



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U. nº 198, de 14/10/2016
AELBRA EDUCAÇÃO SUPERIOR - GRADUAÇÃO E PÓS-GRADUAÇÃO S.A.

Ronaldo Jhonatan Costa Ferreira

ESTUDO COMPARATIVO DA VIABILIDADE TÉCNICA ENTRE BLOCO
INTERTRAVADO PERMEÁVEL E CONVENCIONAL PARA PAVIMENTAÇÃO

Palmas – TO

2020

Ronaldo Jhonatan Costa Ferreira

ESTUDO COMPARATIVO DA VIABILIDADE TÉCNICA ENTRE BLOCO
INTERTRAVADO PERMEÁVEL E CONVENCIONAL PARA PAVIMENTAÇÃO

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. M.e Fernando Moreno Suarte Júnior.

Palmas – TO

2020

Ronaldo Jhonatan Costa Ferreira

ESTUDO COMPARATIVO DA VIABILIDADE TÉCNICA ENTRE BLOCO
INTERTRAVADO PERMEÁVEL E CONVENCIONAL PARA PAVIMENTAÇÃO

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. M.e Fernando Moreno Suarte Júnior.

Aprovado em:

BANCA EXAMINADORA

Prof. M.e Fernando Moreno Suarte Júnior

Orientador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Prof. Dr. Fábio Henrique de Melo Ribeiro

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Palmas – TO

2020

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, por ter me concedido muita força e determinação para conseguir superar todos os obstáculos ao longo de toda a minha vida.

Agradeço aos meus pais Raimundo Igreja Ferreira e Elenil de Oliveira Costa, exemplos em minha vida, por toda a educação e humildade que me transmitiram. Sou eternamente agradecido pelo apoio incondicional e oportunidade que me deram, sem o qual não alcançaria meus êxitos.

A meu orientador professor Fernando Júnior, que mesmo dentro de grandes adversidades me acolheu e confiou em meu trabalho. Obrigado por toda a orientação, dedicação e empenho para o desenvolvimento do meu conhecimento científico.

Aos meus irmãos que mesmo longe me apoiaram e ajudaram durante toda minha caminhada, com incentivos e motivações, para que me tornasse uma pessoa cada vez melhor.

Aos meus avós Otaciano Igreja, Firma Ferreira e Eva Costa por sempre terem um carinho especial por mim e torcerem pelo meu bem.

A todos os meus amigos que estiveram comigo nos momentos bons e ruins de toda minha vida, e que torceram muito para que eu conseguisse concluir minha graduação.

Aos demais familiares que de alguma forma me incentivaram nessa longa caminhada.

Sou grato ao Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP/ULBRA, pelo apoio na concretização desta imensurável conquista.

Obrigado a todos vocês!

RESUMO

O concreto permeável é um material com elevada porosidade, é constituído da mistura de cimento, água, agregado graúdo e com ou nenhuma adição de agregado miúdo. É utilizado como revestimento para pavimentos permeáveis que facilita a infiltração total ou parcial do escoamento superficial, reduzindo inundações e picos de cheia. As principais características do concreto permeável são resistência mecânica, condutibilidade hidráulica e elevado índice de vazios, havendo necessidade de manter equilíbrio entre essas características, pois ao elevar sua resistência mecânica a condutibilidade hidráulica é comprometida, evitando a percolação de águas pluviais por possuir baixo índice de vazios. Nesse contexto, o objetivo desta pesquisa é desenvolver e caracterizar um traço de concreto permeável e convencional para atender as exigências mínimas determinadas em norma. Foi realizada a caracterização dos materiais para posteriormente definir a dosagem dos traços por meio do método de ACI (2006) *apud* Batezini (2013). Os ensaios realizados foram: resistência à compressão, índice de vazios e coeficiente de permeabilidade. Foi utilizado para realizar a compactação e moldagem dos CP's uma mesa vibratória com tempo de 10 segundos. A resistência à compressão obtida diminuiu à medida que o coeficiente de permeabilidade e índice de vazios aumentou. O traço que obteve a maior média de resistência à compressão foi o traço 5% subs. atingindo 21,45 MPa em peças retangulares. A menor média do coeficiente de permeabilidade foi o 1,1 cm/s permanecendo acima do mínimo exigido pela norma ABNT NBR 16416:2015, pertencendo ao traço 5% subs. O traço que atingiu a maior média do índice de vazios foi o traço referência com 0,23 onde manteve-se dentro da faixa que determina a ABNT NBR 9778:2009. Todos os valores de resistência à compressão foram superiores a 20 MPa valor mínimo que determina a norma. Diante dos resultados apresentados, conclui-se que o traço 5% subs. é o mais indicado para o uso de revestimento em pavimentos permeáveis para tráfego de veículos leves e pedestres, pois apresenta maior resistência mecânica e o valor do coeficiente de permeabilidade permanece acima do mínimo definido pela norma.

Palavras-chave: concreto permeável; coeficiente de permeabilidade; índice de vazios; resistência; ensaios

ABSTRACT

Permeable concrete is a material with high porosity, it consists of a mixture of cement, water, coarse aggregate and with or without the addition of fine aggregate. It is used as a covering for permeable pavements that facilitates the total or partial infiltration of runoff, reducing floods and flood peaks. The main characteristics of permeable concrete are mechanical resistance, hydraulic conductivity and a high void index, with the need to maintain a balance between these characteristics, since by increasing its mechanical resistance the hydraulic conductivity is compromised, avoiding the percolation of rainwater due to its low voids index. In this context, the objective of this research is to develop and characterize a permeable and conventional concrete mix to meet the minimum requirements established in the standard. The characterization of the materials was carried out to later define the dosage of the traces using the ACI method (2006) apud Batezini (2013). The tests performed were: compressive strength, void index and permeability coefficient. A vibrating table with a time of 10 seconds was used to compact and mold the CP's. The compressive strength obtained decreased as the permeability coefficient and voids index increased. The feature that obtained the highest average compressive strength was the feature 5% subs. reaching 21.45 MPa in rectangular parts. The lowest average of the permeability coefficient was 1.1 cm / s, remaining above the minimum required by the ABNT NBR 16416: 2015 standard, belonging to the 5% subs. The feature that reached the highest mean of the void index was the reference feature with 0.23 where it remained within the range that determines ABNT NBR 9778: 2009. All compressive strength values were greater than 20 MPa minimum value that determines the standard. In view of the results presented, it is concluded that the 5% subs. it is the most suitable for the use of covering on permeable pavements for traffic of light and pedestrian vehicles, as it presents greater mechanical resistance and the value of the permeability coefficient remains above the minimum defined by the standard.

Keywords: pervious concrete; permeability coeficiente; voids index; resistance; essay

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Seção transversal do pavimento permeável	19
Figura 2: Alguns modelos de configuração para o assentamento	21
Figura 3: Formatos dos blocos intertravados de concreto	22
Figura 4: Aplicação de pavimento de concreto permeável em uma rodovia.	24
Figura 5: Concreto permeável em peças pré-moldadas em um estacionamento.	24
Figura 6: Exemplos de curvas granulométricas	29
Figura 7: Tipos de vazios em mistura de concreto permeável	32
Figura 8: Alta permeabilidade e índice de vazios do concreto poroso.	33
Figura 9: Laboratório onde foi realizada esta pesquisa.	36
Figura 10: Metodologia do trabalho	37
Figura 11: Processo de peneiramento do agregado graúdo	38
Figura 12: Determinação da massa unitária do agregado graúdo	39
Figura 13: Processo para determinação da massa específica do agregado graúdo	39
Figura 14: Processo de peneiramento do agregado miúdo	40
Figura 15: Determinação da massa unitária do agregado miúdo	41
Figura 16: Processo para determinação da massa específica do agregado miúdo	41
Figura 17: Aspecto brilhoso do concreto e análise tátil visual	44
Figura 18: Moldagem do concreto convencional	45
Figura 19: Moldagem do concreto permeável	46
Figura 20: Processo de verificação do abatimento do concreto	47
Figura 21: Ensaio de resistência à compressão axial em CP cilíndrico	48
Figura 22: Ensaio de resistência à compressão axial em peças retangulares	49
Figura 23: Aparelhagem para medição do peso seco e do peso submerso.	50
Figura 24: Permeâmetro de carga variável	51
Figura 25: Ensaio executado para determinação do coeficiente de permeabilidade	52
Figura 26: Execução do ensaio de abatimento para os três tipos de traço em estudo	58

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Resistência mecânica e espessura mínima do revestimento permeável.....	25
Quadro 2: Principais vantagens e desvantagens do pavimento permeável.....	26
Quadro 3: Síntese dos dados referentes aos métodos de dosagem encontrados na literatura	27
Quadro 4: Propriedades mecânicas para diferentes dosagens de concreto permeável.....	28
Quadro 5: Consumos e proporções típicas utilizadas nas misturas de concreto permeável	28
Quadro 6: Determinação do coeficiente de permeabilidade	51
Quadro 7: Diâmetro máximo característico e módulo de finura do agregado graúdo	53
Quadro 8: Diâmetro máximo característico e módulo de finura do agregado miúdo	54
Quadro 9: Traço unitário para os três tipos de dosagem em estudo	58

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Curvas granulométricas típicas de misturas de concreto permeável.	30
Gráfico 2: Curva granulométrica da brita 0.....	54
Gráfico 3: Curva granulométrica da areia média.....	55
Gráfico 4: Resultados médios do ensaio de resistência à compressão.....	61
Gráfico 5: Resultados médios do ensaio de resistência à compressão.....	63
Gráfico 6: Resultado médio obtidos para o índice de vazios.....	64
Gráfico 7: Resultados médios obtidos para os dois tipos de ensaios de coeficiente de permeabilidade.....	65

LISTA DE ABREVIACOES E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACI	American Concrete Institute
CETESB	Campanha Ambiental do Estado de São Paulo
CEULP	Centro Universitário Luterano de Palmas
CP	Corpo de Prova
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
K	Coeficiente de permeabilidade
NBR	Norma Brasileira de Referência
ULBRA	Universidade Luterana do Brasil
MPA	Megapascal
NM	Normalização no Mercosul
UNICAMP	Universidade de Campinas
URA	Umidade Relativa do Ar
V	ndice de vazios

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1.	JUSTIFICATIVA.....	14
1.2.	OBJETIVOS.....	15
1.2.1.	Objetivo geral	15
1.2.2.	Objetivo específico	15
2	REFERENCIAL TÉORICO	16
2.1.	DRENAGEM	16
2.1.1.	Drenagem urbana convencional	16
2.1.2.	Drenagem urbana sustentável	16
2.2.	ESCOAMENTO SUPERFICIAL	17
2.3.	PAVIMENTOS PERMEÁVEIS	18
2.4.	CONCRETO PERMEÁVEL X CONVENCIONAL.....	19
2.5.	BLOCO INTERTRAVADO DE CONCRETO CONVENCIONAL – DEFINIÇÃO E CARACTERÍSTICA	20
2.6.	MODELO DE INTERTRAVAMENTO DOS BLOCOS.....	21
2.7.	FORMATO DOS BLOCOS INTERTRAVADOS	21
2.8.	CONCRETO DRENANTE – DEFINIÇÃO E CARACTERÍSTICAS	22
2.9.	APLICAÇÕES	23
2.10.	VANTAGENS E DESVANTAGENS DO PAVIMENTO PERMEÁVEL.....	25
2.11.	DOSAGEM	26
2.12.	MATERIAIS	28
2.12.1.	Agregados	29
2.12.2.	Aglomerantes	30
2.12.3.	Aditivos	31
2.13.1.	Índice de vazios	31
2.13.2.	Permeabilidade	32
2.13.3.	Resistência mecânica	33
3	METODOLOGIA	35
3.1.	DESENHO DE ESTUDO	35
3.2.	LOCAL DA PESQUISA.....	35
3.3.	OBJETO DE ESTUDO	36
3.3.1.	Fluxograma	36

