

Mylena Barroso Pereira

PLACAS DE CONCRETO PERMEÁVEL COM AGREGADOS DA REGIÃO DE
PALMAS-TO

Palmas –TO

2020

Mylena Barroso Pereira

PLACAS DE CONCRETO PERMEÁVEL COM AGREGADOS DA REGIÃO DE
PALMAS-TO

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Dr. Fábio Henrique de Melo Ribeiro

Palmas – TO

2020

Mylena Barroso Pereira

PLACAS DE CONCRETO PERMEÁVEL COM AGREGADOS DA REGIÃO DE
PALMAS-TO

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Dr Fábio Henrique de Melo Ribeiro.

Aprovado em: 17/06/2020

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Fábio Henrique de Melo Ribeiro.

Orientador

Centro Universitario Luterano de Palmas - CEULP

Prof. M.e Fernando Moreno Suarte Junior

Centro Universitario Luterano de Palmas - CEULP

Prof. M.e Denis Cardoso Parente.

Centro Universitario Luterano de Palmas - CEULP

Palmas – TO

2020

AGRADECIMENTOS

À Deus por minha saúde, força e perseverança de superar todos os obstáculos.

Agradeço a minha mãe Wilma Barroso de Sousa por me apoiar em minhas decisões e me possibilitar realizar essa conquista, mesmo com todas as dificuldades que surgiram no decorrer da graduação, se mantive firme e hoje estou aqui, graças a ela.

Agradeço a meu namorado Murillo Henrique que é uma das pessoas mais especiais que eu tenho e sempre esteve ao meu lado me apoiando.

Agradeço aos meus amigos Larissa Aires, Mateus Lacerda, que em momentos me ajudaram e apoiaram na execução desta pesquisa.

Agradeço ao meu orientador Fábio Henrique Ribeiro e meu padrasto José Carlos Lemes Leal, que através dos seus conhecimentos, incentivos disponibilizados e do direcionamento, tornaram capaz a realização dessa pesquisa.

RESUMO

PEREIRA, M. B. P. **Placas de concreto permeável com agregados da região de Palmas-TO.** 75f. 2020. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Civil). Centro Universitário Luterano de Palmas. Com o aumento da ocorrência das enchentes e inundações nas áreas urbanas, a adoção de pavimentos permeáveis tem se tornado cada vez mais vantajosa. O concreto permeável é um material de grande porosidade que tem altos valores de permeabilidade, apresentando ao mesmo tempo capacidades de suporte no revestimento de pavimento. A presente pesquisa tem por objetivo a disseminação de técnicas de concepção e construção de concreto permeável. Assim, com a escassez de pesquisas em âmbito nacional, se fez necessário aprofundar melhor os conceitos envolvidos sobre o assunto. Com isso, iniciou-se a busca por um traço de concreto permeável que atendesse aos requisitos mínimos dispostos na NBR 16416 – Pavimentos Permeáveis de Concreto – Requisitos e Procedimentos. Dessa forma, realizaram-se ensaios laboratoriais com a utilização de três traços, sendo um concreto convencional e os dois concretos permeável para verificar as seguintes características: resistência à compressão axial, resistência à tração na flexão, índice de vazios e permeabilidade. Para a realização dos ensaios foram moldados e compactados utilizando mesa vibratória, um total de 20 corpos de prova cilíndricos de 10 cm x 20 cm e 12 placas de concreto de 10 cm x 10 cm x 40 cm. Os resultados obtidos tiveram grande variação entre os traços estudados. Os ensaios de permeabilidade foram feitos nos corpos de prova de tamanho 10 cm x 20 cm, cortados exatamente ao meio. O melhor resultado caracterizado pelos ensaios mecânicos foi o traço do concreto permeável com adição de 5% de areia, que também apresentou resultado satisfatório no ensaio de permeabilidade. Chegou-se, então, à conclusão que o mesmo pode ser usado para o tráfego leve veículos e pedestres, desde que seja respeitado todos os processos necessários. O material estudado apresentou, valores de condutividade hidráulica na ordem de 0,01 cm/s, aproximadamente, caracterizando um material com boa drenabilidade. Com relação às características mecânicas, apresentou resistência à tração na flexão de aproximadamente 4,9 MPa e compressão axial na ordem de 30,5 MPa, se aproximando da metade dos valores normalmente observados em concretos convencionais de uso corrente na pavimentação. Por meio da realização das análises mecanicistas, foi possível avaliar que o material estudado apresenta resistência suficiente para ser utilizado como revestimento de pavimentos para áreas de veículos leves.

PALAVRA-CHAVE: Concreto permeável, permeabilidade, resistência.

ABSTRACT

PEREIRA, M. B. P. Permeable concrete slabs with aggregates from the Palmas-TO region. 75f. 2020. Course conclusion work (Civil Engineering). Lutheran University Center of Palmas.

With the increase in the occurrence of floods and floods in urban areas, the adoption of permeable pavements has become increasingly advantageous. Permeable concrete is a material of great porosity that has high permeability values, while presenting support capabilities in the floor covering. This research aims to disseminate permeable concrete design and construction techniques. Thus, with the scarcity of research at the national level, it became necessary to better understand the concepts involved on the subject. With that, the search for a permeable concrete trace that met the minimum requirements set forth in NBR 16416 - Permeable Concrete Pavements - Requirements and Procedures was initiated. Thus, laboratory tests were performed with the use of three strokes, one being conventional concrete and the other two permeable to verify the following characteristics: resistance to axial compression, resistance to traction in flexion, void index and permeability. To perform the tests, a total of 20 cylindrical specimens of 10 cm x 20 cm and 12 concrete plates of 10 cm x 10 cm x 40 cm were molded and compacted using a vibrating table. The results obtained varied widely between the studied traits. The permeability tests were performed on specimens of size 10 cm x 20 cm, cut exactly in half. The best result characterized by the mechanical tests was the permeable concrete line with the addition of 5% sand, which also presented a satisfactory result in the permeability test. It was concluded, then, that it can be used for light vehicles and pedestrian traffic, provided that all necessary processes are respected. The studied material presented, values of hydraulic conductivity in the order of approximately 0.01 cm / s, characterizing a material with good drainability. Regarding the mechanical characteristics, it presented tensile strength in flexion of approximately 4.9 MPa and axial compression in the order of 30.5 MPa, approaching half of the values normally observed in conventional concrete in current use in paving. By performing mechanistic analyzes, it was possible to assess that the material studied has sufficient strength to be used as a floor covering for light vehicle areas.

KEYWORDS: Permeable concrete, permeability, resistance

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACI	American Concrete Institute
CEULP	Centro Universitário Luterano de Palmas
CP	Cimento Portland
CRMCA	Colorado Ready Mixed Concrete
K	Coefficiente de permeabilidade
NBR	Norma Brasileira
NM	Normas Mercosul
NRMCA	National Ready Mix Concrete
TO	Tocantins
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
USA	Estados Unidos da América
PR1	Traço poroso 1
PR2	Traço poroso 5% de substituição 2
TSS	Tratamento superficial simples
CP's	Corpo de prova

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Placa de concreto drenante.....	11
Figura 2– Pavimento revestido com peças de concreto com juntas alargadas.....	12
Figura 3 – Exemplos de pavimentos com peças de concretos com área vazadas	14
Figura 4 – Estacionamento constituído com revestimento de peças com areas vazadas	14
Figura 5 – Revestimento de peças de concreto permeáveis	15
Figura 6 – Exemplo de pavimento constituído por piso em grade	16
Figura 7 – Execução do revestimento em grade.....	16
Figura 8 – Calçada composto por revestimento permeável de placas de concreto	17
Figura 9 – Modelo de pavimento poroso revestido com concreto permeável.....	18
Figura 10– Exemplo de curva granulométricas.....	23
Figura 11 - Gráfico de curva granulométricas.....	24
Figura 12 – Influencia da relação a/c, ar incorporado e consumo de cimento na resistencia do concreto	27
Figura 13 – Exemplo de sistema de pavimento permeavel com infiltração total.....	28
Figura 14 – Exemplo de sistema de pavimento permeavel com infiltração parcial	28
Figura 15 – Exemplo de sistema de pavimento permeavel sem infiltração	29
Figura 16 Determinação da massa unitaria do agregado graúdo.....	34
Figura 17 – Determinação da massa específica do agregado miúdo.....	35
Figura 18 – Determinação da granulometria do agregado miúdo	35
Figura 19 - Determinação do material pulverulento.....	40

Figura 20 – Verificação tátil visual.....	40
Figura 21 - Moldagem de corpos de prova convencional	40
Figura 22 – Moldagem corpos de prova poroso	41
Figura 23 - Ensaio de teor de ar em no estado fluido	42
Figura 24 – Ensio de massa específica do concreto no estado fluido.....	42
Figura 25 – Slump traço convencional	43
Figura 26 - Slump traço poroso 1	43
Figura 27 – Slump traço poroso 2	43
Figura 28 – Ensaio de resistência a compressão	44
Figura 29 - Ruptura fora do terço médio	46
Figura 30 – Ensaio de determinação tração na flexão ruptura dentro do terço médio	47
Figura 31 – Modelo permeametro	49
Figura 32 – Ensaio de determinação do coeficiente de permeabilidade.....	50
Figura 33 – Capeamento do CP	56
Figura 34 – CP com ruptura cisalhada lateral	58
Figura 35 – Passo a passo para execução do pavimento de concreto permeavel	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparativo entre concreto convencional e poroso.....	09
Tabela 2 – Resistencia mecanica e espessura minima do revestimento permeavel	19
Tabela 3 – Vantagens e Desvantagens do concreto permeável.....	20
Tabela 4 – Principais compostos cimento portland.....	21
Tabela 5 – Propriedades de concreto permeaveis.....	27
Tabela 6 – Propriedades de concreto permeaveis.....	28
Tabela 7 – Quantidade de CP’s de cada dosagem.....	32
Tabela 8 – Composição dos traços	33
Tabela 9 – Composição utilizadas na mistura do concreto poroso 1.....	34
Tabela 10 – Composição utilizadas na mistura do concreto poroso 2.....	34
Tabela 11 – Composição utilizadas na mistura do concreto convencional	34
Tabela 12 – Ensaio de massa unitaria, massa especifica e pulverulento.....	47
Tabela 13– Análise da granulometria da brita 0.....	48
Tabela 14– Análise da granulometria da areia média.....	49
Tabela 15 – Resultados dos ensaios de massa especifica, teor de ar incorporado e slump do concreto no estado fluido.....	50
Tabela 16– Resistência dos ensaios a compressão axial	52
Tabela 17 – Resistencia dos ensaios a tração na flexão	54

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Curva granulometrica da brita 0.....	48
Gráfico 2 – Curva granulometrica da areia média.....	49
Gráfico 3 – Comparação da resistencia a compressão axial.....	52
Gráfico 4 - Resultado do ensaio a tração por flexão.....	54
Gráfico 5 – Resultado do ensaio coeficiente de permeabilidade.....	56

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	5
1.2 OBJETIVOS	6
1.2.1 OBJETIVO GERAL	6
1.2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO	6
1.3 JUSTIFICATIVA	7
2 REFERENCIAL TEÓRICO	8
2.1 CONCRETO PERMEÁVEL	8
2.1.1. DEFINIÇÃO E CONCEITO	8
2.1.2. TIPOS DE CONCRETO PERMEÁVEL	9
2.1.2.1 REVESTIMENTO DE PAVIMENTO INTERTRAVADO PERMEÁVEL.....	10
2.1.2.2 REVESTIMENTO DE PEÇAS DE CONCRETO COM JUNTAS ALARGADAS .	10
2.1.2.3 REVESTIMENTO DE PEÇAS DE CONCRETO COM JUNTAS ALARGADAS .	11
2.1.2.4 REVESTIMENTO DE PEÇAS DE CONCRETO	12
2.1.2.5 REVESTIMENTO DE CONCRETO EM GRADE OU VAZADO	13
2.1.2.6 REVESTIMENTO DE PLACAS DE CONCRETO PERMEÁVEL	15
2.1.2.7 REVESTIMENTO DE CONCRETO PERMEÁVEL.....	15
2.1.3 APLICAÇÃO CONCRETO PERMEÁVEL	16
2.1.4 VANTAGENS E DESVANTAGENS.....	17
2.2 MATERIAIS CONSTITUINTES.....	21
2.2.1 CIMENTO	21
2.2.2 AGREGADO GRAÚDO	22
2.2.3 ADITIVOS.....	24

2.3 PRINCIPAIS PROPRIEDADES	25
2.3.1 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DO CONCRETO	25
2.3.2. RESISTÊNCIA A TRAÇÃO NA FLEXÃO	26
2.3.3 POROSIDADE	26
2.4 PAVIMENTO PERMEAVEL	27
2.4.1 INFILTRAÇÃO TOTAL.....	28
2.4.2 INFILTRAÇÃO PARCIAL.....	28
2.4.3 SEM INFILTRAÇÃO	28
2.5 PROPRIEDADES DO CONCRETO PERMEAVEIS	28
3 METODOLOGIA.....	33
3.1 TIPO DE PESQUISA	33
3.2 ESCOLHAS DO MATERIAIS	33
3.2.1 AGREGADO GRAÚDO	33
3.2.2 AGREGADO MIÚDO.....	33
3.2.3 AGLOMERANTE	33
3.2.4 ADITIVO.....	34
3.2.5 ÁGUA.....	34
3.3 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	34
3.3.1 DETERMINAÇÃO DA MASSA UNITÁRIA.....	34
3.3.2 DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA	35
3.3.3 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA.....	35
3.3.4 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE MATERIAIS PULVERULENTOS	36
3.4 MÉTODO DE DOSAGEM EMPREGADO	36
3.4.1 MOLDAGEM DOS CP'S.....	39
3.5 ENSAIOS UTILIZADOS	41
3.5.1 ENSAIOS NO ESTADO FLUIDO	41
3.5.1.1 TEOR DE AR INCORPORADO E MASSA ESPECÍFICA.....	41
3.5.1.2 SLUMP	41
3.5.2 ENSAIOS NO ESTADO ENDURECIDO	44
3.5.2.1 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO AXIAL	41
3.5.2.2 RESISTÊNCIA A TRAÇÃO NA FLEXÃO	41
3.5.3 DETERMINAÇÃO COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE	48
3.5.3.1 ENSAIO DE PERMEABILIDADE EMPIRICO	43
3.5.3.2 PROCEDIMENTO	44

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	51
4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	51
4.1.1 MASSA UNITÁRIA, MASSA ESPECÍFICA E PULVERULENTO	51
4.1.2 ANÁLISE DO ENSAIO DE GRANULOMETRIA.....	51
4.2 ENSAIOS NO ESTADO FLUIDO DO CONCRETO	54
4.3 ENSAIOS NO ESTADO ENDURECIDO DO CONCRETO.....	55
4.3.1 ENSAIO DE COMPRESSÃO AXIAL	55
4.3.2 TIPO DE RUPTURA.....	58
4.3.3 ENSAIO DE RESISTÊNCIA A TRAÇÃO NA FLEXÃO	59
4.4 ENSAIO DE PERMEABILIDADE DO CONCRETO	61
5 CONCLUSÃO.....	63
6 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	64
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61
8 ANEXO	69

1 INTRODUÇÃO

O concreto permeável é um tipo especial de concreto que se caracteriza principalmente pela ausência de finos, e por produzir uma estrutura permeável e resistente, é recomendado para locais com tráfego de cargas moderadas, como estacionamentos e calçadas (MONTEIRO, 2010).

Devido à sua alta porosidade, a resistência desse concreto pode ser menor, quando comparada ao concreto convencional. Segundo a norma do American Concrete Institute (ACI 522R-10), as misturas de concreto permeável normalmente tendem a desenvolver resistências de compressão na escala de 3,5 MPa a 28 MPa.

Ou seja, apesar do elevado índice de vazios, o contato entre os agregados graúdos que compõem o esqueleto do concreto permeável garante uma resistência razoável. A pasta ou argamassa de cimento, usada em pequenas quantidades, garante que os agregados permaneçam unidos, evitando o desmoronamento e dificultando a perda de material por abrasão (LORENZI, 2015).

