



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL  
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: ESTRUTURAS

**CARACTERIZAÇÃO DE CONCRETO PERMEÁVEL PARA  
UTILIZAÇÃO EM PAVIMENTAÇÃO DE CALÇADAS NA CIDADE  
DE CAMPINA GRANDE-PB**

ALLAN KEWEN CÂMARA DE OLIVEIRA

Campina Grande – PB

2021

ALLAN KEWEN CÂMARA DE OLIVEIRA

**CARACTERIZAÇÃO DE CONCRETO PERMEÁVEL PARA  
UTILIZAÇÃO EM PAVIMENTAÇÃO DE CALÇADAS NA CIDADE  
DE CAMPINA GRANDE-PB**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, em cumprimento às exigências para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dra. Aline Figueirêdo Nóbrega de Azerêdo.

Coorientador: Eng. Msc. Francisco de Assis da Costa Neto.

Campina Grande – PB

2021

É concedida à Universidade Federal de Campina Grande permissão para reproduzir cópias desta monografia e emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste trabalho acadêmico pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Assinatura

ALLAN KEWEN CÂMARA DE OLIVEIRA

**CARACTERIZAÇÃO DE CONCRETO PERMEÁVEL PARA  
UTILIZAÇÃO EM PAVIMENTAÇÃO DE CALÇADAS NA CIDADE  
DE CAMPINA GRANDE-PB**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado a Universidade Federal  
de Campina Grande – UFCG, em  
cumprimento às exigências para  
obtenção do título de bacharel em  
Engenharia Civil.

Aprovada em: 21 de maio de 2021.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> – Aline Figueirêdo Nóbrega de Azerêdo – UFCG

(Presidente – Orientador)

---

Eng. Msc. – Francisco de Assis da Costa Neto

(1º Examinador – Coorientador)

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> – Carina Silvani – UFCG

(2º Examinador - interna)

---

Eng. Msc. – Thiago Fernandes da Silva

(3º Examinador - externo)

## DEDICATÓRIA

**Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por ser essencial em minha vida, é Ele o autor de meu destino, o meu guia, dedico também a minha mãe Jocileia Câmara, aos meus avós Judi Câmara e José Moreira (*in memoriam*) e ao meu irmão Anderson Thayan.**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela saúde, pela fé, pela determinação que tive durante minha vida, por todas as metas e sonhos alcançados e pela sua infinita bondade e misericórdia;

A minha mãe Jocileia, que é uma guerreira e sempre esteve ao meu lado, me entendeu quando ninguém mais entendeu, me apoiou e sempre me acolheu nos momentos mais difíceis da vida;

Ao meu irmão Thayan pelo apoio incondicional, por todas as vezes que me aconselhou e me ajudou durante toda a minha jornada;

Aos meus avós maternos Judi Câmara e José Moreira (*in memoriam*), por sempre me aconselharem, me acolherem, por todo apoio financeiro e por tudo aquilo que me ensinaram durante todo esse tempo que convivemos;

A minha namorada, Amanda, por todo o amor, força e suporte que me deu durante esta etapa da minha vida. Obrigado por estar sempre ao meu lado e por entender as minhas ausências.

Aos meus amigos do Maribond (Igor Tejo, Marcus Thúlio, Victor Gabriel, Victor Marques, Victor Hugo, Júlio Barbosa, Joseilton Adalberto e Mariana Alves) que foram imprescindíveis para a conclusão do curso, por todo o apoio, pelas horas de conversas, pelas farras e momentos compartilhados.

À Victor Gabriel por ter me auxiliado durante a realização dos ensaios, sem sua ajuda esse trabalho não poderia ter sido concluído a tempo.

Ao PDF (Jullyo Rithiery, Marcus Thulio e Victor Marques), por todos os aprendizados adquiridos durante a realização dos projetos, pela paciência e o empenho de cada um.

Aos meus amigos Igor Tejo e Marcus Thulio, por ser sempre incríveis e dedicados amigos, por me ajudarem em tantos momentos difíceis que enfrentei durante esse período, obrigado por tudo.

Aos meus amigos David Batista, Higor Costa, David Taian, Guilherme Maciel e Tiago Virginizo, pelo apoio durante a graduação.

A todos os amigos do IFPB e da UFCG que me ajudaram durante a graduação.

À professora Dr.<sup>a</sup> Aline Figueirêdo Nóbrega de Azerêdo pela orientação necessária e por toda ajuda oferecida à realização deste trabalho, pela dedicação, ensinamentos, paciência e os bons conselhos.

Ao técnico e engenheiro Francisco pela coorientação durante o trabalho e por ser sempre solícito durante a realização.

A todo o corpo docente do curso de Engenharia Civil Pela competência e preocupação em transmitir conhecimento com qualidade a todos os estudantes, em especial aos professores: Maria Luiza (Expressão Gráfica); Lívio Silva (Desenho Técnico e Arquitetura); Amauri Cruz (Cálculo II); Wilton Silva (Experimental I); Pamella Souza (Equações Diferenciais); Grayci Mary (Probabilidade); Paulo Marinho (Mecânica dos Sólidos e Teoria das Estruturas); Izabelle Marie (Topografia e Estradas); Marilia Marcy (Estabilidade das Construções); Milton Bezerra (Técnicas de Edificações e Gestão de Obras); Dayse (Ciências do Ambiente e Hidrologia); Janiro (Hidráulica e Abastecimento), Adriano Elísio (Materiais de Construção e Mecânica dos Solos), Patrícia Feitosa (Laboratório de química e Saneamento), Andrea Rodrigues (Instalações Hidráulicas), Ademir Ferreira (Fundações), Carina Silvani (Materiais de Construção), Cássia dos Anjos (Fenômenos de transporte), Walter Cruz (Engenharia de transportes); Veruschka Monteiro (Solos Experimental), Carlos Galvão (Desastres ambientais), Iana Rufino (Geotecnologias), Gledsneli Lins (Hidráulica experimental), Ricardo Aragão (Sistemas de Drenagem Urbana), Marcos Simplício (Construções Metálicas) e Aline Azerêdo (Concreto Armado) esse destaque é por serem exemplos de professores e amarem a profissão.

A todos os docentes que passaram pela minha vida, em todas as instituições que estudei: Pingo de Gente; E.M.E.F. Dom Manuel Palmeira da Rocha, PREMEN e IFPB – Campus Campina Grande.

Aos técnicos do curso, em especial a seu Edvaldo e a Solange, por todas as conversas e incentivos dados durante a graduação.

Ao instituto TIM-OBMEP pelo apoio financeiro durante a graduação.

A todos os terceirizados da instituição, por permitirem que o ambiente universitário fosse mantido em ótimas condições de uso.

À instituição UFCG, que me proporcionou a chance de expandir os meus horizontes e me formar em Engenharia Civil.

*“Por isso não tema, pois estou com você; não tenha medo, pois sou o seu Deus.  
Eu o fortalecerei e o ajudarei; eu o segurarei com a minha mão direita vitoriosa. ”*

*Isaias 41, 10*

## RESUMO

O desenvolvimento urbano acelerado e desordenado, resultante da falta de planejamento e racionalização do uso e ocupação do solo, contribuiu para o aumento de áreas com superfícies impermeáveis principalmente nas cidades. Estas superfícies impactam diretamente em problemas relacionados às enchentes, alagamentos e inundações nas cidades. Diante desse cenário várias tecnologias para amenizar esses problemas têm sido estudadas e propostas. O concreto permeável surge como uma tecnologia que poderá possibilitar o desenvolvimento sustentável, auxiliando na mitigação de problemas de impermeabilização dos solos. Nesse contexto, o presente trabalho visa fazer um estudo de caracterização e avaliar as propriedades físicas, mecânicas e hidráulicas de um concreto permeável para a pavimentação de calçadas na cidade de Campina Grande – PB, com a utilização de materiais de construção locais (Cimento Portland CP II F 32, brita 1 e água), sem a utilização de agregados miúdos na composição. Para isso, foram avaliadas 4 misturas em seu estado fresco e endurecido. Os ensaios realizados foram *slump test*, resistência à compressão simples e permeabilidade. A partir dos resultados obtidos foi possível observar que os coeficientes de permeabilidade das misturas analisadas variaram de  $9,74 \text{ mm.s}^{-1}$  a  $16,37 \text{ mm.s}^{-1}$ , acima dos valores estabelecidos pela NBR 16416:2015 (Pavimentos permeáveis de concreto - Requisitos e procedimentos). Contudo, a resistência à compressão apresentou valores inferiores ao mínimo recomendado pela mesma norma, variando entre 2,08 MPa e 4,52 MPa aos 14 dias. O traço com melhor desempenho e potencial para utilização em pavimento permeável foi o 1:4:0,3 (cimento : brita : fator a/c), devido à alta permeabilidade ( $9,74 \text{ mm.s}^{-1}$ ) e resistência à compressão de 4,52 MPa aos 14 dias. Os concretos permeáveis testados apresentaram índices de permeabilidade suficiente para o uso em calçadas, no entanto, as resistências à compressão foram inferiores ao estabelecido na norma, todavia, em locais de baixo fluxo de pedestres, tal resistência é aceitável, podendo ser empregado esse concreto.

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

## LISTA DE EQUAÇÕES

<i>Vazão</i>	(Equação 1).....	71
<i>Permeabilidade</i>	(Equação 2) .....	71
<i>Resistência à compressão</i>	(Equação 3).....	72

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Penetração do ar nos vazios do concreto asfáltico drenante.....	34
Figura 2: Redução de 75% dos acidentes de automóveis no Japão depois da aplicação do concreto asfáltico drenante. ....	35
Figura 3: Tipos de vazios em mistura drenante.....	37
Figura 4: Corpo de prova cilíndrico com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura demonstrando o grande número de vazios e a porosidade do material. ....	38
Figura 5: Esquema do ensaio de permeabilidade com cano de PVC. ....	39
Figura 6: Esquema do ensaio de permeabilidade com auxílio de proveta. ....	40
Figura 7: Esquema do ensaio de permeabilidade com a utilização de permeâmetro de carga variável.....	41
Figura 8: Esquema de ensaio de permeabilidade com permeâmetro de carga constante; .....	41
Figura 9: Exemplo de curvas granulométricas.....	45
Figura 10: Fluxograma do procedimento experimental.....	55
Figura 11: Parte da brita utilizada.....	56
Figura 12: Cimento Portland Montes Claros CP II F 32.....	57
Figura 13: Ensaio de massa específica do Cimento Portland.....	58
Figura 14: Separação da amostra a ser ensaiada.....	59
Figura 15: Curva granulométrica dos agregados.....	60
Figura 16: Amostra de brita imersa em água para a realização do ensaio de Massa Especifica Real.....	61
Figura 17: Concreto sendo preparado na betoneira. ....	64

Figura 18: Aspecto visual da mistura. ....	65
Figura 19: Realização do ensaio de abatimento,.....	66
Figura 20: Corpos de prova moldados. ....	67
Figura 21: Corpos de prova capeados. ....	68
Figura 22: Comparativo entre corpos de prova. ....	68
Figura 23: Corpos de prova.....	69
Figura 24: Esquema do ensaio realizado (esquerda) e corpo de prova ensaiado (direita).....	70
Figura 25: Realização de teste de resistência à compressão. ....	72
Figura 26: Amostra após desmoronamento. ....	74
Figura 27: Relação entre permeabilidade e resistência à compressão.....	84

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Resultado do Slump Test.....	75
Gráfico 2: Coeficiente de permeabilidade de cada amostra. ....	78
Gráfico 3: Resistência à compressão simples dos corpos de prova. ....	80
Gráfico 4: Comparativo entre resistências à compressão. ....	82
Gráfico 5: Relação entre resistência e permeabilidade. ....	83
Gráfico 6: Relação entre permeabilidade e resistência à compressão. ....	85

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Síntese dos dados referentes aos métodos de dosagem encontrados na literatura.....	49
--	----

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Comparativo entre concreto convencional e poroso. ....	28
Tabela 2: Resistência mecânica e espessura do revestimento permeável de acordo com o tipo de solicitação .....	42
Tabela 3: Propriedades mecânicas para diferentes dosagens de concreto permeável. ....	49
Tabela 4: Consumos e proporções típicas utilizadas nas misturas de concreto permeável. ....	50
Tabela 5: Traços utilizados para concreto permeável. ....	50
Tabela 6: Massa específica e absorção do agregado graúdo (brita 19 mm). ..	61
Tabela 7: Abrasão dos agregados. ....	62
Tabela 8: Composição utilizada nas misturas . ....	63
Tabela 9: Coeficiente de permeabilidade. ....	76
Tabela 10: Valores típicos de coeficiente de permeabilidade de solos.....	77
Tabela 11: Resistência à compressão do concreto ensaiado. ....	79

## LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

<b>1:4:0,25</b>	(cimento: brita: fator a/c)	Grupo de amostra 1
<b>1:4:0,30</b>	(cimento: brita: fator a/c)	Grupo de amostra 2
<b>1:5:0,25</b>	(cimento: brita: fator a/c)	Grupo de amostra 3
<b>1:5:0,30</b>	(cimento: brita: fator a/c)	Grupo de amostra 4
<b>a/c</b>	Água/Cimento	
<b>ABNT</b>	Associação Brasileira de Normas Técnicas	
<b>ACI</b>	<i>American Concrete Institute</i> (Instituto Americano de Concreto)	
<b>ARI</b>	Alta Resistência Inicial	
<b>BMPS</b>	Best Management Practices (Melhores Práticas de Gestão)	
<b>CP</b>	Cimento Portland	
<b>DER</b>	Departamento de Estradas e Rodagens	
<b>DNIT</b>	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes	
<b>EUA</b>	Estados Unidos da América	
<b>f<sub>c</sub></b>	Resistência à compressão aos 28 dias	
<b>f<sub>c14</sub></b>	Resistência à compressão aos 14 dias	
<b>f<sub>c7</sub></b>	Resistência à compressão aos 7 dias	
<b>ISO</b>	Organização Internacional de Normalização	
<b>k</b>	Coeficiente de permeabilidade	
<b>LEED</b>	Leadership in Energy and Environmental Design (Liderança em Energia e Design Ambiental)	
<b>LEP</b>	Laboratório de Engenharia de Pavimentos	

<b>ME</b>	Mercosul
<b>MG</b>	Minas Gerais
<b>NBR</b>	Norma Brasileira de Referência
<b>NM</b>	Normalização no Mercosul
<b>PB</b>	Paraíba
<b>POC</b>	<i>Pervious</i> Concrete (Concreto Poroso)
<b>UFCG</b>	Universidade Federal de Campina Grande
<b>USGBC</b>	United States Green Building Council (Conselho de construção verde dos Estados Unidos)
<b>USP</b>	Universidade de São Paulo

## LISTA DE UNIDADES

<b>cm</b>	centímetros
<b>cm<sup>2</sup></b>	centímetros quadrados
<b>cm<sup>3</sup>/s</b>	centímetro cúbico por segundo
<b>g/cm<sup>3</sup></b>	gramas por centímetro cúbico
<b>kg/m<sup>3</sup></b>	quilograma por metro cúbico
<b>m</b>	metros
<b>m/s</b>	metros por segundo
<b>m<sup>2</sup></b>	metro quadrado
<b>mm</b>	milímetros
<b>mm.s<sup>-1</sup></b>	milímetros por segundo
<b>MPa</b>	Mega Pascal
<b>s</b>	segundos

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	23
2. OBJETIVOS.....	25
2.1. OBJETIVOS GERAL.....	25
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	25
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	26
3.1. CONCRETO PERMEÁVEL.....	27
3.1.1. Histórico .....	28
3.1.2. Urbanização .....	31
3.1.3. Pavimentos Permeáveis .....	31
3.1.4. Propriedades do Concreto Permeável .....	36
3.1.5. Porosidade .....	37
3.1.6. Permeabilidade.....	38
3.1.7. Resistência Mecânica.....	42
3.2. INFLUÊNCIA DOS MATERIAIS CONSTITUINTES .....	43
3.2.1. Agregados Graúdo .....	44
3.2.2. Agregado Miúdo .....	45
3.2.3. Aglomerante .....	46
3.2.4. Relação Água/Cimento.....	46
3.2.5. Aditivos e adições.....	47
3.3. DOSAGEM .....	48
4. METODOLOGIA .....	54

4.1. MATERIAIS .....	56
4.1.1. Agregado graúdo.....	56
4.1.2. Aglomerante .....	56
4.1.3. Água.....	57
4.2. MÉTODOS.....	57
4.2.1. Caracterização dos materiais .....	57
Aglomerante.....	57
Determinação da massa específica do Cimento Portland .....	57
Agregados .....	58
Granulometria .....	58
Massa específica, massa específica aparente e absorção do agregado .....	60
Abrasão Los Angeles .....	62
4.2.2. Dosagem do concreto.....	62
4.2.3. Confeção dos traços e ensaio no estado fresco.....	63
Preparo do concreto .....	63
Slump Test.....	65
Moldagem dos corpos de prova.....	66
4.2.4. Ensaio no estado endurecido.....	70
Permeabilidade .....	70
Resistência à compressão simples.....	71
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	73

5.1.	ANÁLISE NO ESTADO FRESCO .....	73
5.1.1.	Slump Test .....	73
5.2.	ANÁLISE NO ESTADO ENDURECIDO .....	75
5.2.1.	Permeabilidade.....	75
5.2.2.	Resistência à compressão simples.....	79
5.2.3.	Resistência x permeabilidade .....	83
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	86
6.1.	SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS.....	86
7.	REFERÊNCIAS .....	88

## 1. INTRODUÇÃO

No Século XX o mundo passou por um processo de desenvolvimento urbano acelerado e desordenado, resultante da falta de planejamento e racionalização do uso e ocupação do solo. No Brasil não foi diferente, tido inicialmente como um país rural, atualmente, segundo o IBGE (2016), mais de 85% da população brasileira vive em zonas urbanas.

Um dos principais impactos que o desenvolvimento urbano acelerado provoca nos processos hidrológicos está ligado ao crescimento de áreas com superfícies impermeáveis que juntamente com a ocupação indevida das margens de rios e córregos, aumentam em grande escala a probabilidade de ocorrência de picos de cheias, agravando assim os problemas relativos às enchentes dos rios e inundações nas cidades (BATEZINI, 2013).