3.4.	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS.....	37
3.4.1.	Definição do agregado graúdo	37
3.4.1.1.	<i>Determinação da análise granulométrica</i>	<i>38</i>
3.4.1.2.	<i>Determinação da massa unitária.....</i>	<i>38</i>
3.4.1.3.	<i>Determinação da massa específica da brita</i>	<i>39</i>
3.4.2.	Definição do agregado miúdo.....	39
3.4.2.1.	<i>Determinação da granulometria.....</i>	<i>40</i>
3.4.2.2.	<i>Determinação da massa unitária.....</i>	<i>40</i>
3.4.2.3.	<i>Determinação da massa específica da areia.....</i>	<i>41</i>
3.4.3.	Aglomerante.....	41
3.4.3.1.	<i>Determinação da massa específica do Cimento Portland.....</i>	<i>42</i>
3.4.4.	Aditivo	42
3.5.	MÉTODO DE DOSAGEM.....	42
3.5.1.	Moldagem.....	43
3.6.	ENSAIOS NO ESTADO FRESCO DO CONCRETO	46
3.6.1.	Massa específica.....	46
3.6.2.	Slump test.....	46
3.7.	ENSAIOS NO ESTADO ENRIJECIDO DO CONCRETO	47
3.7.1.	Resistência à compressão axial	47
3.7.1.1.	<i>Ensaio de resistência à compressão em CP cilíndrico</i>	<i>47</i>
3.7.1.2.	<i>Ensaio de resistência à compressão em CP retangular</i>	<i>48</i>
3.7.2.	Índice de vazios.....	49
3.7.3.	Coefficiente de permeabilidade	50
3.7.3.1.	<i>Ensaio com permeâmetro de carga variável</i>	<i>50</i>
3.7.3.2.	<i>Ensaio de modo empírico</i>	<i>51</i>
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
4.1.	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS.....	53
4.1.1.	Análise granulométrica.....	53
4.1.2.	Massa específica e massa unitária	55
4.1.3.	Massa específica do cimento.....	56
4.2.	DOSAGEM	56
4.3.	ENSAIOS NO ESTADO FRESCO DO CONCRETO	58
4.4.	ENSAIOS NO ESTADO ENRIJECIDO DO CONCRETO	59
4.4.1.	Resistência à compressão.....	60

4.4.1.1.	<i>Ensaio de resistência à compressão em CP cilíndrico</i>	60
4.4.1.2.	<i>Ensaio de resistência à compressão em CP retangular</i>	62
4.4.2.	Índice de vazios	63
4.4.3.	Coefficiente de Permeabilidade	65
4.4.3.1.	<i>Ensaio com permeômetro de carga variável</i>	66
4.4.3.2.	<i>Ensaio de modo empírico</i>	67
5	CONCLUSÃO	69
5.1.	SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS	70
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o processo de urbanização nas grandes cidades intensificou-se progressivamente. Nesse ritmo, a falta de planejamento aliada à ocupação desordenada do solo resultou em altas taxas de impermeabilização comprometendo os sistemas de drenagem durante os picos de cheia (Tucci e Tozzi 1998).

Com o crescimento das áreas impermeáveis, principalmente através dos asfaltamentos de ruas/avenidas, estacionamentos, pátios internos, acarretam no aumento do volume de águas pluviais, tornando-se necessárias implementações de redes de drenagem pluvial para aliviar o escoamento superficial. Segundo Tucci e Tozzi (1998) o aumento do escoamento superficial e da vazão máxima, e, por conseguinte, aumento do número de enchentes, além da contaminação da qualidade das águas pluviais (Araújo, Tucci e Goldenfum, 2000).

O sistema de drenagem existente no país é alicerçado nos conceitos higienistas do século XX, que tem por objetivo o rápido escoamento das águas, utilizando-se, para isso, de obras hidráulicas. Esse tipo de prática tem se mostrado ineficiente, transferindo o problema da inundação urbana para a jusante, Moura (2005). Ao não ser corretamente drenada, a água pluvial traz sérias consequências ambientais e sociais, aumentando o risco de desabamentos, inundações, erosões e assoreamento das bacias de amortecimento de cheias, o que agrava ainda mais o problema tornando-o insustentável em longo prazo.

Nesse sentido, visando solucionar ou minimizar tais efeitos, além dos dispositivos convencionais como medidas estruturais na macrodrenagem existem também elementos que podem auxiliar no controle direto na fonte, destacando-se entre eles, os pavimentos permeáveis como medida compensatória na drenagem urbana (Tucci e Bertoni, 2003). Capazes de promover a infiltração das águas da chuva no pavimento, eles atuam como um retardador dos tempos de pico das cheias agindo diretamente sobre o hidrograma da bacia local (ASCE, 1992).

Um pavimento permeável pode ser descrito como uma estrutura que é capaz de permitir a passagem de ar e água por suas camadas, logo, é um equipamento urbano de infiltração que absorve água da superfície para dentro de um reservatório. Então a água absorvida, pode ser armazenada neste reservatório e posteriormente conduzida para um ponto de captação específico, ou simplesmente é absorvida pelo subsolo, dependendo da sua capacidade de infiltração. A base e sub-base dos pavimentos permeáveis, geralmente são constituídas de poucos finos, de tal maneira que este serve como recipiente, estocando a água nos vazios dessa camada (BATEZINI, 2013).

Segundo Curvo (2017) dentre os tipos de pavimentos permeáveis, está inserido o pavimento de concreto permeável, uma mistura que contém altas porosidades, logo, maior permeabilidade. A utilização de concreto permeável como camada de revestimento para pavimentos permeáveis em vias de pedestres, estacionamento e para tráfego de veículos leves, é destacado como uma dessas técnicas, pois ao mesmo tempo em que permite a percolação da água para o solo, colabora com a diminuição das superfícies impermeabilizadas na cidade. Desta forma, o concreto permeável é uma das alternativas que auxiliam na recuperação da capacidade de infiltração do solo (KAJIO *et al.*, 1998).

De acordo com a NBR 16416 (ABNT, 2015, p. 03), a definição de concreto permeável pode ser entendida como “[...] concreto com vazios interligados que permitem a percolação de água por ação da gravidade [...]”. Ainda de acordo com esta norma, os locais com pavimentos de concretos permeáveis devem permitir a percolação de 100% de água precipitada incidente sobre a área, e as áreas pavimentadas permeáveis devem ter toda a sua superfície considerada como 100% permeável.

Mariano (2014), afirma que é típico considerar que materiais que apresentem uma porosidade de 15% ou mais são materiais de alta porosidade. Ainda conforme o autor, a porosidade do concreto é a sua propriedade de apresentar poros ou vazios, que são causados pelos seguintes fatores: água da mistura, porosidade dos agregados, alterações na zona de contato entre a pasta e os agregados, fissuração e deficiências da produção do concreto. É neste contexto que se insere este trabalho, onde será comprovado a viabilidade técnica deste concreto de modo a reduzir o escoamento superficial.

1.1. JUSTIFICATIVA

A urbanização consome espaço natural, gerando um desequilíbrio do ciclo hidrológico e a substituição da vegetação natural, pelas áreas impermeáveis, que aumentam o volume e a velocidade do escoamento superficial. Em decorrência disto, ocorrem as inundações urbanas, que causam transtornos e prejuízos, geralmente para a população mais carente, devido ao fato de localizarem-se próximos às áreas de várzeas e leitos dos rios.

O dimensionamento de um pavimento consiste basicamente na adequada escolha dos materiais empregados, bem como na definição da espessura necessária de cada camada que o compõe. No concreto permeável, quantidades controladas de água e cimento formam um espesso revestimento em torno das partículas agregadas. Assim, criam-se muitos vazios interligados, que deixam a peça altamente permeável. Normalmente consegue-se um índice

de 15 a 25% de vazios e um escoamento de água da ordem de 200L/m²/min. Com relação a sua resistência à compressão o concreto permeável pode chegar até 28 MPa.

Portanto, se faz necessário a produção do bloco de concreto permeável que minimiza o escoamento superficial, devolvendo ao solo a sua capacidade de infiltração, em substituição as superfícies impermeáveis.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver e caracterizar um traço de concreto permeável e convencional para atender as exigências mínimas determinadas em norma.

1.2.2. Objetivo específico

- Produzir bloco intertravado permeável e convencional com dimensões de 20x10x8 para tráfego de veículos leves e pedestres;
- Determinação de ensaios físicos, mecânicos e hidráulicos para bloco intertravado permeável e convencional, sendo: resistência à compressão, índice de vazios (permeável); e coeficiente de permeabilidade (permeável);
- Comparar os traços estudados para verificar quais aspectos influenciam mais nas características avaliadas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. DRENAGEM

2.1.1. Drenagem urbana convencional

A drenagem convencional atua localmente, transferindo o problema do excesso de água para a jusante, desse modo, esse sistema de drenagem se torna insustentável à medida que as cidades se desenvolvem, pois com o aumento da demanda haverá a necessidade de implementação da rede com custos altos. Várias cidades ainda tem seu sistema de drenagem elaborado sem nenhum conceito técnico, o que facilita a sua aceitação de eficácia duvidosa, e a custos elevados (COLLISCHONN 2008).

No entendimento de Silveira (2002), muitos problemas ambientais foram agravados pelo fato de que tradicionalmente a drenagem urbana é exclusiva responsabilidade do município e geralmente há pouca preocupação sobre os efeitos destas intervenções à jusante. Pelo que foi exposto, verifica-se a necessidade de encontrar uma maneira de repensar a drenagem urbana, buscando um modelo mais atual, que se encaixe nas necessidades presentes. Isso não significa que o modelo de drenagem convencional, com suas obras hidráulicas não possa mais ser utilizado, ele pode continuar sendo utilizado, porém com mais racionalidade. Fazendo uma mescla, entre drenagem urbana convencional e drenagem urbana sustentável. No Brasil, os dispositivos de retenção de águas pluviais são conhecidos como bacias de retenção, bacias de amortecimento, ou mesmo pelo termo popular de “piscinões”.

2.1.2. Drenagem urbana sustentável

Na visão de Tucci (2003), os países ricos verificaram que os custos de canalização e condutos eram muito altos e abandonaram esse tipo de solução, enquanto países pobres adotam sistematicamente essas medidas, perdendo duas vezes: custos muito maiores e aumento dos prejuízos.

Outro ponto importante a ser observado é que a situação dos sistemas de drenagem pluvial é caótica, pois foram projetados no sistema antigo (higienista), apenas transferindo o problema para a jusante. Atualmente, observa-se que os sistemas já não comportam a demanda, Diaz e Antunes, (2010). Pelo que foi exposto, verifica-se a necessidade da utilização de drenagem sustentável, que tem como objetivo principal de "imitar" o ciclo hidrológico natural.

