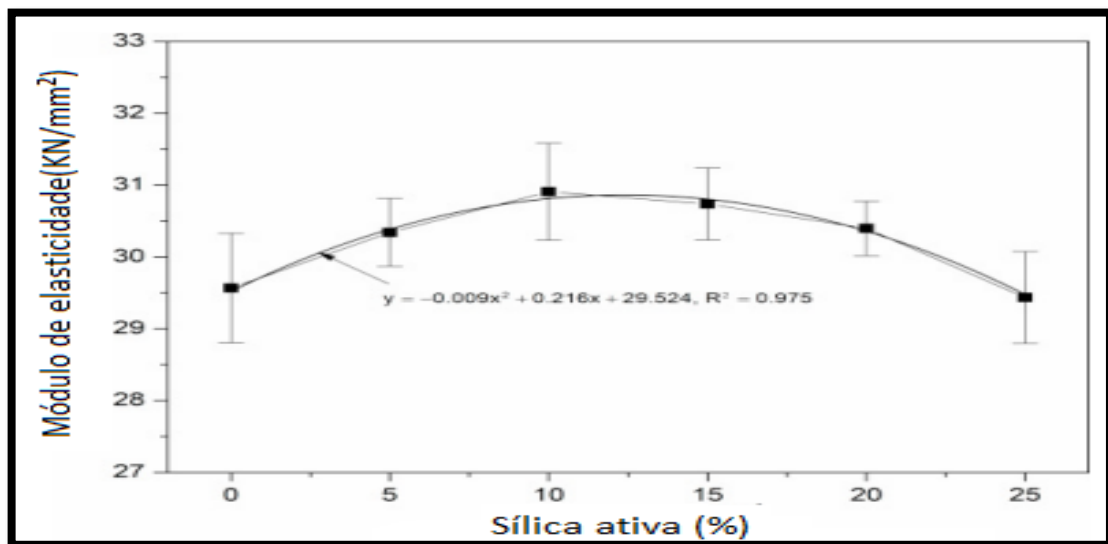
Legenda: 1 N/mm² equivale a 1 Mpa.

Figura 21 - Ensaio de Resistência a Tração com Adição de 10% de Sílica no Concreto Convencional de Alta Resistência



Fonte: Adaptado SMARZEWSKI (2019).
Legenda: 1 N/mm² equivale a 1 Mpa.

Figura 22 - Variação do Módulo de Elasticidade para Diferentes Porcentagens de Sílica do Concreto Convencional de Alta Resistência



Fonte: Adaptado SMARZEWSKI (2019).
Legenda: 1 N/mm² equivale a 1 Mpa.

Os autores também afirmam que, para obter maior resistência à compressão axial, tração e durabilidade do concreto permeável, sem reduzir o índice de vazios e a permeabilidade, uma das maneiras é considerar o fator água/cimento, granulometria dos agregados graúdos, carga de compactação e adições de sílica em proporções aproximadas de 0,5% a 12% em relação ao peso

do cimento. A Tabela 5 apresenta estudos de alguns autores que mostram a porcentagem ideal de sílica.

Tabela 5 – Percentual Ideal de Sílica, na Mistura do Concreto Permeável em Relação ao Peso do Cimento

Autores	Teor ótimo de sílica (%)
Adil <i>et al.</i> ,(2020)	0,5% a 10%
Bigotto (2021)	10%
Smazewski (2019)	10%
Suda e Sutradhar (2021)	10%
Shelot <i>et al.</i> ,(2023)	7,5% a 12%

Fonte: Elaboração do autor.

De acordo com os pesquisadores, as misturas de concreto permeável que excedem o percentual de sílica descrito na tabela 5 tornam-se inviáveis. O material começa a perder trabalhabilidade e resistência, resultando em uma diminuição do índice de vazios e da permeabilidade, características indispensáveis ao concreto permeável.

Suda e Sutradhar (2021) mencionam que o aditivo superplastificante é um material indispensável quando se utiliza materiais pozolânicos acima de 10% de mistura de sílica. Esse aditivo contribui para o desempenho da resistência e da trabalhabilidade.

Park *et al.*, (2005) relatam que o uso de aditivo retardador de pega na proporção de 2% em relação ao peso melhora as características do concreto permeável, como a trabalhabilidade e a resistência do material.

Silva (2019) relata que o uso de aditivo superplastificante em uma proporção de 0,5% em relação ao peso do cimento resulta em melhorias nas propriedades mecânicas do concreto permeável, principalmente na trabalhabilidade da pasta de cimento, além de manter um baixo fator água/aglomerante.

Chindaprasirt *et al.*, (2008) mencionam que o uso de superplastificante na proporção de 0,5% a 1,0% em relação à massa do cimento melhora a trabalhabilidade do material e reduz a quantidade da relação água/cimento na mistura, consequentemente aumentando a resistência e mantendo o índice de vazios. A Tabela 6 ilustra a porcentagem do aditivo retardador de água nas misturas.

Tabela 6 - Percentual Ideal de Aditivo Retardador de Água na Mistura da Composição do Concreto Permeável, em Relação ao Peso do Cimento

Autores	% Aditivo superplastificante
Bigotto (2021)	0,5%
Chindaprasirt <i>et al.</i> , (2008)	0,5% a 1,0%
Lian e Zhuge (2010)	0,8%
Park <i>et al.</i> , (2005)	2%
Silva (2019)	0,5%

Fonte: Elaboração do autor.

Hussain *et al.*, (2020) concluíram que o uso de fibras de aço no concreto convencional e de alta resistência, na proporção de 1% em relação ao volume do cimento, melhorou o desempenho das propriedades mecânicas, em termos de resistência à compressão e à flexão, em cerca de 10% e 80%, respectivamente.

Além de fazerem experimentos com fibra de aço Hussain *et al.*, (2020), também realizaram testes com fibra de vidro em percentual de 1%. Estas apresentaram um aumento de 3% a 7% na resistência à compressão e de 25% a 28% na resistência à flexão.

Ali *et al.*, (2020) mencionam que foram fabricadas amostras de concreto comum com os percentuais de adição de 0,25%, 0,5% e 1% de fibra de vidro em relação ao volume. Os autores afirmam que ocorreu um aumento no comportamento da resistência à compressão axial, módulo de elasticidade e flexão de aproximadamente 1,5% a 7%, 0,5% a 5% e 19% a 25%, respectivamente. Os resultados indicaram que a inserção de 1% de fibra de vidro melhora a resistência residual de ruptura pós-pico devido ao alongamento das fibras e à deformação do concreto.

Para Patil e Katare (2023), o uso de fibras no pavimento de concreto convencional é imprescindível, pois diminuem a espessura dos pavimentos, reduzindo o consumo de cimento Portland, que é agressivo ao meio ambiente, e ao mesmo tempo melhoram as particularidades da resistência. Os autores concluíram que as fibras de vidro apresentam melhor desempenho em relação à resistência à flexão. Ao utilizar uma pequena fração de 0,25% e 0,50% de fibra de vidro, conseguiram obter uma resistência à flexão maior, de aproximadamente 25% e 29%, respectivamente.

Hesami *et al.*, (2014) afirmam que o uso de fibras na composição do pavimento permeável aumenta a resistência à compressão, tração e flexão. Isso ocorre porque o material adquire elasticidade devido à presença das fibras, reduzindo significativamente a possibilidade de ruptura súbita do concreto permeável.

Os autores produziram amostras de concreto permeável com adição de fibras. Foram utilizadas as proporções de 2% de fibras de vidro e 5% de fibra de aço em relação ao volume total do concreto. Foi observado um aumento significativo na resistência à tração, de 31% com o uso de fibras de vidro e de 30% com o uso de fibras de aço. Além disso, houve um considerável aumento na resistência à flexão, de 64% e 63%, respectivamente para as fibras de vidro e aço, mantendo o índice de vazios e a permeabilidade adequada para o pavimento permeável.

O concreto permeável não possui características de proteção para as fibras. Por isso, é importante selecionar fibras que possuam propriedades de resistência às intempéries, como o contato direto com o ar livre e o sol. As fibras de vidro AR são inertes à alcalinidade do concreto.

Na Figura 23, observa-se que o corpo de prova (1) à esquerda, possui adição de fibra de vidro, mantendo a união entre as duas metades após o pico de ruptura. Por outro lado, na amostra (2) à direita, sem adição de fibra, visualiza-se a ruptura total após o pico.

Figura 23 - Corpo de Prova de Concreto Convencional com Adição de Fibras Rompido (1), Corpo de Prova sem Adição de Fibras Rompido (2)



Fonte: Poorsaheli *et al.*, (2021).

Os pesquisadores concluíram que, mesmo após o concreto atingir seu ponto máximo de resistência, as fibras ainda são capazes de suportar cargas e evitar a propagação de rachaduras e fissuras. Esse é um aspecto fundamental para a durabilidade e desempenho do concreto, tanto permeável quanto convencional.

Este fenômeno ocorre devido ao alongamento das fibras, minimizando a propagação de trincas e melhorando a durabilidade. As fibras colaboram no aumento da resistência à

compressão diametral e tração na flexão, que são características primordiais para a utilização desse material como pavimentos.

De acordo com os pesquisadores, o percentual de adição de fibras de vidro descrito pelos autores como "ótimo" para aumentar a resistência à compressão diametral e flexão, sem diminuir muito o índice de vazios do pavimento de concreto permeável, é de aproximadamente 0,25% a 2% sobre o volume, conforme indicado na Tabela 7.

Tabela 7 – Percentual de Adição de Fibras de Vidro no Concreto Convencional

Autores	% de adição de fibras de vidro	% de aumento na resistência à tração na flexão
Ali <i>et al.</i> , (2020)	0,25% e 1%	7% - 28%
Ali, B.; Qureshi, L.A.; Kurda, R.	0,5% e 1%	25% - 29%
Hussain <i>et al.</i> , (2020)	1%	32%
Patil e Katare (2023)	0,5% e 1%	15% - 28%

Fonte: Elaboração do autor.

Toghrolí *et al.*, (2020) produziram várias amostras de concreto permeável contendo diferentes percentuais de agregados reciclados, sílica, cimento e fibras. Os pesquisadores concluíram que a adição de fibras ao pavimento de concreto permeável, em um percentual denominado pelos autores como "ótimo", aumenta a resistência à compressão e à tração sem alterar significativamente o coeficiente de permeabilidade.

Os autores mencionam que todas as amostras fabricadas apresentaram resistência à flexão superior a 1 MPa e afirmam que a adição de materiais pozolânicos, como a sílica, contribui para o aumento da resistência mecânica.

Segundo Ozel *et al.*, (2022), há poucos estudos e publicações de pesquisa sobre o emprego de fibras de vidro AR na composição do concreto permeável. Eles afirmam que são necessários mais estudos sobre diferentes tipos e tamanhos de fibras, a fim de se conhecer melhor as vantagens e desvantagens da sua utilização nas propriedades do pavimento de concreto permeável.

2.4 Estudo da resistência

Chhorn *et al.*, (2018) descrevem que é possível correlacionar a resistência à compressão axial com a resistência à tração por compressão diametral do concreto com o abatimento quase nulo e compactado a rolo, utilizando a Equação (1). A pesquisa dos autores não foi para o concreto permeável, mas está sendo usado como uma forma de comparação.

$$f_{ct} = 0,47 * (f_c)^{0,511} \quad (1)$$

Onde:

f_{ct} Resistência à tração por compressão diametral (MPa);

f_c Resistência à compressão axial (MPa);

Chhorn *et al.*, (2018) também afirmam que é possível relacionar a resistência à compressão axial com a resistência à tração na flexão utilizando a Equação 2.

$$f_{ct,f} = 0,678 * (f_c)^{0,605} \quad (2)$$

Onde:

$f_{ct,f}$ Resistência à tração na flexão (MPa);

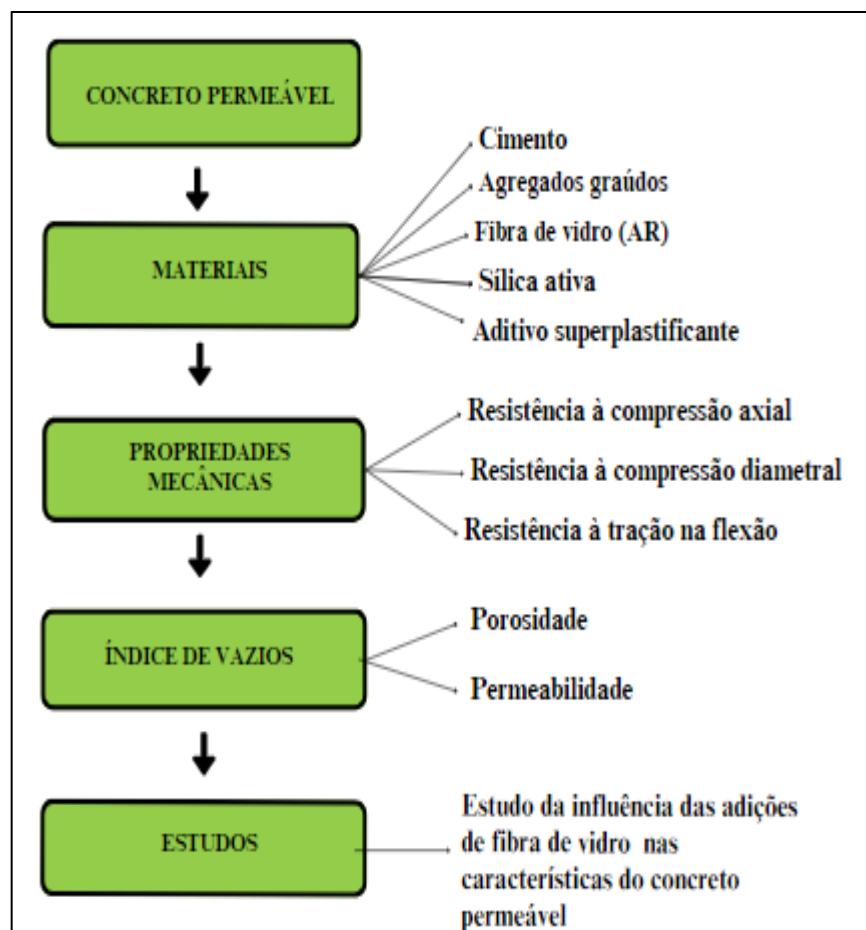
f_c Resistência à compressão axial (MPa);

Diante da análise das equações, é possível observar que a resistência à tração por compressão diametral é menor do que a resistência à tração na flexão para o concreto compactado a rolo e com abatimento igual a zero.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios das propriedades mecânicas das amostras de concreto permeável, tais como resistência à compressão axial, resistência à tração por compressão diametral e resistência à flexão, foram realizados no laboratório central de Engenharia Civil da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), localizado na Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS), no campus central da cidade de Ilha Solteira. Além disso, foram realizados testes de massa específica, índice de vazios e coeficiente de permeabilidade. A Figura 24 exemplifica o organograma dos materiais e métodos utilizados na pesquisa.

Figura 24 - Organograma dos Materiais e Métodos



Fonte: Elaboração do autor.

3.1 Materiais

Para a preparação dos corpos de prova de concreto permeável, foram utilizados os mesmos materiais que são utilizados na fabricação do concreto convencional, normalmente encontrados na cidade local. Esses materiais incluem aglomerante (Cimento Portland), agregados graúdos (Britas naturais), materiais pozolânicos (Sílica ativa), aditivo superplastificante e fibra de vidro AR.

3.1.1 Aglomerante

O aglomerante utilizado na presente pesquisa foi o Cimento Portland de marca Itaú, composto com Fíler (CP II-F-32), que possui características técnicas indicadas para todos os tipos de obras. Este material cimentício apresenta uma massa específica de aproximadamente $3,02\text{g/cm}^3$ e contém uma adição de 6% a 10% de fíler calcário. Sua estrutura pode conter de 71% a 94% de clínquer e gesso, além de possuir uma quantidade de material carbonático variando de 0% a 15% e materiais pozolânicos na faixa de 6% a 14%, conforme especificado pela norma NBR 16697 (ABNT, 2018). As características físicas e químicas do material cimentício estão descritas na tabela 8.

Tabela 8 - Características Físicas e Químicas do Material Cimentício

Características físicas e químicas do cimento		Resistência à compressão axial	
Físicas	Químicas	Dias	fc (MPa)
pH em Solução Aquosa	$12 \leq \text{pH} \leq 14$	1	10
Massa Específica Aparente	0,9 a $1,2\text{g/cm}^3$ a 20°C	3	18
Massa Específica Absoluta	2,8 a $3,02\text{g/cm}^3$ a 20°C	7	27
Solubilidade em Água	até $1,5\text{g/l}$ a 20°C	28	33

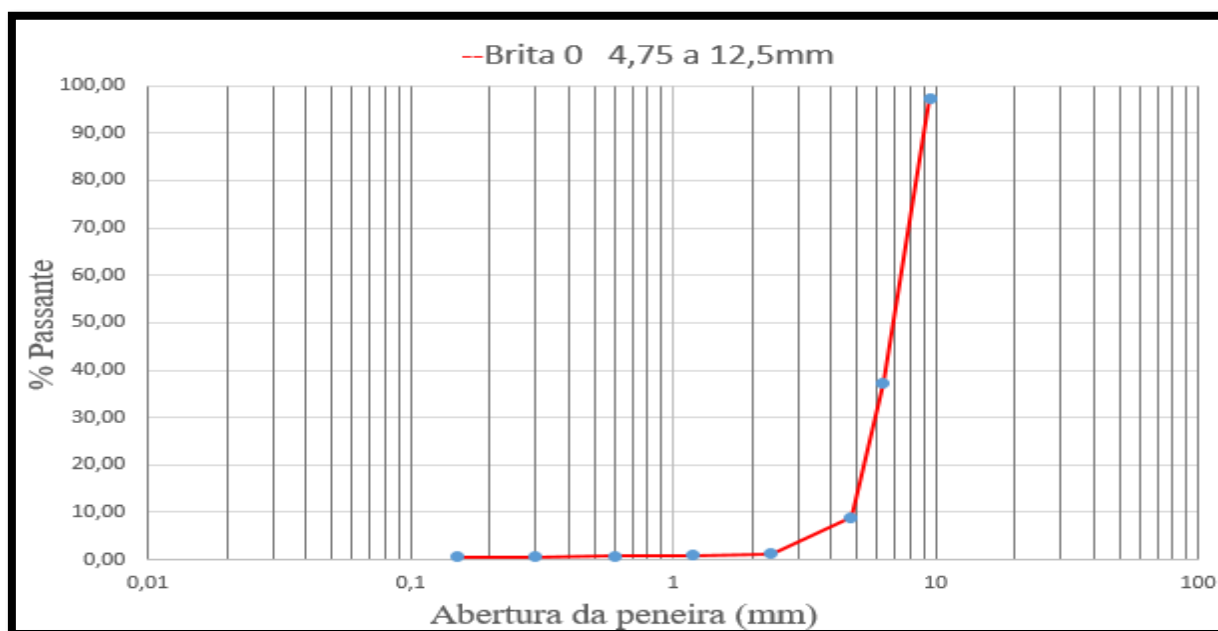
Fonte: VOTORANTIM (2023).