Tendo em vista o aumento da impermeabilização dos solos nas cidades, faz-se necessário a adoção de medidas por parte dos órgãos públicos, daí surge a necessidade da criação de sistemas de drenagem urbana, promovendo um rápido escoamento das águas por meio de canalizações. Contudo, boa parte dos sistemas criados encontram-se em estado precário, obsoletos ou não existem.

Entre as consequências da impermeabilização está a redução do nível do lençol freático que deixa de ser reabastecido pelas chuvas chegando a perdas de 10 a 50% das redes de abastecimento de águas nos grandes centros urbanos. A movimentação do fluxo de água na bacia também sofre alteração e com a retirada da vegetação o volume da evapotranspiração sofre redução impactando no equilíbrio térmico do ambiente (TUCCI, 2007).

Além disso, a condição de superfícies impermeáveis possui estreita relação com as alterações na qualidade das águas. Os poluentes e sedimentos que ficam depositados sobre tais superfícies acabam sendo transportados aos corpos d'água pelas chuvas. Outros problemas, como erosão e assoreamento de rios, também podem ser causados, em parte, pela impermeabilização das superfícies, que gera escoamentos com maior volume e velocidade que o escoamento em superfícies naturais (ESTEVES, 2006).

Segundo Botteon (2017), a problemática das enchentes e alagamentos nos centros urbanos levou à criação de um novo conceito de gerenciamento das águas pluviais em meio urbano, conhecido como *Best Management Practices* (BMPs) cujo objetivo é reduzir as cheias a partir da origem do problema e melhorar a qualidade da água do escoamento superficial. Dentre as práticas adotadas observa-se o uso de reservatórios de acumulação, filtros biológicos e químicos e aumento de áreas permeáveis. Tucci (2008) afirma que a recuperação da capacidade de infiltração do solo é fundamental para o gerenciamento das inundações.

Diante disso, os pavimentos permeáveis surgem como alternativas para a problemática em discussão. A utilização de pavimentos drenantes apresenta vantagens de não necessitar construir grandes obras (como piscinões, por exemplo), facilidade de instalação e manutenção, aumentar as áreas permeáveis, afetando diretamente o dimensionamento das estruturas de drenagem, que por consequência serão menos robustas.

Um dos tipos de pavimentos permeáveis são os fabricados com a utilização do concreto permeável, utilizando o cimento Portland. Segundo Botteon (2017), Jhan (2016), Batezini (2013) e alguns outros autores, o concreto permeável é um tipo especial de concreto, caracterizado pela ausência parcial ou total de finos, índice de vazios elevados e alto grau de permeabilidade, gerando assim uma boa capacidade de infiltração.

O concreto permeável surge como uma tecnologia que poderá possibilitar o desenvolvimento sustentável, auxiliando na mitigação de problemas de impermeabilização dos solos.

Nesse contexto, o presente trabalho visa ao desenvolvimento de um estudo de caracterização e avaliação das propriedades de um concreto permeável potencialmente útil para a pavimentação de calçadas na cidade de Campina Grande – PB.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVOS GERAL**

Desenvolver um estudo de caracterização e avaliação das propriedades de um concreto permeável potencialmente útil para a pavimentação de calçadas na cidade de Campina Grande – PB.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Verificar a influência de diferentes teores de agregados dos traços nas propriedades do concreto;
- Analisar propriedades do concreto nos estados fresco e endurecido;
- Propor traço alternativo que direcione o uso de concreto poroso em calçadas.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

No decorrer do desenvolvimento das sociedades, o concreto teve um papel fundamental no avanço das construções, auxiliando na evolução dos métodos construtivos e proporcionando o alcance de novos patamares. Tal material é um dos mais utilizados na execução de diversas obras com dimensões variadas, seja ele moldado *in loco* ou não.

Na sua forma mais simples, o concreto é constituído basicamente de agregados, aglomerantes e água. Dentre os agregados, diferencia-se os graúdos e os miúdos, brita e areia, respectivamente, sendo esses os mais utilizados. Como aglomerante, utiliza-se o cimento Portland, com diferentes variações e resistências.

O concreto pode ser misturado a outros elementos visando a melhoria do seu desempenho, como é o caso do concreto armado, onde a mistura do concreto com o aço, resulta em um material com altas resistências a compressão e tração.

Segundo Neville (1997) o concreto é qualquer produto ou massa produzido a partir de um meio cimentante, através da reação entre um cimento hidráulico e água. No entanto, nos dias atuais, mesmo esta definição tem uma abrangência muito grande. Ele afirma que, o concreto pode ser produzido com vários tipos de cimento e também conter pozolanas, como cinza volante, escória de alto forno, sílica ativa, adições minerais, agregados de concreto reciclado, aditivos, polímeros e fibras.

Conseqüentemente, inúmeros tipos de concreto foram surgindo, com diferentes tecnologias, adequando-se as necessidades das construções. Dentre as diferentes variações do concreto, pode-se citar os concretos: leve; autoadensável; rolado; pesado; alta resistência inicial; alto desempenho; protendido; bombeável; celular; projetado; poroso (permeável), dentre outros.

Diante dos inúmeros tipos de concreto já elencados, vale destacar o concreto permeável, que a cada dia vem ganhando mais espaço na nossa

sociedade, tendo em vista a sua aplicação sustentável, a facilidade de obtenção e sua gama de aplicações.

### **3.1. CONCRETO PERMEÁVEL**

O concreto permeável, conhecido como concreto poroso ou *pervious concrete* (POC), é um tipo especial de concreto destinado, principalmente para pavimentação bastante utilizado nos Estados Unidos e Europa, é composto por cimento Portland, materiais de graduação aberta, agregado graúdo, pouco ou nenhum fino, aditivos e água (FERGUSON, 2005).

O *American Concrete Institute* (ACI 522, 2010) define o concreto permeável como uma estrutura que possui vazios interconectados entre si que permitem que a água passe através da superfície. É considerado material de construção sustentável, uma vez que reduz o escoamento das águas pluviais, melhora a qualidade da água de recarga do lençol freático e pode reduzir o impacto da urbanização.

Outra aplicação para o concreto permeável seria a sua utilização como dispositivo drenante em muros de arrimo segundo (OSPINA e ERAZO, 2007), visto que a presença de água nesses dispositivos afeta diretamente o comportamento e a capacidade de resistir aos esforços aos quais foram dimensionados.

Uma das principais diferenças existentes entre o concreto poroso e o convencional é no que se refere a sua estanqueidade, pois o poroso é produzido na intenção de permitir o fluxo de água entre seus poros, enquanto o convencional tem efeito contrário, ou seja, não permite a passagem da água.

Devido à grande presença de poros em sua constituição, o concreto poroso possui uma resistência moderada, tendo em vista que as distribuições das tensões não são feitas de forma homogênea em sua estrutura.

Na Tabela 1, elencaram-se as principais diferenças entre os concretos convencional e poroso.

Tabela 1: Comparativo entre concreto convencional e poroso.

<b>Tipo</b>	<b>Resistência à Compressão (MPa)</b>	<b>Areia</b>	<b>Brita</b>	<b>Aditivos</b>
<b>Convencional</b>	20 a 60	De 30 a 50% do agregado total	Bem graduado, grãos arredondados	Opcional
<b>Poroso</b>	3 a 30	Pouco ou nenhum	Graduação aberta, grãos angulosos (Brita "0" e pedriscos)	Redutor de água, retardador de pega e incorporador de ar

Fonte: Monteiro (2010)

### 3.1.1. Histórico

O concreto permeável foi utilizado pela primeira vez na Europa, em 1852. Apesar de não ser uma tecnologia nova, o interesse pelo tema é atual, principalmente em decorrência das novas legislações de controle de água proveniente do escoamento superficial e pelo interesse da população em tecnologias sustentáveis, que visem reduzir os impactos ambientais causados pelas atividades humanas.

A técnica da utilização do concreto permeável como material estrutural, na época denominado concreto sem finos (*no-fines concrete*), teve origem na Alemanha e foi usada pela primeira vez na década de 20 (FLEMING, 2002). Passou a ser usado no Reino Unido a partir da década de 30, mas só foi amplamente disseminado na década de 40 por meio do sistema *Wimpey no-fines house*.

Inicialmente essa técnica foi utilizada na reconstrução de casas na Europa, especialmente no Reino Unido, no período pós Segunda Guerra Mundial, no entanto, com o passar dos anos, surgiram patologias nas obras, como problemas de isolamento térmico, sonoro, condensações e em alguns casos falhas no revestimento e na estrutura. Acreditou-se que os problemas eram em decorrências do tipo de construção, tal fato que posteriormente foi

descartado, tendo como motivador das patologias a má qualidade das esquadrias e dos sistemas de aquecimento (BOTTEON, 2017).

Como pavimentação, a utilização do concreto permeável foi amplamente estudada nos Estados Unidos ao longo da década de 1970, como uma forma de evitar aquaplanagem, reduzir o ruído, o ofuscamento do farol do carro e o efeito spray, mas foram abandonados. Entretanto, anos depois os estudos foram retomados, mas com objetivos diferentes, visou-se reduzir os elevados coeficientes de escoamento superficiais dos pavimentos, principalmente na região Sudeste dos EUA, principalmente na Flórida, devido a elevada impermeabilização de novas áreas urbanas.

Ao final da década de 1970, a tecnologia já possui nomes comerciais, concreto permeável (*pervious concrete*) ou concreto poroso (*porous concrete*), e passou-se a focar nos estudos da capacidade de infiltração.

Já na Europa, a França foi um dos primeiros países a utilizar pavimentos drenantes, onde diversas obras foram utilizadas com essas tecnologias. Em 1978, o governo francês lançou um projeto de pesquisa visando solucionar os problemas de inundações, tendo como grande destaque o pavimento permeável em concreto, tendo em vista sua facilidade de integração aos ambientes urbanos.

Nos últimos anos o concreto permeável, considerado uma solução ecologicamente correta e sustentável, tem ganhado destaque e relevância na indústria da construção civil, sobretudo por ser reconhecido pelo Conselho de Construções Ecológicas dos EUA (*United States Green Building Council - USGBC*) que define o sistema LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) de classificação de construções sustentáveis.

No final dos anos 80, o concreto permeável passou a ser produzido de forma industrial em alguns países. No final dos anos 1990 e início dos anos 2000, o material se firmou como tecnologia construtiva para contribuir para a drenagem nas grandes cidades, reduzindo o escoamento superficial e, portanto, o risco de enchentes (TETRACON, 2015). Atualmente Japão, França e EUA, são os países onde essa tecnologia está mais disseminada.

No Brasil, as experiências são recentes, e foram iniciadas por meados da década de 1980. As primeiras aplicações desse material foram nos aeroportos. Inicialmente no aeroporto de Confins em Belo Horizonte – MG, em 1983 utilizando-se o revestimento asfáltico comum para pavimentação. Em 1987, foi realizado o recapeamento da pista do aeroporto Santos Dumont no Rio de Janeiro com revestimento asfáltico drenante (Petrobrás, 2001 apud OLIVEIRA, 2003).

Diferentes rodovias foram recebendo trechos experimentais de pavimentos drenantes, inicialmente utilizando o revestimento asfáltico drenante, posteriormente, passou-se a utilizar em alguns locais pavimentos rígidos porosos.

A cidade de São Paulo, que sofre frequentemente com o problema dos alagamentos, tem leis que obrigam estacionamentos a céu aberto a reservar uma área para árvores (2002), empreendimentos a criar calçadas permeáveis (2006) e prédios a construírem reservatórios para guardar água da chuva (2007). Mas, a utilização dos pavimentos porosos ainda é restrita. Entre 2005 e 2007 a prefeitura de São Paulo financiou a construção de 353 quilômetros de calçadas permeáveis, o que equivale a apenas 1% dos 30 mil quilômetros de calçadas da cidade (FOLHA DE SÃO PAULO, 2009).

O concreto permeável vem ganhando espaço no Brasil, tendo em vista que o mesmo contribui na permeabilidade dos terrenos, já que boa parte das legislações existentes nos municípios, código de obras, estabelece o nível de impermeabilização máxima.

No ano de 2009, foi desenvolvido pela USP um projeto de pesquisa no qual um estacionamento de aproximadamente 1600 m<sup>2</sup> foi pavimentado de um lado com concreto asfáltico permeável, de outro com blocos intertravados de concreto poroso, demonstrando a capacidade de absorção dos blocos porosos com relação ao pavimento com asfalto permeável, e contribuindo para o desenvolvimento da tecnologia de concreto poroso. (BOTTEON, 2017).

Com a disseminação dessa tecnologia, fez-se necessário uma normatização do material, diante disso a ABNT NBR 16416:2015 – Pavimentos

permeáveis de concreto – Requisitos e Procedimentos, estabeleceu requisitos e características para o projeto, especificação, execução e manutenção dos pavimentos permeáveis. A edição dessa norma regulamentadora, assegura a qualidade deste tipo de pavimentação, fomentando o uso desta tecnologia.

### **3.1.2. Urbanização**

O processo de urbanização, principalmente nos grandes centros urbanos, está sendo responsável pelo aumento da impermeabilização do solo. Tal evento, resulta no aumento considerável de escoamento superficial das águas, causando cheias, alagamentos e inundações, tendo em vista que o solo não possui mais sua capacidade de infiltração e os sistemas de drenagem não são capazes de absorver a demanda.

As superfícies impermeáveis acabam por diminuir a qualidade das bacias hidrográficas urbanas, afetando a disponibilidade hídrica e aumentando o escoamento superficial, como já citado.

Diante disso, os sistemas tradicionais de drenagem urbana que antes eram voltados apenas para o escoamento das águas pluviais, estão sendo substituídos por sistemas sustentáveis que incluem a adoção de medidas estruturantes como bacias de retenção e detenção, poços de infiltração e pavimentos drenantes.

### **3.1.3. Pavimentos Permeáveis**

Os pavimentos permeáveis são superfícies drenantes que promovem a infiltração, armazenamento e percolação de parte ou da totalidade da água provinda do escoamento superficial para dentro de uma camada de armazenamento temporário no terreno, a qual é absorvida gradualmente pelo solo (ALVES; COSTA, 2007).

Pavimentos permeáveis incluem asfalto e concreto porosos, blocos vazados e uma variedade de outros materiais, que podem ser utilizados em grande parte das superfícies urbanas comunitárias, tais como calçadas,

estacionamentos, praças, parques e áreas externas, como vias locais e pequenos acessos (FERGUSON, 1994).

Esse tipo de estrutura visa compensar os efeitos provocados pela urbanização, fonte causadora do problema, armazenando a água das chuvas, mesmo que temporariamente em alguns casos, evitando que as águas cheguem rapidamente aos sistemas de drenagem, evitando os picos de vazões.

Nos casos que os pavimentos não possuem reservatórios, a água que permeia o pavimento infiltra no solo, que deve possuir capacidade drenante, pois de nada adiantaria a utilização de uma camada permeável se a camada imediatamente abaixo fosse impermeável.

A principal característica dos pavimentos de concreto permeável é permitir a infiltração da água através de sua superfície, para sua posterior infiltração no solo. Este tipo de pavimento tem sido bastante analisado na atualidade por ser uma alternativa viável tanto do ponto de vista técnico como econômico (AZAÑEDO, HELARD e MUÑOZ, 200).

No Brasil, estudos vem sendo realizados para verificar a eficiência e aplicabilidade de tais estruturas no amortecimento das cheias. Em outros lugares do mundo, o foco já está na qualidade das águas, buscando-se técnicas que auxiliem na reutilização dessas águas.

O concreto permeável apresenta características construtivas semelhantes ao convencional. A diferença está na eliminação do material fino da sua composição, aumentando a porosidade final da mistura (URBONAS e STAHERE, 1993).

O concreto permeável assim como todos os materiais, pode ser analisado quanto as suas vantagens e desvantagens em diversos aspectos, seja, econômico, técnico ou ambiental.

Como já citado anteriormente, dentre os benefícios na utilização desse material, encontram-se a redução da vazão e do volume de escoamento de superfícies pavimentadas, a possibilidade de serem utilizadas em superfícies já urbanizadas e a possibilidade de dimensionamento de sistema de drenagem

urbana menos robustos. Vale lembrar que a infiltração de água nos solos proporciona a recarga dos aquíferos subterrâneos, melhorando assim a qualidade das águas presentes nesses locais.

No quesito ambiental, um dos graves problemas enfrentados nas grandes cidades está na grande quantidade de concreto e asfalto presente, tornando o ambiente cada vez mais impermeável e sobrecarregando os sistemas de drenagem existentes.

Com a crescente preocupação com o meio ambiente e a busca por projetos sustentáveis, o concreto permeável é uma das técnicas de controle na fonte do escoamento proposta pela maioria dos planos diretores das cidades (TUCCI, 2000).

A aplicação do concreto permeável é uma eficaz alternativa para projetos de áreas externas, uma vez que permite, sem perda de espaço de pavimentação, que se tenha uma área pronta para absorver precipitações, reduzindo a velocidade e a quantidade do escoamento superficial das águas pluviais (PRATT et. al., 1995; LUCKE; BEECHAM, 2011; FASSMAN; BLACKBOURNE, 2010), diminuindo o pico das cheias, com efeito significativo sobre a ocorrência de alagamentos e enchentes.

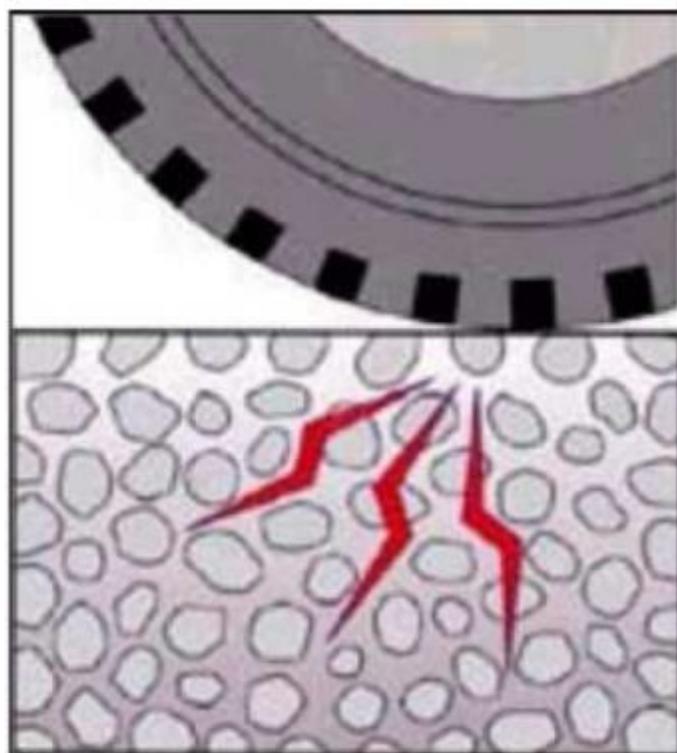
Na perspectiva econômica, ao utilizar pavimentos permeáveis, faz-se necessários cuidados de especificação, instalação e manutenção. Recomenda-se fazer o projeto baseado na resistência do concreto necessário para o local onde o material será aplicado, bem como nos índices pluviométricos da região. O custo de manutenção é considerado baixo ou quase inexistente.