Esse novo modelo utiliza de técnicas inovadoras de engenharia como a construção de canais abertos com a utilização de vegetação, estacionamentos permeáveis e a armazenagem de águas de chuva para utilização em irrigação de jardins e praças, sendo necessário o controle da qualidade da água para esse fim. Para a correta gestão dos recursos hídricos se faz necessária à integração das políticas para o planejamento geral, que é a bacia hidrográfica.

Com esse molde, a drenagem urbana convencional é regida pelos seguintes princípios Parkinson *et al.*(2003):

- Novos desenvolvimentos não podem aumentar a vazão de pico das condições naturais;
- Planejar o conjunto da bacia para o controle do volume;
- Evitar a transferência de impactos à jusante.

Desse modo, o objetivo principal é não repassar ao sistema de drenagem o aumento da vazão gerada pela construção do novo empreendimento. Para isso, se faz necessário controle da drenagem na fonte (lote), através de valas de infiltração e trincheiras, pavimentos permeáveis, entre outros.

Convém notar que, conforme salientam Tucci (2002) e Silveira (2002) o grande empecilho de implantar o controle na fonte reside:

- Na existência de profissionais desatualizados;
- A carência tecnológica da engenharia civil para soluções modernas em drenagem urbana;
- Falta de capacidade técnica dos municípios para atuar de forma efetiva na fiscalização e controle;
- Excesso de produção de sedimentos e lixo;
- Falta de tratamento de esgoto e de um sistema eficiente de limpeza urbana.

2.2. ESCOAMENTO SUPERFICIAL

De acordo com Collischonn; Tassi (2008), em determinadas situações a água começa a escoar sobre a superfície, formando pequenos córregos temporários ou escoando em forma de lâmina em superfícies lisas é denominado escoamento superficial. De uma maneira simples pode-se ser definido como o escoamento rápido que ocorre em consequência direta das chuvas. Em geral, os escoamentos superficial e subterrâneo correspondem a maior parcela do volume de um hidrograma.

Ainda no que se refere, existem dois principais processos na formação do escoamento superficial:

a) Precipitação de intensidade superior à capacidade de infiltração ou processo Hortoniano, sendo mais importante em bacias urbanas onde o solo foi modificado pelo homem;

b) Precipitação sobre solos saturados, que são encontrados próximos à rede de drenagem, onde o nível do lençol é mais alto.

O escoamento superficial está diretamente relacionado às precipitações. É possível realizar análises quantitativas com o cruzamento de dados referentes aos dois eventos e, assim ter uma previsão de possíveis cheias em determinadas áreas, Garcez; Alvarez (1988).

A diferença entre o volume escoado e o precipitado é chamado de Coeficiente de Escoamento Superficial ou Coeficiente de Deflúvio. Este coeficiente oscila entre zero e 1, aumentando à medida que a bacia se torna urbanizada, sendo de grande importância na avaliação da capacidade de sistemas de drenagens. Em suma, o coeficiente engloba efeitos de infiltração, armazenamento por retenção, evaporação, retenção e interceptação, que interferem na magnitude de pico e na distribuição cronológica CETESB, (1980) *apud* Moura (2005).

Para se ter uma ideia desse coeficiente, Santos (2012), afirma que o coeficiente de escoamento superficial está nas grandes cidades brasileiras em torno de 85%, ou seja, 85% do volume de chuva escoam superficialmente, comprometendo o sistema de drenagem. Em uma floresta esse coeficiente é aproximadamente 20%, ou seja, 80% do volume da chuva é absorvido.

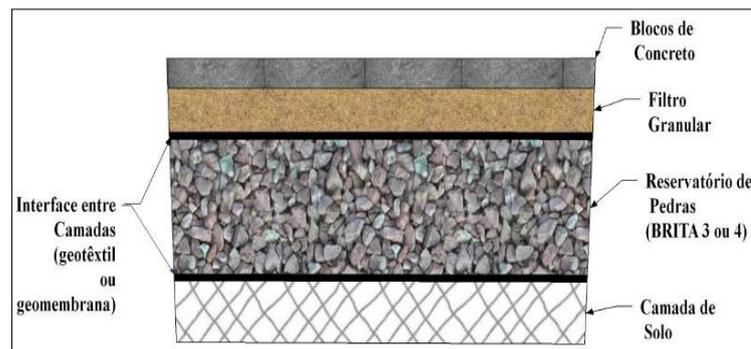
2.3. PAVIMENTOS PERMEÁVEIS

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

Pavimentos permeáveis incluem asfalto e concreto porosos, blocos vazados e uma variedade de outros materiais, que podem ser utilizados em grande parte das superfícies urbanas comunitárias, tais como calçadas, estacionamentos, praças, parques e áreas externas, como vias locais e pequenos acessos (FERGUSON, 1994).

A principal característica dos pavimentos de concreto poroso é permitir a infiltração da água através de sua superfície, para sua posterior infiltração no solo. Este tipo de pavimento tem sido bastante analisado na atualidade por ser uma alternativa viável tanto do ponto de vista técnico como econômico (AZAÑEDO, HELARD e MUÑOZ, 2007). A seção transversal do pavimento permeável pode ser vista na Figura 1.

Figura 1: Seção transversal do pavimento permeável



Fonte: Adaptado de Urbonas e Stahre (1993) *apud* Moura (2005, p. 20).

2.4. CONCRETO PERMEÁVEL X CONVENCIONAL

A principal diferença entre o concreto permeável e o convencional é o índice de vazios. Enquanto o tradicional é compacto e tem propriedades que o enrijecem ao longo do tempo, tornando-o mais resistente, o concreto permeável é granular, criando vazios em seu espaço.

O concreto convencional, por sua vez, é mais resistente que o permeável. Isso porque um maior volume de vazios não traz resistência ao concreto. Assim, quanto maior a resistência, menor a permeabilidade.

Como podemos ver, o concreto permeável é um material que tem propriedades e funcionalidades bastante específicas. Ele não substitui o concreto convencional em qualquer tipo de obra, pois cada um tem seus benefícios e utilidades. Saber suas vantagens e aplicabilidades é fundamental para melhor aproveitá-los. As principais diferenças entre o concreto convencional e o concreto poroso estão descritas na Tabela 1.

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)

2.5. BLOCO INTERTRAVADO DE CONCRETO CONVENCIONAL – DEFINIÇÃO E CARACTERÍSTICA

São blocos de concreto que também são conhecidos como Pavers ou Paviess. São blocos intertravados, pré-fabricados, maciços e que permitem pavimentar completamente uma superfície. O intertravamento é a capacidade que o material tem de resistir aos movimentos de deslocamento individual, seja vertical, horizontal, de rotação ou giração em relação às peças adjacentes (FIORITI, 2007). Os pavers estão conquistando espaço em todo o país, pois as empresas que trabalham nesse ramo argumentam as vantagens que o sistema oferece.

Os blocos se destacam por suas vantagens, dentre elas estão à facilidade no assentamento, a liberação da pavimentação para o tráfego rapidamente, a acessibilidade às redes subterrâneas e a praticidade na manutenção.

De acordo com Fioriti (2007), se for seguido alguns requisitos básicos, como uma sub-base bem executada, blocos de qualidade e assentamento correto, um pavimento de pavers pode chegar a 25 anos de vida útil.

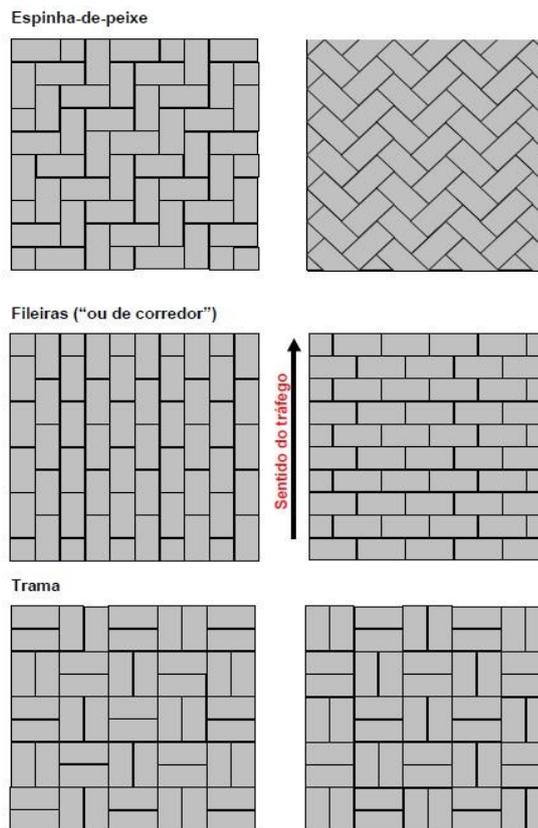
Este material se destaca pela sua eficiência ambiental, pois existe a possibilidade de usar resíduos em sua composição e o bloco é semipermeável, contribuindo na drenagem urbana. Atualmente é possível encontrar uma grande diversidade de modelos, tamanhos e cores de blocos.

2.6. MODELO DE INTERTRAVAMENTO DOS BLOCOS

Hallack (1998 *apud* MÜLLER, 2005) relata que o modelo de assentamento escolhido vai influenciar tanto na estética do pavimento como no seu desempenho, no entanto não existe um consenso entre pesquisadores sobre a interferência do tipo de assentamento em sua durabilidade. A Figura 2 apresenta alguns tipos de assentamento de blocos intertravados.

O assentamento de blocos intertravado conhecido como “espinha-de-peixe”, possui melhores níveis de desempenho, apresentando menores valores de deformação permanente associados ao tráfego, já os pavimentos tipo fileira apresenta maiores deformações permanentes, principalmente quando o assentamento for paralelo ao sentido do tráfego (SHACKEL,1990 *apud* MÜLLER, 2005).

Figura 2: Alguns modelos de configuração para o assentamento



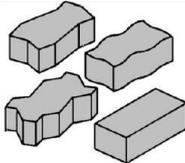
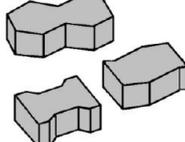
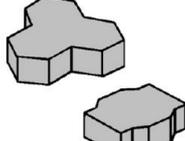
Fonte: Hallack (1998 *apud* MÜLLER, 2005).

2.7. FORMATO DOS BLOCOS INTERTRAVADOS

Os blocos intertravados podem ser fabricados com qualquer formato. Alguns modelos se destacam por serem mais utilizados. Os pesquisadores não entraram num

consenso sobre qual o melhor formato dos blocos intertravados. O único requisito recomendado com relação ao formato dos blocos é que ele seja capaz de permitir o assentamento em combinação bidirecional. Na Figura 3, apresentam-se alguns dos formatos possíveis para os blocos intertravados de concreto.

Figura 3: Formatos dos blocos intertravados de concreto

	<p>A. Peças de concreto segmentadas ou retangulares, com relação comprimento / largura igual a dois (usualmente 200 mm de comprimento por 100 mm de largura), que entrelaçam entre si nos quatro lados, capazes de serem assentadas em fileiras ou em “espinha-de-peixe” e podem ser carregados facilmente com apenas uma mão.</p>
	<p>B. Peças de concreto com tamanhos e proporções similares aos da categoria A, mas que entrelaçam entre si somente em dois lados, e que só podem ser assentadas em fileiras. Podem ser carregados com apenas uma mão e genericamente têm o formato em “I”.</p>
	<p>C. Peças de concreto com tamanhos maiores do que as anteriores, que pelo seu peso e tamanho não podem ser carregados com apenas uma mão, com formatos geométricos característicos (trapézios, hexágonos, triédros etc.), assentadas seguindo-se sempre um mesmo padrão, que nem sempre conforma fileiras facilmente identificáveis.</p>

Fonte: Hallack (1998 *apud* MÜLLER, 2005).