3.1.2 Agregados

Para produzir as misturas das amostras de concreto permeável, foram utilizados apenas agregados graúdos e nenhum tipo de agregado fino. Os agregados graúdos são de origem basáltica, comumente encontrados no comércio local da pesquisa. Este tipo de agregado possui uma granulometria entre 4,75/12,5mm, seguindo as recomendações da NBR 7211 (ABNT, 2022), que menciona o tamanho das peneiras.

O agregado foi extraído do município de Itapura, situado em SP, na pedreira da empresa de mineração Grandes Lagos. Na Figura 25, é possível observar a curva granulométrica da brita.

Figura 25 - Curva Granulométrica da Brita Basáltica de 4,75/12,5mm



Fonte: Elaboração do autor.

As propriedades físicas do agregado gráúdo foram extraídas da NBR NM 53 (ABNT, 2009), conforme pode ser observado na Tabela 9.

Tabela 9 – Característica Física da Brita 4,75/12,5mm

Características Físicas	Brita 4,75/12,5mm
Massa específica (g/cm ³)	2,81 ± 0,03
Absorção (%)	2,50 ± 0,05
Módulo de finura	6,10
Dimensão mínima(mm)	4,75
Dimensão máxima(mm)	12,5

Fonte: VOTORANTIM (2023).

3.1.3 Aditivo

Nas amostras de concreto permeável, foi utilizado o aditivo superplastificante da marca Tec-Flow 7000, de cor amarelada, com densidade aproximada de 1,1 g/cm³ e massa específica média de 1,09 g/cm³. O mesmo atende à norma brasileira NBR 11768 (ABNT, 2011). O objetivo da utilização do superplastificante é manter o baixo fator de água em relação ao

cimento e melhorar a trabalhabilidade, que são características importantes para o concreto permeável. De acordo com o fabricante, a dosagem recomendada pode variar de 0,5% a 1,5% sobre o peso do cimento. Nesta pesquisa, foi empregado o percentual mínimo recomendado, que é de 0,5% sobre a massa do aglomerante.

3.1.4 Água

Para a fabricação dos corpos de prova de concreto permeável, foi utilizada água subterrânea da cidade de Ilha Solteira, SP, na proporção de 0,28 em relação ao peso do cimento, somada à água de absorção do agregado, totalizando 0,34.

3.1.5 Sílica ativa

Foi utilizado sílica ativa da empresa Tecnosil Soluções Especiais nas proporções recomendadas pelo fabricante, que variam de 5 a 8%. Na pesquisa, foi utilizada uma quantidade de 5% em relação ao peso do cimento. As características físicas da sílica ativa estão descritas na Tabela 10.

Tabela 10 - Característica Física da Sílica Ativa

Propriedades físicas	Sílica ativa
Massa Específica (g/cm ³)	2,22x10 ⁶
Teor de SiO ₂	≥ 90%
Superfície Específica (m ² /Kg)	19.000
Formato de Partícula	Esférico
Diâmetro Médio da Partícula (mm)	0,002

Fonte: TECNOSIL (2023).

3.1.6 Fibras de vidro AR

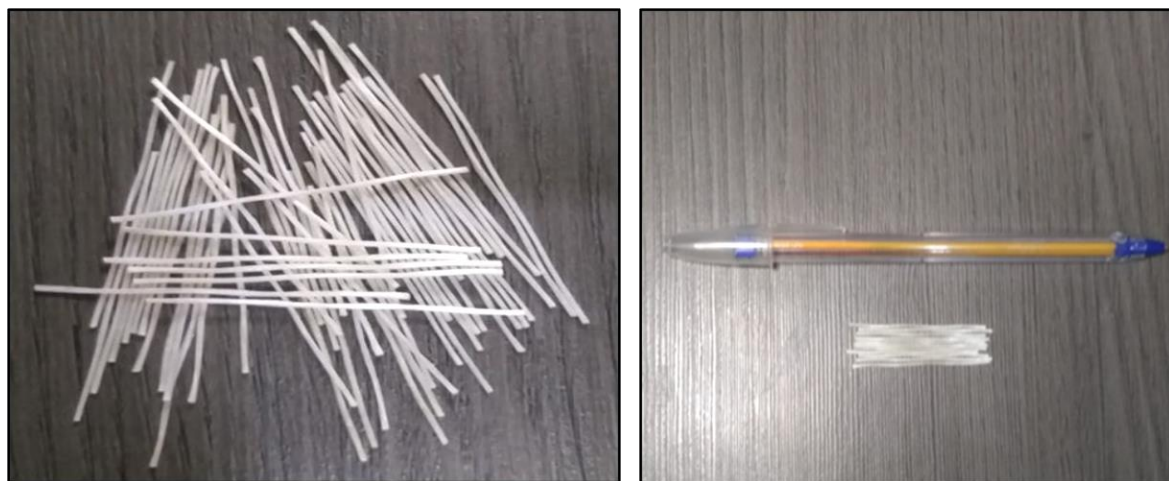
Foram adicionadas às amostras de concreto permeável as fibras de vidro AR em uma proporção de 10% e 20%, em relação ao volume total da mistura. Essas fibras são certificadas pela norma ASTM C-1666 (ASTM, 2015). Na Tabela 11 estão listadas as principais características da fibra de vidro AR e a Figura 26 ilustra as fibras AR.

Tabela 11 – Característica Física das Fibras de Vidro (AR)

Característica físicas	Fibra de vidro (AR)
Aparência	Branca
Comprimento (mm)	$36 \pm 0,1$
Diâmetro da Fibra (mm)	1.3 ± 2
Densidade (g/m ³)	$2.7 \geq$
Mistura (%)	≤ 0.2
Diâmetro Total (mm)	0.54 ± 0.1
Teor de Combustível	0.8 ± 0.1
Teor de Zircônia (%)	≥ 16.5

Fonte: FIBERGLASS YUNIUI (2023).

Figura 26 – Fibra de Vidro AR



Fonte: Elaboração do autor.

3.2. PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DO CONCRETO PERMEÁVEL

A norma Brasileira NBR 16416 trata de pavimentos permeáveis de concreto e estabelece que o pavimento de concreto permeável moldado in loco deve ter um coeficiente de permeabilidade acima de 1mm/s. Além disso, a norma define valores mínimos para a resistência à tração na flexão, de 1 MPa para tráfego de pedestres e 2 MPa para tráfego de veículos leves.

De acordo com Santos (2020), as vias de tráfego leves são aquelas em que transitam ciclomotores, motonetas, motocicletas, triciclos, quadriculos, automóveis, utilitários, caminhonetes e camionetas, com um volume diário máximo de 400 veículos. Também é permitido o tráfego de até 20 caminhões e ônibus diariamente.

3.2.1 Densidade

Para encontrar a densidade das amostras de concreto permeável endurecido, utilizou-se as especificações técnicas da norma Americana ASTM C1754/C1754AM-12 (ASTM, 2021). A norma Americana determina que as amostras de concreto permeável devem ser colocadas em uma estufa com temperatura aproximada de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ por um período de 24 horas $\pm$ 1 hora, conforme ilustrado na Figura 27.

Figura 27- Aparelho Estufa com Temperatura a $110 \pm 5^\circ\text{C}$



Fonte: Elaboração do autor.

Após retirar da estufa, os corpos de prova devem ser resfriados à temperatura ambiente por aproximadamente 1 a 3 horas. Em seguida, é necessário determinar o volume medindo as dimensões dos corpos de prova de concreto endurecido. Posteriormente, é possível encontrar a massa seca constante das amostras de concreto permeável endurecido utilizando uma balança com precisão de 0,5g. Buscou-se trabalhar com uma densidade entre 1600kg/m^3 e 2000kg/m^3 , conforme recomendado pelos autores Pinheiro e Salomão (2020) e pela norma NBR 16416. Para determinar a densidade dos corpos de prova de concreto permeável endurecido, empregou-se a Equação 3.

$$D = \frac{K \times A}{D^2 \times L} \quad (3)$$

Onde:

D = Densidade

K = Fator Constante de 1273240 kg/m^3 ;

A = Massa seca do corpo de prova (kg);

D^2 = Diâmetro do corpo de prova (m);

L = Comprimento do corpo de prova (m);

3.2.2 Índice de vazios

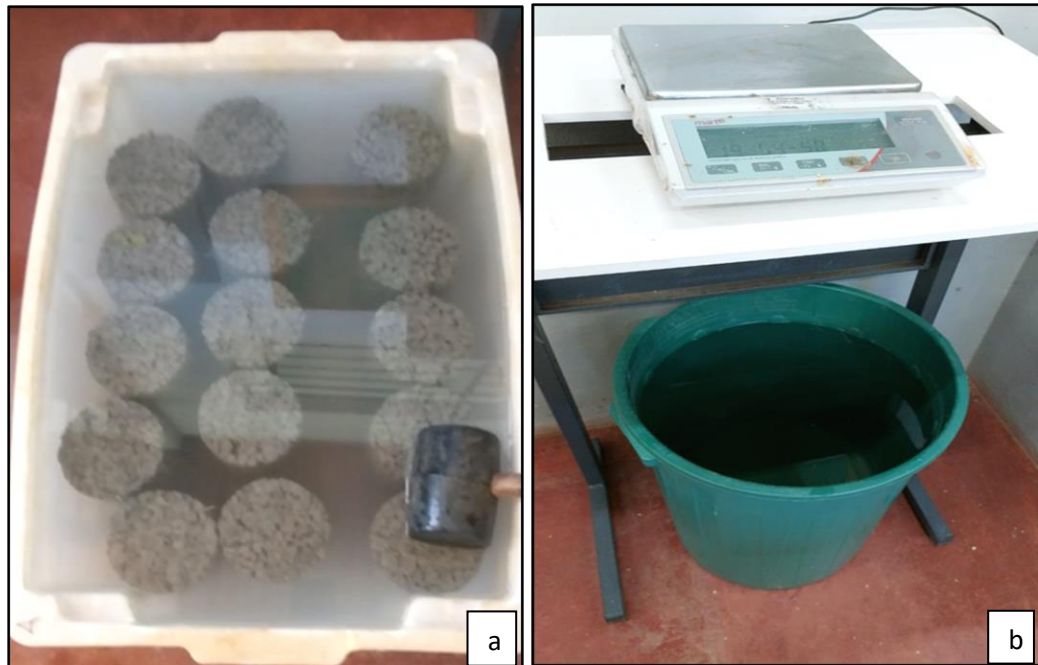
Zhu *et al.*, (2023) e Al-Shareedah e Narriri (2021) mencionam que o percentual denominado como "teor ótimo" de vazios no concreto permeável pode variar de 15% a 35%. Os autores afirmam que, abaixo de 15%, o pavimento permeável começa a sofrer perda de permeabilidade devido à obstrução dos poros, e acima de 35%, o pavimento permeável começa a perder características de resistência mecânica.

O índice de vazios dos corpos de prova de concreto permeável endurecido foi obtido de acordo com a norma ASTM C1754/C1754AM -12 (ASTM, 2021). Após submeter os corpos de prova ao processo de secagem em estufa e terem tido seu volume e massa seca determinados, as amostras foram totalmente submersas em água por aproximadamente 30 minutos.

Em seguida, utiliza-se um termômetro para medir a temperatura da água no recipiente das amostras, a fim de verificar sua temperatura submersa. Na sequência, emprega-se uma marreta de borracha pesando entre 0,6 e 2kg para bater levemente 10 vezes ao redor das amostras endurecidas, que estão completamente submersas no recipiente de água.

Este procedimento visa liberar o ar aprisionado nos poros das amostras, provocando a formação de bolhas de ar. Na Figura 28 (a), observam-se os corpos de prova de concreto permeável endurecido, submersos verticalmente na água, e na Figura (b), o equipamento de pesagem utilizado na pesquisa.

Figura 28 - (a) Amostras de Concreto Permeável Endurecido Submergido Verticalmente no Recipiente Juntamente com o Martelo de Borracha, (b) Balança Digital com o Equipamento de Pesagem na Parte Inferior Utilizada na Pesquisa Recomendada pela Norma Americana.



Fonte: Elaboração do autor.

Para a determinação do índice de vazios nas amostras endurecidas, é necessário especificar a densidade (D) utilizando a Equação 4 descrita no item 3.2 (a). Em seguida, multiplica-se pelo fator constante (K), divide-se pela densidade da água (ρ_w) e multiplica-se por 100 para obter o resultado em porcentagem, como descrito na Equação 4.

$$I = \left[1 - \left(\frac{K \times (A-B)}{\rho_w \times D^2 \times L} \right) \right] \times 100 \quad (4)$$

Onde:

I = Índice de vazios;

K = Fator Constante de 1273240 kg/m³;

A= Massa seca do corpo de prova (kg);

B = Massa submersa do corpo de prova (kg);

ρ_w = Densidade da água medida pela temperatura da água (kg/m³);

D^2 = Diâmetro do corpo de prova (m);

L = Comprimento do corpo de prova (m);

No presente trabalho, foram confeccionados corpos de prova com teor característico de vazios na ordem de 15 a 35%, conforme citados por outros pesquisadores e apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 – Porcentagens do Teor de Vazios Sugeridos pelos Pesquisadores

Autores	Porcentagem de índice de vazios
Fu <i>et al.</i> , (2023)	15 a 35%
Joshi e Dave (2022)	15 a 40%
Lião <i>et al.</i> , (2023)	15 a 30%
Singh <i>et al.</i> , (2020)	15 a 35%
Zhu <i>et al.</i> , (2023)	15 a 35%

Fonte: Elaboração do autor.

3.2.3 Coeficiente de permeabilidade

A norma Brasileira NBR (ABNT 16416, 2015) determina que o concreto permeável deve possuir um coeficiente de permeabilidade (K) maior ou igual a 1 mm/s. Elango *et al.*, (2021) afirmam que um coeficiente de permeabilidade abaixo de 2 mm/s pode resultar em entupimento dos poros causando a impermeabilização e a baixa durabilidade do pavimento permeável. A Tabela 13 ilustra os coeficientes de permeabilidade em mm/s utilizados por alguns autores.

Tabela 13 – Coeficiente de Permeabilidade Utilizados por Alguns Autores

Pesquisadores	Taxa de permeabilidade (mm/s)
Debnathi ; Sarkar (2019)	5,3 a 19,1
Guneyisi <i>et al.</i> , (2014)	5,9 a 12,4
Hussan <i>et al.</i> , (2019)	1,9 a 21,1
Zaetang <i>et al.</i> , (2013)	3,0 a 29,3
Zaetang <i>et al.</i> , (2014)	5,9 a 12,4

Fonte: Adaptado STRIEDER *et al.*, (2022).

No presente trabalho, procurou-se trabalhar com dosagens específicas dos materiais para a obtenção de amostras de concreto permeável com o coeficiente de permeabilidade ($K > 10$ mm/s), a fim de minimizar problemas ocasionados pela baixa percolação, como a diminuição da permeabilidade parcial ou total do pavimento de concreto permeável, com o tempo. Para caracterizar o coeficiente de permeabilidade dos corpos de prova de concreto permeável

endurecido, utilizou-se a norma ISO 17785-1 (ISO 2016), que trata dos Métodos e Testes para o Concreto Permeável, Parte 1:

Os ensaios de permeabilidade em amostras cilíndricas de concreto permeável foram realizados no laboratório de acordo com a norma ASTM C 1701 (ASTM, 2017) e foram utilizados por alguns autores como Haselbach *et al.*, (2017), Silva (2019), Bigotto (2021), Strieder *et al.*, (2021) e Goede (2009). O ensaio de permeabilidade é de constância, o método é simples comparado aos demais. Consiste apenas em verter água constantemente sobre a superfície superior dos corpos de prova de concreto permeável endurecido, envoltos por filme plástico, para que a água não escorra pelos lados, deixando uma pequena sobra de aproximadamente 5cm na superfície superior. Isso permite que haja uma coluna d'água constante entre as demarcações realizadas de 1,5cm e 2,5cm.

É um procedimento de ensaio de permeabilidade de constância definido pela **International Organization for Standardization** (Organização Internacional de Normalização) ISO 17875-1 (ISO, 2016) para, em seguida, medir o tempo de infiltração da água através dos poros das amostras. As seguintes etapas devem ser seguidas para obter os resultados da permeabilidade.

- Envolve-se os corpos de prova cilíndricos permeáveis em materiais plásticos, como um filme de polímero, por três vezes. Aquece o material plástico para selar as laterais das amostras, deixando apenas a base e a superfície expostas, e deixa uma sobra de material de aproximadamente 5cm acima da superfície do concreto permeável.
- Foi utilizado um equipamento de aquecimento de ar na pesquisa, mais especificamente um soprador térmico com potência de 2000W e tensão de 220V, para garantir o aquecimento completo do material plástico envolto nas amostras.
- Foram feitas duas marcações no material plástico, as delimitações foram feitas entre a superfície superior e a sobra da película de polímero de 5 cm, ambas com demarcações de 1,5 cm e 2,5 cm como especificado pela ISO 17785-1 (ISO, 2016). É necessário manter uma constância da lamina de água entre as demarcações.
- Um litro de água foi vertido na amostra para umedecê-la, de acordo com o estipulado pela ISO 17785-1. Posteriormente, foram adicionados dois litros de água em um recipiente e despejados na amostra. A contagem do tempo começou quando a água entrou em contato com a superfície superior do concreto, mantendo-se a lâmina de água constante entre as demarcações realizadas. O cronômetro foi encerrado quando a lâmina de água na superfície do concreto terminou.

Na Figura 29 (a), observa-se a amostra com as duas demarcações entre a superfície superior do concreto e a borda final do material plástico, ambas com 1,5 cm e 2,5 cm, medidas transversalmente a partir da superfície superior da amostra. Na Figura 29 (b), percebe-se a amostra com uma lâmina de água constante entre as delimitações.

Figura 29 - Amostras Envoltas por Material Plástico Fino de Polímero



Fonte: Elaboração do autor.