Segundo Lamb (2014) argumenta que, para reduzir os efeitos dos alagamentos são necessários sistemas de drenagem mais eficientes. No entanto, a aplicação de drenos que suportem maiores vazões necessita de obras mais complexas, normalmente acarretando custos muito altos, dificultando a execução. Em contrapartida, sugere a utilização do concreto poroso que possibilita a infiltração e escoamento natural da água nos solos.

Em 2015 surgiu uma norma que regulamenta as condições mínimas para projeto, especificando, executando e realizando manutenção de diversos tipos de pavimentos permeáveis de concreto a NBR 16416/2015 – Pavimentos permeáveis de concreto – Requisitos e Procedimentos, assim assegurando qualidade na utilização deste método no país. Ao se projetar um pavimento permeável devem-se considerar algumas variáveis, como o local de execução da obra, tipo de uso, quais os materiais serão empregados e quais suas características e quais as solicitações mecânicas e hidráulicas que o pavimento deve atender.

Com isso, a presente pesquisa visa à disseminação da técnica de composição de um concreto permeável que atinja os parâmetros mínimos determinados em norma. o desenvolvimento buscou a dosagem de um concreto poroso que possa aplicar este tipo em pavimentos como blocos de concreto intertravados ou placas, de vias de tráfego leves e de pedestres utilizando agregados que foram encontrados na região de Palmas-TO no ano de 2020.

Com isso ser possível ter um concreto drenante de fácil fabricação, tendo grandes benefícios em relação ao convencional.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é caracterizar e comparar o traço de concreto permeável e convencional para atender as exigências mínimas determinadas, conforme a NBR 16416/2015, interferências em geral, resistência mecânica mínima, coeficiente de permeabilidade.

1.2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Realizar o estudo de dosagem de placas de concreto permeável com finalidade estrutural de tráfego de veículos leves e pedestres, com fck de 20 Mpa, com os materiais da região de Palmas-TO.
- Analisar a influência dos materiais no estado plástico: trabalhabilidade e ar incorporado.
- Comparar o comportamento mecânico do concreto permeável com concreto convencional: resistência a compressão, resistência tração na flexão do concreto permeavel.
- Determinar o coeficiente de permeabilidade ótimo paras as misturas do concreto poroso.

1.3 JUSTIFICATIVA

Diferente dos outros concretos, a qualidade do concreto drenante é definida pela sua porosidade, pela taxa de infiltração de água e seu peso, não sendo a resistência fator de grande importância. A alta porosidade é garantida pela utilização de agregado com a mesma granulometria, proporcionando volume de vazios, normalmente situado entre 15% e 30% do volume total. A quantidade de cada material é variável de acordo com a resistência pretendida e com a finalidade de utilização (BOTTEON,2017).

Neste contexto, o concreto permeável é uma tecnologia que possibilita o equilíbrio entre desenvolvimento e sustentabilidade, além de ser uma solução para um dos grandes problemas da urbanização: a impermeabilização do solo. A construção civil é reconhecida como uma das mais importantes atividades para o desenvolvimento econômico e social de uma cidade. Em contrapartida é um dos segmentos das indústrias que causa maior impacto no meio ambiente.

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

Quando utilizados em áreas externas, os pavimentos permeáveis permitem a infiltração da água da chuva pelas várias camadas, podendo ser reutilizada ou liberada mais lentamente no sistema de drenagem (BEECHAM,2010)

Reconhecido pelo Leadership in Energy and Environmental Development (LEED), o sistema apresenta vantagens a possibilidade de utilização em áreas já urbanizadas, com redução de gastos com drenagem urbana; a possibilidade de reaproveitamento de material em casos de remoção e manutenções; durabilidade, requerendo menos reparos que os asfalto comum; a possibilidade de uso de matéria prima local como agregados e outro componentes; o reduzido desperdício de material na obra uma vez que ele pode ser produzido no local e de acordo com a necessidade de projeto.

Este estudo tem por justificativa auxiliar as tomadas de decisões no setor de pavimentação, por meio de métodos que melhor evidenciem o estudo de propriedades no concretodrenante, em conformidade com NBR 16416:2015.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CONCRETO PERMEÁVEL

2.1.1. DEFINIÇÃO E CONCEITO

O concreto permeável também nomeado concreto drenante é um tipo de concreto com elevado índice de vazios interligados, sendo uma mistura de aglomerante, agregado graúdo e água preparada com pouco ou nenhum agregado miúdo, o que deixa a passagem de grande volume de água (BOTTEON, 2017).

Quantidades controladas do fator água/cimento acabam em espesso revestimento em torno das partículas agregadas criando-se vazios interligados que conferem permeabilidade. O volume de vazios restringe a resistência em ligação ao concreto comum. Para se conseguir maiores resistências é possível adicionar agregado miúdo que reduz o volume de vazios e proporciona menor porosidade ao concreto. (BOTTEON, 2017).

De acordo com Mazzonetto (2011) a resistência é inversamente proporcional à permeabilidade. A alta porosidade do concreto diminui a sua resistência, dessa forma, há limitações no uso do concreto permeável, sendo este apropriado para locais onde a resistência é menos relevante. É indispensável grande controle sobre a quantidade de argamassa na mistura para que os vazios do concreto permaneçam interconectados autorizando a passagem da água. A limitação do agregado miúdo no traço do concreto gera poros interconectados que possibilitam a infiltração de água em sua estrutura (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

As principais diferenças entre o concreto convencional e o concreto poroso estão descritas na tabela 1. O concreto convencional possui alta resistência e é feito para ser estanque, já o concreto poroso é feito para permitir a passagem de água e por isso apresenta resistência moderada.

Tabela 1 – Comparativo entre concreto convencional e poroso

TIPO	Res. Compressão (MPa)	Areia	Brita	Aditivos
CONVENCIONAL	20 a 60 MPa	De 30 a 50 % do agregado total	Bem graduado, grãos arredondados	Opcional
POROSO	3 a 30 MPa	Pouco ou nenhum	Graduação Aberta, grãos angulosos (Brita '0' e pedriscos)	Redutor de água, retardador de pega e incorporador de ar

Fonte: Monteiro (2010)

2.1.2 TIPOS DE CONCRETO PERMEÁVEL

A ABNT NBR 16416/2015, define como revestimento permeável a camada que obtém diretamente a ação de rolamento e carga de veículos, dos pedestres ou cargas estáticas, além de satisfazer aos critérios do coeficiente de permeabilidade (parâmetro que corresponde a velocidade com que uma determinada quantidade de água percola um elemento ou estrutura permeável).

Segundo Marchioni e Silva (2018), o revestimento permeável facilita a passagem da água, garantindo que toda água superficial seja infiltrada em um determinado tempo relacionado com a chuva local, impedindo o escoamento superficial ou formação de poças. Existem vários tipos de revestimentos que podem ser usados nos pavimentos.

Os mais utilizados são: revestimento de pavimento intertravado permeável, revestimento de peças de concreto com juntas alargadas, revestimento de peças de concreto com áreas vazadas, revestimento de peças de concreto, revestimento de concreto em grade ou vazado, placas de concreto permeável, concreto permeável.

Castro (2011), destaca que a profundidade do lençol freático, a geotecnia do solo, são

condições primárias a serem observadas para escolha do tipo de revestimento a ser instalado na localidade desejada.

Os pavimentos permeáveis também são conhecidos como estruturas reservatório. Raimbault et al. (2002) afirmam que essa denominação refere-se às funções realizadas pela matriz porosa de que são constituídos:

- Função mecânica, associado ao termo estrutura, que permite suportar os carregamentos impostos pelo tráfego de veículos;

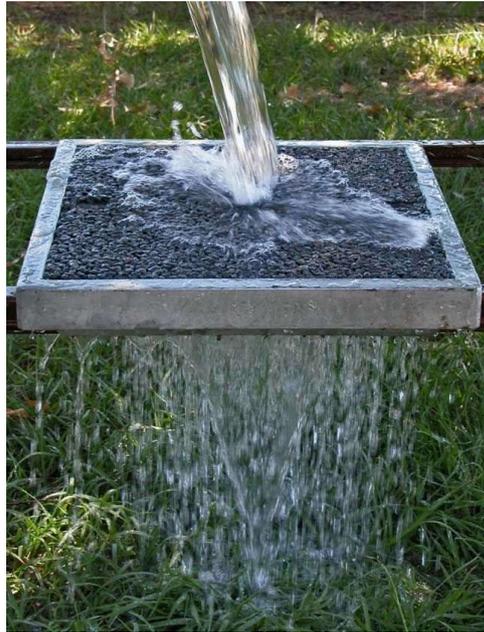
- Função hidráulica (associada ao termo reservatório) que assegura, pela porosidade dos materiais, reter temporariamente as águas, seguido pela drenagem, e, se possível, por infiltração no solo de subleito. Segundo Azzout et al. (1994), o funcionamento hidráulico dos pavimentos permeáveis baseia-se em:

- Entrada imediata da água da chuva no corpo do pavimento. Essa entrada pode ser feita de forma distribuída (no caso de revestimento poroso, que permitem a penetração da água) ou localizada mente (através de drenos laterais ou bocas de lobo);

- Estocagem temporária da água no interior do pavimento, nos vazios da camada do reservatório;

- Evacuação lenta da água, que é feita por infiltração no solo, pela liberação lenta para a rede de drenagem, ou uma combinação das duas formas.

Figura 1 : Placa de Concreto Drenante



Fonte: pinterest.com/pin/545639311103042142/

2.1.2.1 REVESTIMENTO DE PAVIMENTO INTERTRAVADO PERMEÁVEL

O revestimento intertravado tem na sua composição peças de concreto resistentes a todos tipos de movimentos, sejam de rotação, verticais ou horizontais. As peças são sobrepostas em uma camada de assentamento e dão ao ambiente onde são aplicados, embelezamento e atratividade, por serem produzidos em formatos e cores diversas. Um cuidado muito importante após o assentamento das peças, é não pisar. (SILVA, 2016).

Segundo Virgiliis (2009), acrescenta também que, quando assentados, os blocos devem permanecer entre bordas rígidas, no intuito de dificultar que se movimentam lateralmente. Por isso, são limitados nas suas extremidades, geralmente com sarjeta ou vigotas de concreto.

Em conformidade com a ABNT NBR 16416/2015 e NBR 9781/2013, os pavimentos intertravados permeáveis podem ser divididos em:

2.1.2.2 REVESTIMENTO DE PEÇAS DE CONCRETO COM JUNTAS ALARGADA

Ainda segundo a NBR 16416 (2015, p. 6), o revestimento com juntas alargadas é determinado como “revestimento permeável cuja percolação de água ocorre por juntas entre as

peças de concreto.” Como destaca Sales (2008), são empregados os mesmos blocos comuns, com exceção de que são utilizados afastadores mais largos no momento da execução, ocasionando em uma junta mais espessa e conseqüentemente em um elevado índice de permeabilidade.

Nesse modelo de revestimento, Marchioni (2018) alega que a velocidade de infiltração da água depende dos materiais usados na camada de assentamento da sub-base, da base do próprio subleito, do material do rejunte e da área total das aberturas. A figura 2 mostra um tipo de revestimento intertravado, de peças de concreto com juntas alargadas.

Figura 2 – Pavimento revestido com peças de concreto com juntas alargadas.



Fonte: ABNT (2015).

Nesta imagem, é possível visualizar o afastamento entre os blocos de concreto preenchidos com material de rejunte, por onde a água é drenada. Curvo (2017), conclui que, esses blocos com juntas dilatadas são os mais utilizados.

Conforme Marchioni (2018), os espaçadores utilizados entre as peças devem conter espessura entre 6 e 10 milímetros, na finalidade de garantir aberturas entre 5% e 15% da superfície, considerando assim, como pavimento permeável.

2.1.2.3 REVESTIMENTO DE PEÇAS DE CONCRETO COM AREAS VAZADAS

Segundo a ABNT (2015, p. 6), é um “revestimento permeável cuja percolação de água ocorre por áreas abertas das peças de concreto.” A principal característica desse revestimento como apresentado na norma é a capacidade da passagem da água pelas áreas vazadas.

Marchioni (2011) evidencia que a capacidade de infiltração é determinada pelo tipo de material empregado no rejunte. Depende diretamente da porcentagem de juntas do pavimento e do índice de permeabilidade do agregado.

No decorrer da sua vida útil, o acúmulo de impurezas nos rejuntas dificulta a infiltração, a referência recomenda usar um coeficiente de segurança de 80%, e evitar a aplicação de areia, ou pó de pedra tanto na camada de assentamento quanto no material de rejunte, já que apresentam um baixo coeficiente de permeabilidade.

A figura 3 ilustra alguns formatos de peças com áreas vazadas, vale advertir os rejuntas utilizados nos vazios entre as peças com finalidade de possibilitar a passagem da água. A figura 4 apresenta a aplicação desse revestimento em um estacionamento.

Figura 3 – Exemplos de pavimento com peças de concreto com áreas vazadas.



Fonte: Marchione e silva (2018).

Figura 4 – Estacionamento constituído com revestimento de peças com áreas vazadas.



Fonte: Marchione e silva (2011).

Marchioni(2018) reitera que, da mesma forma que no revestimento com juntas alargadas, no revestimento com áreas vazadas, as peças devem ser arranjadas de tal maneira que atendem a condição de área permeável, ou seja de 5% a 15% das áreas abertas.

2.1.2.4 REVESTIMENTO DE PEÇAS DE CONCRETO

A ABNT NBR 16416/2015, apresenta as peças de concreto permeável como revestimento permeável cuja passagem de água ocorre pelas próprias peças de concreto permeável. É um tipo de revestimento visivelmente parecido com os blocos intertravados convencionais, são peças pré-moldadas permeáveis, capazes de suportar a movimentação lateral e o deslocamento individual, devido a sua característica de travamento.

É indicado para uso em calçadas, áreas de estacionamento e tráfego de veículos leves (SILVA, 2016). De acordo com Virgiliis (2009) uma economia no aspecto custo benefício, já que muitos blocos possuem uma boa durabilidade e resistência, resultando em uma vida útil melhor. Alguns blocos conseguem ainda suportar um tráfego elevado, entretanto, é necessário um custo maior comparado a outros pavimento.

Figura 5 – Revestimento de peças de concreto permeáveis.



a) Bloco de concreto.

b) Amostra de estacionamento e passeio.

Fonte: Rhino (2018).

Na figura 5 (a), pode observar a aparência de um bloco de concreto poroso, onde é visível, os poros por onde a água são drenada para o subleito, e ainda, sua utilização em áreas de estacionamentos e passeios, figura 5 (b).

Vale advertir que nesse caso não é necessário o uso de juntas alargadas, já que toda estrutura é porosa, permitindo a passagem da água. “A velocidade de infiltração de água depende da porosidade do concreto utilizado na peça.

e, as características da camada de assentamento, da sub-base, da base e do próprio subleito ou do sistema de drenagem” (MARCHIONI, 2018, p. 3).

2.1.2.5 REVESTIMENTO DE CONCRETO EM GRADE OU VAZADO

É um tipo de bloco de concreto com maior percentual de áreas vazadas, desenhados designadamente no intuito de preenchê-las com agregados ou um certo tipo de gramináceo. Na maioria das vezes possui desenhos simétricos aparentando a superfície de uma grelha, muitos tipos são capazes de suportar bem a carregamentos pesados, além de possuir uma boa vida útil (VIRGILIIS, 2009).

Como destaca Silva (2016) esse tipo de revestimento é muito utilizado em estacionamentos, mas também podem ser utilizados em calçadas, áreas residenciais, e áreas destinadas a tráfego de veículos.

Virgiliis (2009), ressalta que as peças devem ser executadas em concreto de no mínimo 25 MPa para adquirir boa resistência à compressão. Como no concreto intertravado, também necessitam trabalhar unidas e restringidas à bordas de concreto, vale salientar também, sua excelência em porosidade e condutividade hidráulica. Araújo, Tucci e Goldenfum (2000) recomenda a utilização de filtros geotêxteis acima da camada de areia fina, no intuito de prevenir a movimentação da mesma para a camada de base granular. Este tipo de revestimento é utilizado também em estacionamentos, como mostra a figura 6. Já a figura 7 aborda a execução deste tipo de revestimento.

Figura 6 – Exemplo de pavimento constituído por piso em grade.



a) Preenchido com brita



b) Preenchido com grama

Fonte: Rhino (2018).