O sistema apresenta como vantagem a facilidade de manutenção, a possibilidade de reaproveitamento do material em caso de remoções, durabilidade, necessita de menos reparos, a matéria prima utilizada é local não necessitando de toda uma logística de transportes como é o caso dos asfaltos, redução do desperdício, tendo em vista que o material pode ser produzido *in loco*, além de poder ser utilizado em áreas já urbanizadas diminuindo os gastos com sistemas de drenagem.

A poluição sonora é outro problema fortemente presente nas grandes cidades, que de forma direta é influenciada pelos pavimentos e o fluxo de veículos quando utilizado em pavimentos, o concreto permeável reduz os ruídos provocados pelo contato pneu/pavimento.

Embora não tenham sido desenvolvidos com essa finalidade os revestimentos asfálticos porosos se mostram eficientes no processo de absorção acústica (OLIVEIRA, 2003) e redução de ruídos em rodovias (MACHADO, 2007). O ar que se situa na frente do pneu penetra nos vazios do concreto (Figura 1) e reduz o bombeamento que é causado pelo fluxo de ar entre os sulcos do pneu e o pavimento, um dos principais responsáveis pelos ruídos de contato entre pneu e pavimento (BOTTEON, 2017). Com a redução do bombeamento do ar obtém-se a diminuição dos ruídos, na dependência de fatores como tamanho dos agregados, espessura da camada e teor de vazios (SWART, 1997)

Figura 1: Penetração do ar nos vazios do concreto asfáltico drenante.



Fonte: Japan Highway Research Institute (1999) apud Botteon (2017).

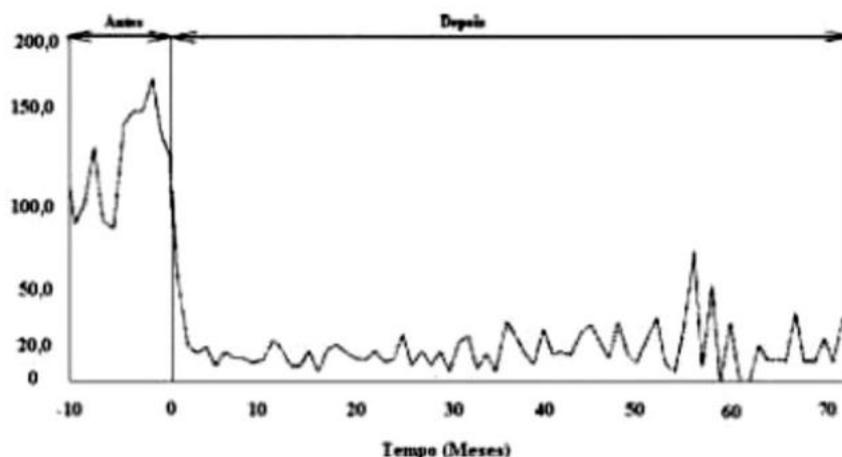
Os vazios do pavimento poroso permitem a captação, percolação e evacuação da água das chuvas reduzindo ou mesmo eliminando a lâmina d'água

sobre o pavimento (MEURER FILHO, 2001), o que reduz os riscos de hidroplanagem resultando num pavimento mais seguro em dias de chuva (OLIVEIRA, 2003).

Foi comprovado em estudos realizados por Houle *et al.* (2009) e Kevern *et al.* (2009) que a estrutura porosa do pavimento permeável dificulta a formação de camadas de gelo, e acelera o processo de degelo, além de aumentar a resistência à derrapagem nas rodovias, tanto em situação seca como em condições de existência de neve na superfície (BATEZINI, 2013).

No Japão foi realizado um estudo onde foi avaliado o número de acidentes de trânsito antes e depois da aplicação de concretos asfálticos drenantes (Figura 2), e como resultado foi obtida uma redução média em torno de 75% (KAMIYA *et al.*, 1998 apud OLIVEIRA, 2003).

Figura 2: Redução de 75% dos acidentes de automóveis no Japão depois da aplicação do concreto asfáltico drenante.



Fonte: Oliveira (2003), modificado de Kamiya *et. Al.* (1998) apud Botteon (2017).

A colmatagem dos poros é um dos principais problemas na utilização do concreto permeável, pois com o passar dos anos ele acaba por diminuir sua capacidade drenante. Como medida preventiva deve-se realizar a limpeza periódica, garantindo assim altos graus de funcionalidade.

Outra ressalva para o uso desse tipo de pavimento é relacionada aos problemas de construção, que podem ocorrer falhas no traço do concreto

utilizado e até mesmo na maneira de aplicação. A resistência também é um fator preponderante na escolha dos locais a serem utilizados, fazendo-se necessário estudos preliminares e um dimensionamento adequado das camadas, geralmente utiliza-se o concreto permeável em pisos que suportam pesos leves, ou seja, são pouco solicitados.

A baixa resistência devido a elevada porosidade é uma outra desvantagem, fazendo-se necessário a utilização de aditivos para o alcance de resistências superiores a 30 MPa. Muitos estudos vêm sendo desenvolvidos na busca de alternativas para aumentar a capacidade de resistência dos pavimentos.

#### **3.1.4. Propriedades do Concreto Permeável**

Segundo Ospina e Erazo (2007), o concreto poroso deve ter granulometria adequada para garantir a abertura de poros que permita a passagem de água pelo material, preferencialmente agregado graúdo com ausência parcial de finos. Deve apresentar porosidade elevada de 15 a 20%, que é alcançada limitando-se o conteúdo de argamassa entre 20 e 30% e resistência a compressão de 7 MPa aos 28 dias.

As propriedades do concreto poroso dependem da granulometria, quantidade de cimento, relação água/cimento e quantidade de vazios (AZAÑEDO, HELARD e MUÑOZ, 2007). A graduação do agregado é um dos fatores que interferem nas propriedades do concreto poroso, pois influencia a resistência e a permeabilidade, que são propriedades importantes para o desempenho desse tipo de concreto.

Como forma de garantir uma maior quantidade de poros, utiliza-se agregado de graduação aberta, onde quase não existe a presença de finos, evitando o preenchimento dos espaços entre os agregados graúdos, acarretando em uma estrutura com maior volume de vazios e por consequência, maior permeabilidade.

A presença de finos diminui a permeabilidade do concreto, no entanto, devido ao preenchimento dos espaços vazios entre o agregado graúdo e a pasta

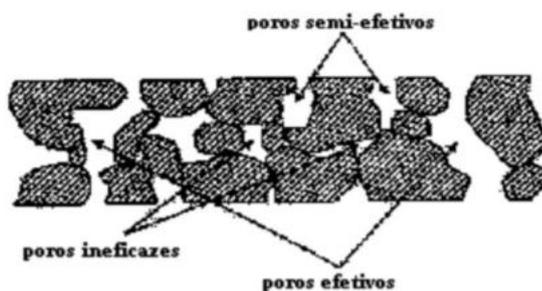
de cimento, o mesmo acaba por melhorar a resistência do concreto. Logo, faz-se necessário dosar de maneira racional a presença de cada material, entendendo a sua funcionalidade e tendo como norte o uso do concreto.

### 3.1.5. Porosidade

Porosidade é a propriedade que tem a matéria de não ser contínua, havendo espaço entre as massas (SILVA, 1991) é obtida pela relação entre o volume de vazios e o volume de sólidos (PETRUCCI, 1973). Para que uma amostra seja considerada porosa, deve ter entre 15% e 35 % de seu volume ocupado por vazios (ACI 522, 2010).

De acordo com o Projeto Diretriz da Tecnologia de Pavimentação Drenante (Associação das Rodovias do Japão, 1996 apud BOTTEON, 2017), os poros vazios de uma mistura drenante podem ser classificados como efetivos, que contribuem para a passagem e armazenagem de água; semi-efetivos, que não contribuem para a passagem, mas permitem o armazenamento da água; e ineficazes, que não contribuem para a passagem nem armazenamento da água (BOTTEON, 2017), a Figura 3 exemplifica isso.

Figura 3: Tipos de vazios em mistura drenante.



Fonte: Associação das Rodovias do Japão (1996) apud Botteon (2017).

No concreto permeável, busca-se a maior quantidade de poros efetivos possíveis, de modo que a água possa fluir entre os poros, garantindo assim a sua eficiência.

### 3.1.6. Permeabilidade

A permeabilidade é a propriedade que identifica a possibilidade de passagem de água através do material. Essa passagem pode ser por filtração sob pressão, por difusão através dos condutos capilares e por capilares. (TARTUCE, 1990)

Condutividade hidráulica (ou taxa de percolação ou coeficiente de permeabilidade) é um dos parâmetros mais importantes do concreto permeável e pode ser definida como a taxa de infiltração da água através de sua estrutura. Embora o valor da condutividade hidráulica possa variar de acordo com a composição do concreto e da qualidade do processo executivo, são considerados valores típicos para revestimentos de pavimentos entre  $2,1 \text{ mm.s}^{-1}$  e  $5,4 \text{ mm.s}^{-1}$  (TENNIS *et al.*, 2004), embora Shaefer *et al.* (2006) e Montes e Haselcach (2006) tenham obtido valores entre  $0,1 \text{ mm.s}^{-1}$  e  $1,5 \text{ mm.s}^{-1}$  e  $0,14$  e  $11,9 \text{ mm.s}^{-1}$  respectivamente. Bean *et al.* (2007) determinaram valores de condutividade hidráulica em campo variando de  $0,7 \text{ mm.s}^{-1}$  a  $7,7 \text{ mm.s}^{-1}$  (BOTTEON, 2017). Corpos de prova de concreto permeável possuem grande número de vazios, como pode ser visto na Figura 4.

Figura 4: Corpo de prova cilíndrico com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura demonstrando o grande número de vazios e a porosidade do material.



Fonte: Botteon (2017).

Segundo Swart (1997) e Cooley (1999), citado por Botteon (2017) os fatores que podem interferir na condutividade dos pavimentos permeáveis são:

- a) Tamanho máximo do agregado.

- b) Teor de vazios, mínimo inicial de 20% para manter a permeabilidade.
- c) Declividade transversal, usualmente 2%.
- d) Alto volume de tráfego. Tráfego rápido ajuda a evitar o efeito de colmatação dos poros e também manter a porosidade, devido ao efeito natural de limpeza dos pneus.
- e) Locais expostos a poeiras.
- f) Interseções com rodovias não pavimentadas.

Estudos abordam alguns ensaios que podem ser realizados para a determinação da permeabilidade do concreto em análise. Finocchiaro *et al* (2017) realiza o ensaio de permeabilidade com o auxílio de cano PVC de 75mm com 40cm de altura, silicone para fixar o concreto ao cano e uma mangueira de pressão d'água. O ensaio consiste em determinar o tempo que a água demora a passar pelo concreto de altura de 8cm, contando a partir de uma altura determinada de 25 cm, onde na Figura 5 é possível identificar o esquema do ensaio.

Figura 5: Esquema do ensaio de permeabilidade com cano de PVC.



Fonte: Finocchiaro *et al* (2017).

Durante a realização do seu estudo, Castro (2016) utilizou-se de uma proveta e um corpo de prova em placa para a determinação do coeficiente de permeabilidade, ambos seguindo o mesmo princípio. Na Figura 6 é possível visualizar o ensaio realizado por Castro (2016).

Figura 6: Esquema do ensaio de permeabilidade com auxílio de proveta.



Fonte: Castro (2017)

No entanto, alguns outros autores utilizam-se de um permeômetro com carga variável confeccionado com alguns canos de PVC, registros e conexões (Figura 7). A amostra é saturada e o nível de água entre o topo da amostra e o topo do tubo de dreno igualado. A válvula é fechada e o tubo preenchido. Na sequência a válvula é aberta e registra-se o tempo necessário para que a coluna d'água caia de 400 mm ( $h_1$ ) até 100 mm ( $h_2$ ) (BOTTEON, 2017).

Figura 7: Esquema do ensaio de permeabilidade com a utilização de permeômetro de carga variável.



Fonte: Botteon (2017)

Batezini (2013) utilizou-se de um permeômetro com carga constante (Figura 8), onde foi necessário o corte de um corpo de cilíndrico de 20cm em quatro partes, devido a limitação de altura da amostra ser de 5,5cm.

Figura 8: Esquema de ensaio de permeabilidade com permeômetro de carga constante;



Fonte: Batezini (2013).

Todos os ensaios citados têm como princípio a lei de Darcy. O ensaio realizado por Botteon (2017), Batezini (2013) e alguns outros autores, possui uma garantia maior de estanqueidade na lateral da amostra, de modo a garantir

que a água passe pelo centro da amostra (sentido vertical), não se espalhando para as adjacências como o caso dos ensaios realizados por Castro (2016).

### 3.1.7. Resistência Mecânica

De acordo com o Manual de Pavimentos Rígidos do DNIT (2005), o concreto empregado em pavimentação deve apresentar uma resistência característica à tração na flexão em torno de 4,5 MPa e uma resistência característica à compressão axial que gira em torno de 30 MPa. A resistência à compressão simples, denominada  $f_c$ , é a característica mecânica mais importante nos pavimentos permeáveis. A ABNT NBR 16416:2015 normatiza os valores de referência para o uso de concreto permeável em pavimentação, isso está resumido na Tabela 2.

Tabela 2: Resistência mecânica e espessura do revestimento permeável de acordo com o tipo de solicitação

<b>Tipo de revestimento</b>	<b>Tipo de solicitação</b>	<b>Espessura mínima (mm)</b>	<b>Resistência mecânica característica (MPa)</b>	<b>Método de ensaio</b>
Peça de concreto (juntas alargadas ou áreas vazias)	Tráfego de pedestres Tráfego leve	60	$\geq 35$	ABNT NBR 9781 Resistência à compressão aos 28 dias
Peça de concreto permeável	Tráfego de pedestres Tráfego leve	60	$\geq 20$	ABNT NBR 15805 Resistência à tração na flexão
Placa de concreto permeável	Tráfego de pedestres Tráfego leve	60	$\geq 2$	ABNT NBR 12142 Resistência à tração na flexão
Concreto permeável moldado no local	Tráfego de pedestres Tráfego leve	60	$\geq 1$	ABNT NBR 12142 Resistência à tração na flexão
	Tráfego de pedestres Tráfego leve	100	$\geq 2$	

Fonte: ABNT NBR 16416 (2015)

Na literatura, foram encontrados valores entre 4,1 MPa e 55,8MPa para resistência à compressão, entre 4,5 MPa e 5,0MPa para a resistência à tração na flexão, e um valor médio de 1,30 MPa para a resistência à tração indireta por compressão diametral (BOTTEON, 2017).

A resistência à tração na flexão é uma característica importante para o comportamento estrutural do concreto permeável para uso como revestimento de pavimentos, sendo influenciada por muitos fatores, em especial pelo índice de vazios da mistura.

A utilização de agregado miúdo aumenta a resistência, apesar de representar uma pequena perda de permeabilidade. O teor de finos entre 9,5 a 4,75 mm recomendado é de cerca de 20% o que garante pouca interferência no comportamento do concreto, ou seja, o concreto irá apresentar boa resistência e permeabilidade. (YANG *et al*, 2008)

Geralmente baixa resistência é associada à alta porosidade (HUANG *et al.*, 2009). O concreto permeável com agregado graúdo de diâmetro máximo característico 19 mm (Brita 1) produz vantagem hidrológica porque apresenta poros de maiores tamanhos e maior permeabilidade, menor retração e fissuração inicial que o de diâmetro máximo característico de 9,5 mm (Brita 0), mas possui menor resistência a compressão porque tem menor área de superfície de contato interna entre o agregado e a pasta de cimento (YANG e JIANG, 2003).

### **3.2. INFLUÊNCIA DOS MATERIAIS CONSTITUINTES**

O concreto permeável é um material composto basicamente por um ligante hidráulico (aglomerante), água, agregado graúdo, pouca ou nenhuma quantidade de agregado miúdo. Caso seja necessário, utiliza-se aditivos e adições de outros componentes para melhorar alguma característica específica, como a resistência, trabalhabilidade e durabilidade.

O teor de água/ligante deve ser controlado, visando obter uma pasta que englobe as partículas de agregados e mantenha um elevado índice de vazios, preservando as características drenantes desse tipo de concreto.

No concreto permeável a formação dos compostos cristalinos como hidróxido de cálcio  $\text{Ca(OH)}_2$  e a etringita são maiores porque a ausência de finos aumenta o espaço vazio na zona de transição. O baixo fator água-cimento, menor que no concreto convencional, demanda mais atenção às características

do agregado devido a exsudação interna que também enfraquece a zona da interface entre a pasta e o agregado.

Todas essas características são influenciadas pelos materiais constituintes, seja pela quantidade e/ ou natureza e qualidade desses materiais.