2.8. CONCRETO DRENANTE – DEFINIÇÃO E CARACTERÍSTICAS

Mazonetto (2011) denomina que o concreto permeável ou poroso também conhecido como concreto drenante é um tipo de concreto com alto índice de vazios interligados, sendo uma mistura de aglomerante, agregado graúdo e água preparada com pouco ou nenhum agregado miúdo, o que permite a passagem desobstruída de grande volume de água.

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 25% do volume total. A quantidade de cada material é variável de acordo com a resistência pretendida e com a finalidade de utilização.

Quantidades controladas do fator água/cimento resultam em espesso revestimento em torno das partículas agregadas criando-se vazios interligados que conferem permeabilidade.

O volume de vazios reduz a resistência em relação ao concreto comum. Para se obter maiores resistências é possível acrescentar agregado miúdo que reduz o volume de vazios e proporciona menor permeabilidade ao concreto.

Com o aumento da porosidade do concreto diminui a sua resistência. Dessa forma, há limitações no uso do concreto permeável, sendo este indicado para locais onde a resistência é menos relevante destaca (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Segundo Dellate e Clearly (2006) (*apud* BATEZINI, 2013) É necessário grande controle sobre a quantidade de argamassa na mistura para que os vazios do concreto se mantenham interconectados permitindo a passagem da água. A limitação do agregado miúdo no traço do concreto cria poros interconectados que possibilitam a infiltração de água em sua estrutura. Existem três tipos de concreto permeável que podem ser caracterizados pelo nível de resistência e drenabilidade:

a) O **concreto permeável hidráulico** é um material com baixa resistência mecânica e elevada permeabilidade, utilizado para aplicações não estruturais.

b) O **concreto permeável convencional** possui resistência e permeabilidade intermediária, e pode ser utilizado para estacionamentos e calçadas, sendo representado por uma mistura sem adição de agregado miúdo.

c) O **concreto permeável estrutural** possui aditivos e/ou adições minerais na mistura. Este tipo pode ser usado em estacionamentos, ruas e avenidas que possuam tráfego de veículos pesados.

2.9. APLICAÇÕES

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 mostra a Figura 4.

Figura 4: Aplicação de pavimento de concreto permeável em uma rodovia.



Fonte: Dom Total (2013)

Pode ainda ser usado em parques, estacionamentos, ciclovias e até mesmo em zona de transição em barragens, junto aos maciços rochosos e atualmente vem sendo utilizado com maior frequência em áreas externas de prédios, indústrias, residências, trilhas e áreas de circulação de pedestres (BEECHAM *et. al.*, 2010). A Figura 5 mostra um estacionamento com o uso de blocos de concreto permeável.

Figura 5: Concreto permeável em peças pré-moldadas em um estacionamento.



Fonte: Rhino pisos (2011)

De acordo com a Norma Brasileira (ABNT NBR 16416:2015), as peças de concreto permeável para pavimentação necessitam oferecer resistência à compressão igual, ou superior a 20 Mpa e espessura mínima de 8 cm para o tráfego leve, de acordo com o Quadro 1.

Quadro 1: 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)

2.10. VANTAGENS E DESVANTAGENS DO PAVIMENTO PERMEÁVEL

Como todo material ou método, há vantagens e desvantagens, que genericamente são agrupadas nos aspectos econômicos, técnicos e ambientais.

Alguns dos benefícios mais destacados dos pavimentos permeáveis são a redução considerável da vazão e do volume de escoamento de superfícies pavimentadas, a possibilidade de serem utilizados em superfícies já urbanizadas e a diminuição da dimensão do sistema de drenagem pluvial. Também tem sido documentado que estes dispositivos melhoram a qualidade do solo e da água subterrânea.

Apesar das inúmeras vantagens que o concreto permeável apresenta, algumas desvantagens devem ser relacionadas, sendo a colmatção dos poros ao longo do tempo reduzindo então suas capacidades drenantes um dos principais problemas encontrados. Para que seja mantida sua perfeita funcionalidade, deve ser feita manutenção preventiva com limpeza periódica. O Quadro 2 mostra as principais vantagens e desvantagens do concreto permeável.

Quadro 2: Principais vantagens e desvantagens do pavimento permeável

Vantagens	Desvantagens
Aumento da infiltração e redução do escoamento superficial	Pouca perícia dos profissionais e contratantes com relação à tecnologia
Reduz os impactos hidrológicos da urbanização	Envolve um risco de falha considerável
Construção simples e rápida	Há riscos de contaminação do aquífero
Os custos durante toda a sua vida útil pode ser menor que o de outros sistemas de drenagem	Necessidade de manutenção regular e especializada
Liberação rápida do tráfego, logo após a conclusão.	Baixa resistência mecânica quando comparado a pavimento flexível ou rígido.
Redução de gastos com drenagem urbana	Colmatação dos poros ao longo do tempo reduzindo sua capacidade drenante

Fonte: Adaptada de Estudo de viabilidade técnica da implantação de pavimentos permeáveis do tipo infiltração total para redução do escoamento superficial, na cidade de alegre/rs (COOPER 2013)

2.11. DOSAGEM

Como não existe uma metodologia consagrada para a dosagem de concreto permeável, foi realizado levantamento dos traços utilizados por diversos autores de modo a identificar parâmetros usuais para a especificação de traços de concreto permeável. Agências internacionais como: *American Concrete Institute (ACI)*, e alguns autores como Zouaghi (2002) e Zheng *et al.* (2012) apresentam recomendações de dosagens que satisfazem a resistência à compressão e a permeabilidade exigidas, entretanto, essas abordagens de dosagem não são completas e todos os métodos apresentam algumas desvantagens como demonstrado no Quadro 3.

Quadro 3: Síntese dos dados referentes aos métodos de dosagem encontrados na literatura

	Método ACI	Método Zouaghi	Método Zheng
Dados de entrada	<ul style="list-style-type: none"> • Volume de agregado graúdo/m³ de concreto • Porosidade 	<ul style="list-style-type: none"> • Porosidade 	<ul style="list-style-type: none"> • Resistência à compressão desejada • Permeabilidade desejada
Dados de saída	<ul style="list-style-type: none"> • Volume de argamassa • Volume de agregados • Volume de finos 	<ul style="list-style-type: none"> • Volume de cimento • Volume de água • Volume de agregado graúdo 	<ul style="list-style-type: none"> • Volume de cimento • Volume de água • Volume de agregado graúdo
Vantagens	<ul style="list-style-type: none"> • Simples 	<ul style="list-style-type: none"> • Muito simples 	<ul style="list-style-type: none"> • Simples
Desvantagens	<ul style="list-style-type: none"> • Nenhum indicador do fator a/c • A densidade em km/m³ está em desacordo com estudos publicados • É necessário ajuste por meio de experimentação • Não considera o efeito da compactação 	<ul style="list-style-type: none"> • Fator C aplicado para agregados locais • O volume de agregado graúdo obtido não é realista • É necessário ajuste por meio de experimentação • Não considera o efeito da compactação 	<ul style="list-style-type: none"> • Resistência baixa • A relação entre os parâmetros são para agregados locais • É necessário ajuste por meio de experimentação • Não considera o efeito da compactação • O volume de agregado graúdo obtido não é realista

Fonte: Adaptado de *A modified method for the design of pervious concrete mix* (Nguyen *et al.*, 2014)

Sanket *et al.* (2012) fixaram o teor de cimento em 400 kg/m³, e o fator água/cimento em 0,3. As dosagens correspondentes para as diferentes misturas, assim como as propriedades mecânicas obtidas no seu experimento estão apresentadas no Quadro 4.

Quadro 4: Propriedades mecânicas para diferentes dosagens de concreto permeável

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

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

A relação cimento/agregado e o procedimento de compactação ou adensamento a ser utilizado na produção de concretos permeáveis são os fatores mais importantes da mistura, e afetam diretamente as características mecânicas do material. Estudos de (PEREIRA 2015); foram realizados com base na dosagem realizada por Batezini (2013), os materiais utilizados e o consumo/proporção dos mesmos estão demonstrados a seguir, no Quadro 5.

Quadro 5: Consumos e proporções típicas utilizadas nas misturas de concreto permeável

MATERIAIS	CONSUMO/PROPORÇÃO
Ligante hidráulico (kg/m ³)	270 a 450
Agregado graúdo (kg/m ³)	1,190 a 1,700
Relação água/cimento (a/c) em massa	0,25 a 0,34
Relação cimento/agregado em massa	1:4 a 1:4,5
Relação agregado miúdo/agregado graúdo em massa	0 a 1:1

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

Em geral o consumo de cimento e agregado pode ser fixado em 400 kg/m³ e 1600 kg/m³ respectivamente, representando a proporção de cimento/agregado de 1:4. A relação água/cimento pode ser mantida em 0,3.

2.12. MATERIAIS

O concreto permeável é um material composto por ligante hidráulico, água, material britado de graduação uniforme, pouca ou nenhuma quantidade de agregado miúdo. Quando necessário é possível utilizar uma combinação de diferentes adições e aditivos com a finalidade de obter melhor desempenho, durabilidade, resistência e trabalhabilidade.

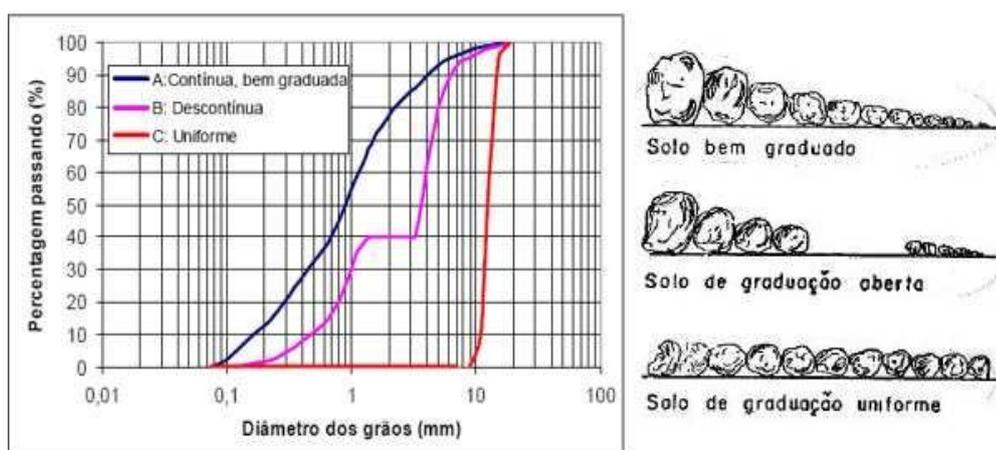
A quantidade de água e de ligante hidráulico necessita ser controlada para se obter uma pasta que englobe as partículas do agregado mantendo alto índice de vazios que por meio de sua interconectividade proporcionará drenabilidade ao concreto.

2.12.1. Agregados

Agregados em pavimentos porosos podem ser tratados com quaisquer materiais particulados disponíveis para a construção civil, como pedra britada, cascalho, material reciclado de blocos de concreto, calcário dolomítico, granito britado ou pedregulho. 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 como mostra a Figura 6.