Na sequência da infiltração de água pelos poros da amostra, foi obtido o tempo de percolação (s) e utiliza-se a Equação 5 para calcular o coeficiente de permeabilidade.

$$K = \frac{W}{A.t} \quad (5)$$

Onde:

K = Coeficiente de permeabilidade (mm/s);

W = Volume de água vertida na amostra permeável (mm³);

A = Área da seção transversal da amostra de concreto permeável (mm/s²);

t = Tempo que a água levou para infiltrar na amostra permeável (s);

3.2.4 Água de absorção do agregado gráudo de granulometria de 4,75/12,5mm

Para a definição do teor de absorção dos agregados gráudo de granulometria de 4,5mm a 12,5mm, empregou-se a norma Americana ASTM C 127-15 (ASTM, 2016) que especifica o ensaio e procedimentos para encontrar a água de absorção.

3.2.5 Módulo de elasticidade

Para a determinação do módulo de elasticidade, utilizou-se a equação desenvolvida por Goede (2009). De acordo com o autor, essa equação pode ser utilizada para estimar o módulo de elasticidade estático do concreto permeável em função da resistência à compressão axial. Os resultados obtidos variaram entre 12.100 MPa e 15.100 MPa, corroborando com o resultado obtido por Silva (2019) de 15.105 MPa, que também utilizou a Equação 6 em sua pesquisa.

$$E = 36,1 \times \rho_c 1,5 \times \sqrt{f_c} \quad (6)$$

Onde:

E = Módulo de elasticidade (MPa);

ρ_c = Massa específica do concreto (kg/m³);

f_c = Resistência à compressão do concreto (MPa);

3.2.6 Ensaio de resistência mecânica

Os corpos de prova de concreto permeável endurecido foram ensaiados em uma prensa universal pneumática da marca Emic, com capacidade para 200 toneladas de carga, atestada de acordo com a norma brasileira NBR ISO 7500-1 (ABNT, 2023), que determina a calibração e verificação da máquina de ensaio.

Os ensaios realizados foram os de caracterização da resistência mecânica, sendo estes a resistência à compressão axial determinada pela NBR 5739 (ABNT, 2018), a resistência à tração por compressão diametral regida pela NBR 7222 (ABNT, 2011) e a resistência à flexão especificada pela ASTM C293/C293M -16 (ASTM, 2016).

A norma Brasileira NBR 16416 menciona que o ensaio de resistência à flexão deve ser realizado a 4 pontos, porém, devido a problemas técnicos no laboratório, optamos por realizar o ensaio de flexão a 3 pontos, conforme recomendado pela norma Americana ASTM C293/C293M-16 (ASTM, 2016).

A resistência à flexão a três pontos é obtida pelo método de ensaio de uma viga com carga no centro, ou seja, ensaio a três pontos. Seu valor é calculado de acordo com a Equação 7:

$$R = \frac{3 PL}{2bd^2} \quad (7)$$

Onde:

R = Módulo de ruptura (MPa);

P = Carga máxima aplicada indicada pela máquina de ensaio (N);

L = Comprimento do vão (mm);

b = Largura média da amostra (mm);

d = Profundidade da amostra (mm);

As amostras de concreto permeável foram fabricadas com brita de granulometria de 4,5/12,5mm, de acordo com a norma NBR 7211 (ABNT, 2022). Para obter as proporções da mistura, foi utilizado o diagrama de dosagem desenvolvido por Bigotto (2021). Com base nesse método de dosagem, foi elaborada uma mistura para a amostra de referência, com o objetivo de obter uma resistência à compressão axial aproximada de 16MPa, um coeficiente de permeabilidade de 11 mm/s e um consumo de cimento de aproximadamente 360 kg/m³.

O traço especificado pelo método de dosagem foi de 1:4,6, ou seja, uma parte de cimento para 4,6 partes de agregados.

As amostras de concreto permeável endurecido foram ensaiadas em lotes de 20 corpos de prova (CP), sendo 15 CP cilíndricos e 5 CP prismáticos, num total de três lotes. Foram realizados ensaios de propriedades mecânicas, tais como resistência à compressão axial, resistência à tração por compressão diametral e resistência à flexão.

Buscou-se em artigos e literatura qual o melhor método para regularizar a superfície superior e inferior (capeamento) das amostras cilíndricas com dimensões de 100x200mm, a fim de realizar o ensaio de compressão axial.

Liang e Zhuge (2010) descrevem que existem várias maneiras de realizar o procedimento de capeamento em amostras de concreto, sendo que a única modificação é feita nos tipos de materiais utilizados para regularizar as superfícies dos corpos de prova. Segundo os autores, o método mais eficaz para o capeamento de superfícies regulares é o uso de borrachas nas extremidades superior e inferior dos corpos de prova.

Para as amostras de concreto permeável endurecido com superfícies irregulares, devido à grande quantidade de agregados graúdos e pouca ou nenhuma adição de finos, os pesquisadores afirmam que a melhor opção de capeamento para as amostras de superfície não planas é a utilização do enxofre para manter os topos nivelados e, em seguida, realizar o ensaio de compressão axial (Lian e Zhuge, 2010).

Bigotto (2021) realizou vários ensaios em amostras de concreto permeável variando os materiais para o capeamento. Constatou-se que o enxofre é a melhor opção para o nivelamento das superfícies irregulares, pois ele é depositado nas superfícies em estado líquido, preenchendo uniformemente as imperfeições das britas e deixando as extremidades planas.

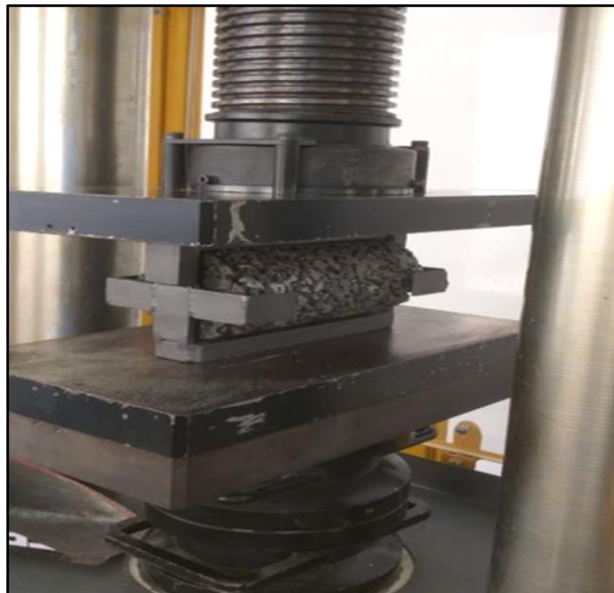
A Figura 30 ilustra as amostras capeadas com enxofre. As Figuras 31 e 32 mostram, respectivamente, os ensaios de resistência à tração por compressão diametral e de resistência à flexão a três pontos.

Figura 30 – Corpo de Prova com Capeamento de Enxofre



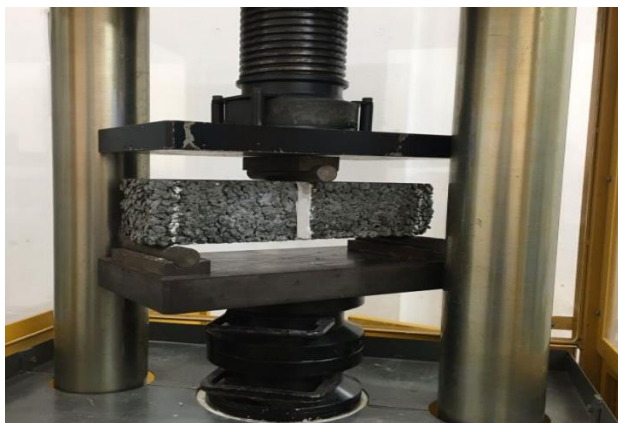
Fonte: Elaboração do autor.

Figura 31 – Ensaio de Resistência à Tração por Compressão Diametral



Fonte: Elaboração do autor.

Figura 32 – Ensaio de Resistência à Flexão



Fonte: Elaboração do autor.

Os resultados dos ensaios de resistência foram comparados com os resultados obtidos através das Equações 1 e 2 de Chhorn *et al.*, (2018).

3.3 MISTURAS REALIZADAS NO LABORATÓRIO

3.3.1 Método para realizar a mistura

Utilizou-se brita com granulometria de 4,5/12,5 mm nas misturas das amostras de concreto permeável. As mesmas, foram expostas ao sol por três dias e, posteriormente, utilizou-se o aparelho soprador de folhas para remover qualquer tipo de impureza.

Com a brita seca e limpa, foi realizado o ensaio de percentual de absorção dos agregados conforme ASTM C 127-15 (ASTM, 2016). Assim, calculou-se a quantidade de água de absorção para somar à quantidade de água da relação água/cimento (a/c) das amostras de concreto permeável.

Na presente pesquisa, foi utilizada uma relação água/cimento de 0,28 e a inclusão de água de absorção para completar o processo de saturação da brita, adquirida por meio do ensaio de absorção mencionado no índice 3.2 (d).

Para comprovar se não havia excesso ou falta de água nas misturas de concreto permeável, foi realizado o ensaio de abatimento do tronco de cone, conforme descrito na norma brasileira NBR 16889 (ABNT, 2020), antes da confecção dos corpos de prova.

Foi observado um abatimento quase nulo, ou seja, aproximadamente 1,8 cm. Nenhuma das misturas excedeu 2 cm, corroborando com o que é citado pelos autores Silva (2019) e Batezini (2013), os quais mencionam que o concreto poroso deve ter um abatimento próximo de zero e que, não há um método normatizado que permita verificar a consistência do concreto

permeável. Os autores salientam que as verificações podem ser realizadas de maneiras distintas, como visual, tátil ou pela massa.

O método visual e tátil consiste em separar uma pequena porção da amostra de concreto permeável nas mãos e pressioná-las levemente. Posteriormente, observa-se a consistência: se a pasta de cimento escorrer entre os dedos, significa que a amostra está com excesso de água. Por outro lado, se a amostra de concreto permeável apresentar uma consistência não homogênea e um aspecto tátil seco, demonstra que houve falta de água na mistura.

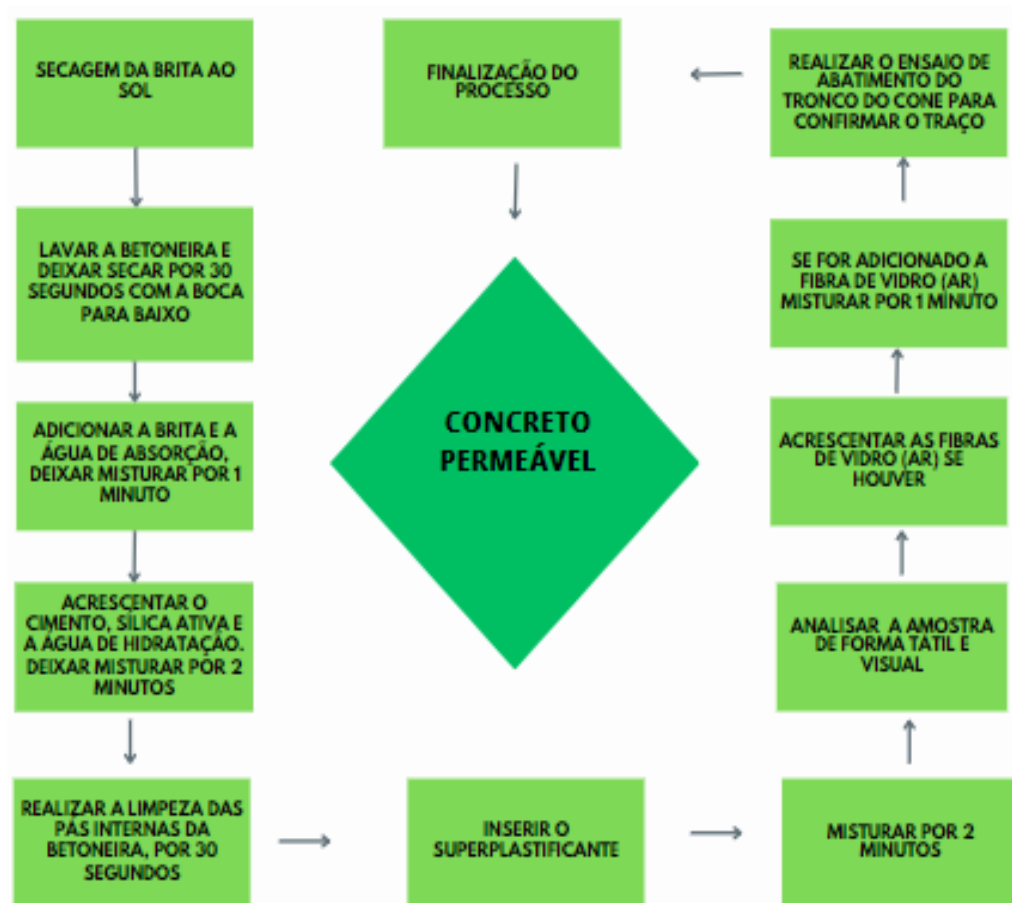
Ao observar que a amostra é moldável ao contato com as mãos e possui um aspecto brilhante, isso indica que a mistura é adequada para a moldagem do corpo de prova (Leming e Akers, 2014).

Na presente pesquisa, optou-se por empregar o método adaptado utilizado por Bigotto (2021), apenas inserindo o uso de fibras de vidro AR nas misturas e aumentando o tempo da mistura entre o concreto e a fibra. O processo adaptado consiste em:

- Secagem da brita ao sol;
- Separar e realizar a pesagem dos materiais;
- Utilizar uma betoneira para fazer a mistura das composições;
- Lavar a betoneira e deixá-la secar de boca para baixo por aproximadamente 30 segundos;
- Adicionar a brita na betoneira, em seguida a água de absorção, deixar misturar por 1 minuto;
- Acrescentar o cimento, sílica ativa e à água de hidratação, deixar misturar por 2 minutos;
- Parar a betoneira e limpar as pás internas em 30 segundos;
- Inserir o superplasticante e misturar por 2 minutos;
- Analisar a amostra de forma tátil e visualmente;
- Introduzir as fibras de vidro AR quando houver e misturar por mais 1 minuto;
- Confirmar a mistura da amostra com ensaio de abatimento do tronco do cone;
- Finalizar o processo

As modificações foram realizadas com o propósito de aumentar a homogeneidade das fibras de vidro AR nas misturas do concreto, melhorando a trabalhabilidade das amostras permeáveis. Na Figura 33, segue a ilustração do fluxograma de fabricação da amostra de concreto permeável.

Figura 33 – Fluxograma da Fabricação do Concreto Permeável



Fonte: Elaboração do autor.

3.3.2 Moldagem das amostras de concreto permeável

Os corpos de prova de concreto permeável foram moldados seguindo alguns parâmetros da NBR 5738 (ABNT, 2015). No entanto, é importante ressaltar que essa norma não é aplicada ao concreto com misturas relativamente secas ou com o ensaio de abatimento nulo.

Os autores Silva (2019) e Bigotto (2021) realizaram estudos e ensaios em laboratório para a moldagem do concreto permeável e constataram, por meio de adaptações, melhorias na permeabilidade e nas propriedades de resistência mecânica. Essas melhorias foram alcançadas modificando o número de golpes de haste metálicas e as camadas de adensamento do concreto.

As amostras de concreto permeável cilíndrico com dimensões de 100x200mm (diâmetro x comprimento) foram moldadas em duas partes iguais. Cada camada recebeu 15 golpes com a haste de adensamento em movimento circular para garantir uma distribuição mais uniforme.

Posteriormente ao adensamento de cada camada, realizou-se a compactação na mesa vibratória por 10 segundos em ambas as camadas.

Em seguida, foi realizada a camada de finalização no topo da amostra, que basicamente consiste no preenchimento total da mesma. Logo após, nivelou-se a superfície utilizando a haste metálica como um rolo longitudinalmente.

Após a moldagem, os corpos de prova foram colocados sobre uma superfície lisa e rígida, em um local coberto e fechado, a fim de evitar a exposição a intempéries, pelo menos durante 24 horas. Para prevenir a evaporação da água presente na mistura de concreto, que é essencial para a reação química do cimento, utilizou-se filme plástico para envolver a superfície das amostras. Depois do período de 24 horas, conforme estabelecido pela norma NBR 5738 (ABNT, 2015), os corpos de prova de concreto permeável foram transferidos para a câmara úmida para o processo de cura.

Realizou-se a moldagem de corpos de prova prismáticos com medidas de 100x100x400mm (altura x base x comprimento), utilizando a norma NBR 5738 (ABNT, 2015) e o método adaptado de golpes para o adensamento por Bigotto (2021). Esse método adaptado colabora com as propriedades mecânicas do concreto permeável, como a resistência à flexão, que são fatores indispensáveis para o uso do concreto permeável em pavimentos.

As amostras prismáticas de concreto permeável foram moldadas em duas camadas proporcionais. Em cada camada, foram aplicados 25 golpes com haste metálica para adensamento e compactação na mesa vibratória por dez segundos por camada. Posteriormente, foi realizado o nivelamento do topo da amostra com a haste metálica na posição longitudinal formando-se um aspecto de rolo.