Figura 7 – Execução do revestimento em grade.



Fonte: Rhino (2018).

2.1.2.6 REVESTIMENTO DE PLACAS DE CONCRETO PERMEAVEAL

Segundo a ABNT NBR 16416/2015, concreto permeável tem como definição concreto com vazios interligados que permitem a percolação da água por ação da gravidade. Ainda segundo a norma, a percolação da água se dá pelas próprias placas de concreto permeável. Ressalta ainda que, diferentemente dos blocos de concreto, esse revestimento não é intertravado. A figura 8 demonstra um dos tipos de aplicação desse revestimento, além de calçadas, também pode ser aplicado em estacionamentos, pátios, e em áreas de tráfego de veículos.

Figura 8– Calçada composta por revestimento permeável de placas de concreto.



Fonte: Rhino (2018).

Esse revestimento difere do revestimento de peças de concreto permeável, pelo seu número de fôrma (relação entre seu comprimento e espessura da peça ou da placa). As peças de concreto possuem um índice de fôrma igual ou inferior a 4, enquanto as placas de concreto este índice é superior a 4 (ABNT NBR 16416/2015).

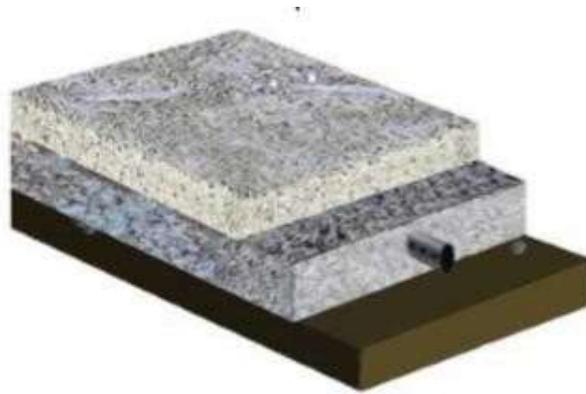
2.1.2.7 REVESTIMENTO DE CONCRETO PERMEAVEAL

A ABNT NBR 16416 (2015, p. 7) resume como “pavimento revestido com concreto permeável moldado em local em que a percolação de água ocorre pelo concreto”. Segundo Silva (2016), o pavimento de concreto permeável é assentado sobre uma camada permeável que permite o escoamento das águas pluviais. Botteon (2017), ainda ressalta que a quantidade de cada material depende da resistência desejada e do ambiente a ser implantado. Já a qualidade do concreto poroso, ao contrário dos outros concretos é definida pela taxa de infiltração da água, pela sua porosidade e seu peso, sendo menos importante a resistência.

O concreto poroso ou permeável, chamado também de concreto drenante é um tipo de concreto com uma elevada taxa de vazios. Constitui em uma mistura de aglomerante, agregado graúdo, e uma pequena ou nenhuma porcentagem de agregado miúdo, e água. Quanto mais utilizar um agregado com a mesma granulometria, maior será a permeabilidade do concreto (BOTTEON, 2017).

Na figura 9 pode observar um dos tipos de estrutura de pavimento permeável usando na camada superior o concreto também permeável, logo abaixo, se encontra a base, camada composta por agregados graúdos, que acolhe a água da chuva como um reservatório.

Figura 9 – Modelo de Pavimento poroso revestido com concreto permeável.



Fonte: Marchioni e Silva (2011).

Vale lembrar dos tipos de infiltração, nesse caso o parcial determinado pela falta de camada impermeável entre o subsolo e a base, além da presença do tubo drenante que encaminha essa água para outros locais.

2.1.3 APLICAÇÃO CONCRETO PERMEAVEL

Atualmente as aplicações do concreto poroso, permeável ou drenante não estão mais relacionadas à estruturas. Pode ser utilizado como alternativa aos sistemas de drenagem complexos e áreas de retenção de água, sendo uma alternativa econômica, viável e ecologicamente correta para áreas urbanas. A pavimentação permeável pode ser usada como alternativa às superfícies duras impermeáveis convencionais, tais como estradas, parques de estacionamento e ciclovias. Entre outras aplicações, podem-se citar pisos para entornos de piscinas, áreas infantis e quadras poliesportivas, Condomínios. Cada vez mais o concreto poroso vem sendo utilizado nos revestimentos asfálticos com a finalidade de aumentar

a segurança em rodovias e aeroportos, sendo o uso nas rodovias atualmente sua principal aplicação e o foco principal de estudos e pesquisas (BOTTEON, 2017).

De acordo com a Norma Brasileira (ABNT NBR 16416:2015), as peças de concreto permeável para pavimentação necessitam oferecer resistência à compressão igual, ou maior a 20 Mpa e espessura mínima de 8 cm para o tráfego leve, de acordo com a tabela 2:

Tabela 2 -Resistência mecânica e espessura mínima do revestimento permeável

Tipo de revestimento	Tipo de solicitação	Espessura mínima (mm)	Resistência mecânica característica (MPa)	Método de ensaio
Peça de concreto (juntas alargadas ou áreas vazadas)	Tráfego de pedestres	60,0	$\geq 35,0^a$	ABNT NBR 9781
	Tráfego leve	80,0		
Peça de concreto permeável	Tráfego de pedestres	60,0	$\geq 20,0^a$	
	Tráfego leve	80,0		
Placa de concreto permeável	Tráfego de pedestres	60,0	$\geq 2,0^b$	ABNT NBR 15805
	Tráfego leve	80,0		
Concreto permeável moldado no local	Tráfego de pedestres	60,0	$\geq 1,0^c$	ABNT NBR 12142
	Tráfego leve	100,0	$\geq 2,0^c$	
^a determinação da resistência à compressão, conforme na ABNT NBR 9781. ^b determinação da resistência à flexão, conforme na ABNT NBR 15805. ^c determinação da resistência à tração na flexão, conforme na ABNT NBR 12142.				

Fonte: Associação Brasileira de Norma Técnicas, (ABNT NBR 16416:2015,P.15)

2.1.4 VANTAGENS E DESVANTAGENS

Existem divergências em relação ao uso do concreto permeável, devido ainda ser uma alternativa recente, na tabela são exemplificados vantagens e desvantagens do método. A maior desvantagem discutida do pavimento permeável é o fato de infiltrar poluentes nos lençóis freáticos, porém de acordo com medições de (KWIATKOWSKI et al, 2007 apud HÖLTZ, 2011) foi observado que os poluentes que são carregados pela água pluvial não contaminam os lençóis freáticos.

Sua utilização acaba contribuindo para a manutenção dos aquíferos subterrâneo e diminuição da velocidade e do volume de escoamento superficial das águas. Como o concreto permeável permite a percolação das águas pluviais na sua estrutura, mais eficiente do solo, porque não é mais necessário as obras de drenagem, com pontos de retenção, tubulação, valas

e outros mais (POLASTRE; SANTOS, 2006).

Porém como desvantagem, há sempre a possibilidade de colmatção e constantes gastos com a manutenção e limpeza do concreto. Nas considerações de Baptista e Nascimento (2011), a colmatção de uma estrutura de infiltração tem como causa básica a deposição de materiais finos no interior da estrutura que acaba preenchendo os vazios do meio porosos. Assim as partículas maiores acabam ficando nas camadas superiores e ao decorrer as menores vão sendo levadas para a parte mais profundas. Esse é o fenômeno que faz com que o meio poroso acabe perdendo a sua capacidade de condutividade hidráulica de maneira lenta e progressiva ao decorrer do tempo.

A longo prazo, a infiltração das águas pluviais na estrutura pode acabar se tornando nula, visto que o sistema perde a função drenante e começa a se comportar como uma estrutura impermeável ou de retenção sem exutório. Desse jeito, a colmatção está diretamente vinculada com à vida útil do pavimento ou do meio poroso (VIRGILIS, 2009).

Apesar da utilização do concreto permeável há algumas décadas na Europa e Estados Unidos, no Brasil obtém poucas citações do uso deste material, apenas na drenagem urbana. A maior atenção tem dado a o bloco de concreto intertravado e bloco de concreto vazado (POLASTRE; SANTOS, 2006).

O aumento das pesquisas e utilização do concreto permeável está em estágio inicial no Brasil, além do mais, o número de publicações e metodologias para a utilização desse material é escasso, dificultando assim a sua execução e aplicação (BETEZINI, 2013). Tendo também outro problema, que é a falta de métodos específicos de dosagem e moldagem do material, assim, dificultando a sua análise de resultados e sua execução.

A característica mais importante do concreto permeável é o coeficiente de permeabilidade (ou condutividade hidráulica) que pode ser definido pela velocidade que a água leva para atravessar um determinado material (BATEZINI, 2013). Conforme Tennis et al. (2004) os valores que normalmente se encontram no concreto permeável e entre 0,21 cm/s e 0,54 cm/s.

Um dos pontos negativos do concreto permeável está em não suportar o tráfego pesado. A invenção é uma mistura de cimento, água e outros materiais, mas possui pouca areia, comparado ao convencional.

Esses materiais influenciam na resistência do pavimento. Mas há uma relação inversa com a permeabilidade. Em outras palavras: quanto maior a resistência do produto, menor será sua permeabilidade. Logo, não pode ser aplicado em locais onde trafegam veículos pesados, como ônibus e caminhões. A solução é aplicar o produto em ciclovias, calçadas para pedestres, quadras poliesportivas e estacionamentos para veículos leves.

Outro ponto negativo é o custo de se fazer o calçamento. De acordo com os desenvolvedores do projeto, implementar a solução torna-se de 20 a 25% mais cara que o pavimento tradicional. Somente consegue-se igualar o orçamento quando comprado em larga escala.

Tabela 3 – Vantagens e desvantagens do concreto permeável

Desvantagens	Vantagens
O fato de haver um elevado índice de vazios, sua resistência é inversamente proporcional, assim sendo indicado para áreas de tráfego leve. (HÖLTZ, 2011)	Provoca um ganho econômico e ambiental, devido a redução de grandes obras de drenagem (HÖLTZ, 2011)
Vida útil reduzida para cerca de 15 anos, inferior aos pavimentos. (HÖLTZ, 2011)	Evita problemas gerados pelas precipitações, como alagamentos e enxurradas. (HÖLTZ, 2011)
Requer manutenção periódica. (PINTO, 2011)	Matem o ciclo natural da água, reabastecendo os recursos hídricos. (HÖLTZ, 2011)
Manutenção para evitar colmatagem. (PAIVA COUTINHO, 2011)	Facilidade de execução in loco, não necessitando de mão de obra especializada. (HÖLTZ, 2011)
Risco de contaminação de aquíferos. (PAIVA COUTINHO, 2011)	Início da pega do cimento reduzido, assim não precisando longo tempo para sua cura. (HÖLTZ, 2011)
Pouco conhecimento sobre a tecnologia. (ACIOLI, 2005)	Manutenção barata. (HÖLTZ, 2011)
Elevado risco de problemas de execução do pavimento e de colmatagem. (ACIOLI, 2005)	Reduz as zonas de calor geradas pela impermeabilização do solo. (HÖLTZ, 2011)

Fonte: (MULLER,2017)

2.2 MATERIAIS CONSTITUINTES

2.2.1 CIMENTO

Aglomerante hidráulico, o cimento é obtido através da moagem de clínquer, que compreende principalmente em silicatos de cálcio hidratados, comumente com adições de uma ou mais formas de sulfato de cálcio (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

O cimento Portland dispõe de quatro compostos que possuem diferentes reações no seu processo de hidratação: o C3S compete ao Silicato tricálcico; o C2S ao Silicato dicálcico; o C3A ao Aluminato dicálcico e o C4AF ao Ferro Aluminato tetracálcico.

Tabela 4 – Principais compostos cimento portland

NOME DO COMPOSTO	COMPOSIÇÃO EM ÓXIDOS	ABREV
Silicato tricálcico (Alita)	3CaO. SiO ₂	C ₃ S
Silicato dicálcico (Belita)	2CaO. SiO ₂	C ₂ S
Aluminato tricálcico (Fasel)	3CaO. Al ₂ O ₃	C ₃ SA
Ferro aluminato tetracálcico	4CaO. Al ₂ O ₃ . Fe ₂ O ₃	C ₄ AF

Fonte: (NEVILLE, 1998)

Quanto ao tipo de cimento para o concreto permeável, não existem impedimentos, teoricamente as mesmas variedades que são usadas na produção do concreto convencional podem ser usadas no poroso, todavia cimentos de maior finura são mais adequados para se obter um produto de resistência elevada (NBR 16697/18).

Para a escolha apropriada do tipo de cimento deve-se atender as exigências específicas de cada aplicação. Entretanto, o tipo de cimento a ser utilizado e a finura do mesmo influenciam na quantidade de aditivo e nas propriedades do concreto no estado fresco (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

O cimento comumente empregado para a produção de concreto permeável é (CP III 40 RS), Conforme Batezini (2013), o cimento utilizado é adequado para a fabricação do concreto permeável, onde tal aglomerante aponta altos índices de resistência a sulfatos, que se destaca como um aspecto essencial para o tipo de concreto trabalhado, pois apresentam uma quantidade maior de vazios. Outro tipo de cimento que tem características familiares é (CP II E 40) e facilmente encontrado na região de Palmas.

2.2.2 AGREGADOS

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. apud OLIVEIRA, 2003), granito britado (VANCURA et al., 2011), ou pedregulho (VIRGILIIS, 2009). O calcário calcítico foi utilizado por Botelho e Santos Filho (2002).

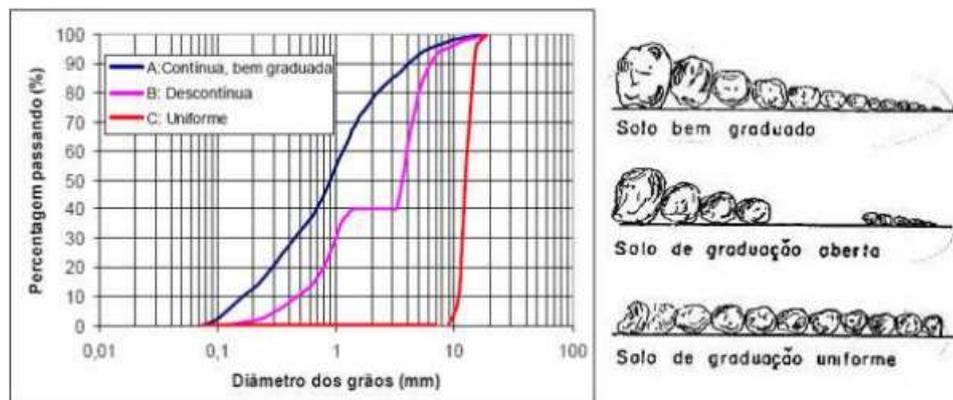
O ensaio de granulometria é representado graficamente pela curva granulométrica, onde é possível identificar os diferentes tipos de agregado, que pode ser contínuo, descontínuo ou uniforme (Figura 9). Normalmente a granulometria utilizada em concretos permeáveis é do tipo

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.

As características dos agregados são semelhantes às exigidas nas demais misturas asfálticas. Os agregados graúdos devem formar um esqueleto mineral resistente e estável para o qual se exigem resistência à desagregação, forma cúbica e uma alta percentagem de faces fraturadas. Também é necessária limpeza, boa adesividade e que não estejam em processo de alteração. Além dessas características, o agregado graúdo deverá apresentar alta resistência ao desgaste (DUMKE, 2005).

No caso do uso de agregados reciclados, que possuem uma porosidade mais elevada que os agregados de rochas, o concreto permeável pode adquirir uma porosidade ainda maior, e conseqüentemente uma menor resistência à compressão (PEREIRA et al., 2015).