Figura 6: Exemplos de curvas granulométricas



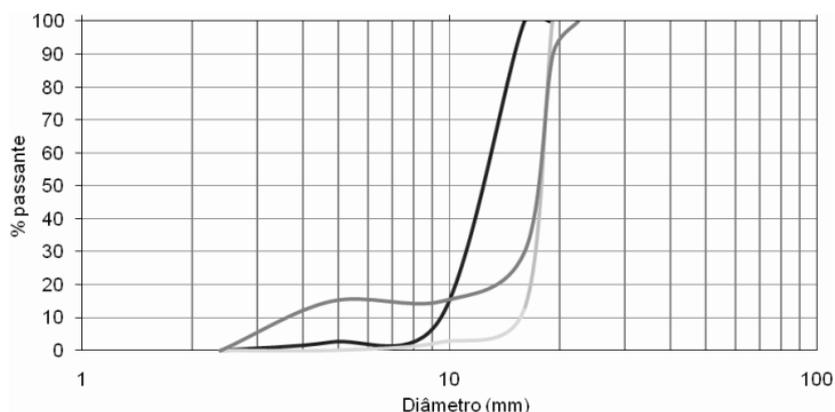
Fonte: Adaptado de Farias *et al.* (2010)

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 porcentagem 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).

Estão representadas abaixo no Gráfico 1, três curvas granulométricas já empregadas na produção de concreto permeável com diâmetro máximo de 19,5 mm, sendo evidente o comportamento uniforme das mesmas.

Gráfico 1: Curvas granulométricas típicas de misturas de concreto permeável.



Fonte: Adaptado de Li (2009)

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).

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).

2.12.2. Aglomerantes

O principal ligante hidráulico utilizado em concretos permeáveis é o cimento Portland convencional, no entanto, também podem ser utilizados ligantes asfálticos.

A ABNT NBR 9781:2013, menciona apenas que o cimento utilizado para fabricação dos blocos intertravados de concreto permeável deve respeitar as normas, independentemente do tipo de cimento. Geralmente as indústrias utilizam o cimento de alta resistência inicial resistente a sulfatos, o pozolânico ou o composto com pozolana.

Conforme Pettermann (2006) o cimento influencia muito na resistência mecânica, porém as regulagens, o tipo de equipamento utilizado, as formas de vibração também são importantes e tem influência na resistência dos blocos intertravados de concreto permeável.

De acordo com as características do equipamento e do tempo e forma de vibração, os blocos intertravados de concreto podem ter uma capacidade maior (OLIVEIRA, 2004

apud PETTERMANN, 2006), relata que o consumo muito elevado do cimento pode dificultar a produção dos blocos, em função de níveis de coesão muito elevados.

2.12.3. 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.

Foram avaliados os efeitos da incorporação de sílica ativa e polímero em misturas de concreto permeável para verificar a resposta do material à fadiga em compressão. Na pesquisa de Pindado *et al.* (1999) foram empregadas diferentes proporções de agregados graúdo e miúdo, bem como aditivos superplastificantes. Foi determinado que as misturas com incorporação de polímeros apresentaram maior resistência à fadiga quando comparadas às misturas sem adições ou com adição de sílica ativa.

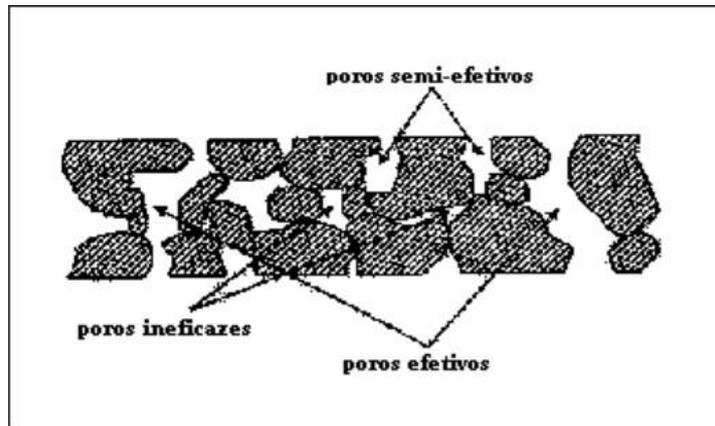
2.13. PRINCIPAIS PROPRIEDADES

2.13.1. Índice de vazios

Foi constatado na literatura revisada que o índice de vazios normalmente varia entre 0,15 e 0,25, sendo esses valores diretamente relacionados ao tipo de compactação utilizado e ao uso ou não de agregados miúdos.

De acordo com o Projeto Diretriz da Tecnologia de Pavimentação Drenante (Associação das Rodovias do Japão, 1996), os poros vazios de uma mistura drenante podem ser classificados como efetivos, que contribuem para a passagem e armazenagem de água; semi-efetivos, que não contribuem para a passagem, mas permitem o armazenamento da água; e ineficazes, que não contribuem para a passagem nem armazenamento da água. A Figura 7 retrata bem os vazios que permanecem em um concreto permeável.

Figura 7: Tipos de vazios em mistura de concreto permeável



Fonte: Associação das rodovias do Japão (1996)

2.13.2. Permeabilidade

Condutividade hidráulica (ou taxa de percolação ou coeficiente de permeabilidade) é um dos parâmetros mais importantes do concreto permeável e pode ser definida como a taxa de infiltração da água através de sua estrutura. Embora o valor da condutividade hidráulica possa variar de acordo com a composição do concreto e da qualidade do processo executivo, são considerados valores típicos para revestimentos de pavimentos entre 0,21 cm/s e 0,54 cm/s (TENNIS *et al.*, 2004), embora Montes e Haselcach (2006) tenham obtido valores entre 0,01cm/s e 1,5cm/s e 0,014 e 1,19cm/s respectivamente. Bean *et al.* (2007) determinaram valores de condutividade hidráulica em campo variando de 0,07 cm/s a 0,77 cm/s.

O principal problema encontrado na superfície drenante é a colmatagem dos poros, que é a incrustação de partículas de areia ou solo nos poros do revestimento de concreto permeável, sendo esta, segundo Porto (1999), mais intensa nos dois primeiros anos de uso do pavimento. Todavia, ao se utilizar o sistema de limpeza de pavimento a vácuo, por exemplo, consegue-se recuperar mais de 95% da capacidade inicial de condutividade hidráulica do revestimento. Vale lembrar que esses valores estão intimamente ligados ao índice de vazios característico do material, como mostra a Figura 8.

Figura 8: Alta permeabilidade e índice de vazios do concreto poroso.



Fonte: Seeik (2015)

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

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

2.13.3. Resistência mecânica

Lian e Zhuge (2010) avaliaram a resistência mecânica, 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 mecânica, na forma das partículas e na textura do próprio agregado. Afirmam ainda que as partículas que tem alta absorção de água não produzem 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).

3 METODOLOGIA

3.1. DESENHO DE ESTUDO

A pesquisa foi classificada como exploratória, experimental e laboratorial, levando em consideração o seu objetivo geral, o método de dosagem trabalhado foi o de ACI (2006) *apud* Batezini (2013), foram determinados o fator água/cimento e o procedimento de compactação, que são os principais fatores que resultam diretamente nas características mecânicas do material.

Foi empregado um estudo comparativo da viabilidade técnica de três concretos com f_{ck} de 20 MPa, sendo um concreto convencional, concreto permeável sem adição de agregado miúdo e concreto permeável com 5% de substituição de agregado graúdo por miúdo. Vale ressaltar que todo o material foi limpo e armazenado para posterior execução dos ensaios de caracterização.

Para os estudos de caracterização física, mecânica e hidráulica de concretos permeáveis foram ensaiadas amostras cilíndricas e retangulares (pavers).

3.2. LOCAL DA PESQUISA

Os ensaios para caracterização os materiais assim como moldagens e ensaios nos blocos, foram realizados no Laboratório de Materiais e Estruturas, sala 603, que se localiza no prédio 6 do Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA), em Palmas - TO, que disponibilizou suas instalações e seus equipamentos para todos os ensaios realizados nesta pesquisa. A Figura 9 mostra o local onde foi realizada esta pesquisa.

Figura 9: Laboratório onde foi realizada esta pesquisa.



Fonte: Google Earth (2020)

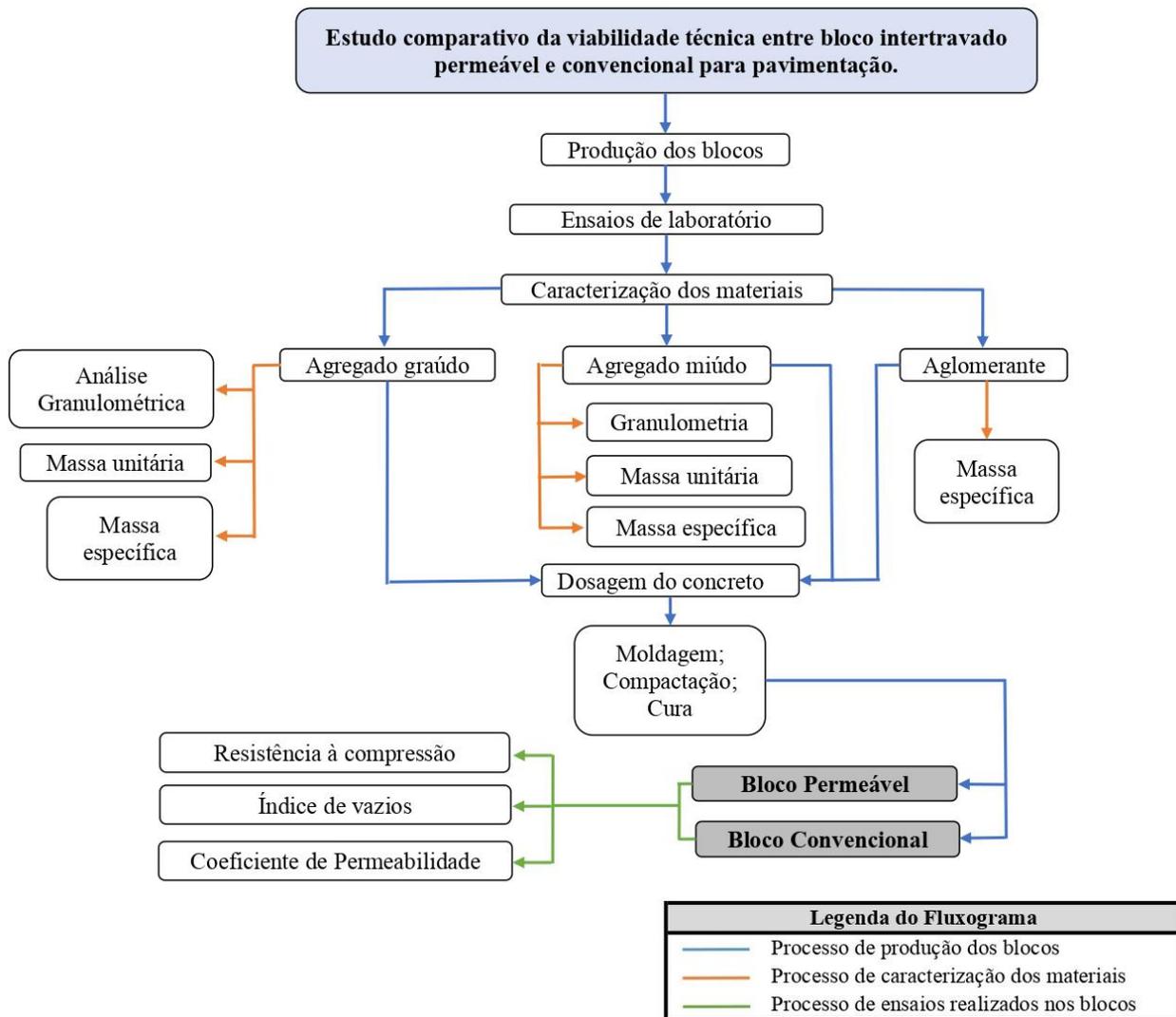
3.3. OBJETO DE ESTUDO

O objeto de estudo desta pesquisa são os blocos intertravados de concreto convencional e permeável, onde foram confeccionados e caracterizados de acordo com a ABNT NBR 9781: 2013 - Peças de concreto para pavimentação – Especificação e métodos de ensaio.