### **3.2.1. Agregados Graúdo**

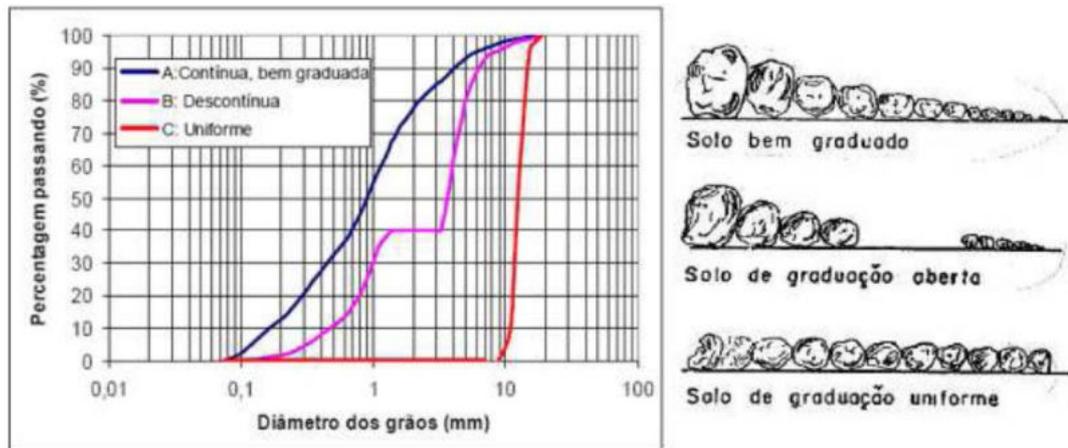
Agregados em pavimentos porosos podem ser tratados com quaisquer materiais particulados disponíveis para a construção civil, como pedra britada, cascalho (VANCURA *et al.*, 2011), material reciclado de blocos de concreto (PEREIRA *et al.*, 2015), calcário dolomítico (VANCURA *et al.*, 2011; GUSTAVO *et al.*, n.d.), granito britado (VANCURA *et al.*, 2011), ou pedregulho (VIRGILIIS, 2009). O calcário calcítico foi utilizado por Botelho e Santos Filho (2002).

Estudos anteriores indicam que, para o concreto poroso a graduação, tamanho das partículas e a relação massa de agregado por massa de cimento são fatores que afetam diretamente a porosidade, permeabilidade e resistência a compressão (HUANG *et al.*, 2009).

A norma NBR 7211 (2019) define, também, agregado graúdo como sendo os agregados cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm, em ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248, com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1.

O ensaio de granulometria é representado graficamente pela curva granulométrica, onde é possível identificar os diferentes tipos de agregado, que pode ser contínuo, descontínuo ou uniforme (Figura 9). Normalmente a granulometria utilizada em concretos permeáveis é do tipo uniforme, mantendo um diâmetro máximo de 19 mm. Segundo Tennis *et al.* (2004) são comumente utilizadas graduações variando de 19 mm a 4,8 mm, 9,5 mm a 2,4 mm e 9,5 mm a 1,2 mm.

Figura 9: Exemplo de curvas granulométricas.



Fonte: Adaptado de Farias et. al. (2010) apud Botteon (2017).

### 3.2.2. Agregado Miúdo

Segundo a norma NBR 7211 (2019), agregados miúdos são aqueles cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150  $\mu$ m, em ensaio realizado de acordo com a NBR NM 248 (2003), com peneiras definidas pela norma NBR NM ISO 3310-1 (2010).

Uma vez fixado o teor de água e outras proporções da mistura, determina-se a trabalhabilidade pelo tamanho máximo do agregado, sua granulometria, forma e textura. Quanto maior a relação água/cimento, mais fina será a granulometria necessária para uma maior trabalhabilidade. O tamanho das partículas dos agregados, em especial, dos agregados miúdos, influenciam de forma efetiva na obtenção de uma determinada consistência do concreto (NEVILLE, 1997).

Vale salientar, que para obtenção de concretos porosos, os agregados miúdos são escassos na maioria dos traços utilizados. Em alguns casos, onde faz-se necessário a obtenção de resistências maiores, utiliza-se uma porção mínima de agregado miúdo, tendo em vista que a presença desses finos diminui consideravelmente a permeabilidade, visto que eles ficam depositados nos

espaços antes tido como livres (poros), dificultando assim o fluxo da água no interior da estrutura.

### **3.2.3. Aglomerante**

O principal ligante hidráulico/aglomerante utilizado em concretos permeáveis é o Cimento Portland convencional, outro ligante que é bastante utilizado em pavimentação são os ligantes asfálticos.

O efeito de desagregação do agregado é um dos principais riscos encontrados em concretos permeáveis, que apresentam uma exposição ainda maior devido à ação do intemperismo, sendo de extrema importância o uso de um ligante que proporcione uma coesão eficiente para a mistura (OLIVEIRA, 2003).

Vale ressaltar que um grande consumo de cimento resultará em um concreto mais resistente, contudo, reduzirá a quantidade de vazios interligados, perdendo a capacidade de infiltração. Recomenda-se utilizar consumo de cimento entre  $270 \text{ kg/m}^3$  e  $415 \text{ kg/m}^3$  para seguir os requisitos de resistência e permeabilidade (AZAÑEDO, HELARD e MUÑOZ, 2007).

### **3.2.4. Relação Água/Cimento**

A água utilizada na produção de concreto tem por finalidade reagir quimicamente com o cimento, de modo a garantir a hidratação adequada, além de controlar a trabalhabilidade do concreto.

A relação água cimento tem menor efeito nas propriedades do concreto poroso (HUANG *et al*, 2009), é, na realidade, uma variável que depende da quantidade e tipo de cimento e da granulometria do agregado. Utiliza-se como critério para determinar esse valor encontrar a quantidade de água em que a pasta adquire brilho metálico. Geralmente esse valor está entre 0,24 e 0,45 (AZAÑEDO, HELARD e MUÑOZ, 2007).

Lian e Zhuge (2010) estudaram relações água/cimento entre 0,30 e 0,38 e concluíram que para relação água/cimento maior que 0,34 a resistência a

compressão diminui e a permeabilidade aumenta. Os melhores resultados foram obtidos a 0,32 e não se recomenda relação água-cimento menor que 0,30.

### **3.2.5. Aditivos e adições**

Aditivos são substâncias acrescentadas ao concreto para melhorar suas propriedades como resistência mecânica e durabilidade. Aditivos químicos geralmente são encontrados na forma líquida e são adicionados ao concreto em pequenas quantidades (FERGUSON, 2005). São empregados de acordo com a necessidade de se obter produtos com qualidade superior, porque modifica ou proporciona propriedades ao material fresco ou endurecido, tornando-os mais trabalháveis, mais resistentes as solicitações mecânicas e químicas ou ainda torná-los mais econômicos e duráveis. (TARTUCE, 1990)

Como o concreto permeável tem uma pega rápida, aditivos como retardadores de pega são largamente utilizados para se obter um concreto com a trabalhabilidade adequada, passando de um tempo de 60 minutos para aproximadamente 90 minutos com o uso do aditivo (ACI, 2008). Aditivos redutores de água também são utilizados, dependendo da relação a/c considerada.

Conforme Batezini (2013), ainda na composição do concreto permeável são utilizados materiais suplementares como cinza volante, escória granulada de alto forno moída e sílica ativa, empregados com a finalidade de melhorar as características mecânicas do produto final.

A utilização dessas adições no concreto permeável não possui os mesmos efeitos que no concreto convencional. Pelo contrário, em alguns casos pode acarretar em perdas na resistência após certo limite de substituição, como relatado por Fu *et al.* (2014). Esse estudo revelou que substituições parciais do cimento por sílica ativa, da ordem de 10%, obtiveram melhor desempenho mecânico, que nas substituições de 20% e 30%.

Yang e Jiang (2003) demonstraram que o uso de uma pequena porcentagem de sílica ativa (6%) e superplastificante no concreto permeável pode acarretar aumentos significativos de resistência mecânica.

Os aditivos superplastificantes são também empregados com a finalidade de melhorar principalmente as características de trabalhabilidade e tempo de pega das misturas de concreto permeável, afirma Batezini (2013).

### **3.3. DOSAGEM**

De acordo com a literatura existente não há um método específicos para dosagem do concreto permeável, então, realizou-se levantamentos dos traços utilizados por diversos autores, visando identificar parâmetros usuais para a especificação de traços de concreto permeável.

Azañedo, Helard e Muñoz (2007) utilizaram para a dosagem do concreto poroso o método do ACI, recomendações do comitê 522 e estudos realizados por organizações americanas. Além da ACI, alguns outros autores como Zouaghi (2002) e Zheng *et al.* (2012) apresentam recomendações de dosagens que satisfazem a permeabilidade e compressão exigidas, contudo, a utilização de cada método de dosagem não é definitiva, possuindo assim algumas desvantagens que são elencadas no Quadro 1.

Quadro 1: Síntese dos dados referentes aos métodos de dosagem encontrados na literatura.

Método	Método ACI	Método Zouaghi	Método Zheng
<b>Dados de entrada</b>	Volume de agregado graúdo/m <sup>3</sup> de concreto Porosidade	Porosidade	Resistência à compressão desejada Permeabilidade desejada
<b>Dados de saída</b>	Volume de argamassa Volume de agregados Volume de finos	Volume de cimento Volume de água Volume de agregado graúdo	Volume de cimento Volume de água Volume de agregado graúdo
<b>Vantagens</b>	Simple	Muito simples	Simple
<b>Desvantagens</b>	Nenhum indicador do fator a/c A densidade em kg/m <sup>3</sup> está em desacordo com estudos publicados É necessário ajuste por meio de experimentação Não considera o efeito da compactação	Fator C aplicado para agregados locais O volume de agregado graúdo obtido não é realista É necessário ajuste por meio de experimentação Não considera o efeito da compactação	Resistência baixa As relações entre os parâmetros são para agregados locais É necessário ajuste por meio de experimentação Não considera o efeito da compactação O volume de agregado graúdo obtido não é realista

Fonte: Nguyen *et al.* (2014)

Sanket *et al.* (2012) fixaram o teor de cimento em 400 kg/m<sup>3</sup>, e o fator água/cimento em 0,3. As dosagens correspondentes para as diferentes misturas, assim como as propriedades mecânicas obtidas no seu experimento estão mostradas na Tabela 3.

Tabela 3: Propriedades mecânicas para diferentes dosagens de concreto permeável.

Amostra	Agregado graúdo (20mm) [kg/m <sup>3</sup> de concreto]	Agregado miúdo [kg/m <sup>3</sup> de concreto]	Cimento [kg/m <sup>3</sup> ]	Fator a/c	Resistência à compressão diametral (MPa)		Resistência à tração por compressão diametral (MPa)		Resistência à tração da flexão (MPa)	
					7 dias	28 dias	7 dias	28 dias	7 dias	28 dias
C1	1600	0	400	0,3	6,05	9,12	2,18	3,7	3,2	4
C2	1440	160	400	0,3	6,13	8,6	1,9	8,6	4,2	5
C3	2000	0	400	0,3	4,6	6,4	1,2	6,4	2,33	2,5
C4	1800	200	400	0,3	2,4	3,2	3,1	3,2	2,84	3,83

Fonte: Adaptado de Mechanical Properties of Pervious Concrete (SANKET *et al.*, 2012).

A relação cimento/agregado e o procedimento de compactação ou adensamento a ser utilizado na produção de concretos permeáveis são os fatores mais importantes da mistura, e afetam diretamente as características mecânicas do material (BOTTEON, 2017). Alguns estudos (PEREIRA *et al.*, 2015; CASTRO, 2015; QUADRELLI *et al.*, 2015) foram realizados com base na dosagem realizada por Batezini (2013), os materiais utilizados e o consumo/proporção dos mesmos estão demonstrados a seguir, na Tabela 4.

Tabela 4: Consumos e proporções típicas utilizadas nas misturas de concreto permeável.

<b>Materiais</b>	<b>Consumo/Proporção</b>
<b>Ligante hidráulico (kg/m<sup>3</sup>)</b>	270 a 415
<b>Agregado graúdo (kg/m<sup>3</sup>)</b>	1190 a 1700
<b>Relação água/cimento (a/c) em massa</b>	0,25 a 0,34
<b>Relação cimento/agregado em massa</b>	1:4 a 1:5
<b>Relação agregado miúdo/agregado graúdo em massa</b>	0 a 1:1

Fonte: Estudo preliminar de concretos permeáveis como revestimento de pavimentos para áreas de veículos leves (BATEZINI, 2013).

Na Tabela 5, compilou-se uma parte dos dados obtidos com outros autores, de modo a orientar a tomada de decisões na hora da dosagem do concreto.

Tabela 5: Traços utilizados para concreto permeável.

<b>Autor</b>	<b>Amostra</b>	<b>Agregado graúdo [kg/m<sup>3</sup> de concreto]</b>	<b>Agregado miúdo [kg/m<sup>3</sup> de concreto]</b>	<b>Cimento [kg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Fator a/c</b>	<b>Traço em massa</b>	<b>Observação</b>
<b>Sanket <i>et al</i> (2012)</b>	S1	1600	0	400	0,30	1:4	
	S2	1440	160	400	0,30	1:4	

	S3	2000	0	400	0,30	1:5	
	S4	1800	200	400	0,30	1:5	
<b>Jahn (2016)</b>	J1	1600	0	400	0,30	1:4	Ocorreu uma variação no consumo de brita 0 e 1 nos traços
	J2	1600	0	400	0,30	1:4	
	J3	1800	200	400	0,30	1:4	
	J4	2000	0	400	0,30	1:5	
	J5	2000	0	400	0,30	1:5	
	J6	1800	200	400	0,30	1:5	
<b>Botteon (2017)</b>	B1	1600	0	400	0,35	1:4	Variou o método de compactação em B1 e B2
	B2	1600	0	400	0,35	1:4	
	B3	1488	112	400	0,35	1:4	
<b>Monteiro (2010)</b>	M1	1680		420	0,25	1:4	Não identificou as proporções de areia e brita
	M2	1260		420	0,25	1:3	
<b>Castro (2015)</b>	C1	1600	0	400	0,30	1:4	Variou o método de compactação em C2 e C4
	C2	1440	160	400	0,30	1:4	
	C3	1200	0	400	0,30	1:3	
	C4	1440	160	400	0,30	1:4	
<b>Batezini (2013)</b>	Z1	1660		374	0,30	1:4,44	Variou as proporções de brita
	Z2	1660		374	0,30	1:4,44	
	Z3	1660		374	0,30	1:4,44	

<b>Quadrelli e Barbosa (2015)</b>	Q1	1660	400	0,30	1:4,15	Ocorreram substituições do agregado natural por resíduos de fresado asfáltico em diferentes proporções
	Q2	1660	400	0,50	1:4,15	
<b>Pereira e Barbosa (2015)</b>	P1	1660	400	0,30	1:4,15	Ocorreram substituições do agregado natural por resíduos da construção civil em diferentes proporções
	P2	1660	400	0,50	1:4,15	
<b>Aquino et al. (2019)</b>	A1	1600	400	0,30	1:4	Ocorreram variações na proporção dos agregados e resíduos de caulim
	A2	1600	400	0,30	1:4	
	A3	1600	400	0,35	1:4	
	A4	1600	400	0,40	1:4	

Fonte: Próprio Autor.

Em geral o consumo de cimento e agregado pode ser fixado em 400 kg/m<sup>3</sup> e 1600 kg/m<sup>3</sup> respectivamente, representando a proporção de cimento/agregado de 1:4. A relação água/cimento pode ser mantida em 0,3.

O concreto permeável vem sendo difundido em todo o mundo como um método de gestão de águas pluviais, auxiliando também no reabastecimento de aquíferos, redução do efeito de ilhas de calor, aumento de áreas permeáveis, entre outros, incentivando sua utilização como material de pavimentação.

Todavia, a implementação de concreto permeável esbarra na falta de normatização de processos, práticas construtivas e análise do desempenho futuro do material. Apesar de muitos autores terem realizados estudos, não existe uma prática única, sendo utilizados diversos métodos de compactação, misturas, uso de aditivos e adições e diferentes fatores de água.

Ao comparar o concreto permeável com o concreto convencional, é notório a recente utilização desse tipo material como pavimento, gerando dificuldades e desafios para sua aplicabilidade.

Os estudos citados indicam que a utilização do concreto permeável em pavimentação de áreas de poucas solicitações de tráfego, como ciclovias, calçadas, vias locais, praças e parques é bastante promissor. Consequentemente, faz-se necessário a busca por um traço que atenda aos parâmetros de qualidade impostos pela norma de desempenho ABNT NBR 16416:2015, utilizando-se dos materiais existentes na região de Campina Grande.

É de consenso entre os trabalhos elencados na Tabela 5 a utilização de fatores de água/cimento em torno de 0,30, logo, decidiu-se pela utilização de duas relações, uma de 0,25 e outra de 0,30. Em relação aos agregados, alguns estudos conseguiram zerar a presença de finos (agregados miúdos) na sua composição com o auxílio de aditivos, no entanto, optou-se pela não utilização de nenhum tipo de agregado miúdo na composição dos traços, nem se utilizar de aditivos e adições. Isso visando construir um concreto permeável de fácil execução e aplicação, principalmente devido ao controle do traço. Optou-se então pela utilização de dois traços, sendo um na proporção 1:4 e outra na proporção 1:5. A proporção 1:4 é bastante comum no estudo de concretos permeáveis, no entanto, a proporção 1:5 foi estudada apenas por Sanket *et al* (2012).