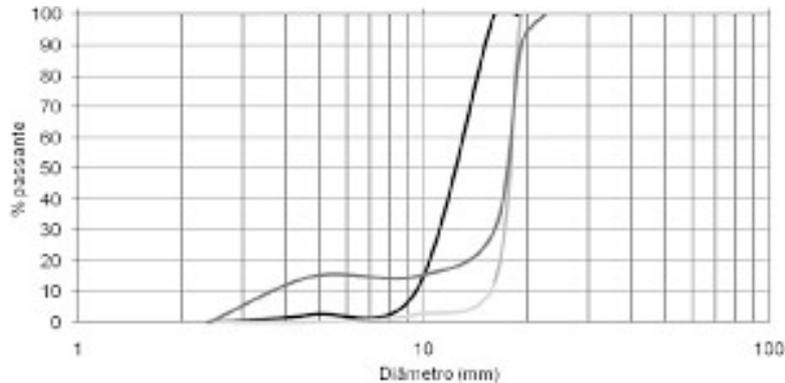
Figura 10: Exemplo de curva granulométrica



Fonte: adaptado de farias et al.(2010)

No Gráfico Li (2009) estão representadas três curvas granulométricas já empregadas na produção de concreto permeável com diâmetro máximo de 19,5 mm, sendo evidente o comportamento uniforme das mesmas.

Figura 11 – Gráfico de curvas granulométricas.



Fonte: LI (2009).

Estudos demonstraram que a substituição de 7% do peso de agregado graúdo por areia causa um aumento significativo na resistência e uma melhor resposta ao ciclo de gelo-degelo (TENNIS et al., 2004; HAGER, 2011; KEVERN, 2008).

Apesar de ser conhecido como concreto sem finos, a presença do agregado miúdo é importante porque aumenta a resistência na zona da interface entre o agregado graúdo e a pasta. Segundo Yang (2008) a zona de transição entre a pasta e o agregado é pequena e fraca. Com o aumento da quantidade de finos pode-se perceber um aumento na resistência a compressão, pois os finos preenchem os espaços entre o agregado graúdo e a pasta de cimento, melhorando a ligação entre os agregados aumentando a resistência do concreto poroso. Por outro lado, o uso de material fino diminui os vazios e bloqueiam a comunicação entre os poros diminuindo a permeabilidade que é a principal propriedade desse material.

2.2.3 ADITIVOS

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). 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. Aditivos redutores de água também são utilizados, dependendo da relação a/c considerada.

2.3 PRINCIPAIS PROPRIEDADES

2.3.1 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DO CONCRETO

Segundo Lian e Zhuge (2010) avaliaram a resistência a compressão, e permeabilidade para diferentes tipos de agregados e graduações. O tipo de rocha de que se obtém o agregado graúdo afeta a resistência do concreto poroso independente da graduação do mesmo. Isso pode ser atribuído pela diferença na resistência a compressão, na forma das partículas e na textura do próprio agregado. Afirmam ainda que as partículas que tem alta absorção de água não produz altas resistências, por que a pasta em volta do agregado perde água, e produz uma zona de transição ainda mais fraca.

Segundo Lian e Zhuge (2010) o uso do agregado de um único tamanho favorece a permeabilidade, o agregado com partículas variando entre 9,5mm e 4,75mm produz um aumento na resistência a compressão e diminuição da permeabilidade do concreto poroso, e o agregado bem graduado causaria diminuição das resistências a compressão simples e tração na flexão do concreto poroso. Ainda assim os três tipos de agregados estudados mostraram permeabilidade favorável, e, além disso, pode-se concluir que a adição de materiais finos pode aumentar a resistência do concreto poroso.

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 poroso 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).

2.3.2. RESISTENCIA A TRAÇÃO NA FLEXÃO

A resistência mecânica, principalmente de tração na flexão, e as propriedades elásticas são características importantes para o comportamento estrutural do concreto permeável para uso como revestimento de pavimentos, sendo influenciados por muitos fatores, com atenção especial ao índice de vazios da mistura. Porém, nas pesquisas disponíveis sobre o assunto é escassa a existência de resultados de ensaio de resistência a tração na flexão uma vez que, em função das características irregulares normalmente observadas nos corpos de prova de concreto permeável, torna-se difícil a execução destes tipos de ensaio em laboratório. Dessa maneira, são mais comuns estudos de desempenho e comportamento referente à resistência à compressão e as condições de permeabilidade das misturas. (BATENZINI, 2013)

Segundo NBR 16416/2015 o concreto destinado para a execução de placas deve ter resistência à tração na flexão de 2,0 MPa, e entre outras características apresentar menor variação volumétrica, menor suscetibilidade a fissura e bom desempenho em relação aos esforços do tráfego e a ação do meio ambiente.

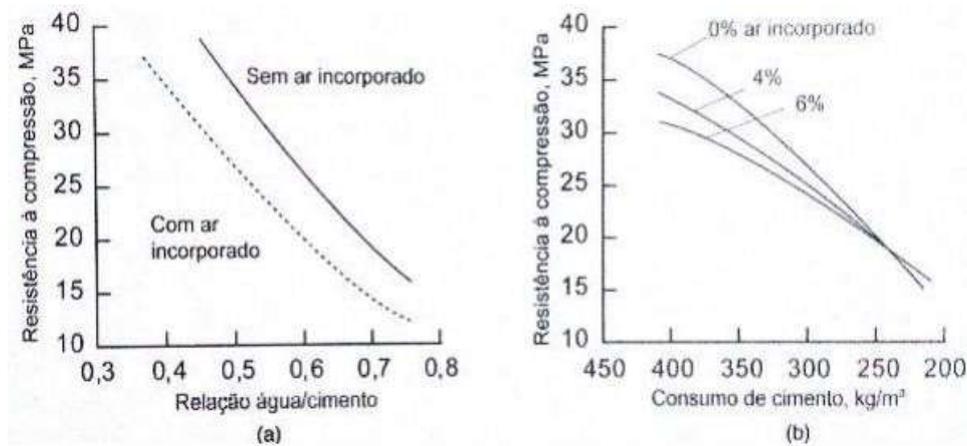
2.3.3 POROSIDADE

Embora o concreto seja um material complexo demais para previsão de resistência por relação exata entre resistência e porosidade, essa relação deve ser respeitada, pois a porosidade no concreto torna-se um real limitador da resistência, uma vez que a resistência do concreto é influenciada principalmente pelo volume de vazios contido nele (Mehta e Monteiro, 2014).

Para Mehta e Monteiro (2014), ainda que a relação a/c , na maioria dos casos, determine a porosidade da matriz da pasta de cimento hidratada, quando vazios de ar são incorporados no concreto, ou pelo adensamento inadequado ou pelo uso de aditivos químicos, a porosidade também aumenta e a resistência do concreto diminui.

Isso pode estar relacionado ao nível geral da resistência do concreto, visto que o nível de perda não depende somente da relação a/c , mas também do consumo de cimento (figura 11).

Figura 12- influência da relação a/c, ar incorporado e consumo de cimento na resistência do concreto.



Fonte: Mehta e Monteiro (2014, p.57).

2.4 PAVIMENTO PERMEAVEL

Segundo Ferguson (2005), Pavimentos permeáveis são definidos como aqueles que possuem espaços livres na sua estrutura por onde a água pode atravessa.

O revestimento deve permitir a passagem rápida da água evitando assim que ela esco superficialmente ou forme poças, garantindo que 100% da água superficial sejam infiltradas através do pavimento em um intervalo de tempo compatível com a chuva local, resultando em um baixo coeficiente de escoamento superficial. A água infiltrada fica então armazenada na estrutura do pavimento até escoar, funcionando como uma caixa de retardo (ABCP,2011).

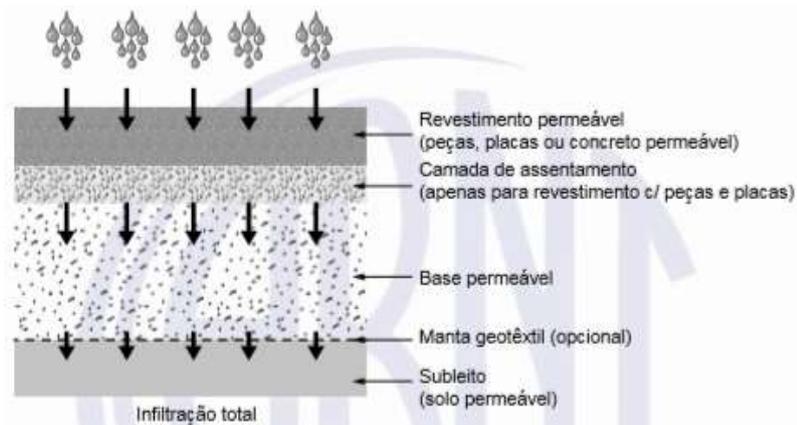
A estrutura do pavimento deve ser dimensionada considerando-se a intensidade da chuva no local e as características do solo, além das condições de tráfego as quais o pavimento estará sujeito. A principal característica desse sistema é a redução do escoamento superficial mantendo a área útil do pavimento (FERGUSON 2005).

O pavimento permeável pode ser concebido de três diferentes maneiras em relação à infiltração de água precipitada. A escolha do sistema de infiltração depende das características do solo ou de condicionantes de projeto. Os sistemas de infiltração podem ser classificados conforme 2.5.1 a 2.5.3.

2.4.1 INFILTRAÇÃO TOTAL

Neste sistema de infiltração, toda a água precipitada alcança o subleito e se infiltra, conforme exemplo mostrado na Figura 12.

Figura 12 - Exemplo de sistema de pavimento permeável com infiltração total

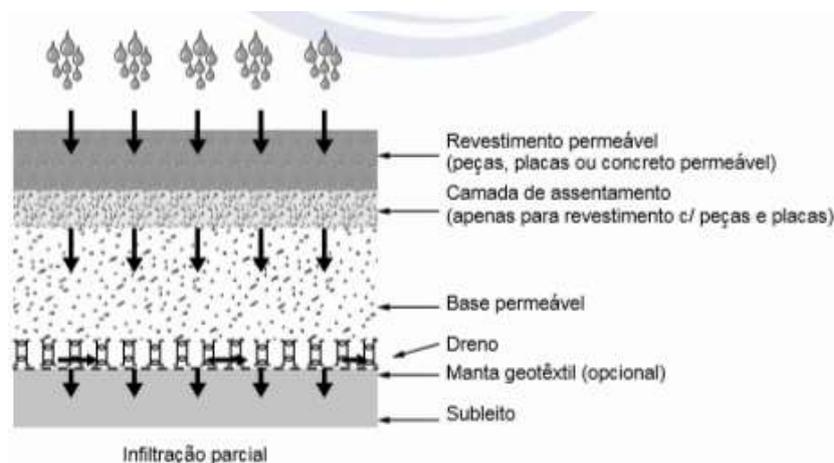


Fonte: NBR16416,2015

2.4.2 INFILTRAÇÃO PARCIAL

Neste sistema de infiltração, parte da água precipitada alcança o subleito e se infiltra, porém parte da água fica temporariamente armazenada na estrutura permeável, sendo depois removida pelo dreno, conforme exemplo mostrado na Figura 13.

Figura 13 - Exemplo de sistema de pavimento permeável com infiltração parcial

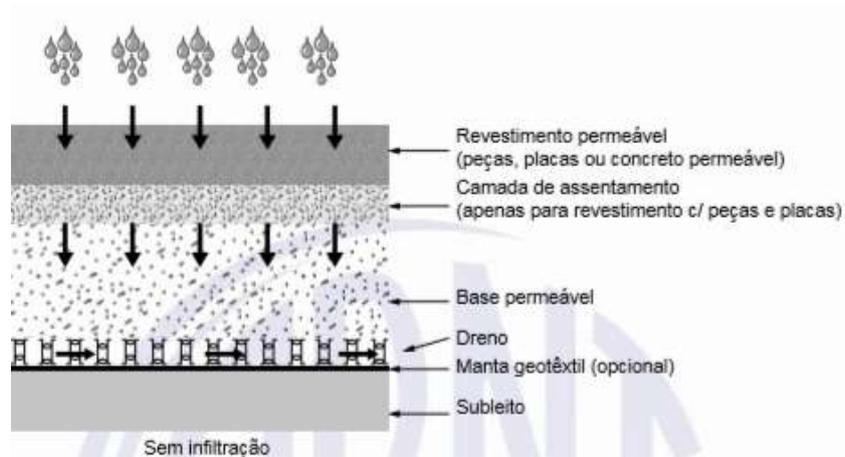


Fonte: NBR16416,2015

2.4.3 SEM INFILTRAÇÃO

Neste sistema de infiltração, a água precipitada fica temporariamente armazenada na estrutura permeável e não infiltra no subleito, sendo depois removida pelo dreno, conforme exemplo mostrado na Figura 14.

Figura 14 - Exemplo de sistema de pavimento permeável sem infiltração



Fonte: NBR16416,2015

2.5 PROPRIEDADES DO CONCRETO PERMEÁVEIS ESTUDADOS POR DIVERSOS AUTORES

Quanto aos benefícios estruturais, a National Ready Mixed Concrete Association (2010) menciona que o concreto permeável, por apresentar pouca ou nenhuma quantidade de agregados miúdos, possui uma textura única na superfície. O concreto permeável é composto de agregados angulares e circulares, como o cascalho e a brita, e uma vez que os mesmos encontram-se expostos, acabam por melhorar o poder de tração dos veículos e prevenir derrapagens. Essa superfície de textura é especialmente importante durante as condições mais severas e perigosas, como chuva e neve.

O tempo de concretagem é tipicamente reduzido para o concreto permeável, que normalmente acontece em uma hora entre a mistura e o término da concretagem, porque ele é um concreto que perde água com muita rapidez. Entretanto, isto pode ser controlado usando retardadores e estabilizadores de hidratação que estendem a concretagem em 1,5 horas, dependendo da dosagem utilizada (POLASTRE E SANTOS, 2006).

A densidade do concreto permeável depende das propriedades e das proporções dos materiais usados e também dos procedimentos de compactação. Densidades locais na ordem dos 1600 kg/m³ a 2000 kg/m³ são comuns e figuram no alto índice dos concretos mais leves (HOLTZ, 2011). O índice de permeabilidade do concreto permeável depende dos materiais e das operações de concretagem (National Ready Mixed Concrete Association, 2010). Um pavimento com 125 mm e 20% de espaços vazios poderá estocar 25 mm de água pluvial, o que cobre a grande maioria dos eventos chuvosos dos EUA. Quando usado um pavimento de 150 mm de cascalho ou de brita, a capacidade de estocagem aumenta em 75 mm de precipitação.

As quantidades de água e de ligante hidráulico empregadas na composição do concreto permeável são cuidadosamente controladas com a finalidade de se obter uma pasta que forme uma capa espessa ao redor das partículas dos agregados. A mistura deve possuir pequena ou nula quantidade de agregado miúdo a fim de se obter um material de elevado índice de vazios, que, com auxílio da interconectividade dos seus vazios, apresentará boa permeabilidade (BETEZIN, 2013).

Segundo Delatte et al. (2009), a condutividade hidráulica característica do concreto permeável, varia normalmente entre 0,1 e 0,9 cm/s, embora este valor possa ser muito diferente, a depender principalmente da composição do concreto e da qualidade do processo executivo. Condutividade hidráulica (ou taxa de percolação ou coeficiente de permeabilidade) é um dos 26 parâmetros mais importantes do concreto permeável e pode ser definida como a taxa de infiltração da água através de sua estrutura. Valores típicos de condutividade hidráulica de concretos permeáveis para revestimento de pavimentos variam entre 0,21 cm/s e 0,54 cm/s (TENNIS et al., 2004). Bean et al. (2007) determinaram valores de condutividade hidráulica em campo variando de 0,07 cm/s a 0,77 cm/s.

O concreto permeável não é tão afetado quanto o concreto convencional com relação à secagem e retração. Os valores de retração dependem do traço e dos seus materiais constituintes, mas valores da ordem de metade da retração observada nas misturas convencionais foram reportados (National Ready Mixed Concrete Association, 2010). A baixa quantidade de pasta ou argamassa (quando se usa uma pequena parcela de areia na mistura) é a principal explicação para tal fato.

É interessante notar que aproximadamente 50% a 80% da retração verificada no concreto permeável ocorrem nos primeiros 10 dias, comparado com um montante de 20% a 30% no mesmo período, para o concreto convencional. Por causa da baixa retração e da textura irregular, muitos concretos permeáveis são feitos sem controle de juntas, o que não é recomendado, pois podem acontecer fissurações aleatórias (National Ready Mixed Concrete Association, 2010).