3.3.3 Cura das amostras endurecidas de concreto permeável

Todas as amostras de concreto permeável endurecido ficaram 28 dias, no processo de cura na câmara úmida a uma temperatura aproximada de 25°C e uma umidade relativa do ar aproximada a 96%

3.3.4 Procedimentos antes da ruptura

Na data prevista de ruptura das amostras, foram realizados os seguintes procedimentos:

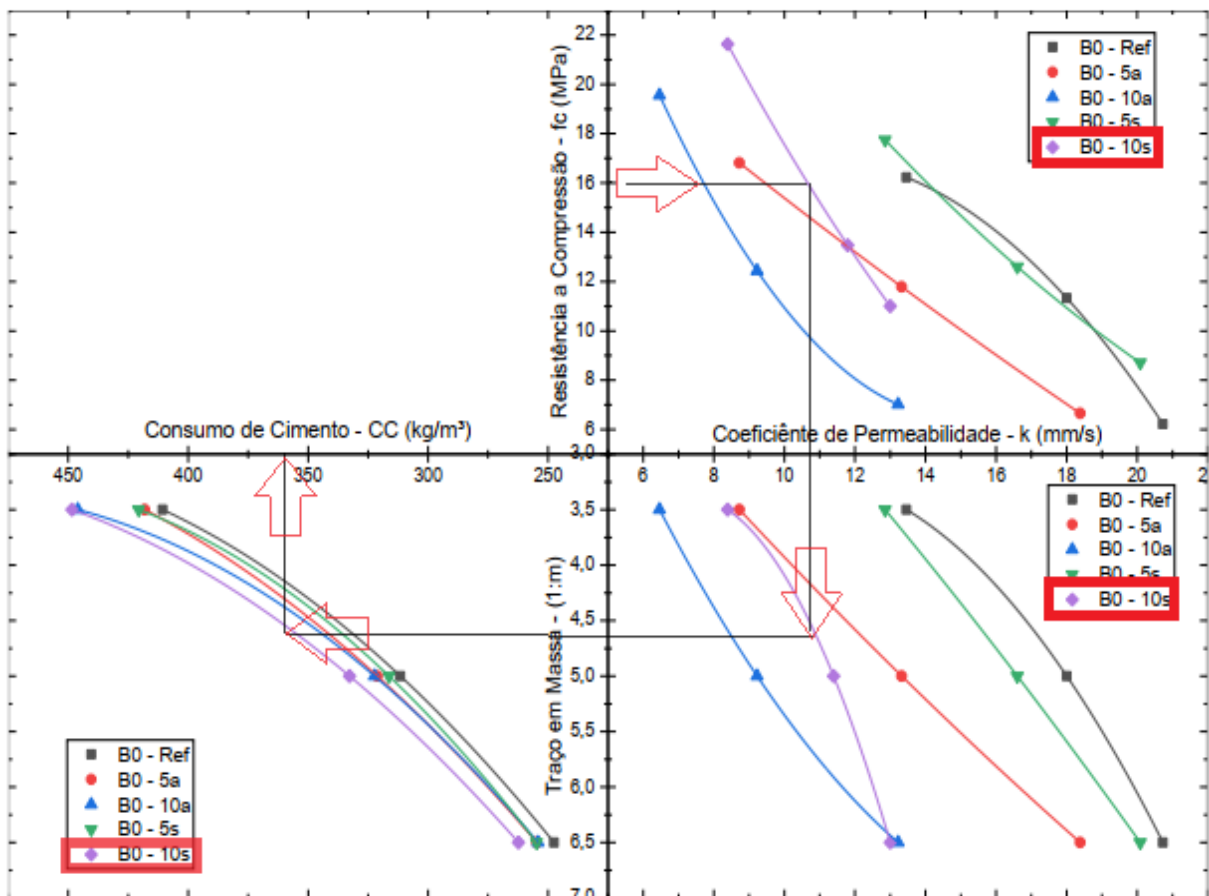
- Retiraram-se os corpos de prova da câmara úmida;
- Deixaram-se as amostras secando em temperatura ambiente por aproximadamente 2 horas, ou até que a água superficial do topo evaporasse;

- Em seguida, realizou-se o capeamento com enxofre líquido nos corpos de prova cilíndricos para melhorar a aderência entre a superfície inferior e superior das amostras com a base metálica do equipamento de ensaio;
- Posteriormente, as amostras foram retornadas para a câmara úmida até os ensaios de ruptura;

3.3.5 Método adaptado de mistura

Para a determinação da mistura do concreto permeável, uma vez que não há nenhuma norma vigente, optou-se por empregar alguns métodos e parâmetros adaptados e aplicados pelos autores Bigotto (2021) e Lima *et al.*, (2023) para a definição do traço. Com objetivo de alcançar as propriedades mecânicas e a permeabilidade desejadas, se utilizou o diagrama adaptado de Bigotto, apresentado na Figura 34. Neste diagrama o eixo da relação a/c é substituído pelo coeficiente de permeabilidade.

Figura 34- Diagrama Adaptado para Dosagem das Amostras de Concreto Permeável



Fonte: BIGOTTO, (2021).

De acordo com o diagrama de dosagem de Bigotto (2021), é possível inserir um valor estimado de resistência à compressão axial para determinar o coeficiente de permeabilidade em mm/s, o traço em massa 1:m e, por fim, o consumo de cimento em kg/m³. Conforme pode ser observado na reta traçada na Figura 34.

Conforme a Equação de Chhorn *et al.*, (2018) - Equação 2, com um valor pressuposto de resistência à compressão axial de 16 MPa, obtêm-se valores de resistência à tração na flexão acima de 3 MPa. A norma NBR 16416 (ABNT, 2015) recomenda valores de resistência à tração na flexão de 1 MPa para tráfego de pedestres e 2 MPa para veículos leves.

Lima *et al.*, (2023) mencionam que não existe, nacionalmente, um método de dosagem determinante característico para as misturas de concreto permeável. Cada autor aplica o procedimento técnico de dosagem de acordo com sua compreensão do que é correto.

Essas metodologias são influenciadas pelas leis comportamentais do concreto, como a lei de Abrams, a lei de Lyse e a lei de Molinari. Essas leis são descritas na Equação 8.

$$CC = \frac{1000 - (\% \text{ ar})}{\frac{1}{\gamma_{\text{cimento}}} + \frac{a}{\gamma_{\text{areia}}} + \frac{b}{\gamma_{\text{brita}}} + \frac{a/c}{\gamma_{\text{água}}}} \quad (8)$$

Onde:

CC = Consumo de cimento (Kg/m³);

% ar = Teor de vazios do concreto (0,10 – 0,35);

a = Quantidade do agregado miúdo areia (Kg);

b = Quantidade do agregado graúdo brita (Kg);

a/c = Fator relação água/cimento (Kg);

γ_{cimento} = Massa específica do cimento (g/cm³);

γ_{areia} = Massa específica da areia (g/cm³);

γ_{brita} = Massa específica da brita (g/cm³);

$\gamma_{\text{água}}$ = Massa específica da água (g/cm³);

Diante da elaboração da mistura do concreto permeável, foram moldados corpos de prova sem adição de fibra de vidro AR, denominados de mistura referência.

Também foram produzidas amostras de concreto permeável com diferentes percentuais de fibra de vidro AR, com o objetivo de analisar as propriedades mecânicas, tais como resistência à compressão axial, resistência à tração por compressão diametral e resistência à flexão.

Da mesma maneira, foram realizados ensaios de índices de vazios, coeficiente de permeabilidade e módulo de elasticidade pelo método linear de Goede nos corpos de prova de concreto permeável endurecido.

As amostras de concreto permeável foram divididas e caracterizadas em três lotes: lote de referência, lote com adição de 10% de fibra de vidro AR, e lote com adição de 20% de fibra de vidro AR.

Cada lote foi dividido em quinze amostras cilíndricas de dimensões 100x200mm (diâmetro x comprimento) e cinco amostras prismáticas com medidas de 100x100x400mm (altura x base x comprimento). Cinco corpos de prova cilíndricos foram destinados ao ensaio de massa específica e índice de vazios, porém foram descartados devido à alta temperatura que as amostras foram submetidas durante o processo, conforme a especificação técnica da norma americana ASTM C1754/C1754AM-12 (ASTM, 2021). Cinco amostras cilíndricas foram utilizadas para o ensaio de resistência à compressão axial, cinco para o ensaio de resistência à tração por compressão diametral, e cinco amostras prismáticas foram utilizadas para o ensaio de flexão.

Para o ensaio do coeficiente de permeabilidade, foram utilizados os mesmos corpos de prova produzidos para os ensaios de propriedades mecânicas antes de ocorrerem rupturas. Todos os procedimentos foram realizados nos três lotes.

O traço utilizado está apresentado na Tabela 14, onde as misturas continham: 1 parte de cimento, 4,6 partes de agregado graúdo (brita 0) em relação ao peso do cimento, 10% de sílica ativa (em relação à massa do aglomerante), 34% de água (soma da água de absorção do agregado mais água de hidratação do cimento), 5% de superplastificante (em relação à massa do cimento) e adição de 10% e 20% de fibra de vidro AR.

Tabela 14 - Mistura dos Lotes Elaborados de Concreto Permeável

Mistura	Traço (1:m)	Brita (%)	Cimento	Sílica (%)	Água (%)	Sp (%)	Fibra de vidro (AR) (%)
Referência	1: 4,6	Brita 0	CP II- F32	0,10	0,34	0,05	0
Adição de 10% de fibra (AR)	1: 4,6	Brita 0	CP II- F32	0,10	0,34	0,05	10
Adição de 20% de fibra (AR)	1: 4,6	Brita 0	CP II- F32	0,10	0,34	0,05	20

Fonte: Elaboração do autor.

Legenda: Sp é aditivo superplastificante.

3.3.6 Análise estatística

Foram realizadas análises estatísticas utilizando o método do Teste de Hipóteses "t" de Student. Esse método envolve a comparação entre grupos de amostras e permite verificar se variáveis específicas estão relacionadas ou diferem entre si. É comumente utilizado quando se deseja comparar a média de duas amostras independentes ou quando se deseja comparar a média de uma amostra com uma média conhecida.

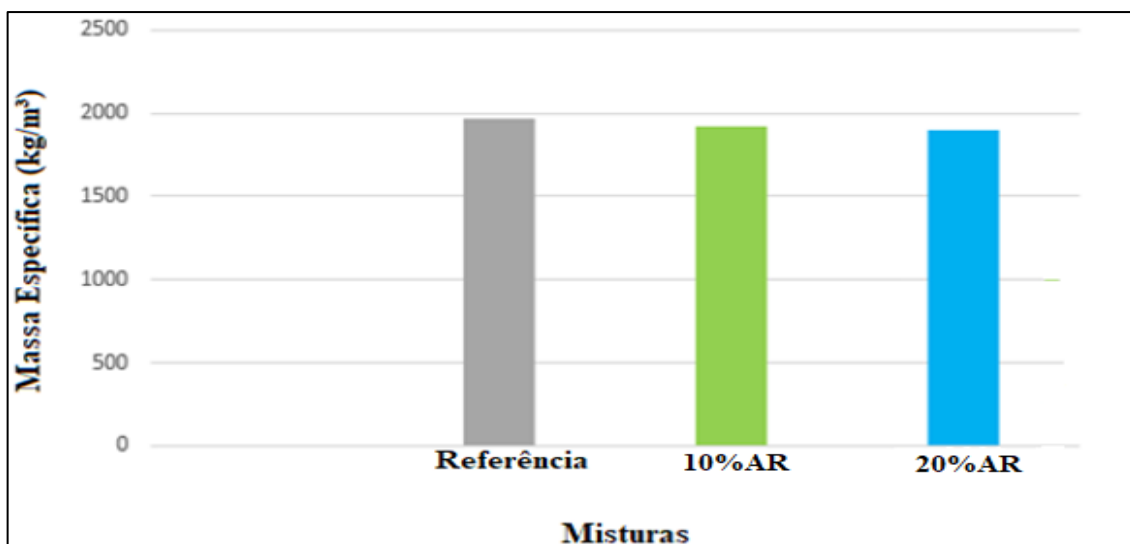
Para realizar esta análise, primeiro calcula-se um valor F. Posteriormente, observa-se um valor F crítico para as amostras ensaiadas. São assumidas duas hipóteses, a hipótese nula (H_0) é estabelecida como sendo a igualdade das médias entre os grupos. Para $F_{\text{calculado}} < F_{\text{crítico}}$ e $P\text{-valor} > 0,05$, indica que não há uma diferença entre as amostras e podem ser consideradas estatisticamente iguais.

Por outro lado, rejeita-se a hipótese nula para $F_{\text{calculado}} > F_{\text{crítico}}$ e $P\text{-valor} < 0,05$, indicando que há variação entre as amostras ensaiadas. O nível de significância estatística empregado foi de 0,05, indicando um risco de 5% de concluir que existe uma diferença quando na verdade não há uma diferença real.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todas as amostras endurecidas de concreto permeável, denominadas como mistura de referência e misturas com adição de 10% e 20% de fibra de vidro AR, apresentaram uma massa específica aparente entre 1600 kg/m³ e 2000 kg/m³, conforme definido pelos autores Pinheiro e Salomão (2020) e a NBR 16416 (2015), para concreto permeável. As massas específicas das misturas estão apresentadas na Figura 35. A Tabela 15 traz os valores médios, o desvio padrão e o coeficiente de variação.

Figura 35- Massa Específica das Misturas



Fonte: Elaboração do autor.

Como já era esperado, o valor da massa específica aparente seca das amostras de concreto permeável endurecido, variou entre 1900 a 1970 kg/m³. Este intervalo ficou de acordo com o mencionado por Batezini (2013) para concretos permeáveis, 1700 a 2000 kg/m³. O concreto permeável possui massa específica de aproximadamente 80% do valor da massa específica do concreto comum que é de aproximadamente 2400 kg/m³.

Nota-se que o valor da massa específica seca da mistura com adição de 10% e 20% de fibra de vidro AR começa a diminuir em relação ao valor da mistura de referência consecutivamente 1,86 e 3,1% para 10% e 20% de fibra de vidro AR, respectivamente. Ao utilizar o Teste de Hipóteses “t” de Student, é possível determinar se as diferenças entre os grupos de amostras são estatisticamente significativas. Essa análise é apresentada na Tabela 16 denominada de Teste-“t” Massa específica.

Tabela 15 - Mistura - Massa Específica

Mistura	Massa específica (Kg/m ³)	Desvio padrão (%)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
Referência	1963,04	27,82	1,42
10% de adição fibra (AR)	1926,71	36,36	1,89
20% de adição Fibra AR)	1902,11	12,52	0,66

Fonte: Elaboração do autor.

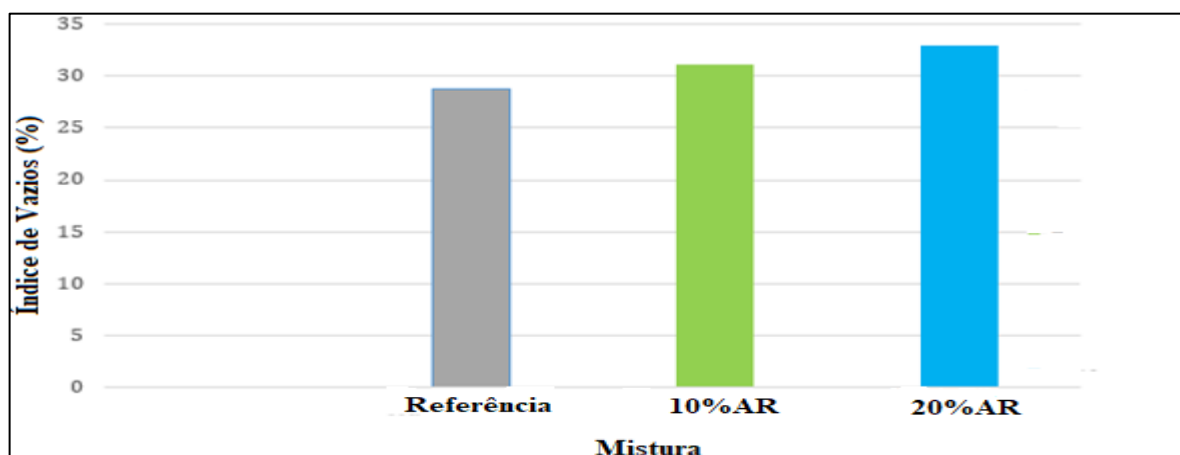
Tabela 16 - Teste-“t” Massa Específica

Mistura confrontada	F. Calculado	P - Valor	F. Crítico
Referência x 10% fibra (AR)	0,010018264	0,992486459	2,776445105
Referência x 20% fibra (AR)	0,028321297	0,978762576	2,776445105
10% x 20% fibra (AR)	0,018468802	0,986149382	2,776445105
Hipótese do teste	H0 =0 (Hipótese Nula)	Número verificador descrito pelo método = 0,05	

Fonte: Elaboração do autor.

Embora, de acordo com a Tabela 15, a massa específica seca da mistura contendo adição de 10% e 20% de fibra de vidro AR começa a diminuir em relação à mistura de referência. De acordo com os valores encontrados na Tabela 16 Teste "t" massa específica. Observa-se que os valores de F calculado ficaram menores do que os valores de F crítico e os valores de P-valor ficaram maiores que 0,05, podendo então ser assumida a hipótese nula, demonstrando não haver diferenças estatisticamente entre os grupos confrontados.

Figura 36 - Índice de Vazios



Fonte: Elaboração do autor.

De acordo com a Figura 36, nota-se que nenhuma das misturas apresentou valores abaixo de 15% no índice de vazios, o que está de acordo com o mencionado pelos autores Elango *et al.*, (2021), Fu *et al.*, (2023) e Kia *et al.*, (2017). Consideram que 15% seja o mínimo aceitável para o concreto ser permeável.

Conforme já era esperado, observa-se que a adição de fibra de vidro AR nas misturas de concreto permeável aumenta o percentual de índice de vazios nas amostras. Togholi *et al.*, (2020) explicam que o aumento do índice de vazios na mistura de concreto permeável, ocorrem através do acúmulo do ar entre a mistura do concreto com o contato da fibra de vidro AR.

Em média, foi constatado um aumento do índice de vazios nas adições de 10% e 20% de fibra de vidro AR, respectivamente de 7,94% e 14,5% em relação à mistura de referência.

A Tabela 17 ilustra o índice de vazios, desvio padrão e o coeficiente de variação de cada mistura aos 28 dias. Nota-se que as amostras apresentaram um índice de vazios acima de 15%. Já a Tabela 18 apresenta o Teste “t” das misturas em relação ao índice de vazios.

Tabela 17 - Mistura – Índice de Vazios

Mistura	Índice de vazios (%)	Desvio padrão (%)	Coeficiente de variação (%)
Referência	28,82	1,42	2,02
10% de adição fibra (AR)	31,12	1,79	5,75
20% de adição Fibra AR)	33,00	0,56	1,68

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 18 - Teste-“t” Mistura x Índice de vazios

Mistura confrontada	F. Calculado	P - Valor	F. Crítico
Referência x 10% fibra (AR)	-0,165553089	0,876539096	2,776445105
Referência x 20% fibra (AR)	-0,071195864	0,946659415	2,776445105
10% x 20% fibra (AR)	0,081128827	0,939236671	2,776445105
Hipótese do teste	H0 =0 (Hipótese Nula)	Número verificador descrito pelo método = 0,05	

Fonte: Elaboração do autor.