3.3.1. Fluxograma

A metodologia do trabalho descrita pode melhor ser observada no fluxograma (Figura 10).

Figura 10: Metodologia do trabalho



Fonte: Autor, 2020

3.4. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

3.4.1. Definição do agregado graúdo

Para confecção dos concretos foi utilizado a rocha granítica classificada como brita comercial 0, cedida pelo laboratório do CEULP/ULBRA, em que o módulo de finura varia entre 5,77 à 6,15 e diâmetro máximo de 12,5mm segundo a ABNT NBR 7211:2019. Os agregados primeiramente foram homogeneizados através do quarteamento, de modo a reduzir a amostra para uma fração menor seguindo a ABNT NBR NM 26:2009. Em seguida os agregados foram lavados e secos em estufa durante 24h.

3.4.1.1. *Determinação da análise granulométrica*

Foi realizado o ensaio de granulometria que determina a faixa de variação dos diâmetros do agregado e a frequência com que eles ocorrem, consiste em passar uma amostra dos agregados previamente seca por uma serie de peneiras de malha quadrada. Para este ensaio aplicou-se a norma ABNT NM 248:2003 - Agregados - Determinação da composição granulométrica. Conforme demonstra a Figura 11.

Figura 11: Processo de peneiramento do agregado graúdo



Fonte: Autor, 2020.

3.4.1.2. *Determinação da massa unitária*

Para a determinação da massa unitária do agregado, foi realizado de acordo com a ABNT NM 45:2006 - Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Como destaca a Figura 12.

Figura 12: Determinação da massa unitária do agregado graúdo



Fonte: Autor, 2020.

3.4.1.3. Determinação da massa específica da brita

Para a realização do ensaio da massa específica foi utilizada o método da ABNT NBR 6458:2017. Como mostra a Figura 13.

Figura 13: Processo para determinação da massa específica do agregado graúdo



Fonte: Autor, 2020.

3.4.2. Definição do agregado miúdo

O agregado miúdo que foi utilizado na produção dos blocos foi a areia média, cedida pelo laboratório da instituição. Segundo a ABNT NM 52:2009, é definido como agregado miúdo o agregado que passa na peneira de malha 9,5 mm, passa quase totalmente na peneira 4,75 mm e fica quase totalmente retido na peneira 75 μm .

3.4.2.1. *Determinação da granulometria*

Para este ensaio foi aplicado a norma ABNT NM 248:2003 - Agregados - Determinação da composição granulométrica.

O material coletado foi primeiramente lavado e seco em estufa e, posteriormente, separado por peneiramento, na seguinte série de peneiras: 4,8mm, 2,4mm; 1,2mm; 0,6mm; 0,3mm e 0,15mm. A Figura 14 mostra o ensaio para determinação da composição granulométrica.

Figura 14: Processo de peneiramento do agregado miúdo



Fonte: Autor, 2020.

3.4.2.2. *Determinação da massa unitária*

A determinação da massa unitária do agregado, foi realizado de acordo com a ABNT NM 45:2006 - Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Como mostra a Figura 15.

Figura 15: Determinação da massa unitária do agregado miúdo

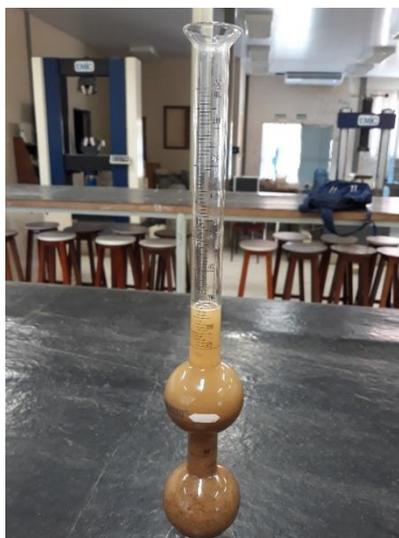


Fonte: Autor, 2020.

3.4.2.3. *Determinação da massa específica da areia*

Para fazer a determinação da massa específica da areia, a norma estabelecida foi a ABNT NBR 6458:2017. A Figura 16 mostra o processo para determinação da massa específica.

Figura 16: Processo para determinação da massa específica do agregado miúdo



Fonte: Autor, 2020.

3.4.3. Aglomerante

O cimento utilizado para confecção dos concretos foi o CP V ARI, adquirido em uma loja de materiais de construção em Palmas - TO. É um ligante hidráulico caracterizado por sua alta resistência inicial obtida e por não possuir adições, porém pode conter até 5%

em massa de material carbonático em sua composição e também, pela alta reatividade em baixas idades em função do grau de moagem a que é submetido. A dosagem diferenciada de calcário e argila na produção do clínquer permite o desenvolvimento da alta resistência inicial.

3.4.3.1. Determinação da massa específica do Cimento Portland

Foi realizado um ensaio para determinação da massa específica do cimento CP V utilizado, de acordo com a norma ABNT NBR 16605:2017.

O ensaio consistiu em encher o frasco Le Chatelier com querosene até o nível compreendido entre as marcas correspondentes a 0 e 1 cm³, e mantê-lo submerso em água durante no mínimo 30 minutos a uma temperatura de 20 °C ± 0,5 °C para então ser registrada a primeira leitura (V1) com aproximação de 0,1 cm³.

Uma massa conhecida do cimento de aproximadamente 60 g foi introduzida em pequenas porções no frasco que foi mantido 30 minutos submerso em água com temperatura de 20 °C ± 0,5 °C para realizar uma segunda leitura (V2) com aproximação de 0,1 cm³.

3.4.4. Aditivo

Foi utilizado o superplastificante Sika ViscoCrete 3535 CB, adquirido em uma loja de materiais de construção em Palmas – TO. Se trata de um aditivo de terceira geração para indústria de pré-moldados, e concretos de alto resistência inicial. O ViscoCrete tem a capacidade de reduzir em até 40% o consumo de água, assim melhorando a trabalhabilidade do concreto sem alterar a relação a/c.

3.5. MÉTODO DE DOSAGEM

Com a devida caracterização dos materiais concluída, foi possível realizar a determinação dos traços do concreto convencional e permeável, utilizando o método de dosagem de ACI (2006) *apud* Batezini (2013), como mencionado acima.

O primeiro traço foi dosado utilizando-se o método ACI, concreto convencional produzido com cimento CP V, brita de origem granítica 0, areia média natural sem qualquer tipo de adição natural e pequeno percentual de aditivo.

O segundo traço se trata de um concreto permeável sem adição de agregado miúdo, o traço é constituído basicamente de cimento, água, brita 0 e pequeno percentual de aditivo, onde o método de dosagem utilizado foi de ACI (2006) *apud* Batezini (2013).

Esse traço foi utilizado como referência pois fez-se o estudo comparativo entre o traço com e sem adição de agregado miúdo para determinação do índice de vazios e coeficiente de permeabilidade.

O terceiro traço é um traço de concreto permeável com 5% de substituição de agregado graúdo por miúdo, utilizando o método de dosagem de ACI (2006) *apud* Batezini (2013).

3.5.1. Moldagem

(BATEZINI, 2013) Determina 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.

Ao termino da mistura foi analisado três fatores muito importante, o primeiro consistiu em verificar visualmente se todos os agregados estão completamente cobertos pela pasta de cimento, se o concreto apresentou um aspecto brilhoso na betoneira e por fim realizou-se o teste táctil visual, onde foi retirado uma pequena parcela do concreto de dentro da betoneira e pressionou com a mão, verificando se ao fazer esse procedimento o concreto consegue permanecer com o formato de uma pequena “bola”. Como mostra a Figura 17.

Figura 17: Aspecto brilhoso do concreto e análise tátil 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 obterá melhorias na sua propriedade mecânica, sem prejuízo na propriedade hidráulica.

Para a amostra cilíndrica colocou-se duas camadas de concreto, e em seguida o corpo de prova passou por 10 segundos de vibração em mesa vibratória. Para os blocos retangulares foram colocados apenas uma camada, e vibrado também no período de 10 segundos.

Foram moldados o total de 24 CP's cilíndricos com dimensões de 20x10, com F_{ck} estabelecido em 20 MPa com idades predeterminadas em 7,21 e 28, conforme apresenta a Tabela 2.

Tabela 2: Ensaio realizados e quantidade de CP's

Tipo	Ensaio	Norma	Idade		
			7 Dias (Quant/Tamanho)	21 Dias (Quant/Tamanho)	28 Dias (Quant/Tamanho)
Mecânicos	Resistência à compressão (Cilíndrico)	ABNT NBR 5739:2018	6 (Ø10x20)	6 (Ø10x20)	6 (Ø10x20)
	Resistência à compressão (Retangular)	ABNT NBR 9781:2013	6 (10x20x8)	6 (10x20x8)	6 (10x20x8)
Físicos	Índice de vazios	ABNT NBR 9778:2009	-	-	6 (10x20x8)
Hidráulicos	Coef. de permeabilidade (Permeômetro)	ABNT NBR 14545:2000	-	-	6 (Ø10x20)
	Coef. de permeabilidade (Empírico)	ABNT NBR 16416:2015	-	-	6 (10x20x8)

Fonte: Autor, 2020.

Para as peças retangulares foram confeccionados o total de 24 blocos, sendo 6 para o traço do concreto convencional, 9 para o traço de referência sem substituição de areia, 9 corpos de prova com o traço utilizando 5% de substituição do agregado graúdo por agregado miúdo. Para os dois traços de concreto permeável foi utilizado 3 CP's a mais em relação ao traço convencional, para realizar os ensaios de índice de vazios e coeficiente de permeabilidade. A Figura 18 mostra a moldagem do concreto convencional em peças retangulares com dimensões de 10x20x8 e peças cilíndricas de 10x20 de dimensão.

Figura 18: Moldagem do concreto convencional



a) Peças de concreto retangular

b) Peça cilíndrica de concreto

Fonte: Autor, 2020.

Valendo ressaltar que foi usado os mesmos CP's para realizar o ensaio de índice de vazios e coeficiente de permeabilidade dos blocos retangulares, com a finalidade de

economizar matéria prima. Tal alteração não modifica a condutibilidade hidráulica do concreto permeável. A Figura 19 apresenta a moldagem do concreto permeável.

Figura 19: Moldagem do concreto permeável



Fonte: Autor, 2020.

3.6. ENSAIOS NO ESTADO FRESCO DO CONCRETO

Foram realizados ensaios de massa específica do concreto no estado fresco e o slump test para os três traços em estudo, seguindo as normas pertinentes.