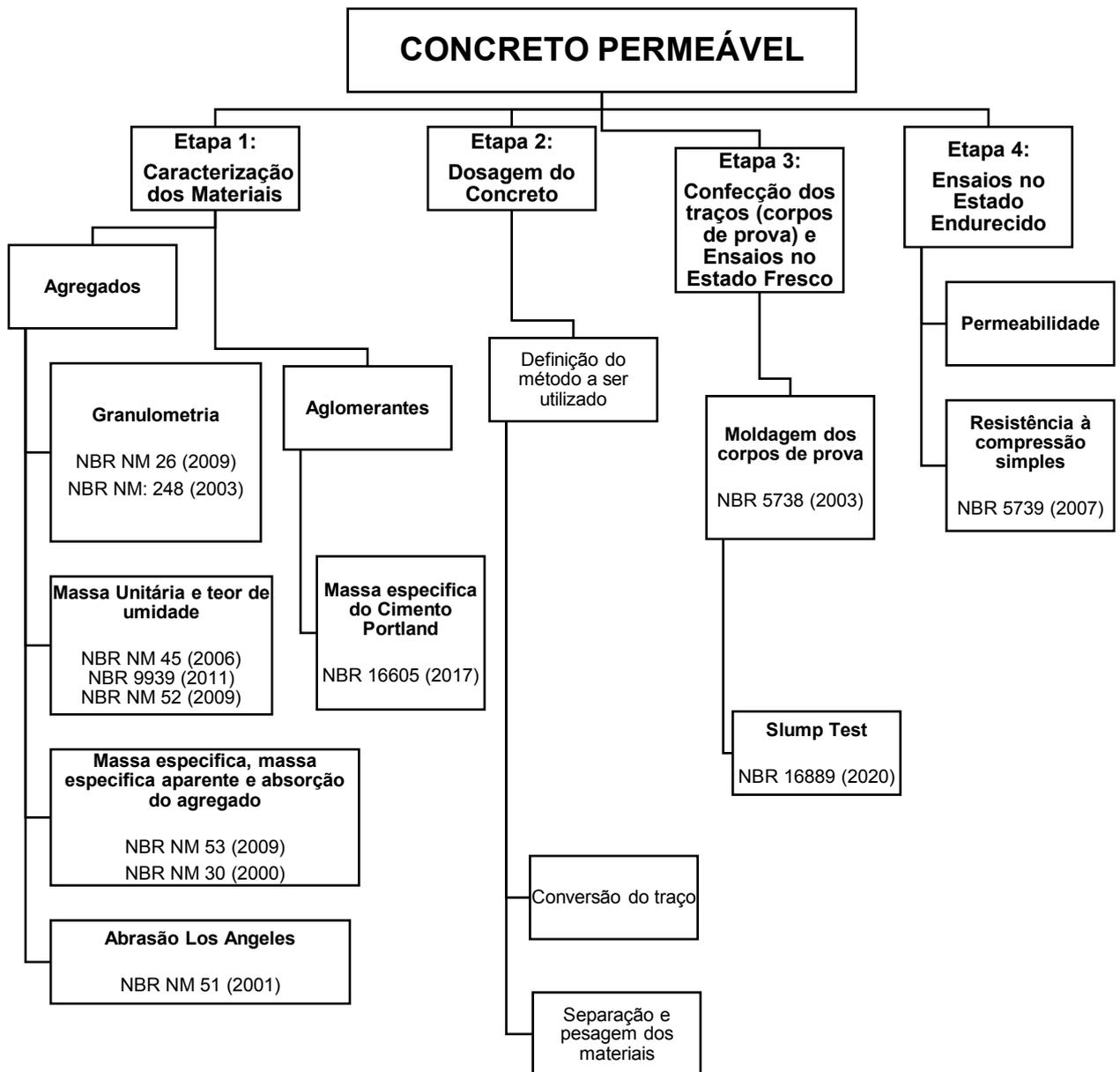
Em suma, pretende-se desenvolver um concreto permeável com a utilização de apenas 3 materiais, cimento, brita e água. Sendo o cimento o CP II F 32, pouco utilizado pelos estudos, devido à baixa resistência inicial, no entanto, é o cimento mais amplamente utilizado na construção civil e de fácil obtenção. Daí, serão elaborados 4 grupos de amostra, sendo dois com traços 1:4 e dois com traços 1:5, diferenciado entre eles o fator  $a/c$  (0,25 e 0,30).

## 4. METODOLOGIA

Para o alcance dos objetivos definidos neste trabalho, o processo de experimentação foi dividido em quatro etapas de estudos. A primeira consistiu-se na escolha e caracterização dos materiais utilizados na dosagem dos concretos. Na segunda etapa realizou-se a dosagem do concreto. Em seguida, os ensaios no estado fresco realizados e os corpos de prova confeccionados. Por fim, fizeram-se os ensaios do concreto no estado endurecido.

Para o desenvolvimento de tais atividades, foram utilizadas as dependências da Universidade Federal de Campina Grande-UFCG, tendo como base os laboratórios do CT (LEP- Laboratório de Engenharia de Pavimentos) e CW (Laboratório de Estruturas). Na Figura 10 pode-se verificar todo o organograma do procedimento experimental adotado, bem como os ensaios e as respectivas normas utilizadas.

Figura 10: Fluxograma do procedimento experimental.



Fonte: Próprio autor.

## 4.1. MATERIAIS

### 4.1.1. Agregado graúdo

O agregado graúdo a ser utilizado será a brita de 19mm, obtido no comércio do município de Campina Grande, na Figura 11 pode-se visualizar a brita usada.

Figura 11: Brita utilizada.



Fonte: Arquivo próprio (2021).

### 4.1.2. Aglomerante

Para a produção do concreto permeável utilizou-se o Cimento Portland CP II F 32 fabricado pela marca Montes Claros (Figura 12) e vendido em sacos de 50kg, adquirido no comércio local.

Figura 12: Cimento Portland Montes Claros CP II F 32.



Fonte: Cimento Montes Claros (2021).

#### 4.1.3. Água

A água utilizada na produção do concreto segue os mesmos padrões da água utilizada em concretos convencionais na cidade de Campina Grande, sendo regido pela norma NBR 15900-1. A água proveniente do abastecimento da rede pública é considerada adequada para uso em concreto, não sendo necessário ensaiá-la.

### 4.2. MÉTODOS

#### 4.2.1. Caracterização dos materiais

##### *Aglomerante*

##### *Determinação da massa específica do Cimento Portland*

O ensaio foi realizado de acordo com a norma ABNT NBR 16605:2017, que regulamenta a determinação da massa específica do Cimento Portland e outros materiais em pó. Na Figura 13 é possível identificar as duas amostras desenvolvidas para a realização do ensaio.

Figura 13: Ensaio de massa específica do Cimento Portland.



Fonte: Arquivo próprio (2021).

Realizou-se o ensaio de massa específica do cimento de acordo com a ABNT NBR 16605:2017 e obteve-se o valor de  $2,97 \text{ g/cm}^3$ .

## **Agregados**

### Granulometria

O ensaio de granulometria que determina a faixa de variação dos diâmetros do agregado e a frequência com que eles ocorrem, consiste em passar uma amostra dos agregados previamente seca por uma série de peneiras de malha quadrada. O ensaio foi realizado de acordo com a norma ABNT NBR NM 248:2003 que rege sobre a determinação da composição granulométrica. A Figura 14 mostra uma parte da brita a ser ensaiada, bem como os equipamentos utilizados durante a realização do experimento.

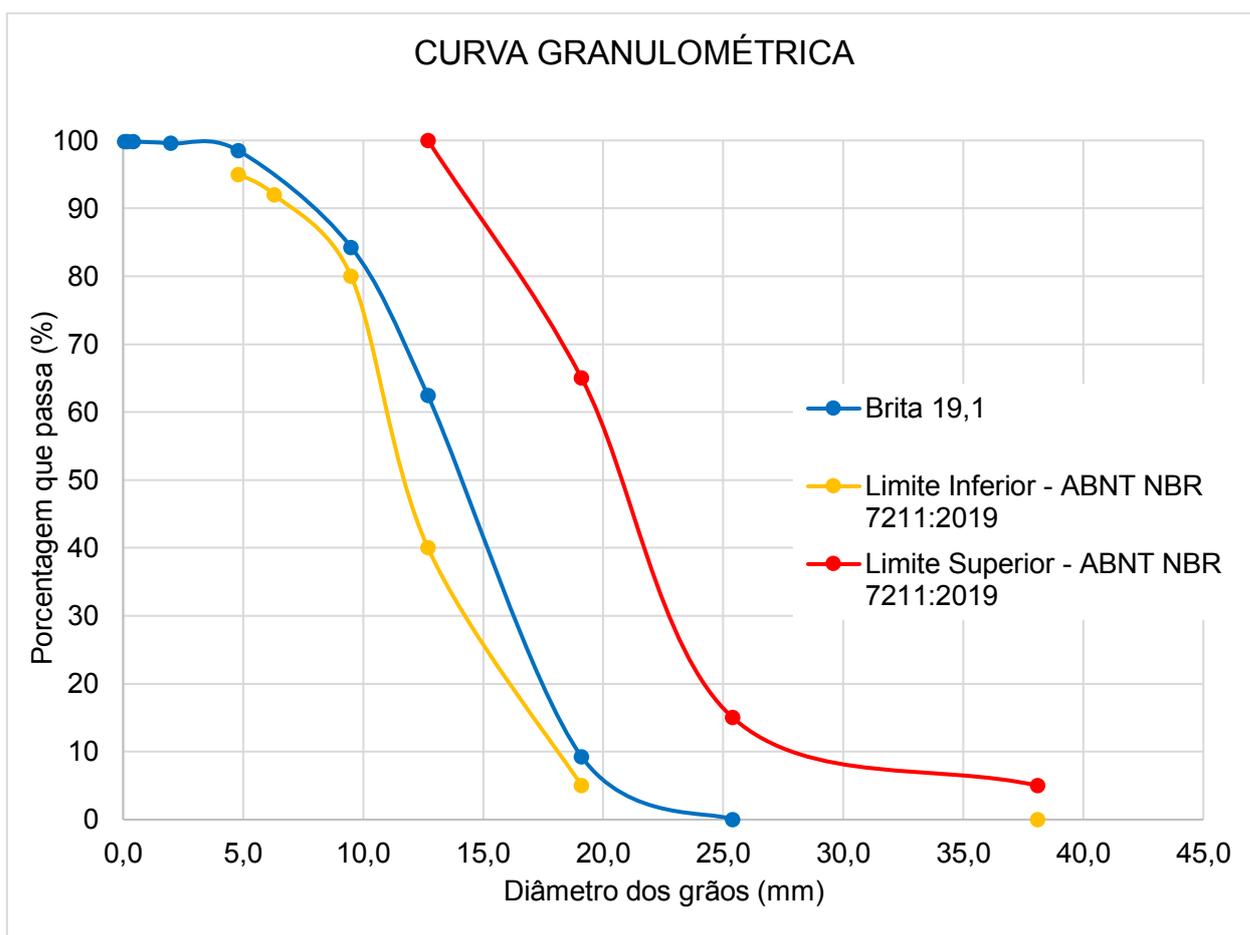
Figura 14: Separação da amostra a ser ensaiada.



Fonte: Arquivo próprio (2021).

Após a realização do ensaio, foi possível elaborar a curva granulométrica do agregado graúdo como exposto na Figura 15.

Figura 15: Curva granulométrica dos agregados.



Fonte: Próprio autor.

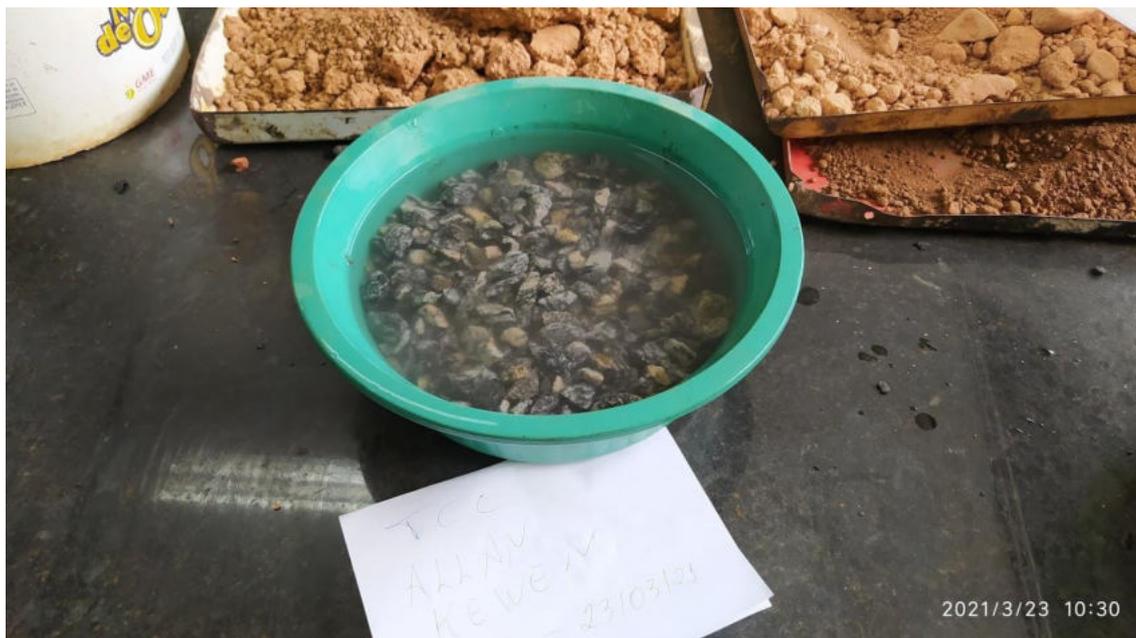
Pela curva característica da brita e comparando com a Figura 9, é possível afirmar que a brita utilizada possui uma graduação uniforme.

#### Massa específica, massa específica aparente e absorção do agregado

A norma que regulamenta o ensaio é a ABNT NM 53:2009, que rege sobre a determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água dos agregados graúdos.

Na Figura 16 é mostrado um dos processos realizados nos ensaios, onde a brita fica imersa em água por um período de 24 horas.

Figura 16: Amostra de brita imersa em água para a realização do ensaio de Massa Específica Real.



Fonte: Arquivo próprio (2021).

Na Tabela 6 são apresentados os dados obtidos com a realização do ensaio.

Tabela 6: Massa específica e absorção do agregado graúdo (brita 19 mm).

<b>Ensaio</b>	<b>Resultado</b>
<b>Massa específica do agregado seco (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2,60
<b>Massa específica do agregado saturado de superfície seca (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2,61
<b>Massa específica aparente (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2,64
<b>Absorção</b>	0,51%

Fonte: Próprio autor.

### Abrasão Los Angeles

O ensaio de desgaste, por nome abrasão Los Angeles, é normatizado pela ABNT NBR NM 51:2001. Ela consiste na ideia do desgaste do agregado ao longo do seu período de utilização, podendo estimar assim se o mesmo atenderá as condições de uso e durabilidade impostas pelo projeto, a abrasão da brita está identificada na Tabela 7.

Tabela 7: Abrasão dos agregados.

<b>Material</b>	<b>Abrasão</b>
<b>Brita</b>	18,57%

Fonte: Próprio autor.

A norma estabelece que o desgaste dos agregados à abrasão deve ser inferior a 50%, nesse caso a abrasão ficou em torno de 18,57%, logo o agregado está em concordância com as condições impostas pela norma.

#### **4.2.2. Dosagem do concreto**

Visto que inexistia procedimento para a dosagem de concreto permeável, foi definida uma mistura a partir da revisão da literatura. A análise literária mostrou a grande variabilidade de traços, utilizando-se agregados graúdos, brita 0 e/ou 1, e em alguns casos a não utilização de agregado miúdo. Também foi verificada a variação no fator água/cimento entre 0,24 e 0,45.

A partir da análise, propôs-se a confecção de traços sem a utilização de agregados miúdos, visando aumentar a permeabilidade do concreto. Logo, decidiu-se pelos traços identificados na Tabela 8.

Tabela 8: Composição utilizada nas misturas .

<b>Grupo de Amostra</b>	<b>Consumo de cimento (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Consumo de agregado (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Relação a/c</b>	<b>Relação cimento/agregado em massa</b>
<b>1:4:0,25</b>	400	1600	0,25	1:4
<b>1:4:0,30</b>	400	1600	0,30	1:4
<b>1:5:0,25</b>	400	2000	0,25	1:5
<b>1:5:0,30</b>	400	2000	0,30	1:5

Fonte: Próprio autor.

#### **4.2.3. Confeccção dos traços e ensaio no estado fresco**

##### ***Preparo do concreto***

Os corpos de provas foram moldados de acordos com a norma ABNT NBR 5738:2016, que regulamenta o procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.

Na Figura 17 é possível identificar o concreto sendo preparado na betoneira. O preparo foi executado da seguinte forma:

- i. 100% do agregado graúdo;
- ii. 50% da água;
- iii. 100% do cimento e;
- iv. 50% da água.

Figura 17: Concreto permeável sendo preparado na betoneira.



Fonte: Arquivo próprio (2021).

Ao término do preparo do traço, realizou-se a moldagem dos corpos de prova, utilizou-se o mesmo processo de compactação para todos os traços, de modo a não gerar interferências no estudo.

Na Figura 18 é apresentado a consistência da mistura, pois a análise visual é um dos métodos utilizados no controle do concreto permeável, verificando se a mistura apresenta aspecto brilhoso e se as partículas estão cobertas de argamassa.

Figura 18: Aspecto visual da mistura.



Fonte: Arquivo próprio (2021).

### ***Slump Test***

O ensaio de consistência (*Slump Test*) é normatizado pela ABNT NBR 16889:2020 que guia o ensaio para a determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Na Figura 19 é possível visualizar a realização do ensaio. Que foi realizado com a confecção de três camadas de igual altura e transferido 25 golpes em cada uma. Em seguida, retirou-se o tronco de cone e aferiu-se o abatimento.

Figura 19: Realização do ensaio de abatimento,



Fonte: Arquivo próprio (2021).

### ***Moldagem dos corpos de prova***

Utilizaram-se corpos cilíndricos de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura. Os corpos foram compactados manualmente em 2 camadas com a aplicação de 12 golpes em cada camada.

Na Figura 20 são apresentados os corpos de provas que foram moldados para um dos grupos de amostras. Os corpos de prova foram desmoldados após 24 horas, em seguida imersos em água por 7 dias para cura do concreto. Após esse período, alguns corpos de prova foram ensaiados aos 7 dias e os demais foram reservados para serem utilizados posteriormente.

Figura 20: Corpos de prova moldados.



Fonte: Arquivo próprio (2021).

De modo a realizar uma melhor distribuição das forças e devido a rugosidade na superfície da mistura, realizou-se o capeamento dos corpos de prova a serem utilizados para determinação da resistência a compressão, exposto na Figura 21. De acordo com Costa (2019) a técnica de capeamento utilizada para o teste de compressão é, também, outro fator que influencia diretamente a resistência à compressão. Deve-se considerar que, devido à superfície não regularizada da amostra de concreto permeável, os resultados são consideravelmente afetados. Em alguns casos, isso pode causar um ou mais pontos de concentração de tensão durante o teste de compressão e, conseqüentemente, alterar o modo de ruptura do material.

Figura 21: Corpos de prova capeados.



Fonte: Arquivo próprio (2021).

De maneira mais explícita, pode-se ver na Figura 22 uma comparação entre um corpo de prova capeado com a utilização de pasta de cimento (direita) e outra não capeado (esquerda).