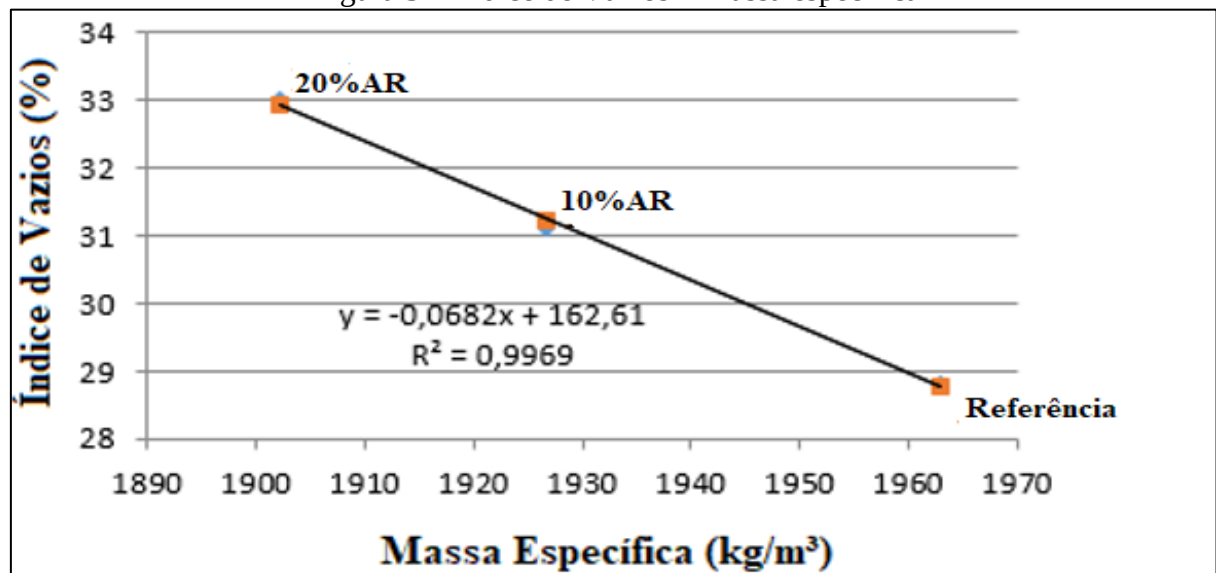
Conforme apresentado na Tabela 17, o índice de vazios na mistura com adição de 10% e 20% de fibra de vidro AR aumentou em relação à mistura de referência. No entanto, ao observar a Tabela 18 do Teste-“t” mistura x índice de vazios, nota-se que os valores de F

calculado ficaram menores do que os valores do F crítico e os valores do P-valor ficaram maiores que 0,05.

Portanto, é possível assumir que a hipótese nula é válida, mostrando que não há diferença estatisticamente entre as misturas.

A relação entre o índice de vazios e a massa específica aparente apresentou uma tendência bastante linear, conforme pode ser observado na Figura 37, e justificado pelo coeficiente de determinação (R^2). A equação obteve um valor próximo de 1, o que indica alta confiabilidade na relação linear entre o índice de vazios e a massa específica aparente.

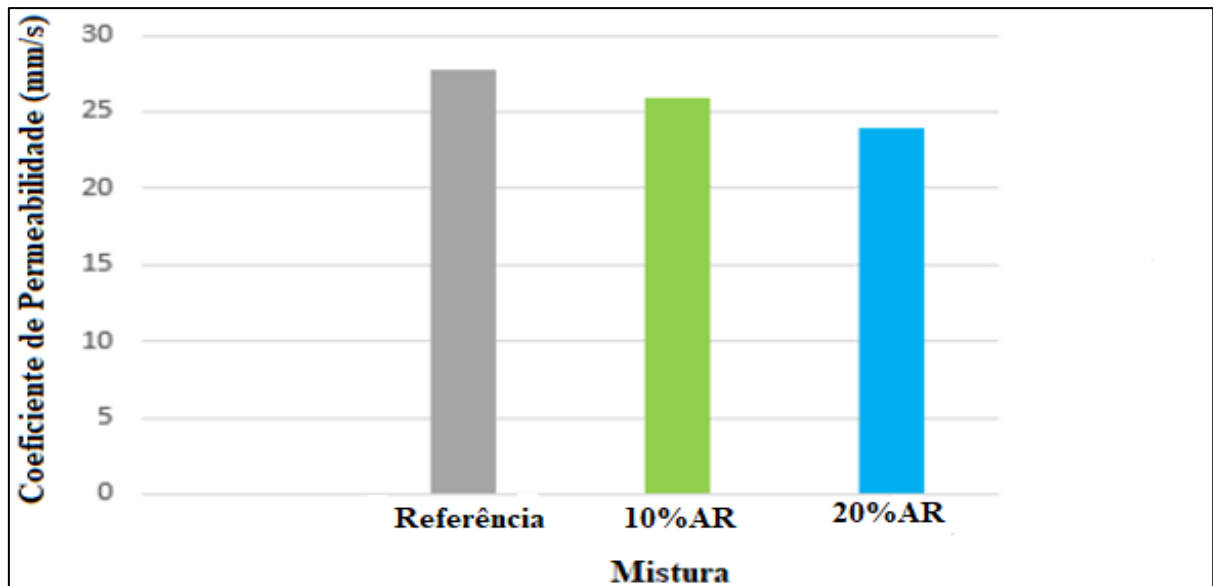
Figura 37- Índice de Vazios x Massa específica



Fonte: Elaboração do autor.

De acordo com a Figura 38, nota-se que todas as misturas de concreto permeável endurecido obtiveram valores de coeficiente de permeabilidade pelo menos 20 vezes acima do mínimo recomendado pela norma ABNT 16416.

Figura 38- Coeficiente de Permeabilidade



Fonte: Elaboração do autor.

Observa-se, que a mistura de referência apresentou coeficiente de permeabilidade maior em relação a outras misturas. Em relação à mistura de referência houve queda na permeabilidade de 6,67% e 13,78% para as misturas com adição de 10% e 20% de fibra de vidro AR, respectivamente.

Este resultado está de acordo com o que é relatado pelos autores Philip *et al.*, (2023). Eles mencionam que as adições de fibras reduzem consideravelmente a permeabilidade nas amostras de concreto permeável devido à distribuição irregular das fibras nos poros do concreto. Isso resulta em poros mais fechados e compactos, dificultando a passagem da água, isto pode ser observado na Figura 39.

Figura 39 - Fibra de Vidro (AR) nos Poros do Concreto Permeável

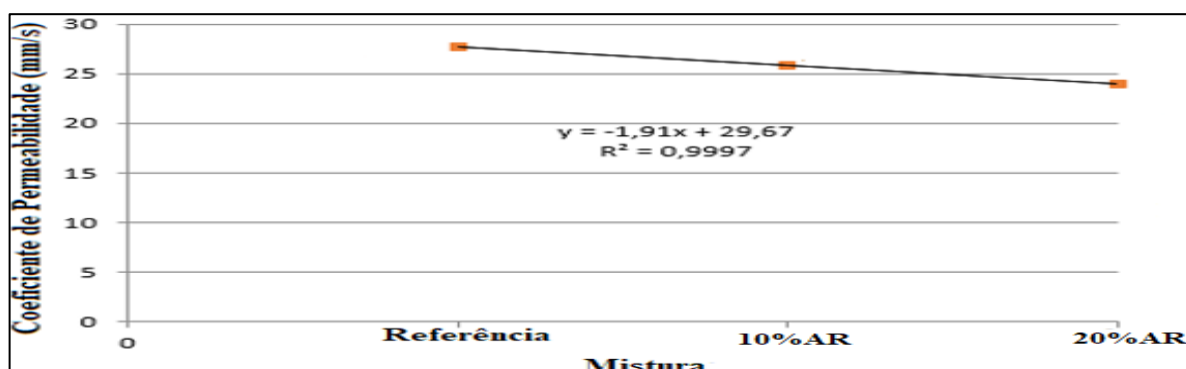


Fonte: Elaboração do autor.

Legenda: As setas na Figura 39 apontam as fibras entre os poros.

A adição de fibra de vidro AR reduz o coeficiente de permeabilidade do concreto de forma consistente e previsível (Figura 40). Também é possível observar na Figura que o coeficiente de determinação (R^2) próximo a 1, indica que há relação linear entre a adição de fibra de vidro AR e a queda da permeabilidade é linear.

Figura 40 - Coeficiente de Permeabilidade x Adição de Fibra de Vidro (AR)



Fonte: Elaboração do autor.

A Tabela 19 apresenta os resultados do coeficiente de permeabilidade, desvio padrão e coeficiente de variação das misturas endurecidas, enquanto a Tabela 20 ilustra o Teste "t" entre as variáveis: misturas e permeabilidade.

Tabela 19 - Mistura x Permeabilidade

Mistura	Permeabilidade (mm/s)	Desvio padrão (%)	Coeficiente de variação (%)
Referência	27,74	6,35	22,89
10% de adição fibra (AR)	25,89	3,66	14,13
20% de adição Fibra AR)	23,92	2,54	10,63

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 20 - Teste-"t" Mistura x Permeabilidade

Mistura confrontada	F. Calculado	P - Valor	F. Crítico
Referência x 10% fibra (AR)	0,486179571	0,652273567	2,776445105
Referência x 20% fibra (AR)	0,737729297	0,501616093	2,776445105
10% x 20% fibra (AR)	0,245486741	0,818160513	2,776445105
Hipótese do teste	H0 =0 (Hipótese Nula)	Número verificador descrito pelo método = 0,05	

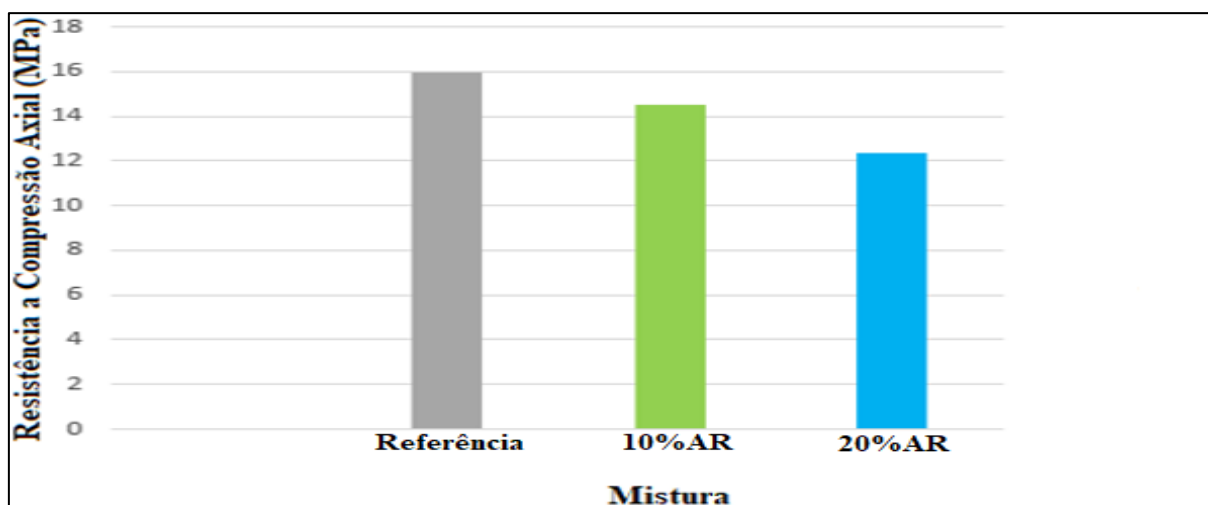
Fonte: Elaboração do autor.

Observa-se na Tabela 19 que ocorreu uma queda no coeficiente de permeabilidade das misturas com a adição de 10% e 20% de fibra de vidro AR em comparação com a mistura de referência. No entanto, a Tabela 20 demonstra que essa diferença não foi significativa entre as misturas comparadas. Nota-se que o valor calculado de F é menor que o valor crítico de F e o P-valor é maior que 0,05, demonstrando que a hipótese nula é válida, ou seja, estatisticamente não há diferença na permeabilidade das misturas.

4.1 Resistências mecânicas

Foram realizados ensaios mecânicos aos 28 dias (ensaio de resistências à compressão axial, compressão diametral e a flexão por três pontos) nas misturas de concreto permeável com e sem fibra de vidro (AR). Na Figura 41 está ilustrado o resultado da resistência à compressão axial da mistura de referência e com adição de 10% e 20% de fibra de vidro AR.

Figura 41 - Resistência à Compressão Axial



Fonte: Elaboração do autor.

De acordo com a Figura 41 a mistura de referência apresentou a maior resistência à compressão axial em relação as demais amostras contendo adição de fibra de vidro AR. Isso indica que a adição de fibra de vidro AR não contribuiu para o aumento da resistência à compressão axial da mistura.

Interpretações e conclusões podem ser feitas com base nos resultados mencionados. Primeiro, é observado que as amostras com 10% e 20% de fibra de vidro AR apresentaram quedas na resistência à compressão axial em comparação com a mistura de referência. Essa redução pode ser atribuída ao aumento do índice de vazios nas amostras de concreto permeável.

Essa conclusão está de acordo com a pesquisa realizada por Sharma e Mehta em 2023, que também observaram queda na resistência à compressão axial quando adicionaram fibra de vidro ao concreto convencional.

Essa redução ocorre devido ao aumento do índice de vazios nas amostras, o que enfraquece a estrutura do concreto.

Portanto, os resultados da pesquisa indicam que a adição de fibra de vidro AR no concreto permeável pode resultar em uma queda na resistência à compressão axial devido ao aumento do índice de vazios. Isso é importante considerar ao utilizar esse tipo específico de fibra em concretos permeáveis ou em aplicações onde a resistência à compressão seja uma propriedade essencial.

Sandoval (2014) realizou a moldagem de alguns corpos de prova contendo somente agregado graúdo de granulometria de 4,75mm a 12,5mm conhecida como brita 0, cimento CP II F e teor de água/cimento (a/c) de 0,34% sobre o volume e a relação de agregado/ cimento de 1:3,26. O resultado obtido em seu trabalho foi de 9,49 MPa para a resistência à compressão aos 28 dias. O resultado do presente trabalho, para o concreto de referência, foi 68,17% maior que o de Sandoval.

Batezini (2013) em seu trabalho produziu misturas de concreto permeável denominadas M2, utilizando brita 0 e cimento CP-III-40. A relação a/c em massa foi de 0,3% e a relação de cimento/agregado em massa foi de 1:4,44. A amostra apresentou resistência média à compressão axial de 8,68 MPa aos 28 dias. Em comparação com a mistura de referência da presente pesquisa, constata-se que o resultado da resistência à compressão axial adquirido por Batezini foi de 83,87% inferior ao resultado desta pesquisa.

Silva (2019) moldou amostras de concreto permeável empregando brita 0, aglomerante CP II-F-40, fator a/c de 0,29% em relação à massa, 0,5% de aditivo superplastificante em relação ao peso do aglomerante e o traço de cimento/agregado de 1:5. Observou-se uma resistência média à compressão axial de 9,72 MPa aos 28 dias. De acordo com o resultado da pesquisa atual, verifica-se que o resultado obtido por Silva em 2019 apresentou uma resistência axial 64,19% menor em relação ao resultado obtido nesta pesquisa.

De acordo com a diferença de resultados de Silva (2019) e Batezini (2013), é possível notar que a adição de sílica aumenta consideravelmente a resistência à compressão axial.

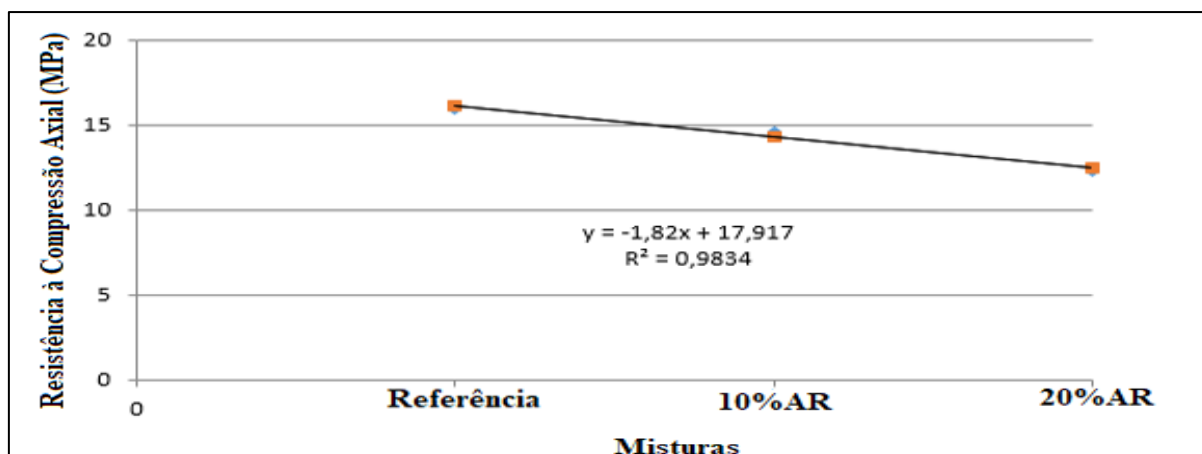
Bigotto (2021) confeccionou misturas de concreto permeável contendo agregado graúdo brita 0, cimento CP II- F-32, fator de água/cimento de 0,28% (proporcional ao peso do cimento mais à água necessária para completar a absorção dos agregados), 10% de sílica (sobre o volume), 0,5% de aditivo superplastificante (sobre o peso do aglomerante) e um fator de

agregado/cimento de 1:5. O concreto obteve uma resistência à compressão axial de 13,48 MPa aos 28 dias.

A presente pesquisa obteve resultado na mistura de referência de 18,39% superior em relação ao resultado adquirido por Bigotto em 2021. Isto deve ter ocorrido devido ao traço de Bigotto ser um pouco mais pobre em cimento.

A Figura 42 apresenta um coeficiente de determinação de 98%, ou seja, próximo ao valor de 1. Portanto, é seguro afirmar, para a extensão estudada, que a adição de fibra de vidro AR na mistura de concreto afeta linearmente a resistência à compressão axial do material.

Figura 42 – Resistência à Compressão Axial x Misturas



Fonte: Elaboração do autor.

A Tabela 21 apresenta os resultados médios da resistência à compressão axial, desvio padrão e coeficiente de variação. Esses dados são importantes para obter uma visão geral das amostras de concreto permeável endurecido com adição de fibra de vidro (AR) e sem fibra.

Tabela 21- Resultados Médios do Ensaio de Resistência à Compressão Axial

Mistura	Ensaio	Idade (Dias)	Resistência média à compressão axial (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coeficiente de variação (%)
Referência	Compressão axial	28	15,96	2,80	17,52
10% de adição fibra (AR)	Compressão axial	28	14,55	1,90	13,04
20% de adição Fibra (AR)	Compressão axial	28	12,32	1,82	14,79

Fonte: Elaboração do autor.

Conforme se observa na Tabela 21, a adição de fibra de vidro (AR) na mistura de concreto permeável não aumenta a resistência à compressão axial, mas sim reduz a resistência do material.

De acordo com a Tabela 22, é possível observar os valores do teste t para os resultados de resistência à compressão axial em relação às misturas confrontadas, denominadas como mistura referência e com adição de 10% e 20% de fibra de vidro (AR).