3.6.1. Massa específica

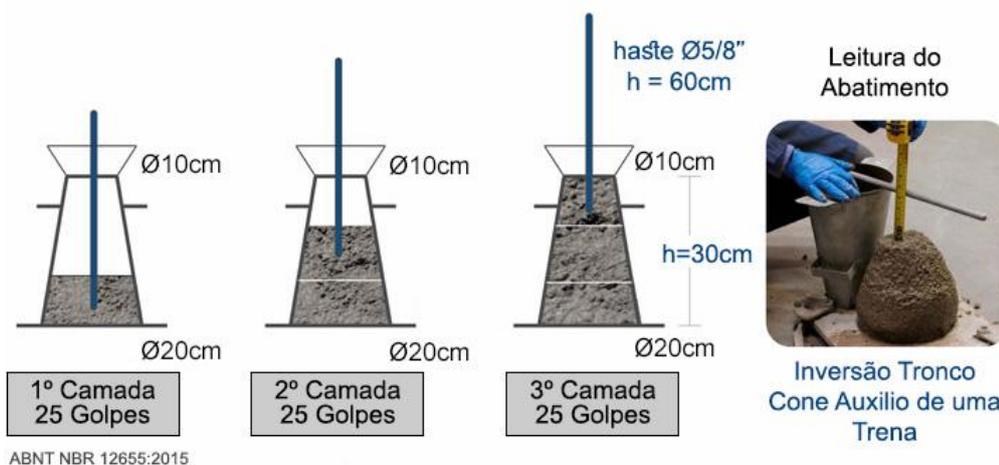
As três amostras foram pesadas e a massa específica no estado fresco determinada pela divisão da massa de concreto no recipiente pelo volume do recipiente, que foi determinada pela sua pesagem cheio de água e vazio de acordo com a ABNT NBR 9833:2009.

3.6.2. Slump test

Esse ensaio avalia a trabalhabilidade e fluidez do concreto produzido. De acordo com a literatura o concreto permeável contém uma elevada consistência mesmo no estado fresco, o abatimento normalmente menor do que 20 mm.

Para o ensaio, aplicou-se 25 golpes/camada, sendo três camadas, de acordo com a ABNT NBR 67:1998 após a retirada do molde foi realizado as medições do assentamento do concreto. A Figura 20 ilustra o procedimento deste ensaio.

Figura 20: Processo de verificação do abatimento do concreto



Fonte: SPGO, (2019).

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 referência 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.

3.7. ENSAIOS NO ESTADO ENRIJECIDO DO CONCRETO

3.7.1. Resistência à compressão axial

O ensaio de resistência à compressão tem como objetivo determinar a resistência à compressão do concreto, tanto em forma cilíndrica quando em forma retangular. A resistência à compressão é expressa em megapascals (MPa) e é obtida dividindo-se a carga de ruptura, expressa em newtons (N), pela área de carregamento, expressa em milímetros quadrados (mm^2), multiplicando-se o resultado pelo fator p, função da altura da peça. Para o presente trabalho foi realizado o ensaio de resistência à compressão em corpos de prova cilíndricos e retangulares.

3.7.1.1. *Ensaio de resistência à compressão em CP cilíndrico*

O ensaio consistiu na aplicação de uma força em um corpo de prova cilíndrico para a verificação da resistência à compressão. Para a realização do ensaio é acoplado na máquina dois pratos de aço, em que um destes pratos o seu tamanho é 4% maior em relação ao diâmetro do corpo de prova.

O corpo de prova é centralizado na máquina durante o ensaio, conforme

Figura 21, fazendo com que a resultante das forças passe pelo centro do corpo de prova.

Figura 21: Ensaio de resistência à compressão axial em CP cilíndrico



Fonte: Autor, 2020.

Para esse ensaio foi utilizado 2 CP's com dimensões de 20x10 para cada traço com idades predefinidas de 7,21 e 28 dias, seguido todos os parâmetros da ABNT NBR 5739:2018.

3.7.1.2. *Ensaio de resistência à compressão em CP retangular*

Semelhante ao ensaio de resistência à compressão em CP cilíndrico, este ensaio consiste em determinar a resistência à compressão em peças de concreto retangulares. A diferença é que são inseridas duas placas auxiliares cilíndricas com diâmetro de 85mm, na face inferior e superior do bloco retangular conforme apresenta a Figura 22.

Figura 22: Ensaio de resistência à compressão axial em peças retangulares



Fonte: Autor, 2020.

Foi moldado 2 CP's para cada traço, com dimensões 20x10x8 e idades predefinidas em 7,21 e 28 dias, seguindo todos os critérios da ABNT NBR 9781:2013.

3.7.2. Índice de vazios

Para a determinação do índice de vazios das amostras, foi feita uma relação entre o peso seco do corpo de prova e o peso submerso conforme a ABNT NBR 9778:2009. Foi realizado o ensaio com 3 amostras de cada traço de concreto permeável para obtenção da média. O corpo de prova utilizado foi de formato retangular. A Figura 23 pode ser verificada a forma de como foi obtido o peso submerso das amostras.

Figura 23: Aparelhagem para medição do peso seco e do peso submerso.



Fonte: Autor, 2020.

3.7.3. Coeficiente de permeabilidade

Para determinação do coeficiente de permeabilidade foram estabelecidos dois métodos. O primeiro foi a determinação em laboratório, utilizando um permeâmetro de carga variável e o segundo foi determinado “in loco” de modo empírico.

3.7.3.1. *Ensaio com permeâmetro de carga variável*

Este ensaio é uma variação do ensaio de carga constante, adaptado da norma ABNT NBR 14545:2000, utilizada para solos, que emprega um equipamento construído para a pesquisa com tubos e conexões de hidráulica.

A adaptação do procedimento emprega no lugar de uma amostra indeformável de solo, um corpo de prova cilíndrico, onde o mesmo é impermeabilizado em suas faces laterais. A Figura 24 mostra o permeâmetro de carga variável.

Figura 24: Permeâmetro de carga variável



Fonte: Autor, 2020.

Durante a execução do ensaio, a influência da carga hidráulica no tempo de infiltração, uma vez que o reservatório não é abastecido durante a realização do ensaio, mede-se a diferença de nível de água e tempo para infiltração do sistema.

Neste ensaio, o corpo de prova com as laterais vedadas para a passagem de água é inserido no permeâmetro. Também é colocada a água através do abastecedor, como controle de vazão aberto, até a estabilização do nível.

Após a estabilização, o controle de vazão é fechado e a água é inserida novamente através do abastecedor até o ponto desejado de início de ensaio.

O controle é aberto novamente e a água infiltra através da força da gravidade. O tempo gasto para que ocorra a infiltração da água até o ponto final de leitura, é utilizado para obtenção do coeficiente de permeabilidade.

3.7.3.2. *Ensaio de modo empírico*

Para a realização do ensaio no local foi seguindo todos os procedimentos que rege a ABNT NBR 16416:2015. Este ensaio é de extrema importância, pois ele consegue identificar qual é a vazão que o concreto permeável consegue infiltrar.

Quadro 6: Determinação do coeficiente de permeabilidade

Tipo de revestimento	Coeficiente de permeabilidade do pavimento recém construído (m/s)
Concreto permeável moldado no local	> 0,001

Fonte: Adaptada da NBR 16416:2015.

Antes de tudo, foi analisado se as peças de concreto permeável possuíam alguns elementos, que obstruíssem a passagem de água no concreto, como sujeira ou partículas soltas, que comprometessem o ensaio. Foram escolhidas as peças de concreto que possuíam melhor superfície, livre de falhas ou rachaduras.

Primeiramente molhou-se o local e depois posicionou o cilindro com a borda virada com tampa sobre a peça de concreto, depois a água foi inserida no cilindro e então a tampa foi retirada. Quando a água entrou em contato com a peça de concreto o cronometro iniciou, e foi parado após a água infiltrar completamente sobre a peça de concreto permeável. A Figura 25 mostra o ensaio.

Figura 25: Ensaio executado para determinação do coeficiente de permeabilidade



Fonte: Autor, 2020.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir estão apresentados os resultados da caracterização dos materiais utilizados, ensaios para determinação da resistência à compressão, índice de vazios e o coeficiente de permeabilidade em peças retangulares e cilíndricas.

4.1. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Após os agregados passarem pelos ensaios seguindo a norma, foi constatado que o agregado graúdo se trata de uma brita 0 e o agregado miúdo de uma areia média.

4.1.1. Análise granulométrica

O Quadro 7 mostra o diâmetro máximo característico da brita 0 de 12,5 mm e o módulo de finura foi de 6,11 se encaixando nas características do concreto permeável.

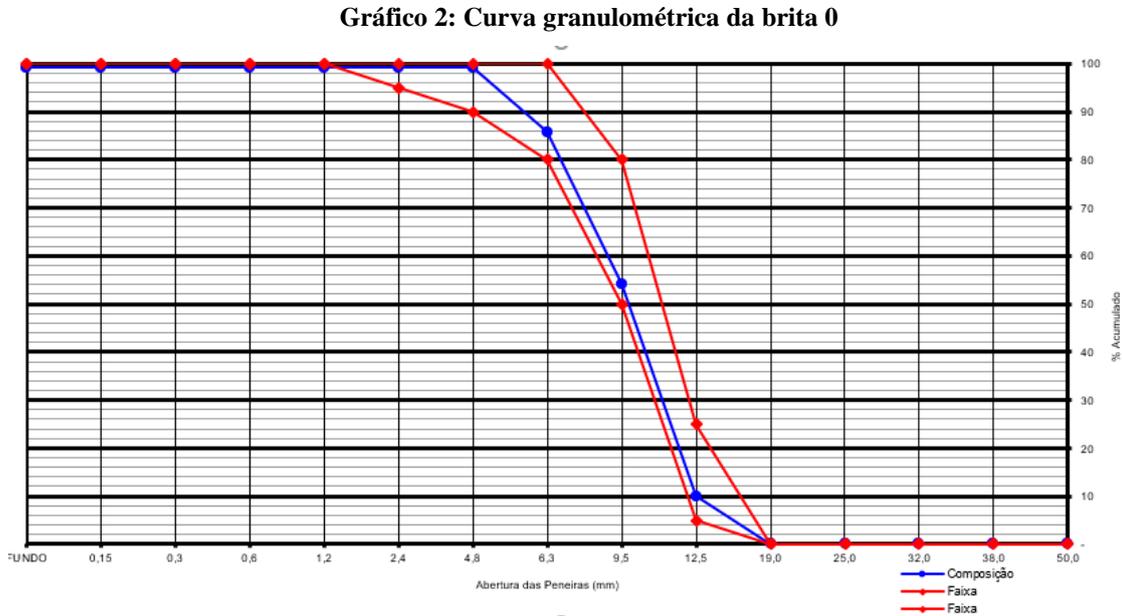
Quadro 7: Diâmetro máximo característico e módulo de finura do agregado graúdo

PENEIRAS (mm)	1ª DETERMINAÇÃO			2ª DETERMINAÇÃO			MÉDIA % RETIDA	
	MASSA RETIDA (g)	% RETIDA		MASSA RETIDA (g)	% RETIDA		Simples	Acumul.
19,00	-	-	-	-	-	-	-	-
12,50	25,30	0,84	0,84	31,20	1,04	1,04	0,94	0,94
9,50	350,25	11,68	12,52	342,30	11,41	12,45	11,54	12,48
6,30	1385,16	46,17	58,69	1401,54	46,72	59,17	46,45	58,93
4,80	1195,59	39,85	98,54	1182,54	39,42	98,59	39,64	98,56
2,40	34,15	1,14	99,68	37,46	1,25	99,83	1,19	99,76
1,20	9,55	0,32	100,00	4,96	0,17	100,00	0,24	100,00
0,60	-	-	100,00	-	-	100,00	-	100,00
0,30	-	-	100,00	-	-	100,00	-	100,00
0,15	-	-	100,00	-	-	100,00	-	100,00
FUNDO	-	-	100,00	-	-	100,00	-	100,00
TOTAL	3000,00	100,00		3000,00	100,00		100,00	
TOTAL DA AMOSTRA	3000,00	100,00		3000,00	100,00		100,00	
DIF. DA AMOSTRA	0,00	0,00					0,00	
MÓDULO DE FINURA (%)	6,11							
DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA (mm):					12,5			

Fonte: Autor, 2020.