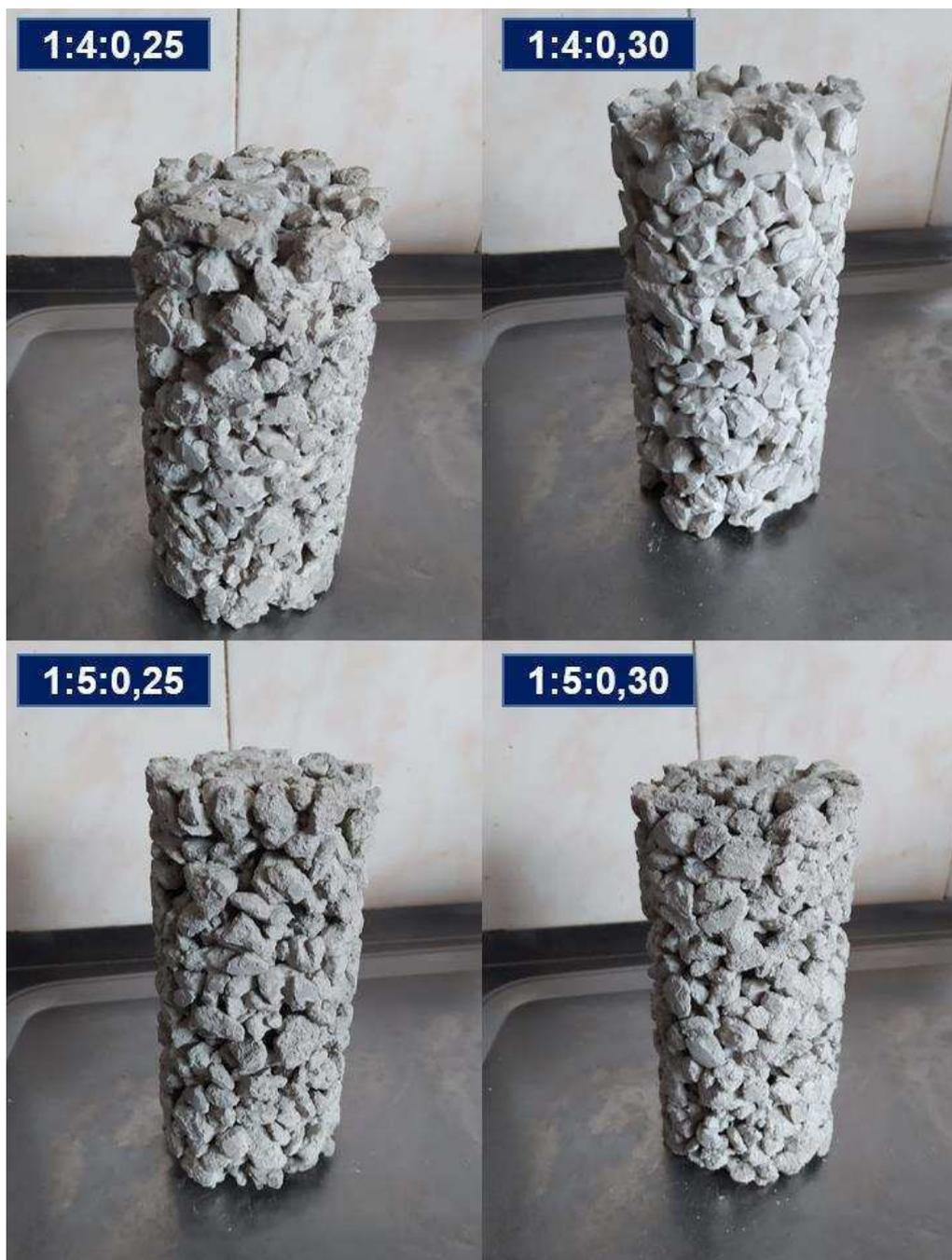
Figura 22: Comparativo entre corpos de prova.



Fonte: Arquivo próprio (2021).

Na Figura 23 é possível identificar a textura de cada grupo de corpo de prova, onde a rugosidade é a principal característica visual.

Figura 23: Corpos de prova.



Fonte: Arquivo próprio (2021).

#### 4.2.4. Ensaios no estado endurecido

##### *Permeabilidade*

Para a determinação da permeabilidade, utilizou-se um método empírico baseado no estudo de Finocchiaro et. al. (2017), visando viabilizar a execução do ensaio, visto que os equipamentos do laboratório não tinham capacidade para realizar os ensaios com os corpos de prova moldados (10 cm x 20 cm) e nem foi possível realizar o corte das amostras. A esquematização do ensaio pode ser visualizada na Figura 24. Visando diminuir as perdas de água pelas laterais do corpo de prova, realizou-se o acoplamento de um cano PVC na amostra, permitindo uma maior confiabilidade ao processo.

Figura 24: Esquema do ensaio realizado (esquerda) e corpo de prova ensaiado (direita).



Fonte: Arquivo próprio (2021).

Utilizou-se um cano de 100 mm para envolver o corpo de prova, evitando assim a perda de água pelas laterais, de modo a não interferir no resultado.

Segundo Finocchiaro *et al* (2017) este ensaio consiste na determinação do tempo que a água demora a passar pelo concreto, com 20 cm de altura, referente ao corpo de prova cilíndrico 10 cm x 20 cm, computado a partir de uma altura de 40 cm de coluna de água, preenchida no tubo de PVC. A vazão que passa pelo concreto é definida através da Equação 1.

$$Q = A \cdot V \quad \text{(Equação 1)}$$

Onde:

Q (mm<sup>3</sup>/s) = vazão que passa pelo concreto

V (mm.s<sup>-1</sup>) = velocidade d'água que relaciona o tempo que a água demora a passar pelos 40 cm de altura.

A (mm<sup>2</sup>) = Área da seção do cano.

A determinação do coeficiente de permeabilidade, que caracteriza o quanto é permeável o concreto, é definida pela Equação 2.

$$k = \frac{Q \cdot H_{\text{corpo}}}{A \cdot L} \quad \text{(Equação 2)}$$

Onde:

k (mm.s<sup>-1</sup>) = coeficiente de permeabilidade

H<sub>corpo</sub> (mm) = altura do corpo de prova

L (mm) = Altura do volume da água

### ***Resistência à compressão simples***

Normatizado pela ABNT NBR 5739:2007, o ensaio tem por finalidade determinar a resistência a compressão simples do concreto. O rompimento dos corpos de prova foi realizado no LEP, após o período de cura, com duas idades de rompimento, 7 e 14 dias, com o auxílio de uma prensa hidráulica automatizada, como identificado na Figura 25.

Figura 25: Realização de teste de resistência à compressão.



Fonte: Arquivo próprio (2021).

Tendo em vista a impossibilidade de realizar o ensaio de resistência à compressão aos 28 dias em tempo hábil, decidiu-se por realizar uma estimativa dos valores aos 28 dias. De acordo com o The Constructor (2021), a resistência do concreto aos 14 dias é em torno de 90% da resistência final e de 99% aos 28 dias. Logo, utilizaram-se como referência os valores dos ensaios obtidos com 14 dias de vida e obteve-se a estimativa da resistência aos 28 dias.

A estimativa consistiu em aplicar os valores obtidos no ensaio de 14 dias na Equação 3.

$$f_c = \frac{f_{c14}}{0,9} \quad \text{(Equação 3)}$$

Onde:

$f_c$  = Resistência à compressão aos 28 dias.

$f_{c14}$  = Resistência à compressão aos 14 dias.

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **5.1. ANÁLISE NO ESTADO FRESCO**

#### **5.1.1. Slump Test**

Como pode ser visto na Figura 26, o ensaio de tronco de cone não foi representativo, tendo em vista que a amostra desmoronou em sucessivas tentativas. O desmoronamento ocorreu após 10s da remoção do tronco de cone, onde a amostra apresentou falta de estabilidade e desmoronou, apesar de estar sob condições ideais de pasta segundo CASTRO *et al.* (2009).

A norma prevê que após a ocorrência de desmoronamentos sucessivos o concreto não é considerado plástico e coeso para a aplicação do ensaio de abatimento. Inicialmente o abatimento parecia ser zero, contudo, após alguns segundos ocorria o desmoronamento do molde, gerando medidas acima de 150 mm de abatimento.

Os ensaios de abatimento de todos os traços foram considerados desmoronados, ou seja, o concreto não é plástico e coeso para ser avaliado por esse ensaio.

Figura 26: Amostra após desmoronamento.



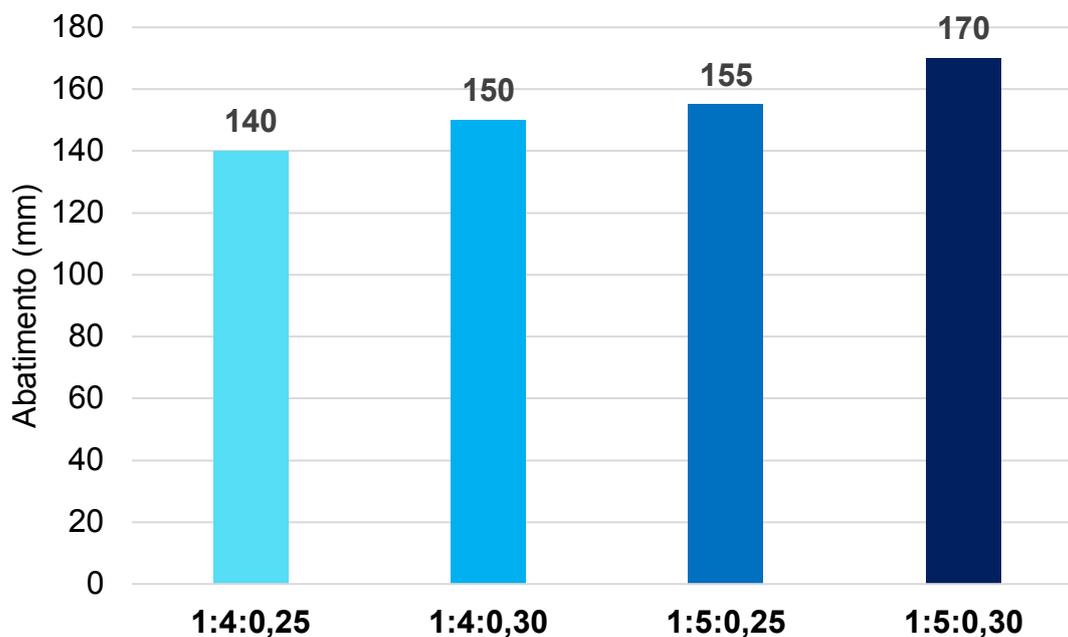
Fonte: Arquivo próprio (2021).

O desmoronamento da amostra também ocorreu no estudo realizado por Monteiro (2010), no entanto, o concreto foi utilizado para realização dos ensaios, tendo em vista que o *Slump Test* não é um ensaio excludente de amostra, serve apenas para analisar a consistência do concreto. O desmoronamento da amostra pode ser decorrente do baixo consumo de cimento e alto teor de agregados na mistura, pressupostos do estudo.

Silva *et al* (2020) também apresentou desmoronamento de sua amostra, durante sua pesquisa sobre concretos permeáveis, após alguns segundos da retirada do tronco de cone. Jahn (2016) em seus estudos utilizou outro método para avaliação da consistência, o Ensaio Vebe, normatizado pelo DNIT 064:2004, no entanto, ambos os métodos se mostraram ineficientes segundo ele para análise do concreto analisado, mostrando a necessidade de elaborar estudos de métodos específicos para analisar a consistência do concreto permeável. Alguns traços utilizados por Jahn (2016) possuem igual proporção que os grupos 2 e 4 do presente estudo, sendo que foi utilizado o CP V ARI em seu estudo, enquanto nesse foi utilizado o CP II F 32.

No Gráfico 1 são mostrados os abatimentos que foram aferidos após o desmoronamento da amostra.

Gráfico 1: Resultado do Slump Test



Fonte: Próprio autor.

Após o desmoronamento, encontraram-se os valores de abatimento entre 140 e 170 mm, próximo aos obtidos por Jahn (2016) que ficou em torno de 180 mm. No entanto, Monteiro (2010) após o desmoronamento não realizou a aferição do abatimento.

## 5.2. ANÁLISE NO ESTADO ENDURECIDO

### 5.2.1. Permeabilidade

Os dados obtidos com a realização do ensaio de permeabilidade estão identificados na Tabela 9.

Tabela 9: Coeficiente de permeabilidade.

<b>Amostra</b>	<b>Coeficiente de permeabilidade k (mm.s<sup>-1</sup>)</b>
<b>1:4:0,25</b>	10,34
<b>1:4:0,30</b>	9,74
<b>1:5:0,25</b>	16,37
<b>1:5:0,30</b>	16,18

Fonte: Próprio autor.

Diante dos dados é possível identificar que quanto maior a concentração de brita na amostra, maior é a permeabilidade do concreto, como visto na literatura. A maior permeabilidade foi encontrada na mistura 1:5:0,25, que possui o maior consumo de brita e menor fator a/c. Logo, pode-se dizer que a presença de agregados e o fator a/c estão diretamente ligados no coeficiente de permeabilidade “k” dos concretos permeáveis.

Na Tabela 10, é possível identificar valores típicos de coeficientes de permeabilidade de solos, utilizando-o como referência, verificar-se-á se os coeficientes encontrados estão em concordância com os dados obtidos por Terzagui e Peck (1967).

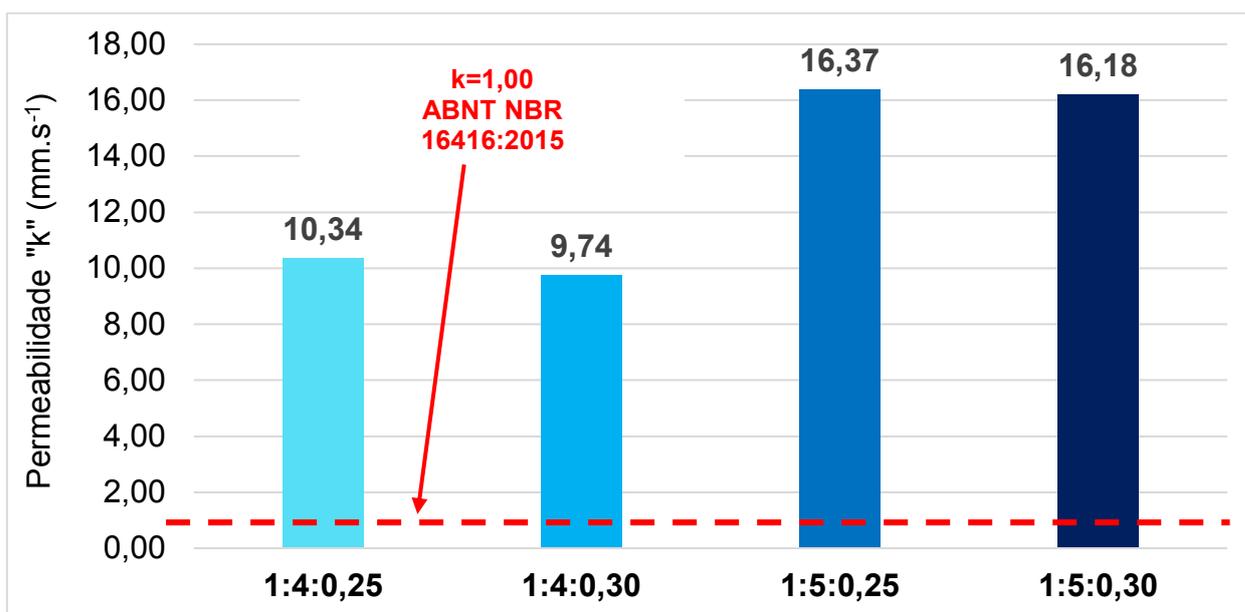
Tabela 10: Valores típicos de coeficiente de permeabilidade de solos..

<b>Tipo de solo</b>	<b>Coeficiente de permeabilidade k (mm.s<sup>-1</sup>)</b>	<b>Grau de Permeabilidade</b>
<b>Brita</b>	>1,00	Alta
<b>Areia de brita, areia limpa, areia fina</b>	1,00 a 10 <sup>-2</sup>	Média
<b>Areia, areia suja e silte arenoso</b>	10 <sup>-1</sup> a 10 <sup>-4</sup>	Baixa
<b>Silte, silte argiloso</b>	10 <sup>-4</sup> a 10 <sup>-6</sup>	Muito baixa
<b>Argila</b>	<10 <sup>-6</sup>	Praticamente impermeável

Fonte: Terzagui e Peck (1967).

Na Tabela 10 é possível identificar que materiais com valores de coeficientes maiores que 1 mm.s<sup>-1</sup> (10<sup>-3</sup> m/s) possuem alto grau de permeabilidade, logo, faz-se necessário comparar com os dados obtidos. No Gráfico 2, é possível realizar um comparativo entre os valores de referência e os obtidos no ensaio.

Gráfico 2: Coeficiente de permeabilidade de cada amostra.



Fonte: Próprio autor.

Gráfico 2 mostra o alto grau de permeabilidade do concreto estudado, fato esse que atendeu ao que foi proposto no trabalho, em realizar a confecção de concreto com alto grau de permeabilidade.

Os valores obtidos são próximos dos encontrados por Costa (2016) e Jahn (2016), que se utilizaram de traços parecidos com o do presente estudo. Castro (2015) obteve em seu grupo 1 (traço idêntico ao 1:4:0,30), valores de permeabilidade de 67 mm.s<sup>-1</sup>, enquanto no 1:4:0,30 ficou em torno de 3,9 mm.s<sup>-1</sup>, já Jahn (2016), no seu traço M4B1, de igual proporção, obteve valores de 3,46 mm.s<sup>-1</sup> de permeabilidade. A discrepância entre os valores encontrados pode ser decorrente do método de permeabilidade, não estanqueidade lateral da amostra, além de possíveis erros de execução.

A amostra M5B0 de Jahn (2016), traço idêntico ao utilizado ao 1:5:0,30, possuem valor de permeabilidade de 12,67 mm.s<sup>-1</sup> e 16,18 mm.s<sup>-1</sup>, respectivamente. Logo, é possível notar proximidade de valores encontrados para o coeficiente, assegurando os dados obtidos.

Tennis *et al*, (2004) definiram valores entre 2,10 mm.s<sup>-1</sup> e 5,4 mm.s<sup>-1</sup> como valores típicos para revestimentos de pavimentos, Botteon (2017) encontrou

valores entre 4,7 mm.s<sup>-1</sup> e 1,5 mm.s<sup>-1</sup>, parte das amostras de Batezini (2013) variou entre 1,5 mm.s<sup>-1</sup> e 1,3 mm.s<sup>-1</sup>. É notório que existe uma confluência de resultados para concretos permeáveis com consumos de materiais e fator a/c próximos.