Devido as baixas resistências à compressão dos elementos de concreto permeável, Araújo et al. (1999) sugerem que o uso desse tipo de pavimentação seja limitado a locais com tráfego leve ou pouco intenso, como estacionamentos. Isso acaba representando um ponto positivo para os donos de empresas, que precisam, por lei, destinar cerca de 20% da área para a construção de tubulações de drenagem para as águas pluviais.

A relação água cimento tem menor efeito nas propriedades do concreto poroso (HUANG et al, 2009). Esta 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 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 à 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.

Tabela 5 - Propriedades de concretos permeáveis.

Índice de vazios	Massa unitária (kg/m ³)	Condutividade Hidráulica (cm/s)	Consumo de cimento (kg/m ³)	Resistência à compressão - 28 dias (MPa)	Resistência à tração na flexão (MPa)	Referência
0,15 a 0,25	n/a	n/a	n/a	22,0 a 39,0	n/a	Chindaprasirt <i>et al.</i> , 2008
n/a	n/a	n/a	n/a	31,0 a 54,0	n/a	Zaharieva <i>et al.</i> , 2003
n/a	n/a	n/a	275 a 350	14,0 a 27,0	n/a	Pindado <i>et al.</i> , 1999
0,03 a 0,29	1.856 a 2.227	0,003 a 0,22	344	7,5 a 18,8	n/a	Lee <i>et al.</i> , 2009
0,05 a 0,35	n/a	0,01 a 1,00	n/a	4,1 a 55,8	n/a	Delatte <i>et al.</i> , 2009
n/a	n/a	0,70 a 1,60	295 a 352	4,5 a 14,5	n/a	Huang <i>et al.</i> , 2010
n/a	1.835 a 2.392	0,01 a 0,92	n/a	10,5 a 32,8	n/a	Henderson <i>et al.</i> , 2009

Fonte: Adaptado Batenzini (2013)

Tabela 6 - Propriedades de concretos permeáveis

Índice de vazios	Massa unitária (kg/m ³)	Condutividade Hidráulica (cm/s)	Consumo de cimento (kg/m ³)	Resistência à compressão - 28 dias (MPa)	Resistência à tração na flexão (MPa)	Referência
0,15 a 0,25	1.600 a 2.000	0,20 a 0,53	270 a 415	5,5 a 20,6	1,0 a 3,8	Tennis <i>et al.</i> , 2004
0,15 a 0,35	n/a	n/a	n/a	n/a	2,5 a 3,9	Olek <i>et al.</i> , 2003
0,19	n/a	n/a	n/a	26,0	4,4	Beeldens <i>et al.</i> , 2003
0,20 a 0,30	1.890 a 2.080	n/a	n/a	17,6 a 32,1	3,9 a 5,7	Beeldens, 2001
0,11 a 0,15	n/a	0,03 a 0,18	n/a	n/a	4,2 a 7,5	Kajjo <i>et al.</i> , 1998
n/a	n/a	n/a	n/a	19,0	n/a	Tamai e Yoshida, 2003
0,18 a 0,31	n/a	n/a	n/a	11,0 a 25,0	n/a	Park e Tia, 2004

Fonte: Adaptado Batenzini (2013)

3 METODOLOGIA

3.1 TIPO DE PESQUISA

O projeto em estudo é uma pesquisa exploratória, experimental e laboratorial, promovendo o emprego do método de dosagem ABCP (ACI, 2006) onde foi desenvolvido estudo comparativo de três concretos de fck 20 Mpa, sendo um convencional e dois permeavel. Todos seus experimentos, como a moldagem de corpo de prova, ensaios de caracterização dos materiais, de resistência e de permeabilidade, foram realizados no laboratório da Ceulp/Ulbra - laboratório de materiais da construção, localizado em Palmas – TO. que disponibilizou suas instalações e seus equipamentos para todos os ensaios.

3.2 ESCOLHAS DO MATERIAIS

3.2.1 AGREGADO GRAÚDO

O agregado graúdo utilizado é do tipo granítico, na classificação de brita 0, conforme classificação da NBR 7211-2009, módulo de finura de 5,77 a 6,15 e Diâmetro máximo de 12,5 mm.

3.2.2 AGREGADO MIÚDO

Foi utilizado areia quartzosa média, proveniente da região de Palmas – TO. Conforme classificação da NBR NM 248-2003, , módulo de finura de 2,20 a 2,90 e Diâmetro máximo de 2,36 mm.

3.2.3 AGLOMERANTE

O cimento utilizado para a confecção do concreto no traço foi o CP-II E 40, devido à sua polivalência e inúmeras possibilidades de aplicações, realça-se por seu alto teor de escoria com alta resistência em todas as idades.e os ensaios necessários a realização dos estudos foram fornecido pelo fabricante.

3.2.4 ADITIVO

O aditivo empregado foi um superplastificante de 3º geração Viscocret 3535, aditivo a base de policarboxilatos, isentos de cloretos. O emprego de tais aditivos é para indústria de pré-moldados, concretos de alta resistência inicial, pois aumentam significativamente a trabalhabilidade do concreto mantendo a relação água/cimento.

3.2.5 ÁGUA

A água utilizada foi a do laboratório de engenharia civil do CEULP/ULBRA, com o fornecimento da empresa BRK que abastece a cidade.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

3.2.1 DETERMINAÇÃO DA MASSA UNITÁRIA

De acordo com ABNT NBR NM 45/2006 foi realizado o ensaio para estabelecer a determinação da densidade a granel e do volume de vazios de agregados miúdos, graúdos ou, em estado compactado ou solto. Conforme mostra a figura 15.

Figura 15 –Determinação da massa unitária do agregado graúdo.



Fonte: Próprio Autor, 2020

3.2.2 DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA

Foi realizado referente a ABNT NBR 6508/1984 norma que estabelece o método de determinação da massa específica. Como mostra a figura 16.

Figura 16 –Determinação da massa específica do agregado miúdo.

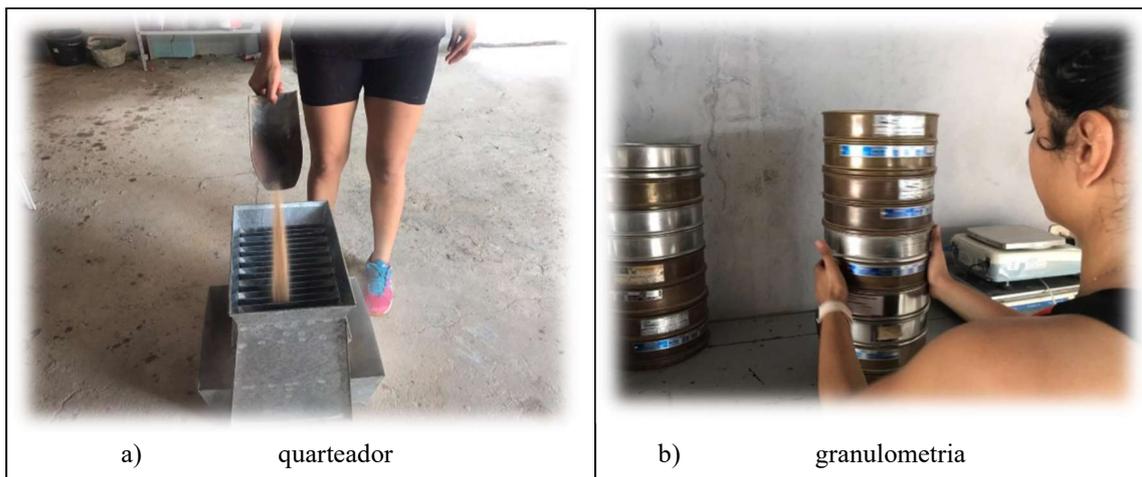


Fonte: Próprio Autor, 2020

3.2.3 ANALISE GRANULOMÉTRICA

Realizou-se a caracterização granulométrica dos agregados graúdos (britas até 12,5 mm) e agregado miúdo, de acordo com ABNT NBR NM 248:2003. Conforme representado na figura 17.

Figura 17– Ensaio de granulometria.



a) quarteador

b) granulometria

Fonte: Próprio Autor, 2020

3.2.4 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE MATERIAIS PULVERULENTOS

O ensaio ocorreu segundo a ABNT NBR NM 46/ 2003, que estabelece o método para a determinação por lavagem, em agregados, da quantidade de material mais fino que a abertura de malha da peneira de 75 μm . As partículas de argila e outros materiais que se dispersam por lavagem, assim como materiais solúveis em água, foram removidos do agregado durante o ensaio. A figura 18, mostra os equipamentos para a realização do ensaio.

Figura 18– Determinação pulverulento do agregado miudo



Fonte: Próprio Autor, 2020

3.4 MÉTODO DE DOSAGEM EMPREGADO

Este trabalho está fundamentado pelo método de dosagem de concreto permeável e convencional definido por método do ABCP. Foram confeccionados 20 corpos de prova (CP's) de dimensões de 10x20, 12 corpos de prova (CP's) de dimensões de 10x10x40 prismático com idades predefinidas em 7,21 e 28 dias no laboratório do CEULP/ULBRA, para a realização de todos os ensaios necessários foram produzidos 3 traços com F_{ck} de 20 MPa para análise proposta. O quantitativo de corpos de prova está presente na tabela 7.

Tabela 7 – Quantidade de CP's de cada dosagem.

Ensaio	Quantidades de CP's	Idade
Ensaio de compressão	20un	7,21 e 28 dias
Ensaio de tração flexão	12un	28 dias
Ensaio de Permeabilidade	12un	28 dias

Fonte: Autor (2020).

O primeiro traço foi dosado utilizando-se o método ABCP, concreto convencional produzido com areia média natural sem qualquer tipo de adição natural.

Neste primeiro traço começou-se pelo traço experimental convencional com teor de argamassa resultando em 52%, que visualmente não proporcionou um cobrimento total das britas, optando-se por aumentar este teor para 55% que possibilitou visualmente uma melhor trabalhabilidade.

A quantidade de água e o percentual de aditivo, foram obtidos através dos cálculos do traço, no caso da água foi adicionado até chegar em uma trabalhabilidade com abatimento de 100mm +/-20mm resultando na relação água/cimento 0,54 para o traço e obteve água excente. Já para o aditivo superplastificante, o seu teor foi estipulado em 0,5% sugerido como valor inicial pelo fabricante.

Já o segundo traço para um concreto poroso sem qualquer tipo de adição natural utilizando o método de dosagem da ABCP, traço experimental sem adição nenhum de areia. Neste traço foram determinada as relações água/cimento através de estudos ao artigo publicado como mencionando no referencial teórico, o teor argamassa de 20,6%, e o teor de aditivo manteve do primeiro traço.

O terceiro traço de um concreto poroso sem qualquer tipo de adição natural utilizando o método de dosagem da ABCP, traço experimental com adição 5% de areia, Neste traço foram determinada as relações água/cimento através de estudos ao artigo publicado como mencionando no referencial teórico, o teor argamassa de 24,5%, e o teor de aditivo manteve do primeiro traço, O concreto poroso produzido passou por ensaios no estado fresco e endurecido dispondo de 2 CP's para cada idade, ensaio neste último estado, para que assim pudesse ser realizado um trabalho estatístico analisando e discutindo os resultados desse estudo.

Os traços foram calculados em massa para facilitar na pesagem das misturas multiplicou por quantidade de litros ideal para moldar todos os corpos de prova, e efetuar os ensaios no estado fresco.

Tabela 8 – Composição dos Traços.

Traço	Traço Unitário			Teor de Argamassa (%)	A/C	Aditivo (%)
	Cimento	Areia	Brita			
Traço Referência - Poroso 1	1	0	4	20,6	0,29	0,5
Traço - Poroso 2	1	0,2	3,8	24,5	0,28	0,5
Convencional	1	2	3	55	0,54	0,5

Fonte: Autor, 2020.

Tabela 9 – Composição utilizadas na mistura de concreto poroso 1.

Materiais	Unidades	Valores
Cimento	kg/m ³	420
Agregado Graúdo	kg/m ³	1680
Água / cimento	-	0,29
Cimento /Agregado	-	1:4:0
Agregado miúdo	kg/m ³	0

Fonte: Autor, 2020

Tabela 10 – Composição utilizadas na mistura de concreto poroso 2.

Materiais	Unidades	Valores
Cimento	kg/m ³	420
Agregado Graúdo	kg/m ³	1680
Água/ cimento	-	0,28
Cimento /Agregado	-	1:3,8:0,2
Agregado miúdo	kg/m ³	84

Fonte: Autor, 2020

Tabela 11 – Composição utilizadas na mistura de concreto convencional.

Materiais	Unidades	Valores
Cimento	kg/m ³	320
Agregado Graúdo	kg/m ³	986,7
Água/ cimento	-	0,54
Cimento /Agregado	-	1:3:2
Agregado miúdo	kg/m ³	824,52

Fonte: Autor, 2020

3.4.1 MOLDAGEM DOS CP'S

Após a análise de diversos autores, (BATEZINI, 2013) cita que foi determinado que a ordem de mistura dos materiais altera as características do concreto final e foi normatizado um procedimento para que obtenha as melhores condições mecânicas e hidráulicas para o concreto. Assim foi empregado o mesmo procedimento que está apresentado em seguida:

- Todo o agregado foi adicionado na betoneira com mais 5% do peso total do cimento;
- Foi misturado por 1 minuto;
- Em seguida adicionado o restante dos materiais;
- A mistura descansou por 3 minutos em repouso com a betoneira desligada;
- Novamente ligada a betoneira e misturada por mais 2 minutos

Através da massa específica aparente no estado fresco é realizado o controle de mistura do material ao término da mistura.

Foi analisado que a massa específica dos concretos já estudados na literatura revisada, variou entre 1.300 kg/m^3 com mais índices de vazios, a 2000 kg/m^3 para misturas com índices reduzidos.

Outras duas análises foram realizadas após o término da mistura na betoneira, a análise visual que consiste em verificar se todos os agregados estão completamente cobertos pela argamassa e se o concreto apresente um aspecto brilhoso.

A terceira verificação foi teste tátil visual, onde após pressionar uma pequena quantidade do concreto com a mão, é verificado se existe uma formação de uma pequena aglomeração. Conforme representado na figura 19.

Figura 19 - Verificação táctil visual



Fonte: Autor, 2020

De acordo com (SULEIMAN; KEVERN; SCHAEFER, 2006), a energia de compactação influencia diretamente nas propriedades do concreto permeável, e foi verificado que utilizando a mesa vibratória, o concreto irá obter melhorias na sua propriedade mecânica, sem prejuízo na propriedade hidráulica.

Assim foi colocado duas camadas na amostra cilíndrica, e em seguida o corpo de prova foi submetido a 10 segundos de vibração em mesa vibratória.

Foram moldados no total, 16 corpos de prova cilíndricos, sendo 8 para o traço de referência sem substituição de areia, 8 corpos de prova com o traço utilizando 5% de substituição do agregado graúdo por agregado miúdo, 3 corpos de prova de cada mistura foi utilizado para análise de sua permeabilidade.

Figura 20 – Moldagem de Corpos de Prova Convencional



Fonte: Autor, 2020

Figura 21 – Moldagem de Corpos de Prova Poroso



Fonte:Autor,2020

3.5 ENSAIOS UTILIZADOS

Foram realizados ensaios no laboratório de engenharia civil do CEULP/ULBRA, para determinar as características dos concretos convencional e poroso com o emprego do método de dosagem ABCP proposto no estudo em comparação os diferentes traços.

3.5.1 ENSAIOS NO ESTADO FLUIDO

Baseando-se nas normas pertinentes para cada ensaio, foram realizados ensaios após a produção do convencional e poroso no estado fresco para verificar as propriedades dos traços do mesmo.

3.5.1.1 TEOR DE AR INCORPORADO E MASSA ESPECÍFICA

Foi executado o ensaio de massa específica do concreto no estado plástico e o teor de ar incorporado pelo método pressométrico segundo a NBR NM 47/2002. Como mostra a figura 22 e 23.

Figura 22 - Ensaios de teor de ar em concreto fresco.



Fonte: Autor, 2020.

Figura 23 –Ensaios de massa específica do concreto no estado fluido.



Fonte: Autor, 2020.

3.5.1.2 SLUMP

Este ensaio foi realizado para verificar a trabalhabilidade do concreto em seu estado plástico, buscando medir sua consistência e avaliar se está adequado para seu uso. Uma das características do concreto permeável é a elevada consistência no seu estado fresco, apresentando segundo ACI (2006), abatimento normalmente menor do que 20 mm.