Tabela 22 - Teste-“t” para os Resultados de Resistência à Compressão Axial

Mistura	F. Calculado	P - Valor	F. Crítico
Referência x 10% fibra (AR)	0,368592006	0,731111268	2,776445105
Referência x 20% fibra (AR)	0,399530461	0,709916561	2,776445105
10% x 20% fibra (AR)	0,033143232	0,975148263	2,776445105
Hipótese do teste	H0 =0 (Hipótese Nula)	Número verificador descrito pelo método = 0,05	

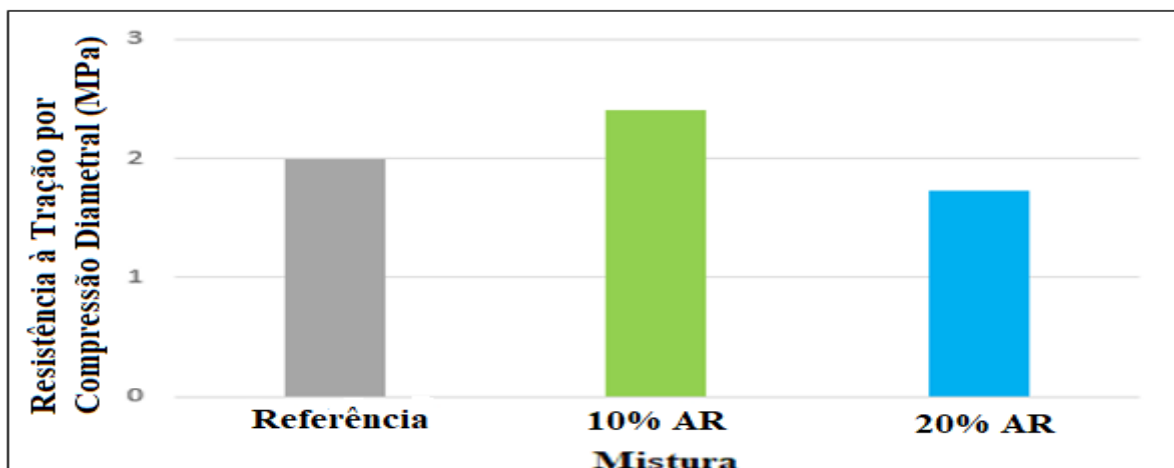
Fonte: Elaboração do autor.

Conforme observado na Tabela 22, nos resultados do Teste "t" de resistência à compressão axial das amostras confrontadas, nota-se que os valores de F calculado são menores que o valor de F crítico e que o valor de p-valor é maior que 0,05.

Portanto, é possível assumir que a hipótese nula é válida, indicando que não há diferença estatisticamente significativa entre as misturas confrontadas.

A Figura 43 apresenta os resultados do ensaio de resistência à tração por compressão diametral das misturas de concreto permeável.

Figura 43 - Resistência à Tração por Compressão Diametral



Fonte: Elaboração do autor.

Conforme a Figura 43, a resistência à tração por compressão diametral da mistura com adição de 10% de fibra de vidro AR apresentou maior valor de resistência à tração por compressão diametral em relação a mistura referência e com adição de 20% de vidro AR.

A mistura com adição de 10% de fibra adquiriu uma resistência à tração de 17% e 28% maior em relação a mistura de referência e com 20% de fibra de vidro (AR), respectivamente.

Os autores Sharma e Metha (2023) utilizaram em sua pesquisa uma adição de 2% de fibra de vidro na mistura de concreto convencional. Eles constataram um aumento na resistência à tração de aproximadamente 22,26% com essa adição.

Qureshi e Ahmed (2013) adicionaram 2% de fibra de vidro em relação ao peso do cimento na mistura de concreto convencional observaram um aumento de 25% a 30% na resistência a tração dos corpos de prova.

Aparentemente a fibra de vidro se mostrou mais eficiente no concreto convencional, entretanto a porcentagem usada foi menor.

A Tabela 23 apresenta os resultados médios do ensaio de resistência à tração por compressão diametral, desvio padrão e o coeficiente de variação para as três misturas.

Tabela 23- Resultado Médio do Ensaio de Resistência à Tração por Compressão Diametral

Mistura	Ensaio	Idade (Dias)	Resistência média à tração por compressão diametral (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coeficiente de variação (%)
Referência	Compressão diametral	28	2,00	0,35	17,68
10% de adição fibra (AR)	Compressão diametral	28	2,41	0,44	18,16
20% de adição Fibra (AR)	Compressão diametral	28	1,74	0,17	9,50

Fonte: Elaboração do autor.

Os resultados apresentados na Tabela 23 são importantes para se obter uma visão geral sobre a resistência à tração por compressão diametral, desvio padrão e coeficiente de variação das amostras de concreto permeável endurecido. Percebe-se que a mistura com adição de 10% de fibra de vidro AR obteve o maior resultado na resistência à compressão diametral em

comparação com as outras misturas. A Tabela 24 descreve o resultado do teste "t" da resistência à tração por compressão diametral em relação às misturas confrontas.

Tabela - 24 Teste-“t” para os Resultados de Resistência à Tração por Compressão Diametral

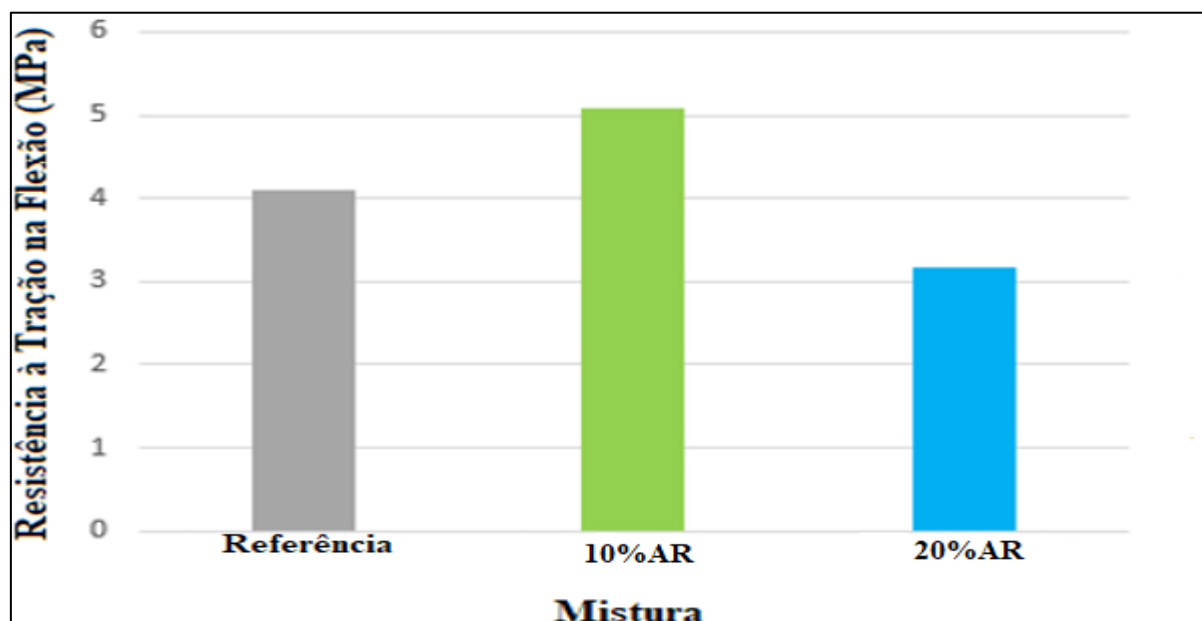
Mistura confrontada	F. Calculado	P - Valor	F. Crítico
Referência x 10% fibra (AR)	-0,041507996	0,968880172	2,776445105
Referência x 20% fibra (AR)	0,461204912	0,66861514	2,776445105
10% x 20% fibra (AR)	0,507491595	0,638512123	2,776445105
Hipótese do teste	H0 =0 (Hipótese Nula)	Número verificador descrito pelo método = 0,05	

Fonte: Elaboração do autor.

Na Tabela 24 (teste "t"), observa-se que o valor de F calculado é menor que o valor de F crítico e o p-valor é superior a 0,05, o que nos permite presumir estatisticamente que não há diferença significativa entre os resultados de resistência à compressão diametral.

A Figura 44 descreve os resultados obtidos do ensaio de resistência à flexão a 3 pontos das misturas de concreto permeável endurecido.

Figura 44 - Resistência à Flexão



Fonte: Elaboração do autor.

Em relação à Figura 44, observa-se que a maior resistência adquirida no ensaio de flexão é obtida pela mistura que contém 10% fibra de vidro AR. A mistura com a maior resistência à flexão registrou valores de 24% e 37,6% superiores em comparação a mistura de referência e a mistura com adição de 20% de fibra de vidro AR, respectivamente. Além disso, a mistura com maior adição de fibra de vidro apresentou perda de resistência. Isso sugere que existe uma quantidade "ótima" de fibra de vidro que pode ser adicionada à mistura para melhorar sua resistência à flexão, mas adições maiores podem resultar em redução da resistência.

Os resultados também indicam que a adição de 10% de fibra de vidro AR é mais eficiente em melhorar a resistência à flexão em comparação com a adição de 20% de fibra AR. A Tabela 25 apresenta o resultado médio do ensaio de resistência à flexão a 3 pontos.

Tabela 25 - Resultado Médio do Ensaio de Resistência à Flexão a 3 Pontos

Mistura	Ensaio	Idade (Dias)	Resistência média à flexão a 3 pontos (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coefficiente de variação (%)
Referência	Flexão a 3 pontos	28	4,09	0,44	10,65
10% de adição fibra (AR)	Flexão a 3 pontos	28	5,09	0,39	7,62
20% de adição Fibra AR)	Flexão a 3 pontos	28	3,18	1,12	35,28

Fonte: Elaboração do autor.

Observando a Tabela 25, verifica-se que a mistura com 10% de fibra de vidro AR adquiriu a maior resistência à flexão, em comparação com as demais misturas. A Tabela 26 ilustra os resultados do Teste "t" para as misturas confrontadas em relação a resistência a flexão a 3 pontos.

Tabela 26- Teste-“t” para os Resultados de Resistência à Flexão a 3 Pontos

Mistura confrontada	F. Calculado	P - Valor	F. Crítico
Referência x 10% fibra (AR)	0,189339875	0,859045795	2,776445105
Referência x 20% fibra (AR)	-0,709986717	0,516911314	2,776445105
10% x 20% fibra (AR)	-0,783870689	0,51520963	4,30265273
Hipótese do teste	H0 =0 (Hipótese Nula)	Número verificador descrito pelo método = 0,05	

Fonte: Elaboração do autor.

Entretanto, de acordo com a Tabela 26 (Teste-“t”), nota-se que os valores de F calculados foram menores do que os valores de F críticos e os P-valores obtidos foram superiores a 0,05. Portanto, pode-se assumir a hipótese nula de que não há diferença estatisticamente entre as amostras de concreto permeável endurecido, ensaiadas a resistência à flexão. A Tabela 27 apresenta o consumo de cimento e as propriedades mecânicas das amostras.

Tabela 27- Propriedades Mecânicas

Misturas	Consumo de cimento (kg/m³)	Número do corpo de prova (CP)	Resistência à compressão axial (MPa)	Resistência à tração por compressão diametral (MPa)	Resistência à flexão (MPa)
Referência	440,18	1	18,12	2,34	4,45
		2	18,01	2,27	4,37
		3	15,56	1,71	4,05
		4	12,16	1,68	3,49
Média			15,96	2,0	4,09
10% Fibra de vidro (AR)	440,18	1	16,74	2,79	5,56
		2	15,27	2,79	5,09
		3	13,90	2,09	5,09
		4	12,30	1,98	4,61
Média			14,55	2,41	5,08
20% Fibra de vidro (AR)	440,18	1	14,80	1,97	4,53
		2	12,58	1,70	3,65
		3	11,05	1,70	2,38
		4	10,86	1,58	2,14
Média			12,32	1,73	3,17

Fonte: Elaboração do autor.

Realizamos o ensaio do módulo de elasticidade no laboratório utilizando o conjunto de equipamentos: prensa hidráulica e sensor strain gauge. Durante o ensaio, observamos alterações nos resultados encontrados e podemos afirmar com segurança que essas alterações ocorreram devido à dificuldade de colagem dos sensores nos corpos de prova.

O corpo de prova de concreto permeável possui um alto índice de vazios e, consequentemente, uma alta porosidade, o que dificultou a aderência dos sensores nos corpos de prova, contribuindo para a ineficiência do ensaio. Optamos por utilizar a Equação de Goede (2009) para obter o módulo de elasticidade estático das misturas de referência e com adição de 10% e 20% de fibra de vidro (AR) conforme a Equação 9.

$$E = 36,1 \times \rho_c 1,5 \times \sqrt{f_c} \quad (9)$$

Onde:

E = Módulo de elasticidade (MPa);

ρ_c = Massa específica do concreto (kg/m³);

f_c = Resistência à compressão do concreto (MPa);

A Tabela 28 apresenta os resultados dos valores adquirido pelo autor da pesquisa do módulo de elasticidade estático obtidos através da Equação de Goede (2009).

Tabela 28- Módulo de Elasticidade Estático Utilizando a Equação de Goede (2009)

Mistura	Resistência à compressão (MPa)	Massa específica aparente seca (kg/m ³)	Módulo de elasticidade (GPa)
Referência	15,96	1963,04	13,57
10% de adição fibra (AR)	14,55	1926,72	12,61
20% de adição Fibra (AR)	12,32	1920,12	11,54

Fonte: Elaboração do autor.

De acordo com a Tabela 28, nota-se que os valores do módulo de elasticidade estático obtidos através da equação ficaram com valores próximos de 12.1 GPa e 15.1 GPa, como os encontrados por Goede (2009) obtidos de sua equação para o concreto permeável. No entanto, é importante ressaltar que esses valores são inferiores aos do concreto convencional.

Sartoti *et al.* (2018) realizaram um estudo com concreto convencional utilizando brita basáltica e encontraram um valor do módulo de elasticidade estático de aproximadamente 27,89 GPa.

Silva (2019) também utilizou a equação de Goede (2009) e obteve valores do módulo de elasticidade próximos a 15.1 GPa. A Tabela 29 apresenta os valores do módulo de

elasticidade estático da mistura de referência do autor em comparação com as misturas de Batezini em 2013, também obtidos pela equação.

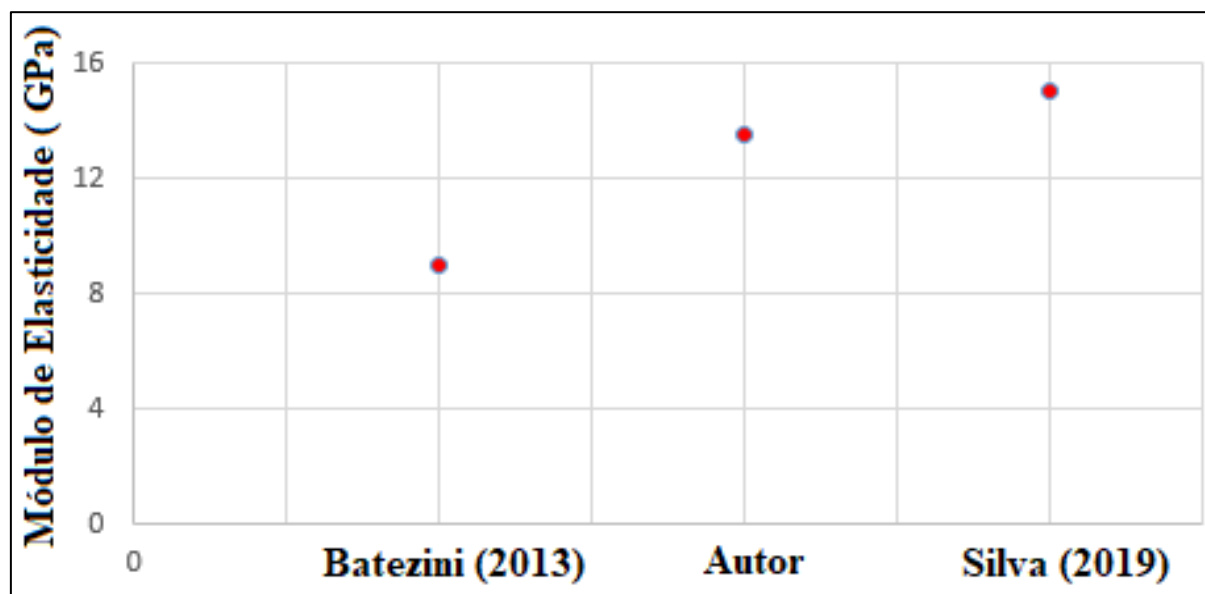
Tabela -29 Módulo de Elasticidade Estático de Acordo com a Equação de Goede (2009)

Autor	Mistura	Traço	Resistência média à compressão axial (MPa)	Massa específica seca (kg/m³) Média	Módulo de elasticidade (GPa) Média
Autor	Referência	1:4,6	15,96	1963,04	13,57
Batezini (2013)	M1	1:4,44	8,45	1902,26	9,41

Fonte: Elaboração do autor.

A Figura 45 ilustra os autores com seus respectivos resultados de elasticidade das misturas.

Figura 45- Resultados do Módulo de Elasticidade Estático Equação Goede (2009)



Fonte: Elaboração do autor.

Os valores adquiridos nos ensaios de resistência à tração por compressão diametral e resistência à flexão foram comparados com os valores obtidos por Chhorn *et al.*, (2018) Equação 1 e 2, e estão apresentados na Tabela 30.