### 5.2.2. Resistência à compressão simples

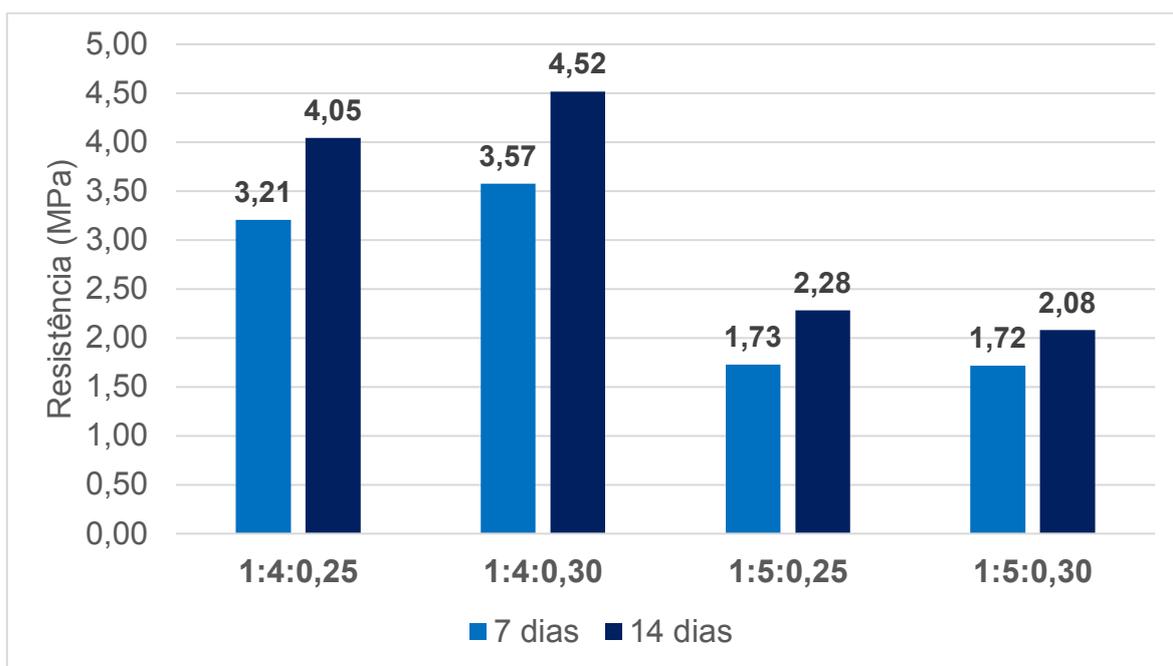
Os dados de resistência obtidos foram compilados na Tabela 11 e no Gráfico 3.

Tabela 11: Resistência à compressão do concreto ensaiado.

Amostra	Resistência à compressão (MPa)					
	7 dias			14 dias		
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	Média	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	Média
<b>1:4:0,25</b>	3,13	3,29	<b>3,21</b>	3,79	4,30	<b>4,05</b>
<b>1:4:0,30</b>	3,41	3,74	<b>3,57</b>	5,23	3,81	<b>4,52</b>
<b>1:5:0,25</b>	1,85	1,60	<b>1,73</b>	2,58	1,99	<b>2,28</b>
<b>1:5:0,30</b>	1,81	1,62	<b>1,72</b>	2,16	2,00	<b>2,08</b>

Fonte: Próprio autor.

Gráfico 3: Resistência à compressão simples dos corpos de prova.



Fonte: Próprio autor.

Os valores obtidos de resistência revelam a importância da água na variação da resistência, bem como a proporção de brita presente no traço. Os grupos 1:4:0,25 e 1:4:0,30, tiveram desempenho melhor, comparando-se com os demais, tendo em vista que o consumo de brita no traço foi menor e os consumos de água mantidos em 0,25 e 0,30.

Os grupos 1:4:0,25 e 1:4:0,30 possuem o mesmo consumo de brita, variando apenas o fator a/c, respectivamente, 0,25 e 0,30. Aumentando-se o fator a/c, percebeu-se um acréscimo de cerca de 11,6% na resistência à compressão após 14 dias. Provavelmente, o aumento foi devido a uma melhor hidratação do cimento, permitindo que o mesmo reagisse de maneira mais adequada, melhorando seu desempenho.

Os grupos 1:5:0,25 e 1:5:0,30, possuem igual consumo de brita, variando-se o fator a/c, respectivamente, 0,25 e 0,30. Diferentemente dos grupos anteriores, ao aumentar o fator a/c da amostra, ocorreu uma diminuição de cerca de 9,61% na resistência à compressão após 14 dias. Dentre os fatores que podem ter influenciado sobre o resultado, pode-se levar em consideração a perda de pasta de cimento na amostra, ou até mesmo o não preenchimento da

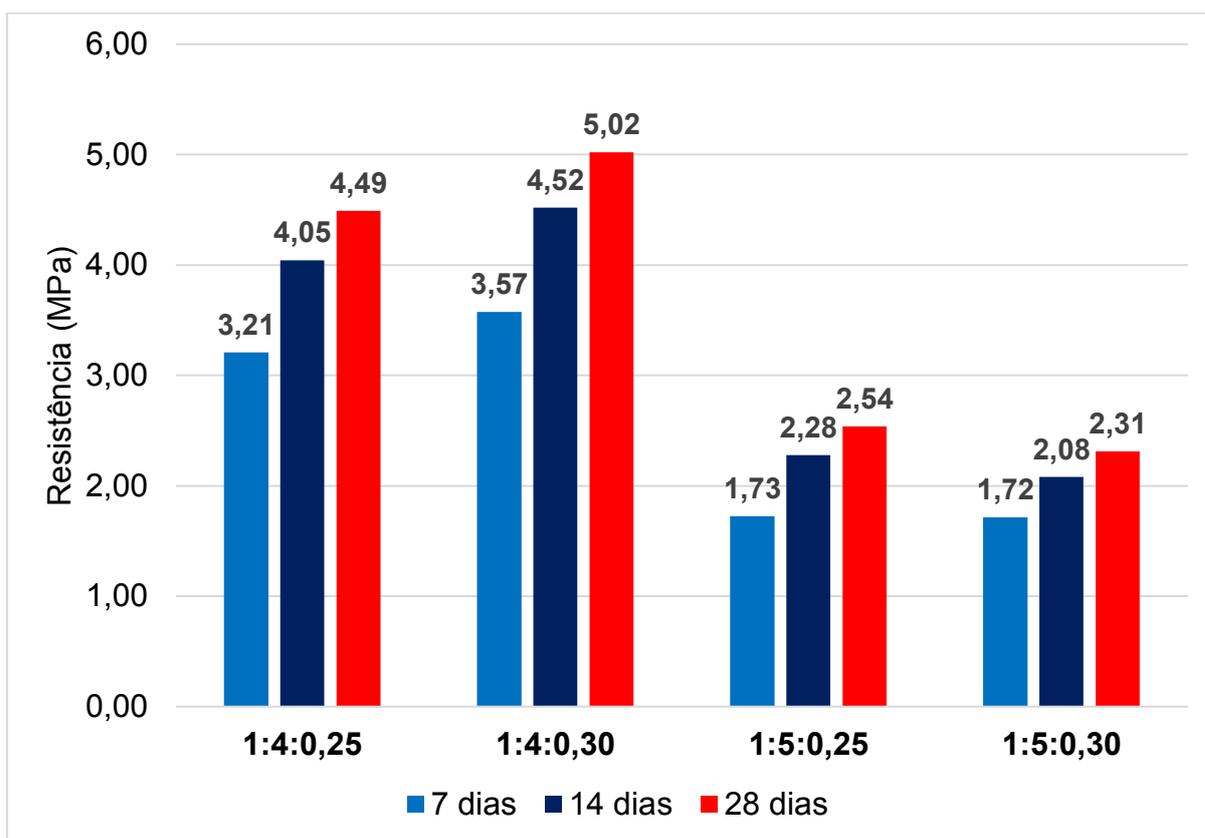
superfície das britas pela pasta, visto que a amostra possui mais agregado graúdo a ser coberto.

Apesar de os grupos 1:4:0,25 e 1:5:0,25, e 1:5:0,30 e 1:5:0,30 possuírem mesmo fator a/c, o consumo de agregado graúdo é determinante no quesito resistência à compressão, logo a relação entre os grupos no que se refere ao consumo de água não é representativo.

Castro (2015) obteve uma resistência de 1,60 MPa aos 14 dias no traço 1, que corresponde ao mesmo traço do 1:4:0,30, o qual no presente estudo apresentou resistência de 4,52 MPa. Logo, pode-se notar que o concreto desenvolvido com o mesmo traço possui resistências diferentes, podendo resultar do tipo de cimento utilizado, Castro (2015) utilizou um CP IV 32 e o presente estudo CP II F 32, bem como do tipo de brita utilizada (origem da rocha e granulometria).

Após a obtenção dos resultados dos ensaios de 7 e 14 dias, realizou-se a estimativa dos valores de resistência aos 28 dias com o auxílio da Equação 3. Os dados obtidos estão apresentados no Gráfico 4.

Gráfico 4: Comparativo entre resistências à compressão.



Fonte: Próprio autor.

Tomando como referência as resistências estimadas dos grupos de prova aos 28 dias, pode-se destacar o grupo 1:4:0,30, com resistência de 5,02 MPa, no entanto, o grupo 1:5:0,30 apresentou resistência de 2,31 MPa.

Segundo ACI 522R-10, a resistência à compressão simples para concreto permeável deve variar entre 2,8 e 28MPa, o valor médio encontrado para o traço 1:5:0,25 é 10,2% menor que o limite inferior e o 1:5:0,30 é 21,2% menor. No entanto, os grupos 1 e 2 apresentaram-se dentro dos limites.

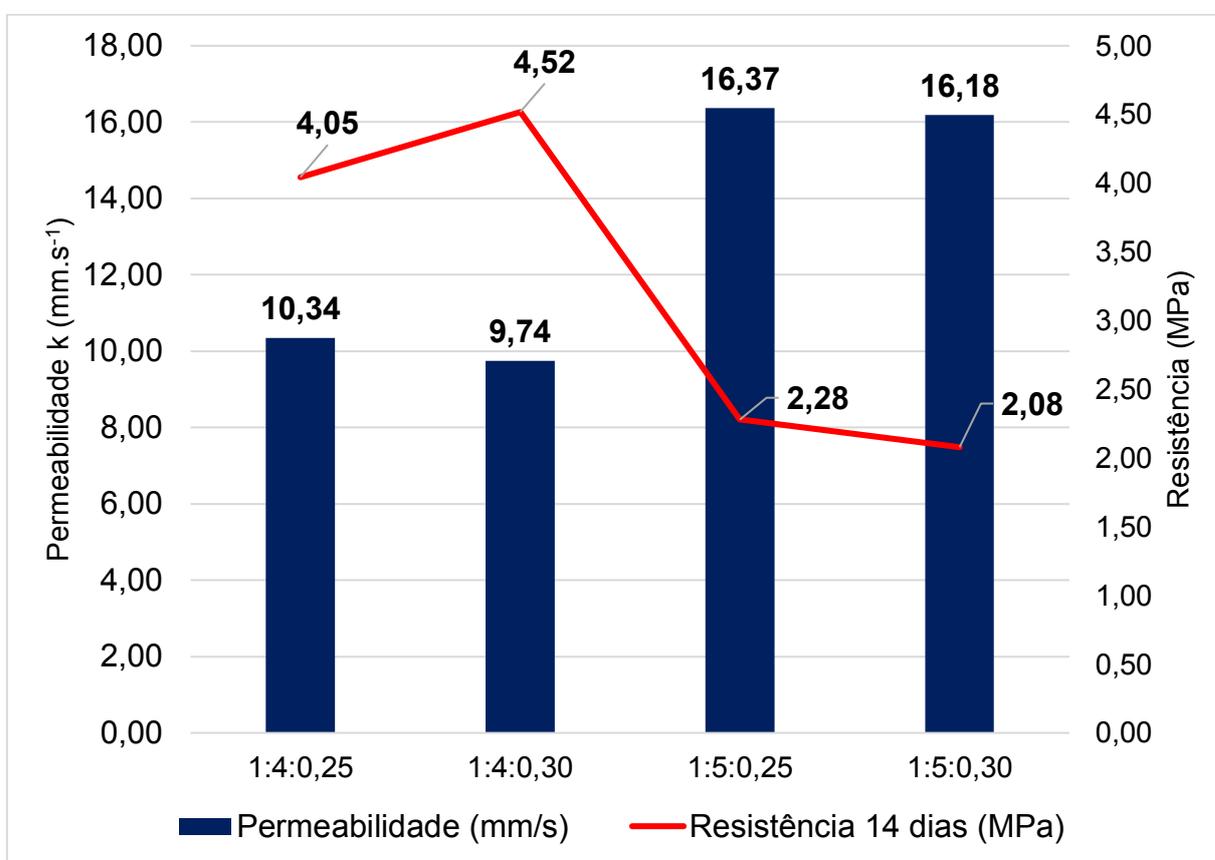
Apesar dos índices de resistência serem razoáveis para o tipo de concreto e o traço estudado, de acordo com a ABNT NBR 16416:2015, os valores de resistência à compressão para peças de concreto permeável devem ser maiores que 20 MPa. O maior valor encontrado de resistência estimada aos 28 dias é de 5,02 MPa, distante dos valores mínimos estabelecidos pela norma.

Acredita-se que o concreto permeável pudesse alcançar valores maiores de resistência caso fosse utilizado agregados miúdos no traço, agregados graúdos com diâmetros máximo menor que o utilizado, além da utilização de aditivos e cimento de melhor resistência (CP V ARI ou CP II 40).

### 5.2.3. Resistência x permeabilidade

De modo a buscar uma maneira representativa de relacionar os parâmetros encontrados sobre o concreto permeável (permeabilidade e resistência), optou-se por gerar o Gráfico 5 com dois eixos independentes, onde é possível identificar o coeficiente de permeabilidade e a resistência das amostras aos 14 dias.

Gráfico 5: Relação entre resistência e permeabilidade.



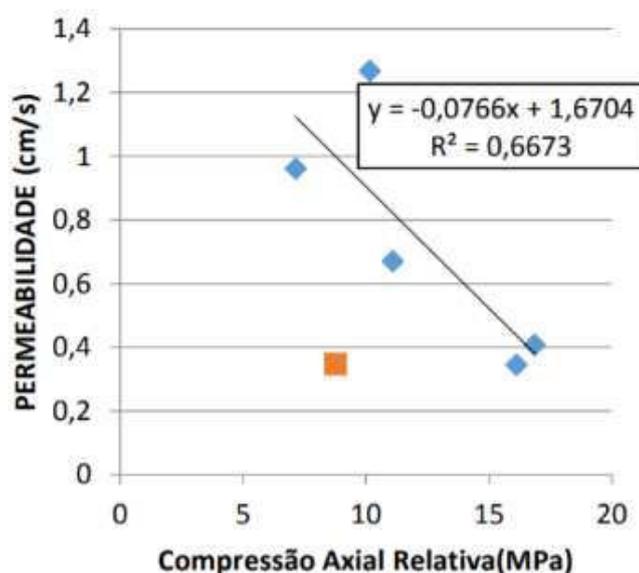
Fonte: Próprio autor.

Com as informações obtidas, é possível verificar que existe uma relação entre a resistência à compressão do concreto com a sua permeabilidade. Quanto

maior a permeabilidade do concreto, menor será sua resistência, logo, os valores são inversamente proporcionais, à medida que se aumenta um dos valores o outro por consequência diminuirá.

Jahn (2016) identificou em seus estudos a relação direta entre o aumento da permeabilidade e a diminuição da resistência, como pode ser identificado na Figura 27.

Figura 27: Relação entre permeabilidade e resistência à compressão..



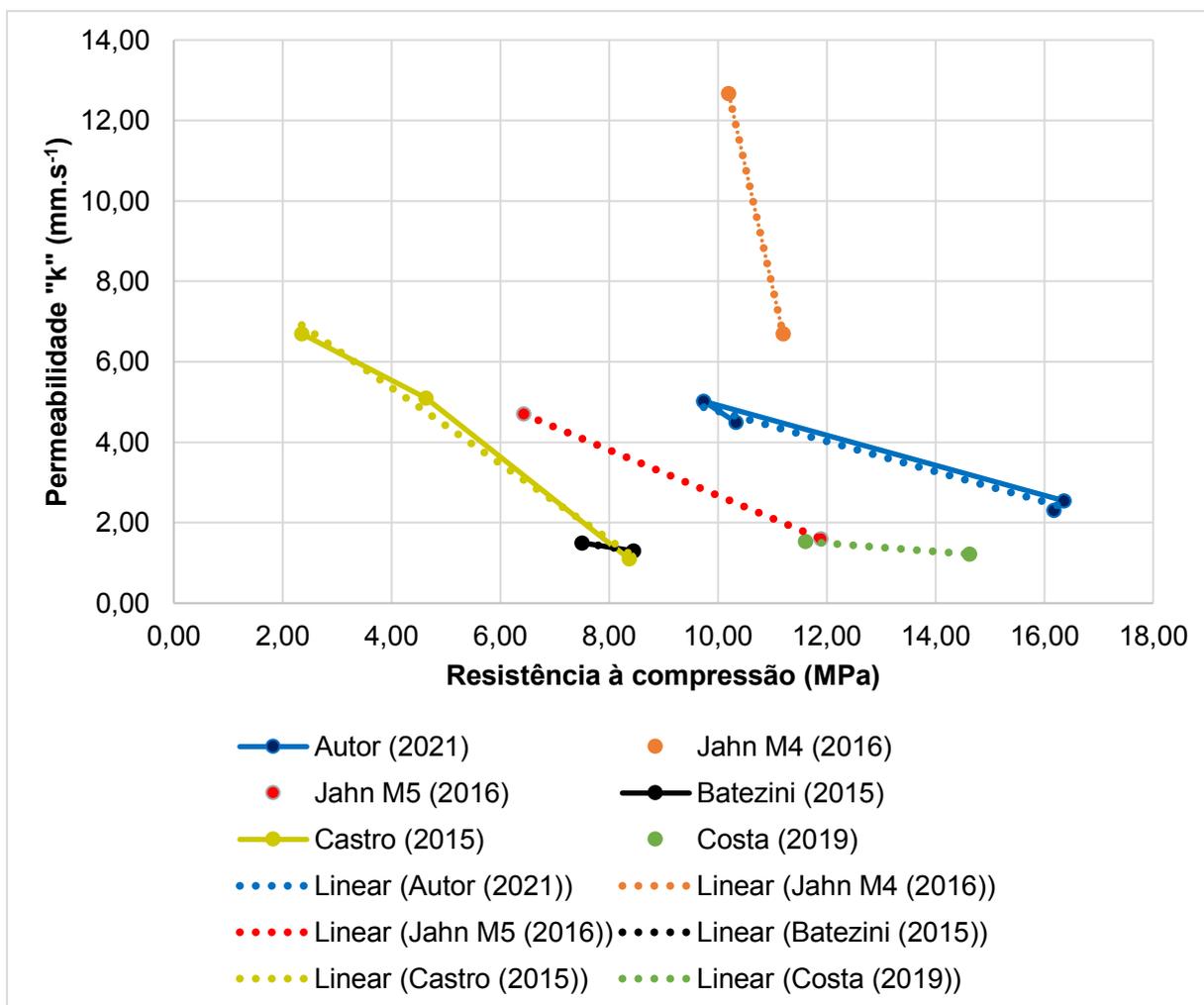
Fonte: Jahn (2016).