Dado ao fato de este concreto possuir baixa finura em sua dosagem, baixa relação a/ c e pouca pasta, o mesmo apresenta baixa trabalhabilidade, exigindo maiores cuidados de manuseio e vibração, sendo sugerida a utilização de vibração energética, conforme sugere a ACI 522R-06^[4]. Considerando que uma das principais aplicações do concreto drenante é o uso em pavimentações, o estudo do adensamento através de placa vibratória ou de rolo compactador pode ser viável, melhorando as características das propriedades mecânicas, porém deve ser verificada a permeabilidade.

Para ambos os traços foi verificado que o slump caracterizou-se com baixa consistência visto que, após a repetição do ensaio o abatimento do concreto poroso 1 foi superior a ± 2 cm, o traço com substituição de 5% de areia seu abatimento foi, conforme como mencionado na metodologia que concreto permeáveis tinha abatimento de 0 a 20 mm. ambos os traços se caracterizando como materiais de boa trabalhabilidade.

É necessário ressaltar que foi aplicado 0,5 % de superplastificante, visto que o material por possuir baixo teor de finos e a utilização do CP II E 40 contribuem para o início de pega acelerado, e como não foi utilizado retardadores de pega, uma melhor trabalhabilidade do material contribui para uma execução acelerada na moldagem dos CP's.

Figura 24 - Slump Traço Convencional



Fonte: Autor, 2020

Figura 25 – Slump Poroso 1



Fonte: Autor, 2020

Figura 26 – Slump Poroso 2



Fonte: Autor, 2020

3.5.2 ENSAIOS NO ESTADO ENDURECIDO

3.5.2.1 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO AXIAL

2 corpos de provas (CP's) de dimensões 10x20 que foram moldados para cada idade e traço e submetidos a ensaios de resistência a compressão axial nas idades de 7,21 e 28 dias, conforme a NBR 5739/2018 ensaio de compressão a corpos de prova cilíndrico. Conforme mostra a figura 27.

Figura 27 – Ensaio de resistência a compressão axial



Fonte: Autor, 2020

O ensaio tem como objetivo, determinar a resistência á compressão do corpo de prova, onde o corpo de prova a ser ensaiado será posto entre os pratos da prensa, que servem para garantir um movimento perpendicular de forças. O acionamento da máquina a ser utilizado deve ser realizado por fonte contínua e velocidade de $0,45 \pm 0,15$ MPa/s, portanto, irá gerar uma estabilidade na aplicação de força, para que assim evite choques abruptos que possam influenciar nos resultados. Quando ocorrer uma queda brusca de força, o carregamento será interrompido e o ensaio finalizado.

Os pratos a serem utilizados terão ajustes necessários e distancias entre faces suficientes para posicionar o corpo de prova. O sistema de força a ser utilizado garantirá precisão nos dados, e indicará a força máxima atingida na ruptura.

Equação 2 – Determinação da resistência a compressão.

$$f_c = \frac{4F}{\pi D}$$

Onde:

f_c = Resistência à compressão, em megapascals;

F = Força máxima alcançada, em newtons;

D = Diâmetro do corpo de prova, em milímetro.

3.5.2.2 RESISTÊNCIA A TRAÇÃO NA FLEXÃO

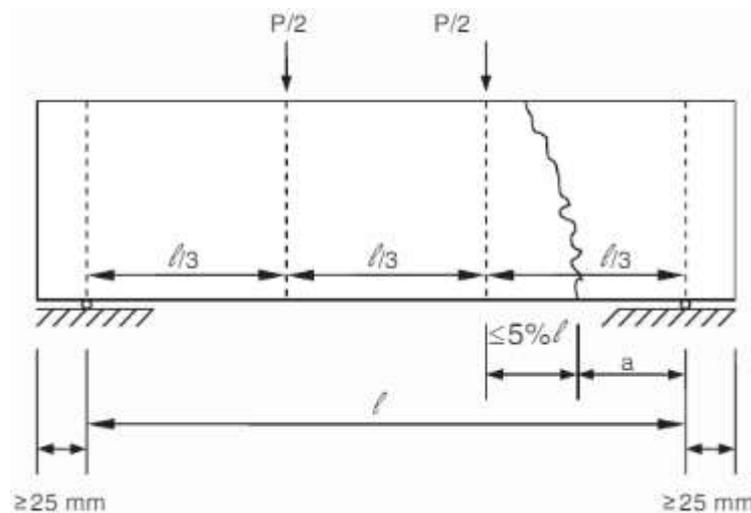
O ensaio de resistência à tração na flexão pautou-se pela norma NBR 12142/2010 que descreve o ensaio de dois cutelos em corpo de prova prismático. Tal ensaio se mostra de maior preferência quando comparado com o ensaio de 1 cutelo, em função de que neste último já existe uma predefinição da seção de ruptura do corpo de prova. Já no caso do ensaio de dois cutelos existe a possibilidade do corpo de prova romper em diferentes posições no espaço entre os cutelos, revelando assim a seção mais frágil do corpo de prova. A resistência à tração na flexão foi então calculada pela equação (3 e 4) a seguir:

Equação 3 – Determinação da resistência a tração na flexão.

$$f_{ct, f} = \frac{Fxl}{bxd^2}$$

Caso a ruptura ocorra fora do terço médio, a uma distancia deste que não superior a 5% de l, conforme figura 28.

Figura 28 – Ruptura fora do terço médio



Fonte: NBR 12142/2010

calcular a resistencia à tração na flexão pela a expressão:

Equação 4 – Determinação da resistência a tração na flexão.

$$f_{ct, f} = \frac{3xFxa}{bxd^2}$$

onde:

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

F_u : carga de ruptura (N);

l : distância entre os cutelos de suporte (350 mm);

b : largura média do corpo de prova na seção de ruptura (mm);

d : altura média do corpo de prova na seção de ruptura (mm).

a : é a distancia média entre a linha de ruptura na face tracionada e a linha correspondente ao apoio mais proximo, em milímetros (mm).

Foram confeccionados 6 corpos de prova prismáticos para cada traço com dimensões de 10 cm x 10 cm x 40 cm e apoiada em dois cutelos, com a aplicação de duas cargas iguais e simetricamente dispostas em relação ao meio do vão. seguindo a NBR 12142 (2010), onde verificou-se a resistência à tração na flexão dos concretos. A resistência à flexão é expressa em termos de módulo de ruptura que é a resistência máxima á ruptura calculada a partir da formula de flexão (MEHTA E MONTEIRO (2008)).

Os ensaios para a determinação das resistências foram realizados no laboratório de engenharia civil do CEULP/ULBRA, em prensa na idade de 28 dias, a partir da moldagem. Consiste em um corpo de prova de seção prismática submetido à flexão, com carregamentos em duas seções simétricas, até a ruptura, todos os corpos de prova romperam no terço médio. Conforme o representado na figura 29.

Figura 29 – Ensaio de tração na flexão (Ruptura dentro do terço médio)



Fonte: Autor, 2020

3.5.3. DETERMINAÇÃO COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE

Conforme a norma ABNT NBR 16416:2015, para a determinação do coeficiente de permeabilidade pode ser extraída de duas maneiras em laboratório. Analisando somente o revestimento, ou o revestimento com toda sua estrutura.

Tabela 10 – Determinação do coeficiente de permeabilidade

Tipo de Revestimento	Método de Ensaio		Coeficiente de permeabilidade do pavimento recém construído m/s
	Local de Avaliação		
	Em Laboratório	Em Campo	
Peça de concreto (Juntas alargadas ou áreas vazadas)	Anexo A	Anexo A	$> 10^{-3}$
Peça de concreto permeável	ABNT NBR 13292 ou Anexo A		
Placa de concreto permeável			
Concreto permeável moldado no local			

Fonte: ABNT NBR 16416:2015

Equação 3 - Coeficiente de permeabilidade do concreto

$$K = \frac{C \times M}{D^2 \times T}$$

Onde:

K = Coeficiente de permeabilidade (mm/h). M= Massa de água infiltrada (kg).

D = diâmetro interno do cilindro de infiltração (mm).

T = tempo necessário para toda a água percolar (s).

C= Fator de conversão de unidades do sistema SI, com valor igual a 4583666000.

Para a realização deste ensaio será utilizado um permeômetro com carga hidráulica variável ou constante (BOTTEON, 2017). Para garantir que a água passe somente verticalmente o concreto será moldado diretamente no tubo.

Na análise citada será utilizado um permeâmetro de carga variável, onde a amostra será completamente saturada e o nível da água se mantenha entre o topo da amostra e o tubo de dreno no mesmo nível.

O teste irá ser realizado cinco vezes em cada amostra, o tempo cronometrado, será o tempo que a coluna d'água leve para descer de 400mm (h1) até 100mm (h2).

Figura 30 - Modelo de Permeâmetro



Fonte: Autor, 2020.

O coeficiente de permeabilidade será determinado através da lei de Darcy:

Equação 4 - Coeficiente de permeabilidade do concreto

$$k = \frac{A1L}{A2T} \log \left(\frac{h1}{h2} \right)$$

Onde:

K = Condutividade hidráulica, em cm/s;

A1 = Área da sessão da amostra, em cm²;

A2 = Área do tubo, em cm²;

L = Comprimento da amostra, em cm;

h1 = Altura inicial, em cm;

h2 = Altura final, em cm;

3.5.3.1 ENSAIO DE PERMEABILIDADE EMPIRICO

Para a determinação da vazão das amostras, foi feita a relação entre o volume de água que passa pela placa por um determinado período de tempo, conforme a equação seguinte.

$$Q = \frac{V}{T}$$

Onde:

$Q = \text{Vazão (l/s)}$

$V = \text{Volume (l)}$

$T = \text{Tempo (s)}$

Este ensaio é de extrema importância, pois um pavimento com menos água em sua superfície reduz as chances dos veículos aquaplanarem, fenômeno ocasionado pela falta de atrito entre o pneu e o pavimento ocasionado pela presença de água, garantindo assim maior segurança para os usuários dos veículos. Além disso, este ensaio determina o fator mais importante do pavimento de concreto permeável, que é a vazão que o mesmo consegue infiltrar.

3.5.3.2 PROCEDIMENTO

Antes de iniciar o ensaio foi verificado a área da placa, analisando se não havia partículas soltas, sujeira ou qualquer outro material que pudesse vir dificultar a passagem de água pelo pavimento. O local escolhido era homogêneo, livre de falhas, rachaduras ou qualquer outro problema que destoe da uniformidade do pavimento. O local foi molhado e então posicionado o equipamento para que fique em total contato com o pavimento, conforme figura 16. Após a instalação do cilindro, encheu-se o mesmo com água e liberou-se o furo no fundo do cilindro. O tempo começou a ser contado quando a água entrou em contato com a placa e se encerrou quando terminou a água no cilindro, parando assim o cronômetro.

Figura 31 – Ensaio de determinação do coeficiente de permeabilidade.



Fonte: CASTRO (2015)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a produção dos traços de concreto foram necessárias as caracterizações dos agregados empregados, além da obtenção dos resultados do concreto em seu estado fluido e endurecido, todos os resultados obtidos serão discriminados a seguir.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Os agregados caracterizados foram a brita 0 e areia natural média, que passaram por todos os ensaios de caracterização pertinentes as normas vigentes e a este trabalho.

4.1.1 MASSA UNITÁRIA, MASSA ESPECÍFICA E PULVERULENTO

Os resultados dos ensaios de massa unitária e massa específica estão apresentados na tabela 12.

Tabela 12 – Ensaios de massa unitária, massa específica dos agregados e pulverulento.

Agregados	Massa Específica (kg/m ³)	Massa Unitária (kg/m ³)	Pulverulento %
Areia	2601	1601,25	0,6
Brita 0	2633	1630,24	0,2

Fonte: Autor, 2020.

Diante os valores obtidos nos ensaios a areia apresentam massas específicas conforme esperado, mas com massa unitária da areia média que resulta em bom índice de vazios , resultado que apontou uma melhor distribuição dos grãos para a areia média que foi utilizada em menor quantidade.

4.1.2 ANÁLISE DO ENSAIO DE GRANULOMETRIA

As tabelas 4 e 5 mostram as análises granulométricas dos agregados estudados e os gráficos de 1 a 2 mostram as disposições das granulometrias dos mesmos. Tabela 13 – Análise da granulometria da brita 0.

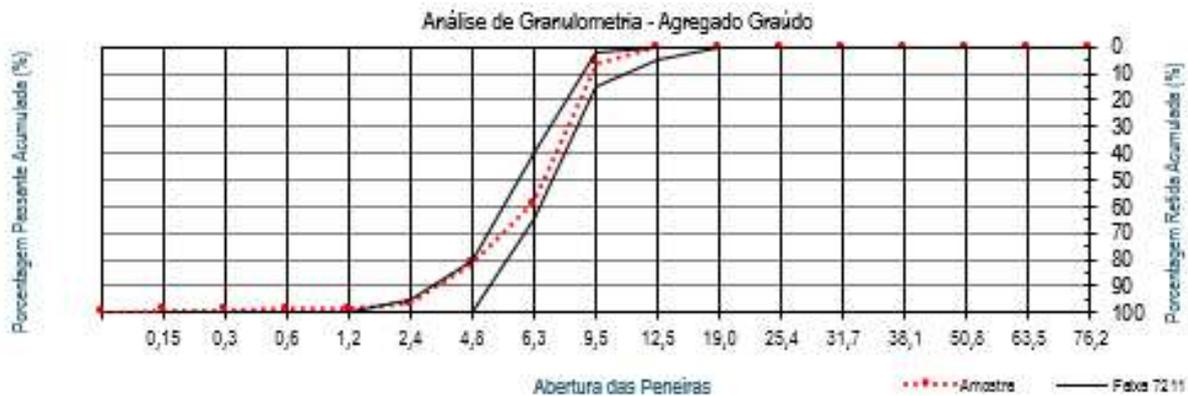
Tabela 13 – Análise da granulometria da brita 0.

DATA: 17/01/2020		DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA NM 248						OPERADOR: Mylena				
a) Massa inicial seca (g) = 3014,6		b) Massa inicial seca (g) = 3018,0						Faixas em relação as % retidas acumuladas NBR 7211-2009				
Abertura das Peneiras (mm)	Massa retida (g)		Massa retida (%)		Massa retida variação $\pm 4\%$	Massa retida média (%)	Massa retida acumulada (%)	Brita 0	Brita 1	Brita 2	Brita 3	Brita 4
	Ensaio a	Ensaio b	Ensaio a	Ensaio b								
76,2			0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	--	--	--	--	0 - 5
63,5			0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	--	--	--	--	5 - 30
50,8			0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	--	--	--	0 - 5	75 - 100
38,1			0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	--	--	--	5 - 30	90 - 100
31,7			0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	--	--	0 - 5	75 - 100	95 - 100
25,4			0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	--	0 - 5	5 - 25	87 - 100	--
19,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	--	2 - 15	65 - 95	95 - 100	--
12,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0 - 5	40 - 65	92 - 100	--	--
9,5	194,1	162,2	6,4	5,4	1,07	5,9	5,9	2 - 15	80 - 100	95 - 100	--	--
6,3	1609,0	1586,3	53,5	52,6	0,84	53,0	59,0	40 - 65	92 - 100	--	--	--
4,8	671,7	685,8	22,3	22,7	0,43	22,5	81,5	80 - 100	95 - 100	--	--	--
2,4	420,1	497,1	14,0	16,5	2,53	15,2	96,7	95 - 100	--	--	--	--
1,2	42,4	59,0	1,4	2,0	0,55	1,7	98,4	--	--	--	--	--
0,6	14,5	4,4	0,5	0,1	0,34	0,3	98,7	--	--	--	--	--
0,3	9,8	1,7	0,3	0,1	0,27	0,2	98,9	--	--	--	--	--
0,15	17,7	3,8	0,6	0,1	0,46	0,4	99,3	--	--	--	--	--
Fundo	30,7	14,4	1,0	0,5	0,54	0,7	100,0	Tolerâncias - módulo de finura				
Total	3010,0	3014,7	ϕ máx.	12,5	Módulo de finura = 5,793			5,77 / 6,15	6,77 / 7,15	7,6 / 7,45	8,00 / 8,30	8,90 / 9,05
Diferença:	0,2	0,1										

Fonte: Próprio Autor, 2020

A brita apresentou um diâmetro máximo característico igual a 12,5 mm e um módulo de finura igual a 5,79, que se enquadra nas características recomendadas para o concreto estudado.