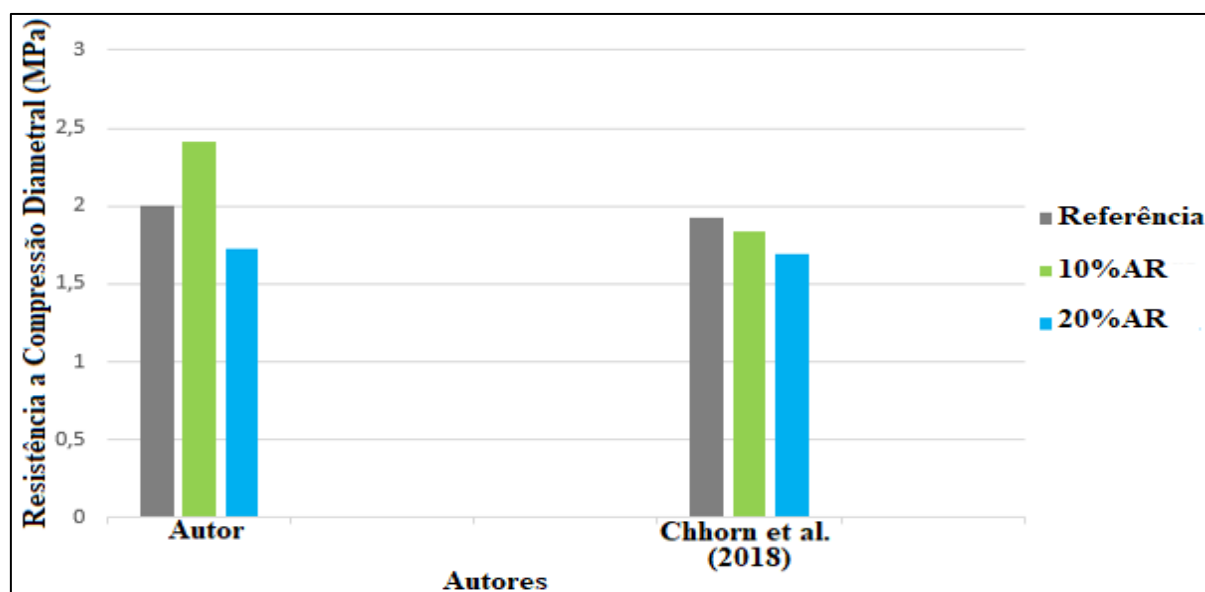
Tabela 30- Propriedades Mecânicas – Autor x Equação de Chhorn *et al.*, (2018)

Mistura	Resistência à tração por compressão diametral Autor (MPa)	Resistência à tração por compressão diametral Equação de Chhorn <i>et al.</i> , (2018) (MPa)	Resistência à flexão Autor (MPa)	Resistência à tração na flexão Equação de Chhorn <i>et al.</i> , (2018) (MPa)
Referência	2,0	1,93	4,09	3,62
10% Fibra	2,41	1,84	5,08	3,42
20% Fibra	1,73	1,69	3,17	3,09

Fonte: Elaboração do autor.

De acordo com a Tabela 30, nota-se que os resultados de resistência à tração por compressão diametral obtidas nas misturas através dos ensaios laboratoriais são maiores em relação aos resultados obtidos pela Equação de Chhorn *et al.*, (2018) na proporção de 3,5%, 23,62% e 2,32% em relação a mistura referência, respectivamente.

Essa diferença pode ser explicada pelo fato de que os valores obtidos nos ensaios laboratoriais são resultado de medidas diretas da resistência à tração por compressão diametral das misturas, enquanto a equação de Chhorn *et al.*, (2018) é baseada em estimativas de acordo com resultados de ensaio de compressão axial. A Figura 46 ilustra os resultados.

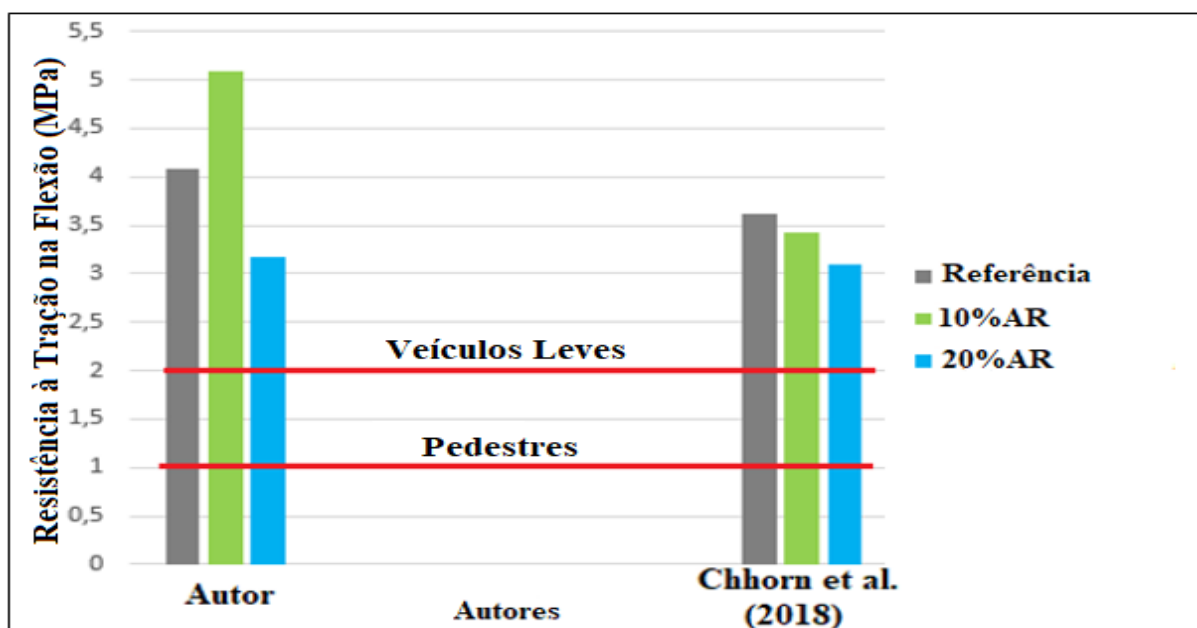
Figura 46 - Resistência à Compressão Diametral Autor x Chhorn *et al.*, (2018)

Fonte: Elaboração do autor.

Conforme apresentado na Figura 46, observa-se que os resultados da Equação de Chhorn *et al.*, (2018) são inferiores aos resultados adquiridos através do ensaio mecânico. Em outras palavras, pode-se afirmar que a equação favorece a segurança.

A Figura 47 apresenta a comparação entre os valores de resistência à flexão obtidos por meio do método de ensaio mecânico e pela equação de Chhorn *et al.*, (2018).

Figura 47- Resistência à Flexão experimental x Chhorn *et al.*, (2018)



Fonte: Elaboração do autor.

De acordo com a Figura 47, os ensaios laboratoriais mostraram resultados de resistência à flexão superiores aos valores estimados pela Equação de Chhorn *et al.*, (2018) para as diferentes misturas testadas. Observa-se que o resultado mecanicista apresentou um percentual superior à equação, de aproximadamente 11,5% para a mistura de referência, 32,68% para a mistura com adição de 10% de fibra de vidro AR e 2,54% para a mistura com adição de 20% de fibra de vidro AR. Isto pode ter acontecido porque os valores experimentais encontrados no presente trabalho foram para flexão a três pontos.

A Equação de Chhorn *et al.*, (2018) se mostrou conservadora e mais segura do que os valores reais obtidos nos ensaios laboratoriais.

A norma NBR 16416 determina que o concreto permeável utilizado em pavimentos deve possuir uma resistência mínima à tração na flexão de 1 MPa para tráfego de pedestres e 2 MPa para tráfego de veículos leves, ou seja, todas as misturas obtidas pela Equação de Chhorn ficaram com valores acima da recomendação da norma. Isso significa que o concreto deve ser capaz de suportar as cargas e esforços aplicados sobre ele durante essas situações de uso.

5 CONCLUSÕES

A presente pesquisa foi realizada com o intuito de avaliar as propriedades mecânicas do concreto permeável como a resistência à compressão axial, resistência à tração por compressão diametral e resistência à flexão. Também foram realizados ensaios de massa específica, índice de vazios e coeficiente de permeabilidade. Foram confeccionados 3 lotes de misturas, mistura de referência e misturas com adição de 10% e 20% de fibra de vidro AR em cada lote contendo 20 corpos de prova sendo 15 corpos de prova cilíndricos de dimensões 100x200mm (altura x base) e 5 corpos de prova prismáticos de dimensões 100x100x400mm (altura x base x comprimento). Diante dos resultados adquiridos foi possível concluir que:

- a) Todas as misturas: mistura de referência e misturas com adição de 10% e 20% de fibra de vidro AR das amostras de concreto permeável endurecido atingiram valores de massa específica aparente seca, entre 1900 a 1970 kg/m³. Porém, notou-se que a massa específica aparente das amostras de concreto permeável com adição de 10% e 20% de fibra de vidro AR diminuem em relação a mistura de referência na ordem de 1,86% e 3,1% respectivamente. Segundo a literatura a perda da massa específica aparente ocorre devido a incorporação do ar durante a mistura do concreto permeável com as fibras de vidro AR.
- b) As misturas das amostras de concreto permeável ficaram com índice de vazios acima de 15%. Nota-se que a adição de fibra de vidro AR nas misturas de concreto permeável aumenta o índice de vazios na proporção de 7,94% e 14,5% em relação a 10% e 20% de adição de fibra de vidro AR diminuindo a resistência das amostras, o aumento do índice de vazios também ocorre devido ao acúmulo de ar provocado pela fibra de vidro AR.
- c) Todas as misturas produzidas de concreto permeável atingiram coeficiente de permeabilidade acima do recomendado pela norma Brasileira de 1 mm/s. A mistura de referência obteve um coeficiente de permeabilidade de 27,74 mm/s, e as misturas com adição de 10% e 20% de fibra de vidro AR atingiram valores respectivos a 25,89mm/s e 23,92 mm/s, respectivamente. Conforme mencionado pelas literaturas, a queda do coeficiente de permeabilidade ocorre devido a distribuição das fibras AR nos poros do concreto permeável endurecido de forma a deixar os poros mais fechados e compactos diminuindo a percolação da água.
- d) A Equação de Chhorn *et al.*, (2018) proporciona resultados conservadores, o que é desejável em termos de segurança. Os resultados obtidos pelo ensaio laboratorial

mostraram maior resistência à compressão diametral para as misturas testadas em comparação com os valores calculados pela Equação de Chhorn *et al.*, (2018). Portanto, conclui-se que a equação subestima a resistência à compressão diametral das misturas estudadas.

- e) Além disso, observou-se que a adição de fibra de vidro AR promoveu um aumento na resistência à flexão das misturas. A mistura com 10% de fibra de vidro AR adquiriu a maior resistência à flexão de 24% e 37,6% em relação a mistura de referência e a mistura com adição de 20% de fibra AR, respectivamente. Isso indica que a adição de fibra de vidro AR é uma opção viável para aumentar a resistência à flexão do concreto permeável em pavimentos. Portanto, a adição de fibra de vidro AR pode ser uma opção interessante para melhorar a resistência do concreto permeável em pavimentos, tornando-o mais adequado para o tráfego.
- f) O uso de fibra de vidro AR em concreto permeável pode ser benéfico até certo ponto, pois aumenta a resistência à tração na compressão diametral e a flexão. No entanto, quando a quantidade de fibra de vidro AR foi de 20%, essas propriedades começam a diminuir.

Outro ponto importante a ser mencionado é que a mistura com adição de 10% de fibra de vidro (AR) em relação ao volume cúbico do concreto apresentou a maior resistência à tração na flexão entre as demais misturas, sendo, portanto, a mais indicada para a aplicação na superfície do pavimento permeável.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

De acordo com a análise dos resultados obtidos na pesquisa, sugere-se que sejam investigados os seguintes temas:

5.1.1 Estudo das diferentes fibras utilizadas: Existem várias opções de fibras que podem ser adicionadas ao concreto permeável, tais como fibras produzidas a partir de materiais reciclados e fibras de materiais orgânicos, como as fibras de coco, que contribuem para a sustentabilidade. Pesquisas podem ser realizadas para comparar o desempenho dessas fibras em termos de resistência, durabilidade e permeabilidade do concreto.

5.1.1.1 Impacto das fibras na resistência mecânica: As fibras têm a capacidade de influenciar a resistência mecânica do concreto permeável. Em futuras pesquisas, podem ser explorados métodos de dosagem de fibras a fim de avaliar sua contribuição na resistência à compressão, à compressão diametral e à flexão do concreto permeável.

5.1.1.2 Durabilidade do concreto permeável com fibras: A durabilidade do concreto permeável é um fator importante a ser considerado, especialmente em ambientes agressivos, como áreas costeiras ou regiões com altos índices de congelamento e degelo. Estudos podem avaliar a influência das fibras na resistência ao desgaste, à fissuração e à corrosão do concreto permeável.

5.1.2 Estudo da permeabilidade do concreto permeável com fibras: A adição de fibras pode influenciar na permeabilidade do concreto, causando alterações na distribuição e conectividade dos poros. Portanto, seria interessante conduzir pesquisas futuras para investigar como diferentes tipos e quantidades de fibras afetam a permeabilidade do concreto permeável.

5.1.3 Influência das fibras nas propriedades sustentáveis do concreto permeável: O concreto permeável é uma solução sustentável para o gerenciamento de águas pluviais, e a adição de fibras compostas por materiais reciclados e orgânicos contribui para tornar o material ainda mais sustentável. Estudos podem ser realizados para analisar o consumo ideal de fibras no concreto permeável e avaliar a sua vida útil.

Essas são apenas algumas áreas que podem ser exploradas em futuras pesquisas sobre a utilização de fibras no concreto permeável. O objetivo é aprimorar as propriedades e o desempenho desse material, tornando-o mais durável, resistente e sustentável.

REFERÊNCIAS

- ABREU, Rafael Silva Andrade de; MIRANDA, Thiago Variz. O USO DO PAVIMENTO PERMEÁVEL COMO MEDIDA AUXILIAR NA DRENAGEM DAS CIDADES. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, [S. l.], v. 3, p. 52-74, abr. 2020. ISSN: 2448-0959. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/>. Acesso em: 15 out. 2023.
- ACIOLI, Laura Albuquerque. **Estudo experimental de pavimentos permeáveis para o controle do escoamento superficial na fonte**. 2005. 162 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós Graduação e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/5843>. Acesso em: 28 nov. 2023.
- ADIL, Goran; KEVERN, John T.; MANN, Daniel. Influence of silica fume on mechanical and durability of pervious concrete. **Construction And Building Materials**, [S.l.], v. 247, p. 118453, jun. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118453>. Acesso em: 06 jul. 2023.
- ALENCAR, Paulo Cezar Dias de. **Avaliação experimental do concreto poroso na atenuação do escoamento superficial em parcelas urbanizadas**. 2013. 193 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de Brasília Faculdade de Tecnologia, Brasília, 2013. Disponível em: <http://ptarh.unb.br/wp-content/uploads/2017/03/Paulo-C%3%A9zar-D-2013-Dissert-PTARH.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2023.
- ALI, Babar; QURESHI, Liaqat Ali; KHAN, Sibghat Ullah. Flexural behavior of glass fiber-reinforced recycled aggregate concrete and its impact on the cost and carbon footprint of concrete pavement. **Construction And Building Materials**, [S.l.], v. 262, p. 120820, nov. 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020>. Acesso em: 11 jul. 2023.
- ALI, Babar; QURESHI, Liaqat Ali; KURDA, Rawaz. Environmental and economic benefits of steel, glass, and polypropylene fiber reinforced cement composite application in jointed plain concrete pavement. **Composites Communications**, [S.l.], v. 22, p. 100437, dez. 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.coco.2020>. Acesso em: 15 nov. 2023.
- ALSHAREEDAH, Othman; NASSIRI, Somayeh. Pervious concrete mixture optimization, physical, and mechanical properties and pavement design: a review. **Journal Of Cleaner Production**, [S.l.], v. 288, p. 125095, mar. 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2020>. Acesso em: 22 abr. 2023.
- ALSHAREEDAH, Othman; NASSIRI, Somayeh; CHEN, Zhao; ENGLUND, Karl; LI, Hui; FAKRON, Osama. Field performance evaluation of pervious concrete pavement reinforced with novel discrete reinforcement. **Case Studies In Construction Materials**, [S.l.], v. 10, p. 231, jun. 2019. Disponível em <http://dx.doi.org/10.1016/j.cscm.2019>. Acesso em: 27 jun. 2023.
- ALSUBIH, Majed; ARTHUR, Scott; WRIGHT, Grant; ALLEN, Deonie. Experimental study on the hydrological performance of a permeable pavement. **Urban Water Journal**, [S.l.], v. 14, n. 4, p. 427-

434, 12 mai 2016. Informa UK Limited. Disponível em <http://dx.doi.org/10.1080/1573062x.2016.1176221>. Acesso em: 02 nov. 2023.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 522R-10**: Report on Pervious Concrete. Farmington Hills: ACI, 2010. 40 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. **C1116/C1116M - 10A**: Standard Specification for Fiber-Reinforced Concrete. West Conshohocken: ASTM, 2017. 7 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. **C127-15/C127-15.**: Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate. West Conshohocken: ASTM, 2016. 5 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. **C293/C293-16**. Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam With Center-Point Loading). West Conshohocken: ASTM, 2016. 4p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. **C1666/C1666M - 08**: Standard Specification for Alkali Resistant (AR) Glass Fiber for GFRC and Fiber-Reinforced Concrete and Cement. West Conshohocken: ASTM, 2015. 4 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. **C1701/1701M -17a**: Standard Test Method for Infiltration Rate of In Place Pervious Concrete. West Conshohocken: ASTM, 2020. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7222**: Argamassa e Concreto – Determinação da resistência á tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2011. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR NM 30**: Agregados Miúdos – Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2001. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR NM 53**: Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2009. 8 p.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2015. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 5739**: Concreto –Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018. 9p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7211**: Agregados para concreto - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2022. 10 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR ISO 7500-1**: Materiais metálicos – Calibração e verificação de máquina de ensaio estático uniaxial – Parte 1: Máquinas de ensaio tração/compressão – Calibração e verificação do sistema de medição de força. Rio de Janeiro: ABNT, 2023. 17 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7680:** Concreto – Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto Parte 1: Resistência a compressão axial. Rio de Janeiro: ABNT, 2015. 24p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 9778:** Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2005. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 9833:** Concreto fresco – Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico. Rio de Janeiro: ABNT, 2009. 7 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 12142:** Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro: ABNT, 2010. 5p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 12655:** Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2010. 22p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 13956:** Sílica ativa para uso com cimento Portland em concreto, argamassa e pasta Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2012. 6 p.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 16889:** Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: ABNT, 2020. 5 p.

BATEZINI, Rafael. **Estudo preliminar de concretos permeáveis como revestimento de pavimentos para áreas de veículos leves.** 2012. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/D.3.2012.tde-19072013-155819>. Acesso em: 10 nov. 2022.

BIGOTTO, Sherington Augusto Milani. **Estudo de traços de concreto permeável com adição de areia e sílica.** 2021. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Unesp, Ilha Solteira, 2021. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/a229acbc-151f-420a-ad08-7d777b48e144/content>. Acesso em: 27 abr. 2023.

CANHOLI, Aluísio Pardo. **Drenagem urbana e controle de enchentes:** edição ampliada e atualizada. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 384 p.

CHANDRAPPA, Anush K. *et al.* Pervious concrete as a sustainable pavement material – Research findings and future prospects: A state-of-the-art review. **Construction And Building Materials**, [s. l], v. 111, p. 262-274, 15 maio 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061816301131>. Acesso em: 09 jul. 2023

CHINDAPRASIRT, P.; HATANAKA, S.; CHAREERAT, T.; MISHIMA, N.; YUASA, Y.. Cement paste characteristics and porous concrete properties. **Construction And Building Materials**, [s. l.], v. 22, p. 894-901, 05 maio 2008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061806003618>. Acesso em: 07 jul. 2023.