Estudos realizados por Batezini (2013), Botteon (2017), Castro (2015), Costa (2019), Silva *et al.* (2020), Quadrelli e Barbosa (2015), Pereira e Barbosa (2015), Aquino *et. al* (2019) e outros já mencionados no presente trabalho, indicaram uma relação direta existente entre a permeabilidade e a resistência mecânica do concreto permeável, como encontrado no Gráfico 5.

Baseando-se em diversos estudos e após a compatibilização de informações a respeito da relação existente entre permeabilidade e resistência à compressão aos 28 dias, elaborou-se o Gráfico 6 de modo a facilitar o entendimento sobre o tema. Os estudos compilados possuem características

próximas ao elaborado pelo autor, nos quesitos consumo de cimento e brita, além do fator a/c, como podem ser vistos na Tabela 5.

Gráfico 6: Relação entre permeabilidade e resistência à compressão.



Fonte: Próprio autor.

O aumento da permeabilidade é decorrente do alto índice de vazios gerados pela não utilização total ou parcial de agregados miúdos, aumentando assim os poros da mistura. Misturas porosas acabam por gerar concentração de tensões, resultando em perdas de resistência no concreto, pois a força que deveria ser distribuída uniformemente (comum em concretos convencionais) acaba sendo concentrada em alguns pontos.

## **6. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Observou-se que as misturas estudadas possuem permeabilidade elevada, apresentando assim características de um bom material drenante, sendo de grande proveito a sua utilização em pavimentos, pois, aumentaria a infiltração de água nas calçadas em que fosse utilizado o concreto proposto por essa pesquisa.

No entanto, no que se refere à resistência a compressão do concreto, observou-se que a mesma ficou aquém do desejável para o concreto, nenhum dos grupos de amostras conseguiu alcançar a resistência mínima de 20 MPa exigido pela norma ABNT NBR 16416:2015. Todavia, a amostra 1:4:0,30 foi a que alcançou a maior resistência, podendo ser empregado em passeios onde não se faz necessário resistências elevadas, como em calçadas de baixo fluxo.

Destaca-se a grande permeabilidade das amostras, fato esse decorrente do grande consumo de brita do traço. Em contrapartida, a resistência à compressão dos traços com maiores permeabilidades ocorreu uma redução em comparação aos de menor permeabilidade. Logo, é possível afirmar baseando-se nos dados obtidos que quanto maior a permeabilidade do concreto menor será sua resistência.

Visando melhorias na resistência do concreto, o acréscimo de agregado miúdo seria uma solução interessante para as composições, apesar da diminuição da permeabilidade, o custo benefício deveria ser analisado.

Por fim, foi possível identificar a importância de cada elemento utilizado no concreto permeável, como a relação a/c, o consumo de brita, o capeamento das amostras, compactação e o consumo de cimento.

### **6.1. SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS**

Como os parâmetros mínimos para utilização em pavimentação não foi atingido, faz-se necessário o desenvolvimento de outros mecanismos para que o concreto tenha melhor desempenho. Logo, apresentaram-se as seguintes sugestões de trabalhos futuros:

- Realizar a utilização de outro tipo de Cimento Portland;
- Utilizar agregado miúdo na composição do traço;
- Diminuir o consumo de agregado graúdo;
- Variar o fator a/c;
- Utilizar brita 0;
- Utilizar frações mais específicas do agregado graúdo;
- Alterar o tipo de compactação das amostras, podendo utilizar-se de placas vibratórias, rolos rulos ou aumento da energia de compactação;
- Ensaiair corpos de prova extraídos de placas moldadas, para que retratem um comportamento mais próximo do real;
- Construir um pavimento teste, para medir o desgaste e a variação do coeficiente de permeabilidade;
- Utilizar aditivos redutores de água e retardadores de pega.

## 7. REFERÊNCIAS

ACI COMMITTEE 522. 522R-10 Report on Pervious. 2010, 38p.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE – ACI. **Guide for Structural Lightweight Aggregate Concrete**. ACI – 213R-87. ACI Manual of Concrete Practice, Part 1, 27 f, 1997.

ALVES, F. A. de O.; COSTA, A. R. **Técnicas compensatórias no controle de cheias urbanas**. In: CURSO Básico de Hidrologia Urbana. Núcleo Regional Centro-Oeste de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental. Dep. Eng. Civil da Universidade Federal de Goiás, 2007. Cap. 5, p. 54-66.

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

\_\_\_\_\_. NBR 15900-1: **Água para amassamento do concreto - requisitos**. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. NBR 16416: **Pavimentos permeáveis de concreto - Requisitos e procedimentos**. Rio de Janeiro, 2015.

\_\_\_\_\_. NBR 16889: **Concreto — Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 2020.

\_\_\_\_\_. NBR 16605: **Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica**. Rio de Janeiro, 2017.

\_\_\_\_\_. NBR 5738: **Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. São Paulo, 2016.

\_\_\_\_\_. NBR 5739: **Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2007

\_\_\_\_\_. NBR 7211: **Agregados para concreto**. Rio de Janeiro, 2019.

\_\_\_\_\_. NBR 7222: **Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos**. São Paulo, 2011.

\_\_\_\_\_. NBR 9939: **Agregado graúdo – Determinação do teor de umidade total – Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2011.

\_\_\_\_\_. NBR NM 248: **Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. NBR NM 26: **Agregados – Amostragem**. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. NBR NM 45: **Agregados - Determinação da Massa Unitária e do Volume de Vazios**. Rio de Janeiro, 2006.

\_\_\_\_\_. NBR NM 51: **Agregado graúdo - Ensaio de abrasão "Los Angeles"**. Rio de Janeiro, 2001.

\_\_\_\_\_. NBR NM 52: **Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. NBR NM 53: **Agregado Graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água**. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. NBR NM ISO 3310/1: **Peneiras de ensaio – Requisitos técnicos e verificação**. Rio de Janeiro, 1997.

\_\_\_\_\_. NBR. 9778: **Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro, 2005

\_\_\_\_\_. NBR. 9833: **Concreto fresco – Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico**. Rio de Janeiro, 2009.

AQUINO, Samuel Medeiros de *et al.* Estudo do uso do resíduo de caulim nas propriedades de concreto permeável (POROSO). In: SIMPÓSIO DE PESQUISA, INOVAÇÃO E PÓS-GRADUAÇÃO DO IFPB, 3., 2019, João Pessoa. **Simpósio**. João Pessoa: IFPB, 2019.

AZAÑEDO, W.H.M., HELARD, C.H., MUÑOZ, R.G.V., **Diseño de mezcla de concreto poroso con agregados de la cantera La Victoria, cemento pórtland tipo i con adición de tiras de plástico, y su aplicación en pavimentos rígidos, en la Ciudad de Cajamarca**, Universidade Nacional de Cajamarca, 2007.

BATEZINI, R. **Estudo preliminar de concretos permeáveis como revestimento de pavimentos para áreas de veículos leves**. Dissertação (Mestrado engenharia civil), USP, São Paulo. 2013. 133p.

BOTTEON, Letícia Machado. **DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE CONCRETO PERMEÁVEL PARA UTILIZAÇÃO EM BLOCOS INTERTRAVADOS PARA ESTACIONAMENTOS**. 2017. 95 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2017. Disponível em: <https://app.uff.br/riuff/bitstream/1/5255/1/LET%C3%8DCIA%20MACHADO%20BOTTEON%20111.37.017.pdf>. Acesso em: 22 set. 2020.

CASTRO, D.; GONZÁLEZ-ANGULLO, N.; RODRÍGUEZ, J.; CALZADA, M. **The influence of paving-block shape on the infiltration capacity of permeable paving**. *Land Contamination & Reclamation*, v.15, n.3, p.335-344, 2007. Disponível em: <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/7154/The%20influen%20of%20paving->

block%20shape%20on%20the%20infiltration.pdf?sequence=1. Acesso em: 19 nov. 2020.

CASTRO, Luiz Fernando Altermann de. **ESTUDO DE TRAÇO DE CONCRETO PERMEÁVEL DE CIMENTO PORTLAND**. 2015. 57 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2015.

CIMENTO MONTES CLAROS. **Produtos**: Ultra Forte. 2021. Disponível em: <https://cimentomontesclaros.com.br/produtos/>. Acesso em: 04 abr. 2021.

COSTA, Fernanda Bianchi Pereira da. **Análise e desenvolvimento de misturas de concreto permeável para aplicação em pavimentação**. 2019. 181 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

ESTEVES, R. L. **Quantificação das Superfícies Impermeáveis em Áreas Urbanas por Meio de Sensoriamento Remoto**. 2006, 120p. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

FERGUSON, B. K., **Porous pavements**. Boca Raton: CRC Press, c2005.

FERGUSON, B. K., **Stormwater infiltration**. Boca Raton: Lewis, c1994.

FINOCCHIARO, Pedro S.; GIRARDI, Ricardo. Concreto permeável produzido com agregado reciclado. **Revista de Engenharias da Faculdade Salesiana**, Macaé, n. 5, p. 19-26, jun. 2017. Disponível em: [http://www.fsma.edu.br/RESA/Edicao5/FSMA\\_RESA\\_2017\\_1\\_03.pdf](http://www.fsma.edu.br/RESA/Edicao5/FSMA_RESA_2017_1_03.pdf). Acesso em: 10 maio 2021.

FOLHA DE SÃO PAULO: **USP faz testes com asfalto antiinchente**. São Paulo, 13 dez. 2009. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/fsp/cotidian/ff1312200901.htm>. Acesso em: 25 set. 2020.

FU, T.F.; YEIH, W.; CHANG, J.J.; HUANG, R. The influence of aggregate size and binder material on the properties of pervious concrete. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2014, 17pp.

HUANG, B. WU, H. SHU, X. BURDETTE E.G. **Laboratory evaluation of permeability and strength of polymer-modified pervious concrete**. Elsevier Journal. *Construction and Building Materials*, 2009.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa nacional por amostra de domicílios**: síntese de indicadores. Rio de Janeiro: Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão, 2016. 108 p. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv98887.pdf>. Acesso em: 05 maio 2021.

JAHN, Lucas Claudir. **INFLUÊNCIA DO TAMANHO E TEOR DE AGREGADO NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO PERMEÁVEL**. 2016. 63 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2016. Disponível em: [http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/6883/1/CM\\_COECI\\_2016\\_1\\_19.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/6883/1/CM_COECI_2016_1_19.pdf). Acesso em: 11 maio 2021.

KIM, H.K., LEE, H.K. **Influence of cement flow and aggregate type on the mechanical and acoustic characteristics of porous concrete**. Elsevier Journal. Applied Acoustics, 2010.

LIAN, C. ZHUGE, Y. **Optimum mix design of enhanced permeable concrete – An experimental investigation**. Elsevier Journal Construction and Building Materials, 2010.

MEURER FILHO, E. **Estudo de granulometria para concretos asfálticos drenantes**. Dissertação (Mestrado Engenharia). Universidade Federal de Santa Catarina. 2001. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/81713?show=full>. Acesso em: 28 set. 2020.

MONTEIRO, Anna Carolina Neves. **CONCRETO POROSO: dosagem e desempenho**. 2010. 36 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. 912 f. Editora PINI, São Paulo, 1997

NGUYEN DH, BOUTOUIL M, SEBAIBI N, LELEYTER L, BARAUD F. **Valorization of seashell by-products in pervious concrete pavers**. Constr Build Mater 2013;49:151–60.

OLIVEIRA, C. G. M. **Estudo de Propriedades Mecânicas e Hidráulicas do Concreto Asfáltico Drenante**. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Universidade de Brasília. 2003. Disponível em: <http://www.geotecnia.unb.br/downloads/dissertacoes/111-2003.pdf>. Acesso em: 19 out. 2020.

OLIVEIRA, Carlos Gustavo Macedo. **Estudo de Propriedades Mecânicas e Hidráulicas do Concreto Asfáltico Drenante**. 2003. 104 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, 2003. Disponível em: <https://docplayer.com.br/10222064-Estudo-de-propriedades-mecanicas-e-hidraulicas-do-concreto-asfaltico-drenante-carlos-gustavo-macedo-oliveira.html>. Acesso em: 23 set. 2020.

OSPINA, C. M. M, ERAZO, C. H. B. **Resistencia mecánica y condiciones de obra del concreto poroso en los pavimentos según El tipo de granulometría**. Medellín, 2007

PEREIRA, K.K.; BARBOSA, M.P. **Desenvolvimento de composição de concreto permeável com agregados oriundos de resíduos de construção**

**civil da região de campinas.** Publicação Anais do XX Encontro de Iniciação Científica, 2015.

PEREIRA, Katrine Krislei; BARBOSA, Monica Pinto. DESENVOLVIMENTO DE COMPOSIÇÃO DE CONCRETO PERMEÁVEL COM AGREGADOS ORIUNDOS DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL DA REGIÃO DE CAMPINAS. In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO E INOVAÇÃO, 5., 2015, Campinas. **Anais [...]**. Campinas: Puc Campinas, 2015. p. 10-20.

PERVIOUS CONCRETE PAVEMENT. **Pervious Concrete Pavement.** Disponível em: <http://www.perviouspavement.org/>. Acesso em: 30 set. 2020.

PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de cimento portland.** 2. ed.. Porto Alegre, Ed. Globo, 1973, 277 p.

QUADRELLI, Anderson Carlos; BARBOSA, Mônica Pinto. DESENVOLVIMENTO DE COMPOSIÇÃO DE CONCRETO PERMEÁVEL COM AGREGADOS ORIUNDOS DE FRESADOS ASFÁLTICOS. In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO E INOVAÇÃO, 5., 2015, Campinas. **Anais [...]**. Campinas: Puc Campinas, 2015. p. 10-20.

SANKET, S.; SARITA S.; TARANJEET K. **Mechanical Properties of Pervious Concrete,** International Conference on Advances in Civil Engineering 2012, ACEE, India

SILVA, A. A. P. *et al.* Propriedades mecânicas e permeabilidade de concretos permeáveis com aditivo superplastificante. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos,** 2020, v. 15, n. 2, p. 110-117, dez. 2020. Disponível em: <http://www2.ufcg.edu.br/revista-remap/index.php/REMAP/article/download/767/517>. Acesso em: 11 maio 2021.

SILVA, M. B. **Materiais de Construção.** São Paulo. 2ª Ed. Rev. PINI, 1991

SWART, J. H., (1997), **Experience with Porous Asphalt in the Netherlands, in Congresso Europeo de Mezclas Drenantes,** Madri, pp. 1019-1035.

TARTUCE, R. GIOVANETTI, E. Princípios Básicos sobre Concreto de Cimento Portland. São Paulo. Pini/IBRACON, 1990

TARTUCE, R. GIOVANETTI, E. **Princípios Básicos sobre Concreto de Cimento Portland.** São Paulo. Pini/IBRACON, 1990

TENNIS, P.D.; LEMING, M.L.; AKERS, D.J. **Pervious Concrete Pavements,** EB302, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, 2004. 36p.,

TERZAGUI, K.; PECK, R. B. (1967). Soil mechanics in engineering practice. 2. Ed. New York, John Willey & Sons.

TETRACON (Goiânia). **SAIBA MAIS SOBRE COMO SURTIU O CONCRETO PERMEÁVEL (E SUAS PRINCIPAIS VANTAGENS PARA A HUMANIDADE): conheça a história do concreto permeável no mundo. CONHEÇA A**

**HISTÓRIA DO CONCRETO PERMEÁVEL NO MUNDO.** 2015. Disponível em: <https://tetraconind.com.br/blog/saiba-mais-sobre-como-surgiu-o-concreto-permeavel-e-suas-principais-vantagens-para-a-humanidade/>. Acesso em: 23 set. 2020.

THE CONSTRUCTOR. **Why do we test concrete compressive strength after 28 days?** Disponível em: <https://theconstructor.org/concrete/why-we-test-concrete-strength-after-28-days/6060/>. Acesso em: 08 maio 2021.

TUCCI, C. 2007. **Inundações urbanas.** Porto Alegre: ABRH/RHAMA.

TUCCI, C.E.M. **Água no meio urbano.** In: REBOUÇAS, A.C. (org.). **Águas doces no Brasil.** 3ª Edição. São Paulo: Escrituras, 2006.

TUCCI, C.E.M. Coeficiente de Escoamento e Vazão Máxima de Bacias Urbanas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.5, n.1, p.61-68, 2000. Disponível em: [www.semrah.se.gov.br/modules/wfdownloads/visit.php?cid=1&lid](http://www.semrah.se.gov.br/modules/wfdownloads/visit.php?cid=1&lid). Acesso em: 8 out. 2020.

TUCCI, C.E.M. **Gestão das Inundações Urbanas.** Porto Alegre: ABRH/RHAMA. 2007. 393p.

TUTTI, C.E.M. **Águas urbanas. Estudos avançados**, v.22, n.63, p.67-112, 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ea/v22n63/v22n63a07.pdf>. Acesso em: 8 out. 2020.

URBONAS, B.; STAHRÉ, P., 1993. **Stormwater Best Management Practices and Detention.** Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey. 450p.

YANG Z., MA W., SHEN W., ZHOU M., **The Aggregate Gradation for the Porous Concrete Pervious Road Base Material.** Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed., 2008

YANG, J., JIANG, G., **Experimental study on properties of pervious concrete pavement materials**, Cement and Concrete Research, Elsevier, vol.33, P. 381-386, 2003.

YANG, J.; JIANG, G. Experimental study on properties of pervious concrete pavement materials. Cement and Concrete Research, v.33, 2003, p.381-386