Gráfico 1 – Análise da granulometria da brita 0.



O agregado graúdo empregado para a confecção dos traços, está entre a faixa de zona utilizável, o que representa uma boa continuidade em sua granulometria, o que não afetará no método de dosagem de concreto permeável, assim tornando um material de excelente usabilidade para a pesquisa em questão, devido sua uniformidade favorecer a permeabilidade

do concreto.

Tabela 14 – Análise da granulometria da areia média.

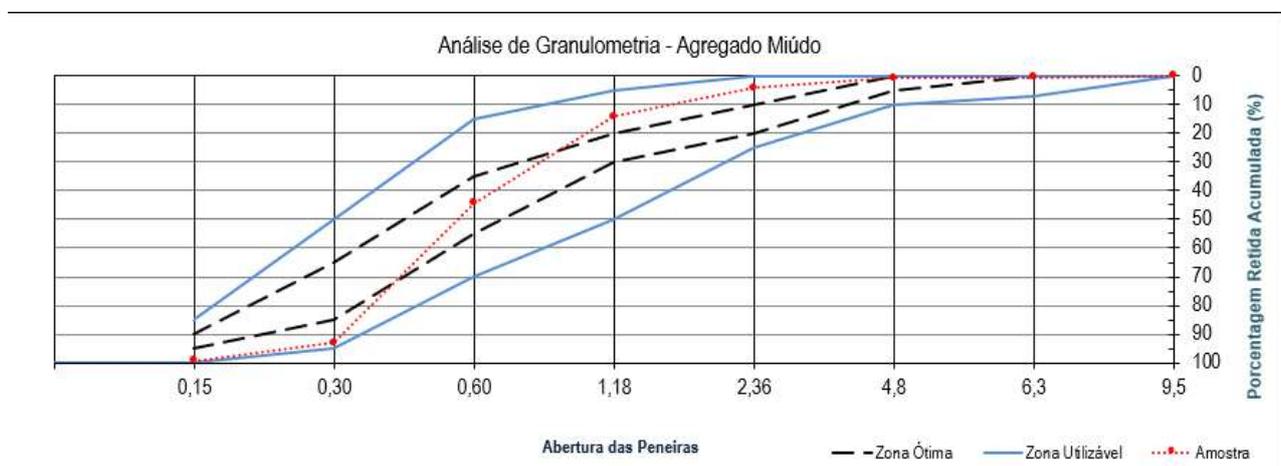
DATA: 25/02/2020		DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA NM 248/2001						OPERADOR: Mylena			
Abertura da malha das peneiras (mm)	a) massa inicial seca (gr) = 500,2				(Vr) Massa retida	(Mrm) Massa retida	(Mra) Massa retida	Faixa em relação as % retidas acumuladas			
	b) massa inicial seca (gr) = 500,0							Variações ± 4 %	média (%)	acumulada (%)	Limites Inferiores
	Mrg) Massa retida (gr)		Mr%) Massa retida (%)		Zona Utilizável	Zona Ótima	Zona Ótima				Zona Utilizável
	Ensaio a	Ensaio b	Ensaio a	Ensaio b							
9,5	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0	
6,3	1,50	2,90	0,3	0,6	0,3	0,4	0	0	0	7	
4,8	1,10	1,60	0,2	0,3	0,1	0,3	0	0	5	10	
2,36	16,90	18,70	3,4	3,7	0,4	3,6	0	10	20	25	
1,18	50,60	48,10	10,1	9,6	0,5	9,9	5	20	30	50	
0,60	150,70	151,30	30,1	30,3	0,1	30,2	15	35	55	70	
0,30	245,70	242,50	49,1	48,5	0,6	48,8	50	65	85	95	
0,15	30,50	31,00	6,1	6,2	0,1	6,2	85	90	95	100	
Fundo	3,10	3,80	0,6	0,8	0,1	0,7	100	100	100	100	
Mt) Total S	500,1	499,90	Ø máx = 2,36 mm		Módulo de Finura = 2,56		1,55	2,20	2,90	3,50	
Diferença:	0,0	0,0									

Módulo de Finura = S % retidas acumuladas, nas peneiras da serie normal / 100 Ø máximo = abertura da peneira na qual apresenta % retida acumulada ≤ 5%

Fonte: Próprio Autor, 2020

A análise granulométrica tem como objetivo caracterizar o agregado miúdo, onde foi separado duas amostras com 500g cada, que após a secagem na estufa por 24 horas foi adicionada a série de peneiras. Em seguida o equipamento foi acionado, agitando assim o material e realizando o ensaio. A areia fina apresentou um módulo de finura igual a 2,56 e diâmetro máximo característico igual a 2,36 mm, o resultado apontou a areia média como a mais ideal, e nao fechar tanto os poros do concreto..

Gráfico 2 – Análise da granulometria da areia média.



Fonte: Próprio Autor, 2020

Após a realização do ensaio verificou-se que o agregado miúdo se caracteriza como uma areia média, se encaixando dentro da zona utilizável determinando por norma, conforme apresentado no gráfico 1.

4.2 ENSAIOS NO ESTADO FLUIDO DO CONCRETO

A tabela 15 apresentam os resultados obtidos para os traços dosados com o método de convencional e permeável no estado fresco.

Tabela 15 – Resultados dos ensaios de massa específica, teor de ar incorporado e slump do concreto no estado fluido.

Traços	Massa Específica (kg/dm ³)	Ar Incorporado (%)	Slump (mm)
Traço Referencia - Poroso (1)	1,88	1,0	20
Traço - Poroso (2)	1,98	1,1	0
Convencional	2,39	1,4	120

Fonte: Autor, 2020.

A tabela 15 mostra os resultados da massa específica de cada traço, e pode-se observar que o traço o do concreto convencional é mais densos, devido a sua composição granular ser melhor distribuída e proporcionar um menor índice de vazios, ocasionando em maiores valores de massa específica. As massas específicas aparentes do concreto permeável no estado fresco variam de 1.300 ± 80 a 2.000 ± 80 kg/m³ (TENNIS et al., 2004). Os valores obtidos nas misturas poroso I e poroso II no presente estudo se enquadram na faixa estabelecida por Tennis et al. (2004), os traços de concreto poroso possuem maior quantidade de cimento em sua composição, sua massa específica é menor por ter proporção mais elevada de índice de vazios.

Segundo ACI (2006), uma das características do concreto permeável é a elevada consistência no seu estado fresco, sendo esperado um abatimento menor do que 20 mm, valor este encontrado para as misturas I e II, onde o maior resultado encontrado foi de 20 mm na mistura poroso I A mistura poroso II teve abatimento de 0 mm, o uso da areia diminuiu a trabalhabilidade do concreto, sendo assim os resultados se encontram dentro do esperado.

Devido a seu baixo abatimento, seria ideal que em ensaios futuros a determinação da consistência do concreto permeável fosse realizada pelo consistômetro VeBe (DNIT 064/2004 – ME), que é um método utilizado para concretos que apresentam Slump zero.

É necessário ressaltar que foi aplicado 0,5 % de superplastificante, visto que o material por possuir baixo teor de finos e a utilização do CP II E 40 contribuem para o início de pega acelerado, e como não foi utilizado retardadores de pega, uma melhor trabalhabilidade do material contribui para uma execução acelerada na moldagem dos CP's.

4.3 ENSAIOS NO ESTADO ENDURECIDO DO CONCRETO

Foram realizados os ensaios no estado endurecido do concreto para os traços dosados utilizando os dois modelos , conforme os tópicos a seguir.

4.3.1 ENSAIO DE COMPRESSÃO AXIAL

Diante dos resultados apresentados, percebe-se que para todos os traços, os tres modelos apresentaram valores de resistência a compressão distintas, sendo que o concreto poroso com substituição de 5% de areia obteve maior superioridade do que traço referencia.

Os dados de resistência a compressão foram coletados aos 07, 21 e 28 dias após a data de moldagem do material, porém foi verificado que a superfície do material ficou de forma irregular devido à falta de argamassa, necessitando a execução do capeamento, utilizando uma pasta de cimento para regularizar a superfície, assim obtendo a perpendicularidade em relação ao eixo longitudinal e a planicidade dos CP's de concreto permeável conforme apresentado na figura 27.

Figura 32- Capeamento dos CP's



Fonte: Autor, 2020.

Todos os traços foram submetidos aos ensaios de compressão no conjunto de prensas EMIC PC-200, do laboratório de Materiais e Estruturas do CEULP/ULBRA. Os dados de resistência à compressão, estão exemplificados na tabela 16.

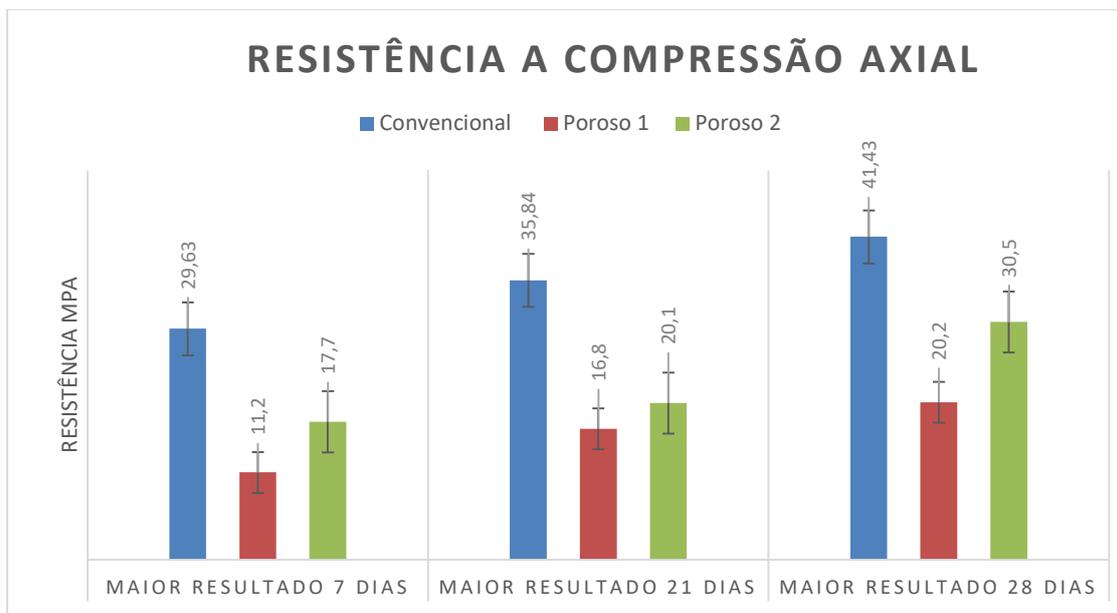
Tabela 15 – Resultados dos ensaios a compressão axial.

Traços	Resistencia a compressão axial (MPa)								
	7 Dias		Maior resultado 7 Dias	21 Dias		Maior resultado 21 Dias	28 Dias		Maior resultado 28 Dias
	CP 1	CP 2		CP 1	CP 2		CP 1	CP 2	
Convencional	28,1	29,63	29,63	35,84	35,61	35,84	41,43	40,54	41,43
Poroso 1	11,2	10	11,2	14	16,8	16,8	19,5	20,2	20,2
Poroso 2	17,7	17,2	17,7	20,1	18,3	20,1	28,1	30,5	30,5

Fonte: Autor, 2020.

Os resultados de resistência à compressão estão apresentados na Tabela 15. Eles encontram-se em que a resistência à compressão de concretos permeáveis varia entre 10,0 MPa e 41,43 MPa. Esta diferença entre o concreto convencional e poroso de resistência está atribuído ao elevado índice de vazios característico das misturas em estudo, o que caracteriza o material como de baixa resistência, porém nesse estudo podemos chegar a valores acima de 20 Mpa apesar de altos índices de vazios.

Gráfico 3 - Comparação dos ensaios a compressão axial.



Fonte: Autor, 2020.

Foi observado que ambos os traços apresentaram resistência superior a 20 Mpa, como recomendado na (ABNT NBR 16416, 2015), com a utilização apenas de aditivo superplastificante, que melhora sua trabalhabilidade assim possibilitando reduzir o fator água cimento, que implica diretamente na resistência do material.

As principais diferenças entre o concreto convencional e o concreto poroso estão descritas na tabela 1. O concreto é convencional por utilizar a mistura padrão de água, cimento, areia e brita, com ou sem aditivos, já o concreto poroso é feito para permitir a passagem de água e por isso apresenta resistência moderada (Monteiro,2010), portanto no presente estudo verificou que concreto poroso pode sim ter resistência elevada, como foi apresentado no grafico 5, um diferença de 10,93 Mpa com 28 dias com o convencional, essa diferença aos 28 dias provavelmente devido ao alto índice de vazios provocado pela forma de adensamento utilizada, compactidade da areia.

Com 07 dias de cura observou-se que a diferença na resistência a compressão ficou em 6,5 Mpa, com o PR 2 obtendo uma resistência superior ao PR 1 exatamente como previsto. Com 28 dias a diferença de resistência mecânica à compressão ficou em 10,3 Mpa, com o PR 2 novamente obtendo resistência superior ao PR 1. De acordo com a NBR 16416: Pavimentos permeáveis de concreto de 2015, os valores para pavimentos de concreto permeável que irão receber veículos leves devem ser maiores que 20 MPa. Os resultados obtidos foram com a utilização da brita 0 e areia média, com todos os valores atendendo acima do especificado por norma.

4.3.2 TIPO DE RUPTURA

A ruptura de ambos os traços utilizados foi a ruptura cisalhada lateral, esta ruptura é a segunda mais confiável, acontece sucessivamente em planos oblíquos em relação a direção da força cortante, rompendo apenas a pasta de cimento e água.

O ensaio com resultado no qual o tipo de ruptura seja cisalhado lateralmente, pode ser considerado normal e aceitável. Na figura 32 é demonstrado o tipo de ruptura do CP.

Figura 33- CP's com ruptura cisalhada lateral



Fonte: Autor, 2020

A utilização de agregado miúdo substituindo em 5% do agregado graúdo, obteve-se um ganho de 10,3 Mpa de resistência a compressão axial aos 28 dias, afirmando que com o aumento do teor de finos, e a redução do índice de vazios, o concreto obteve um ganho considerável.

Com esses dados é possível validar que a substituição de agregado miúdo por agregado graúdo resultou em ganho na resistência do concreto permeável, visto que aos 28 dias o concreto já deve apresentar cerca de 20% de sua resistência final.

4.3.3 ENSAIO DE RESISTÊNCIA A TRAÇÃO NA FLEXÃO

Todos os traços foram submetidos aos ensaios de tração na flexão no conjunto de prensas EMIC PC-200, do laboratório de Materiais e Estruturas do CEULP/ULBRA.

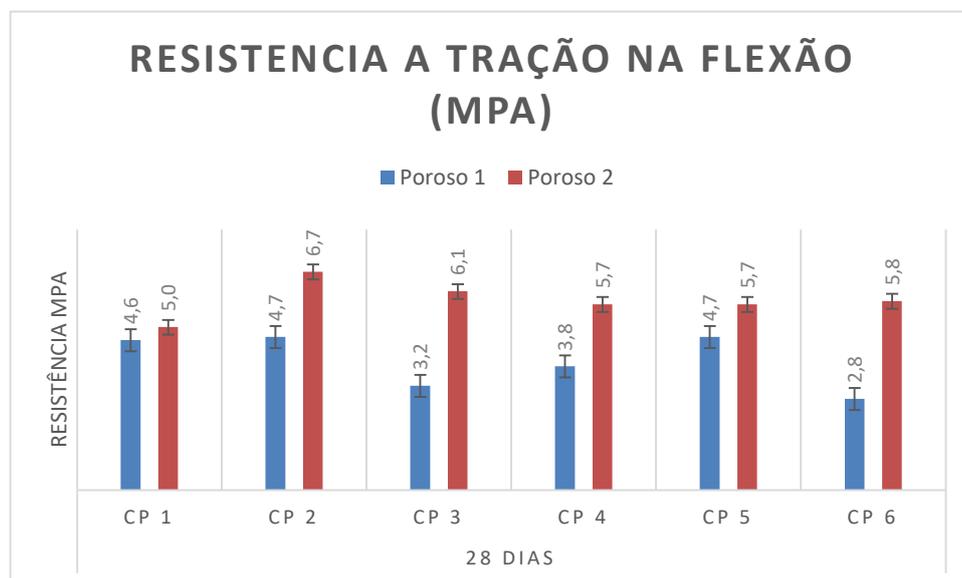
Os dados de resistência à compressão, estão exemplificados na tabela 17

Tabela 17 – Resultados dos ensaios tração na flexão.