CHOCKALINGAM, T.; VIJAYAPRABHA, C.; RAJ, J. Leon. Experimental study on size of aggregates, size and shape of specimens on strength characteristics of pervious concrete. **Construction And Building Materials**, [S.L.], v. 385, p. 131320, jul. 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131320>. Acesso em: 19 mai. 2023.

CHHORN, Chamroeun; HONG, Seong Jae; LEE, Seung Woo. Relationship between compressive and tensile strengths of roller-compacted concrete. **Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)**, [S.L.], v. 5, n. 3, p. 215-223, jun. 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtte.2017.09.002>. Acesso em: 01 jul. 2023.

CHU, Longjia; FWA, Tien F.; TAN, Kiang H.. Laboratory Evaluation of Sound Absorption Characteristics of Pervious Concrete Pavement Materials. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, [S.L.], v. 2629, n. 1, p. 91-103, jan. 2017. SAGE Publications. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3141/2629-12>. Acesso em: 21 mai. 2023.

DELATTE, N. **Developing a structural design method for pervious concrete pavement: csu pervious pavement demonstration**. Ohio: Cleverland, 2005. p. 37

DELATTE, Norbert; MRKAJIC, Aleksandar; MILLER, Daniel I. Field and Laboratory Evaluation of Pervious Concrete Pavements. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, [S.L.], v. 2113, n. 1, p. 132-139, jan. 2009. SAGE Publications. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3141/2113-16>. Acesso em: 26 nov. 2022.

EN. **DIN EN 15422: Precast Concrete Products - Specification of Glassfibres for Reinforcement of Mortars and Concretes**. German, 2008. 9 p.

EISENBERG, Bethany; LINDOW, Kelly Collins; SMITH, David R. **Permeable Pavements**. Reston, Virginia: American Society of Civil Engineers, 2015. 262 p.

ELANGO, K.s.; GOPI, R.; SARAVANAKUMAR, R.; RAJESHKUMAR, V.; VIVEK, D.; RAMAN, S. Venkat. Properties of pervious concrete – A state of the art review. **Materials Today: Proceedings**, [S.L.], v. 45, p. 2422-2425, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.839>. Acesso em: 11 out. 2023.

FIBERGLASS YUNIUI. Disponível em: https://www.fiberglassyn.com/Fiberglass-ChoppedStrands.html?gclid=EAIaIQobChMI6PafuaeAgQMV71N_AB1o1AmCEAAYASA AEgIs_vD_BwE. Acesso em: 13 jan. 2023

FERGUSON, Bruce. **Porous Pavements**. Boca Raton London: taylor & Francis., 2005. 600 p.

GAEDICKE, Cristián; TORRES, Anthony; HUYNH, Khanh C.T.; MARINES, Armando. A method to correlate splitting tensile strength and compressive strength of pervious concrete cylinders and cores. **Construction And Building Materials**, [S.l.], v. 125, p. 271-278, out. 2016. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.08.031>. Acesso em: 02 jul. 2023.

GOEDE, William Gunter. **Pervious concrete: investigation into structural performance and evaluation of the applicability of existing thickness design methods**. 2009. 198 f. Dissertação (Mestrado em Engineering Civil) - Department Of Civil And Environmental Engineering, Washington State University, Washington, 2009.

HAMMES, Gabriela; THIVES, Liseane Padilha; GHISI, Enedir. Application of stormwater collected from porous asphalt pavements for non-potable uses in buildings. **Journal of Environmental Management**, [S.L.], v. 222, p. 338-347, set. 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.05.094>. Acesso em: 14 abr. 2023.

HASELBACH, L.; WERNER, B.; DUTRA, V. P.; SCHWETZ, P.; SILVA FILHO, L. C. Pinto da; BATEZINI, R.; CURVO, F.; BALBO, J. T.. Estimating Porosity of In Situ Pervious Concrete Using Surface Infiltration Tests. **Journal of Testing and Evaluation**, [S.l.], v. 45, n. 5, p. 1726-1735, 1 set. 2017. ASTM International. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1520/jte20160116>. Acesso em: 07 jul. 2023.

HESAMI, Saeid; AHMADI, Saeed; NEMATZADEH, Mahdi. Effects of rice husk ash and fiber on mechanical properties of pervious concrete pavement. **Construction And Building Materials**, [S.l.], v. 53, p. 680-691, fev. 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.11.070>. Acesso em: 11 jul 2023.

HUSSAIN, Iqar; ALI, Babar; AKHTAR, Tauqeer; JAMEEL, Muhammad Sohail; RAZA, Syed Safdar. Comparison of mechanical properties of concrete and design thickness of pavement with different types of fiber-reinforcements (steel, glass, and polypropylene). **Case Studies In Construction Materials**, [S.l.], v. 13, p. dez. 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00429>. Acesso em: 10 jul 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Pesquisa Nacional de Amostra de Domicílios (PNAD)**. [S. l.: s. n.], 2019. Disponível em: <https://educa.ibge.gov.br/>. Acesso em: 10 jun. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Diretoria de Geociências, Coordenação de Meio Ambiente**. [S. l.: s. n.], 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/tipologias-do-territorio/15789-areas-urbanizadas.html?edicao=35569&t=acesso-ao-produto>. Acesso em 14 abr. 2023.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 17785-1: Testing methods for pervious concrete – Part 1 Infiltration rate**. [S.l.], 2016. 16 p.

JOSHI, Tejas; DAVE, Urmil. Construction of pervious concrete pavement stretch, Ahmedabad, India – Case study. **Case Studies in Construction Materials**, [S.l.], v. 16, p. 1-17, jun. 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00622>. Acesso em: 03 dez. 2022.

KAYHANIAN, Masoud; ANDERSON, Dane; HARVEY, John T.; JONES, David; MUHUNTHAN, Balasingam. Permeability measurement and scan imaging to assess clogging of pervious concrete pavements in parking lots. **Journal of Environmental Management**, [S.l.], v. 95, n. 1, p. 114-123, mar. 2012. Disponível em:

<http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.09.021>. Acesso em: 16 nov. 2023.

KIA, Alalea; WONG, Hong S.; CHEESEMAM, Christopher R.. Clogging in permeable concrete: a review. **Journal Of Environmental Management**, [S.l.], v. 193, p. 221-233, maio 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.02.018>. Acesso em: 07 jan. 2023.

LIAN, C.; ZHUGE, Y.. Optimum mix design of enhanced permeable concrete – An experimental investigation. **Construction And Building Materials**, [S.l.], v. 24, n. 12, p. 2664-2671, dez. 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.04.057>. Acesso em: 08 jul. 2023.

LIAO, Lin; WU, Shaoqi; HAO, Ruiqing; ZHOU, Yuguo; XIE, Peirui. The compressive strength and damage mechanisms of pervious concrete based on 2D mesoscale pore characteristics. **Construction and Building Materials**, [S.l.], v. 386, p. 131561, jul. 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131561>. Acesso em: 08 mai. 2023.

LIMA, Pedro Henrique Amaral; BARBOSA, Thayná Karen; SANTOS, Karine de Oliveira; CABRAL, Stênio Cavalier; GOMES, Antônio Jorge de Lima; BRUM JUNIOR, Sérgio Antônio; PEREIRA, Fábio Araújo. Análise teórica e comparativa entre diferentes métodos de dosagem do concreto: ABCP, IPT, INT e ITES. **Vozes dos Vales**, Minas Gerais, n. 23, p. maio 2023. Disponível em: <http://www.ufvjm.edu.br/vozes>. Acesso em: 28 jul. 2023.

LI, Hui; KAYHANIAN, Masoud; HARVEY, John T.. Comparative field permeability measurement of permeable pavements using ASTM C1701 and NCAT permeameter methods. **Journal of Environmental Management**, [S.l.], v. 118, p. 144-152, mar. 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.01.016>. Acesso em: 20 mai. 2023.

LI, Jiusu; ZHANG, Yi; LIU, Guanlan; PENG, Xinghai. Preparation and performance evaluation of an innovative pervious concrete pavement. **Construction And Building Materials**, [S.l.], v. 138, p. 479-485, maio 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.01.137>. Acesso em: 25 jun. 2023.

LOPES, Wilza Gomes Reis; LIMA JÚNIOR, João Macedo; MATOS, Karenina Cardoso. Impactos do crescimento de áreas impermeáveis e o uso de medidas alternativas para a drenagem urbana. **Research, Society And Development**, [S.l.], v. 9, n. 9, p. 1-19, 16 ago. 2020. Research, Society and Development. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i9.7102>. Acesso em: 10 jun. 2022.

MANZIONE, Joelma Aparecida Pereira. Caracterização de concreto com macrofibras de vidro para aplicações estruturais. 2019. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia de Construção Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

MARTINS, José Rodolfo Scarati. Pavimento antienchente. **Escola Politécnica**, São Paulo, p. 2024. Disponível em: <https://www.poli.usp.br/noticias/829-pavimento-antienchente.html>. Acesso em: 12 abr. 2023.

MONTEIRO, Anna Carolina Neves. CONCRETO POROSO: DOSAGEM E DESEMPENHO. 2010. 36 f. TCC (Graduação em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

OZEL, Behlul Furkan; SAKALLI, Şeyma; ŞAHİN, Yuşa. The effects of aggregate and fiber characteristics on the properties of pervious concrete. **Construction And Building Materials**, [S.l.], v. 356, p. 129294, nov. 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129294>. Acesso em: 28 abr. 2023.

PAULA, Jessica Soares de; SILVA, Joice de Souza e; OLIVEIRA, Marianna Aparecida Fonseca de; RANGEL, Maysa Pontes. Execução de obras de drenagem pluvial: princípios empregados na construção de redes de drenagem urbana. **Reinpec**, [S.l.], v. 3, n. 2, p. 209-220, 20 dez. 2017. Faculdade Redentor. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.20951/2446-6778/v3n2a15>. Acesso em: 20 jun. 2023.

PARK, C.K.; NOH, M.H.; PARK, T.H.. Rheological properties of cementitious materials containing mineral admixtures. **Cement And Concrete Research**, [S.l.], v. 35, n. 5, p. 842-849, maio 2005. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.11.002>. Acesso em: 06 jun. 2023.

PATIL, Rutuja R.; KATARE, Vasudha D. Application of fiber reinforced cement composites in rigid pavements: a review. **Materials Today: Proceedings**, [S.l.], v. p. maio 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.matpr.2023.04.415>. Acesso em: 13 jul. 2023.

PINHEIRO, Alexandre Victor Silva; SALOMÃO, Pedro Emílio Amador. Concreto permeável: solução no manejo de águas pluviais. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, [S.l.], v. 1, p. 01-13, jan. 2020.

PHILIP, Pinky Merin; JOSEPH, Anitha; KOSHY, Reebu Zachariah; JOSSY, Allen. Mechanical and permeability properties of basalt fibre Reinforced concrete. **Materials Today: Proceedings**, [S.l.], v. maio 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.matpr.2023.05.133>. Acesso em: 26 ago. 2023.

PUTMAN, Bradley J.; NEPTUNE, Andrew I.. Comparison of test specimen preparation techniques for pervious concrete pavements. **Construction And Building Materials**, [S.l.], v. 25, n. 8, p. 3480-3485, ago. 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.03.039>. Acesso em: 27 jun. 2023.

QIN, Yuan; LI, Ming; LI, Yanlong; MA, Weili; XU, Zengguang; CHAI, Junrui; ZHOU, Heng. Effects of nylon fiber and nylon fiber fabric on the permeability of cracked concrete. **Construction And Building Materials**, [S.l.], v. 274, p. 121786, mar. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121786>.

RODRÍGUEZ-ROJAS, M.I.; HUERTAS-FERNÁNDEZ, F.; MORENO, B.; MARTÍNEZ, G.; GRINDLAY, A.L.. A study of the application of permeable pavements as a sustainable technique for the mitigation of soil sealing in cities: a case study in the south of Spain. **Journal of Environmental Management**, [S.l.], v. 205, p. 151-162, jan. 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.09.075>. Acesso em: 01 jun. 2023.

SAADEH, Shadi; RALLA, Avinash; AL-ZUBI, Yazan; WU, Rongzong; HARVEY, John. Application of fully permeable pavements as a sustainable approach for mitigation of stormwater runoff. **International Journal of Transportation Science And Technology**, [S.l.], v. 8, n. 4, p. 338-350, dez. 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijtst.2019.02.001>. Acesso em: 22 mai. 2023.

SANDOVAL, Gersson Fernando Barreto. Desempenho do concreto poroso com agregados sustentáveis. 2014. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2012.

SANTOS, Jonathan Rehbein dos. **Determinação da resistência mecânica e da permeabilidade de concreto permeável**: comparação entre concretos usinado e moldado em laboratório. 2020. 141 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rs, 2020

SARTORTI, Artur Lenz; BARBOZA, Lucas da Silva; OLIVEIRA, Ellen Siqueira de; BRITO, Kevlin Oliveira; LIMA, Thaillys Caroline de Rocco. Módulo de elasticidade estático e dinâmico para concretos leves. **Revista de Engenharia Civil Imed**, [S.l.], v. 5, n. 1, p. 32-51, 1 jul. 2018. Complexo de Ensino Superior Meridional S.A. Disponível em <http://dx.doi.org/10.18256/2358-6508.2018.v5i1.2173>. Acesso em 10 jan.2024.

SILVA, Rodrigo Garozi da. **Estudo de concreto permeável como pavimento**. 2019. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual Paulista, Campus de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2019. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/182415/silva_rg_me_ilha.pdf?sequence=3. Acesso em: 10 abr.2023.

SINGH, Avishreshth; SAMPATH, Prasanna Venkatesh; BILIGIRI, Krishna Prapoorna. A review of sustainable pervious concrete systems: emphasis on clogging, material characterization, and environmental aspects. **Construction And Building Materials**, [S.l.], v. 261, p. 120491, nov. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120491>. Acesso em: 22 maio 2023.

SHARMA, Saksham Kumar; MEHTA, Shalika. Experimental study on effect of glass fibre on concrete using recycled aggregate. **Materials Today: Proceedings**, [S.l.], v. p. 29 mar. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.03.241>. Acesso em: 06 jun. 2023.

SHELOTE, Kunal M.; BALA, Anu; GUPTA, Supratic. An overview of mechanical, permeability, and thermal properties of silica fume concrete using bibliographic survey and building information modelling. **Construction And Building Materials**, [S.l.], v. 385, p. 131489, jul. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131489>. Acesso em: 05 jun. 2026.

SHU, Xiang; HUANG, Baoshan; WU, Hao; DONG, Qiao; BURDETTE, Edwin G.. Performance comparison of laboratory and field produced pervious concrete mixtures. **Construction and Building Materials**, [S.l.], v. 25, n. 8, p. 3187-3192, ago. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.03.002>. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.03.002>. Acesso em: 07 maio 2023.

SMARZEWSKI, Piotr. Influence of silica fume on mechanical and fracture properties of high performance concrete. **Procedia Structural Integrity**, [S.l.], v. 17, p. 5-12, 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.prostr.2019.08.002>. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2019.08.002>. Acesso em: 29 jun. 2023.

SUDA, V.B. Reddy; SUTRADHAR, Rumpa. Strength characteristics of micronized silica concrete with polyester fibres. **Materials Today: Proceedings**, [S.l.], v. 38, p. 3392-3396, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.569>. Acesso em: 05 jul. 2023.

STRIEDER, Helena Lunkes; DUTRA, Vanessa Fátima Pasa; GRAEFF, Ângela Gaio; NÕÑEZ, Washington Peres; MERTEN, Felipe Raul Meert. Performance evaluation of pervious concrete pavements with recycled concrete aggregate. **Construction and Building Materials**, [S.l.], v. 315, p. 125384, jan. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125384>. Acesso em: 30 jun. 2023.

TECNOSIL SOLUÇÕES ESPECIAIS. Vantagens de utilizar: Tecnosil Sílica Ativa Características Físicas e Químicas. Disponível em: <https://www.tecnosilbr.com.br/silica-ativa/>. Acesso em 20 jun.2023.

TEIXEIRA, Geovane da Silva; RODRIGUES, Rodrigo Silvano Silva; CRISPIM, Diêgo Lima; FERNANDES, Lindemberg Lima; BITTENCOURT, Germana Menescal. Metodologias para Caracterização e Avaliação de Sistemas de Drenagem urbana: uma revisão. **Research, Society And Development**, [S.l.], v. 9, n. 4, p. 1-32, 20 mar. 2020. Research, Society and Development. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i4.3063>. Acesso em: 15 jun. 2022.

TENNIS, Paul D.; LEMING, Michael L.; AKERS, David J.. Pervious Concrete Pavements. **Portland Cement Association**, Maryland, Silver Spring, p. 36, jan. 2004.

TOGHROLI, Ali; MEHRABI, Peyman; SHARIATI, Mahdi; TRUNG, Nguyen Thoi; JAHANDARI, Soheil; RASEKH, Haleh. Evaluating the use of recycled concrete aggregate and pozzolanic additives in fiber-reinforced pervious concrete with industrial and recycled fibers. **Construction and Building Materials**, [S.l.], v. 252, p. 118997, ago. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118997>. Acesso em: 14 jul. 2023.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Regulamentação da drenagem urbana no Brasil. **Rega**, Porto Alegre, v. 13, n. 1, p. 29-42, jan. 2016.

VOTORANTIM CIMENTO TODAS AS OBRAS. Mapa da obra. Disponível em: <https://www.mapadaobra.com.br/produtos/cimentos-votoran/todas-as-obras/>. Acesso em: 06 abr. 2023.

XIE, Ning; AKIN, Michelle; SHI, Xianming. Permeable concrete pavements: a review of environmental benefits and durability. **Journal Of Cleaner Production**, [S.l.], v. 210, p.

1605-1621, fev. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.134>. Acesso em: 20 dez. 2022.

ZHONG, Rui; LENG, Zhen; POON, Chi-Sun. 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**, [S.l.], v. 183, p. 544-553, set. 2018. Elsevier BV. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.06.131>. Acesso em: 08 maio 2023.

ZHU, Yaguang; FU, Hua; WANG, Penggang; XU, Peizhen; LING, Zijun; WEI, Dongxuan. Pore structure characteristics, mechanical properties, and freeze–thaw resistance of vegetation-pervious concrete with unsintered sludge pellets. **Construction And Building Materials**, [S.l.], v. 382, p. 131342, jun. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131342>. Acesso em: 22 jul. 2023.