Traços	Resistencia a tração na flexão (Mpa)					
	28 Dias					
	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	CP 5	CP 6
Poroso 1	4,6	4,7	3,2	3,8	4,7	2,8
Poroso 2	5,0	6,7	6,1	5,7	5,7	5,8

Fonte: Autor, 2020

Gráfico 4 - Resultados dos ensaios a tração na flexão



Fonte: Autor, 2020

Observa-se que os resultados de resistência à tração na flexão obtidos variam de 2,8 a 6,7 Mpa, provavelmente essa diferença seja superfície do material ficou de forma irregular devido à falta de argamassa e tracionou na parte mais fragil do corpo de porva , o adesamento das misturas podem ter tido variação significativa gerando assim essa diferença nas misturas. Apesar da mistura do concreto poroso (I) ter apresentado valor médio de resistência mais baixo, os

valores para as duas misturas estão dentro do exigidos pela NBR 16416,2015.

Em projetos rodoviários no Brasil, é comum a utilização de resistências à tração na flexão das placas de concreto variando entre 4,5 MPa e 5,0 MPa (para aeroportos, normalmente se utilizam resistências variando de 4,0 a 5,0 MPa). Dessa maneira, as baixas resistências dos concretos permeáveis aqui estudados quando comparadas às resistências de concretos convencionais (aproximadamente 50% inferiores), possivelmente promoverão a necessidade de implantação de revestimentos com espessuras impraticáveis, o que torna difícil a sua utilização para níveis de tráfego mais elevados.

Para o uso de o concreto permeavel sao indicadas aplicar: Áreas industriais; Galpões; Pátios; Ruas com tráfego leve; Condomínios e Conjuntos Habitacionais; Praças; Calçadas; Estacionamentos.

Para execução do pavimento de concreto permeavel, sao indicados seguir 8 passos conforme esta nas figuras abaixo: E por ultimo o assentamento dos blocos de concreto e rejunte dos blocos com pedriscos.

Figura 34 – Passo a passo para execução do pavimento de concreto permeavel



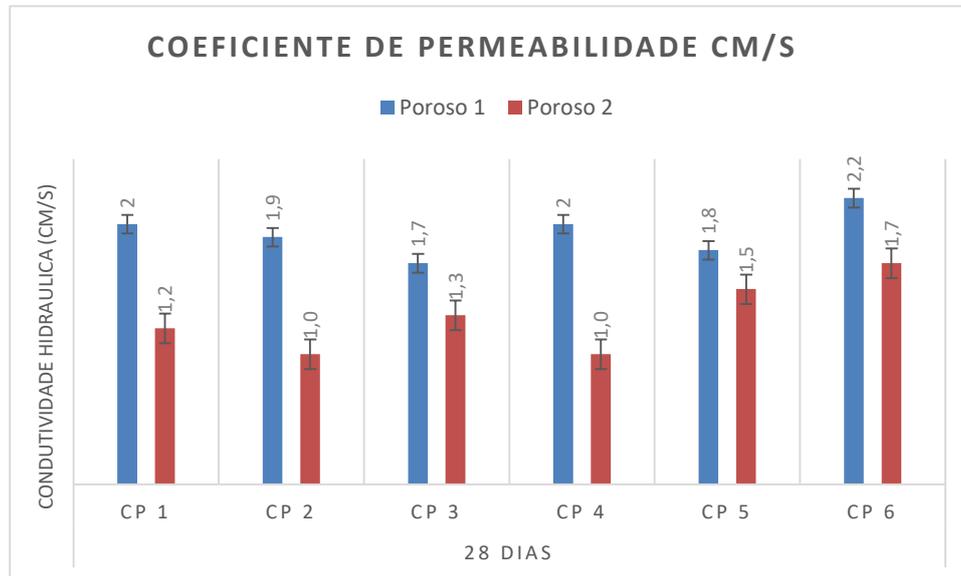
Fonte: ABCP, 2004

4.4 ENSAIOS DE PERMEABILIDADE DO CONCRETO

O pavimento recém construído deve apresentar coeficiente de permeabilidade k maior que 10^{-3} m/s. Analisando os dados, é possível ver que a substituição do agregado graúdo por agregado miúdo ocasionou em uma redução em sua capacidade como condutor hidráulico.

Ambos os traços de concreto poroso atenderam a recomendação estipulada em norma na questão permeabilidade, os dados estão explicitados nos gráfico 5.

Gráfico 5 - Resultados dos ensaios coeficiente de permeabilidade.



Fonte: Autor, 2020

O gráfico 5 apresenta o coeficiente de permeabilidade entre os traços estudados, assim identificando que a substituição de 5% de agregado graúdo por agregado miúdo impactou na sua característica de condutor hidráulico, todavia, são dois os fatores que podem ter influenciado nessa redução: adensamento mecânico e adição de areia. Para uma melhor comparação na influência dos dois fatores, seria ideal que uma nova mistura fosse realizada com uma compactação manual e vibração de 5 segundos, ou fazer o adensamento de duas camadas 12 golpes cada. Porém, todos os resultados foram maiores do que o valor mínimo determinado em norma, assim todos os traços passaram no teste, podendo ser utilizados para pavimentos, como blocos intertravados ou placas de concreto, para tráfego de veículos leves e pedestres.

Vale ressaltar que a avaliação prévia em laboratório serve apenas para aprovação preliminar do material utilizado simulando suas condições permeabilidade, a validação do ensaio só é realizada no final com o pavimento executado em campo, assim com todos os parâmetros reais sendo analisados.

5 CONCLUSÃO

Analisando os resultados, tendo em vista que o objetivo do trabalho foi caracterizar e compor um traço de concreto permeável e convencional, verificou-se que, quanto à resistência mecânica e à permeabilidade, o concreto superou os valores mínimos exigidos em norma. Porém, todo pavimento quando for executado deve seguir as normas vigentes, para que assim continue tendo sua função de resistir aos esforços nele solicitados e ainda permitindo a infiltração de água.

Como principais conclusões da pesquisa, destaca-se que foi verificado que o acréscimo de cimento, como era de se esperar, resulta em ganhos de resistência, porém, não é viável economicamente. Ainda demonstrou-se que, embora não seja usual na bibliografia consultada, pode ser adicionado uma quantidade de areia sem reduzir a permeabilidade do concreto abaixo do especificado por norma e tendo-se ganhos de resistência. Por fim, também foi concluído que o concreto permeável pode ser compactado de outras formas que as aplicadas atualmente, apresentando, assim, ganhos importantes de resistência, mas sem prejudicar a sua permeabilidade.

O traço que superou os parâmetros mínimos de resistência mecânica foi o traço poroso 2, apresentando valores de resistência à compressão simples de 30,5 MPa aos 28 dias. A NBR 16416:2015, determina que para uso em locais de tráfego de pedestre a resistência mínima à tração na flexão seja de 2,0 MPa, sendo que este traço apresentou média de 5,8 MPa, podendo assim ser usado para essa finalidade. O concreto poroso sem aditivo apresenta resistência a compressão de 7 a 14 MPa para concretos com finos (AZAÑEDO, HELARD e MUÑOZ, 2007) e sem finos de 12 a 19 MPa (LIAN e ZHUGE, 2010). Neste estudo obteve-se resistência a compressão de 9,4 MPa para o traço 1 e de 10,7 MPa para o traço 2. Esses valores representam resistências aceitáveis considerando que o concreto não possui nenhum tipo de adição química ou mineral. Vale ressaltar que as adições podem aumentar os valores de resistência a compressão de 14 MPa para 20MPa (AZAÑEDO, HELARD e MUÑOZ, 2007), em casos com adições de tiras de polietileno, e de 19 MPa para 46 MPa em casos com adições de areia, sílica e superplastificante (LIAN e ZHUGE, 2010).

Em relação ao coeficiente de permeabilidade, todos os traços estudados apresentaram valores bem superiores aos parâmetros mínimos determinados em norma. Todos os de concreto permeável apresentaram valores coeficiente de permeabilidade acima de 10^{-3} exigidos por norma.

Em vista dos tangíveis benefícios econômicos e ambientais advindos do uso de estruturas de pavimento revestidos com concreto permeável, torna-se indispensável a

continuidade de estudos que possam analisar com maior exatidão quais são os fatores que influenciam no comportamento deste material. Nesse trabalho foram estudados somente aspectos de resistência mecânica e a condutividade hidráulica de amostras moldadas em laboratório. Sendo assim, seguem algumas sugestões para temas futuros para continuação deste projeto.

6 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Com os parâmetros mínimos atingidos, a seguir apresentam-se sugestões para trabalhos futuros:

- Comportamento de misturas de concreto permeável quanto ao desgaste e abrasão;
- Definição de um procedimento racional de dosagem de concretos permeáveis, tomando por base o índice de vazios;
- Implantação de pista experimental para estudo conjunto das propriedades mecânicas e hidráulicas do material quando submetido a carregamentos reais;
- Busca de critérios de projeto empírico mecanicistas para o dimensionamento dessas estruturas, considerando outros modelos constitutivos para análise mais realista do material.
- Usar compactação mecânica em um traço de concreto sem adição de areia para obter uma comparação real entre os resultados obtidos nesse trabalho;
- Analisar a influência do uso de agregados reciclados na composição;
- Alterar o fator água/cimento em outras misturas e analisar sua influência;
- Analisar a influência de sílica ativa na mistura, assim como outros aditivos;
- Verificar a influência da permeabilidade do solo para validação do sistema como amenizador para o sistema de drenagem convencional;
- Dimensionar um colchão drenante que atenda o sistema;
- Estudo sobre a manutenção do pavimento permeável

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7225: **Materiais de pedra agregados naturais**. Rio de Janeiro, 1993. 04 p.

ABNT NBR 16416/2015 – **Pavimentos permeáveis de concreto** – Requisitos e Procedimentos

ABNT NBR 5738/1994 – **Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos ou prismáticos de concreto**. 09 p.

ABNT NBR 5739/2018 – **Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**

ABNT NBR 7217/2003 – **Agregados - Determinação da composição granulométrica**. 03 p.

ABNT NBR 7222/2010 – Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. **07 p.**

ABNT NBR 9938/2011 – **Agregado graúdo – Determinação do teor de umidade total – Método de ensaio**. 07 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 8522: **Concreto – Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão**. Rio de Janeiro, 2008.

ABNT NBR NM 23/2001 – **Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica**. 11 p.

ABNT NBR NM 45/2006 – **Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. 18 p.

ABNT NBR NM 53/2009 – Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica, massa específica aparente e absorção de água. **14 p.**

ACIOLI, L.A. **Estudo experimental de pavimentos permeáveis para o controle do escoamento superficial na fonte**. Dissertação (Mestrado recursos hídricos e saneamento ambiental), UFRGS, Porto Alegre, 2005. 145p.

ARAÚJO, P.R.; TUCCI, C.E.M.; GOLDENFUN, J.A. Avaliação da Eficiência dos pavimentos permeáveis na redução de escoamento superficial. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.5, n.3,

p.21-29, 2000. Disponível em: <http://www.rhama.net/%5C/download/artigos/artigo10.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2016.

Associação das Rodovias do Japão, 1996. Projeto Diretriz da Tecnologia da Pavimentação Drenante, 111p.

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.

BEAN, E.Z.; HUNT, W.F.; BIDELESPACH, D.A. Field Survey of Pavement Surface Infiltration Rates. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v.133, n.3, 2007. Disponível em: . Acesso em: 20 nov. 2016.

California Stormwater Quality Association (CASQA) . Pervious Pavements SD-20, California Stormwater BMP Handbook. 2003. 10p. Disponível em: http://nacto.org/docs/usdg/stormwater_pervious_pavements_casqa.pdf. Acesso em: 19 nov. 2016.

BALBO, José Tadeu; **Pavimentos de concreto.** São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

BATEZINI, Rafael. Estudo preliminar de concretos permeáveis como revestimento de pavimentos para áreas de veículos leves. 2013. 133 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

BERNUCCI, L. B. et al. **Pavimentação Asfáltica: Formação básica para engenheiros.** Rio de Janeiro: Petrobrás: Abeda, 2008.

BOTTEON, Leticia Machado. Desenvolvimento e caracterização de concreto permeável para utilização em blocos intertravados para estacionamentos. 2017. 92 f. Projeto Final (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2017.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. **Coordenação geral de estudos e pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Manual de pavimentação.** 3 ed. – Rio de Janeiro, 2006. 274 p.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação geral de estudos e pesquisa. Instituto de Pesquisa Rodoviárias. **Manual de pavimentos rígidos.** 2 ed. – Rio de Janeiro, 2005. 234 p.

BURAK, Robert J. **Construction details and guide specifications for interlocking concrete pavement.** 2002. Interlocking Concrete Pavement Institute. Montreal, Canadá, 2002.

CASTRO, Andréa Souza. **Uso de pavimentos permeáveis e coberturas verdes no controle qualitativo do escoamento superficial urbano**. 2011. 161 p. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. Disponível em: < <http://hdl.handle.net/10183/55975>>. Acesso em: 01 Abr. 2018.

COLORADO READY MIXED CONCRETE ASSOCIATION. **Specifier's guide for pervious concrete pavement design**, v. 1.2, Centennial [200-].

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM. ET – DE P00/028: **Concreto asfáltico** poroso com ligante modificado por polímero – camada porosa de atrito. **São Paulo, 2006**.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM. RT – 03.25: **Avaliação da macrto textura de pavimentos viários através do ensaio de mancha de areia**. Belo Horizonte, 2005.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. ES 386: **Pavimentação – pré-misturado a quente com asfalto polímero – camada porosa de atrito**. Rio de Janeiro, 1999.

HÖLTZ, Fabiano da Costa. **Uso de concreto permeável na drenagem urbana: análise da viabilidade técnica e do impacto ambiental**. 2011. 138 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

INTERLOCKING CONCRETE PAVEMENT INSTITUTE. **Construction of interlocking concrete pavements**. Tech Spec, nº 2, maio 2007.

PITTA, Márcio Rocha. **Dimensionamento dos pavimentos rodoviários de concreto**. 10 ed. **São Paulo, ABCP**, 1997. 44 p.

RODRIGUES, Públio P. F.; Pitta, Márcio R.; **Dimensionamento de pavimentos de concreto estruturalmente armados**. [S.l.:s.n.], 1997.

TENNIS, Paul D.; LEMING, Michael L.; AKERS, David J.; Pervious concrete pavements, EB.302.02, **Portland Cement Association, Skokie, Illinois, e National Ready Concrete Association**, Silve Spring, Maryland, USA, 2004, 36 p.

TUCCI, Carlos E. M.; **Água no meio urbano**. [S.l.:s.n.], 1997.

TUCCI, Carlos E. M.; BERTONI, Juan Carlos (Organizadores). **Inundações urbanas na América do Sul**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003.

VIRGILIIS, Afonso Luís Corrêa de; **Procedimentos de projeto e execução de pavimentos permeáveis visando retenção e amortecimento de picos de cheias**. 2009. 191 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

RHINO, **Pavimento ecológico, permeável e drenante**. Disponível em:

<http://www.rhinopisos.com.br/site/produtos/2/rhinograde_piso_grama_concregrama_pavimento_ecologico_permeavel_drenante_concreto>. Acesso em: 16 mar. 2018.

LAMB, Gisele Santoro. **Desenvolvimento e análise do desempenho de elementos de drenagem fabricados em concreto permeável**. 2014. 150 p. Dissertação de Mestrado (Engenharia Civil) - UFRGS, Porto Alegre, 2014