Observou-se que o agregado em estudo possui graduação uniforme, assim tornando o material de excelência usabilidade para confecção dos blocos, devido a uniformidade

favorecer a permeabilidade do concreto. O Gráfico 2 apresenta a curva granulométrica onde o agregado está entre a faixa de zona utilizável.



Fonte: Autor, 2020.

O Quadro 8 mostra o diâmetro máximo característico da areia média de 4,8 mm e o módulo de finura foi de 2,79 se encaixando nas características do concreto permeável.

Quadro 8: Diâmetro máximo característico e módulo de finura do agregado miúdo

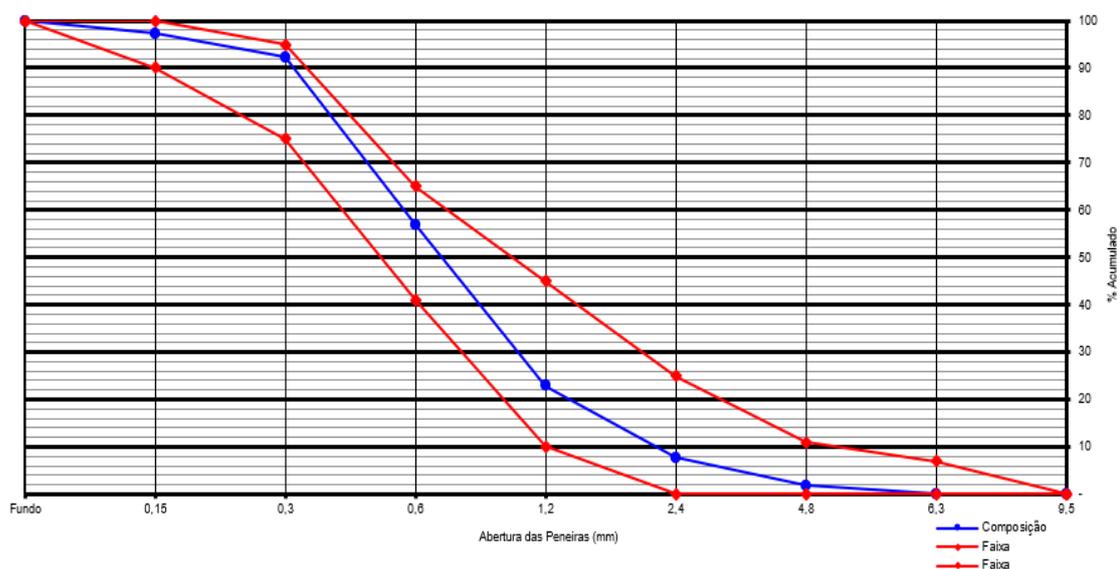
PENEIRAS	1ª DETERMINAÇÃO			2ª DETERMINAÇÃO			MÉDIA		
	MASSA RETIDA (g)	% RETIDA		MASSA RETIDA (g)	% RETIDA		% RETIDA		
(mm)		Simples	Acumul.		Simples	Acumul.	Simples	Acumul.	
6,3	-	-	-	-	-	-	-	-	
4,8	8,52	1,70	1,70	9,25	1,85	1,85	1,78	1,78	
2,4	30,45	6,09	7,79	28,57	5,71	7,56	5,90	7,68	
1,2	74,25	14,85	22,64	78,14	15,63	23,19	15,24	22,92	
0,6	172,15	34,43	57,07	168,15	33,63	56,82	34,03	56,95	
0,3	175,12	35,02	92,10	177,58	35,52	92,34	35,27	92,22	
0,15	24,15	4,83	96,93	26,33	5,27	97,60	5,05	97,27	
FUNDO	15,36	3,07	100,00	11,98	2,40	100,00	2,73	100,00	
TOTAL	500,00	100,00		500,00	100,00		100,00		
TOTAL DA AMOSTRA	500,00	100,00		500,00	100,00		100,00		
DIF. DA AMOSTRA	0,00	0,00		0,00	0,00		0,00		
MÓDULO DE FINURA (%)								2,79	
DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA (mm):								4,8	

Fonte: 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.

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 3.

Gráfico 3: Curva granulométrica da areia média



Fonte: Autor, 2020.

4.1.2. Massa específica e massa unitária

Os resultados dos ensaios para determinação da massa específica e massa unitária do agregado graúdo e miúdo estão expressados na Tabela 3.

Tabela 3: Massa específica e massa unitária dos agregados

Agregados	Massa específica (kg/m ³)	Massa unitária (kg/m ³)
Brita 0	2690	1340,0
Areia média	2660	1563,3

Fonte: Autor, 2020.

O resultado obtido da massa específica da areia e da brita se mostrou satisfatório por estarem dentro dos valores mínimo e máximo que a norma estabelece, e a massa unitária da areia resultou em um bom índice de vazios favorecendo a permeabilidade do concreto.

4.1.3. Massa específica do cimento

O resultado da massa específica do cimento foi de 3,03 g/cm³, conforme mostra a Tabela 4.

Tabela 4: Massa específica do cimento

Frasco	Massa cimento (g)	Volume Inicial (cm ³)	Volume Final (cm ³)	Massa específica (g/cm ³)
1	60,03	1	20,9	3,02
2	60,01	0,9	20,8	3,01
3	60,02	1	20,7	3,05
Média	-	-	-	3,03

Fonte: Autor, 2020.

O resultado obtido da massa específica do cimento se mostrou satisfatória pois o valor de 3,03 está dentro do padrão estabelecido pela norma ABNT NBR 16605:2017.

4.2. DOSAGEM

O consumo de cimento foi de 393 kg/m³ para agregado graúdo e miúdo foram utilizados 650 kg/m³ e 1098 kg/m³, respectivamente, representando um traço de 1:1,65:2,80. A relação água cimento foi de 0,55 e o percentual de aditivo de 3,5%. A Tabela 5 mostra o consumo de materiais para a confecção do concreto convencional.

Tabela 5: Consumo de materiais para concreto convencional

Materiais	Unidades	Valores
Consumo de cimento	kg/m ³	393
Consumo de agregado graúdo	kg/m ³	650
Consumo de agregado miúdo	kg/m ³	1.098
Relação a/c	-	0,55
Aditivo	%	3,5
Relação Cimento/Agregado em massa	-	1 : 1,65 : 2,80

Fonte: Autor, 2020.

O consumo de cimento e agregado utilizados foram 444 kg/m³ e 1.775 kg/m³, respectivamente, representando uma proporção cimento/agregado de 1:4. A relação água cimento foi mantida em 0,30. Na Tabela 6 é apresentado o resumo das composições empregadas.

Tabela 6: Consumo de materiais para concreto permeável referência

Materiais	Unidades	Valores
Consumo de cimento	kg/m ³	444
Consumo de agregado	kg/m ³	1.775
Relação a/c	-	0,30
Aditivo	%	3,0
Relação cimento/agregado graúdo em massa	-	1:4

Fonte: Autor, 2020.

O consumo de cimento e a relação a/c foi mantido o mesmo que o traço referência, já o consumo de agregado graúdo e miúdo foi de 1686 kg/m³ e 89 kg/m³. Foi necessário utilizar um maior percentual de aditivo, para obter uma melhor trabalhabilidade no concreto. A Tabela 7 apresenta o consumo de materiais para produção do traço três.

Tabela 7: Consumo de materiais para concreto permeável com 5% de subs. de agregado

Materiais	Unidades	Valores
Consumo de cimento	kg/m ³	444
Consumo de agregado graúdo	kg/m ³	1.686
Consumo de agregado miúdo	kg/m ³	89
Relação a/c	-	0,30
Aditivo	%	5,0
Relação Cimento/Agregado em massa	-	1 : 3,80 : 0,20

Fonte: Autor, 2020.

Estes valores foram próximos ao trabalho de Batezini (2013), que obtiveram valores de resistência à compressão na ordem de 20 MPa e condutividade hidráulica de 1,0 cm/s para as misturas sem adição de agregados miúdos.

Os traços foram calculados em massa para facilitar a pesagem das misturas multiplicou-se pela quantidade de litros ideal para moldar todos os corpos de prova, e efetuar os ensaios no estado fresco. O Quadro 9 apresenta o resumo do traço unitário para os três tipos de dosagem.

Quadro 9: Traço unitário para os três tipos de dosagem em estudo

Tipo do concreto	Traço unitário			Relação A/C	Aditivo (%)
	Cimento	Brita	Areia		
Convencional	1	1,65	2,8	0,55	3,5
Referência	1	4	0	0,30	3,0
5% de subs.	1	3,8	0,2	0,30	5,0

Fonte: Autor, 2020.

4.3. ENSAIOS NO ESTADO FRESCO DO CONCRETO

Um dos principais ensaios que são executados no concreto em seu estado fresco é o Slump Test, que verifica o abatimento do concreto. A Figura 26 apresenta a execução do ensaio de abatimento para os três traços em estudo.

Figura 26: Execução do ensaio de abatimento para os três tipos de traço em estudo



a) Slump traço convencional

b) Slump traço referência

c) Slump traço 5% subs.

Fonte: Autor, 2020.

Os resultados obtidos já eram de se esperar, pois ao adicionar areia sabemos que a trabalhabilidade do concreto diminui. Para se obter uma melhor trabalhabilidade para o concreto sem alterar a relação a/c foi utilizado 2,0 % de aditivo superplastificante a mais para a mistura com 5% de substituição de agregado em relação ao traço referência.

Os resultados para determinação da massa específica no estado fresco do concreto e o slump test para os três tipos de traço se encontram na Tabela 8.

Tabela 8: Massa específica e slump test para as três dosagens

Traços	Massa específica (kg/m³)	Slump Test (cm)
Convencional	2235	12
Referência	1750	16
5% de subs.	1985	0

Fonte: Autor, 2020.

Pode-se observar que o traço do concreto convencional é mais compacto que os demais, em razão de sua composição granulométrica ser melhor distribuída, diminuindo o índice de vazios entre os grãos e obtendo-se uma maior massa específica.

Foi analisado que a massa específica dos concretos permeáveis já estudados na literatura revisada, variou entre 1.300 kg/m³ à 2000 kg/m³. Portanto as massas específicas do traço de referência e do traço de 5% de substituição de agregado graúdo por miúdo se encaixam dentro desse intervalo.

Os traços de concreto permeável possuem maior quantidade de cimento em sua composição, sua massa específica é menor pelo fato de existir mais agregado graúdo em sua composição, proporcionando um elevado 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 o traço de 5% de substituição de agregado onde o abatimento foi de 0 cm. Para a mistura sem adição de agregado miúdo o abatimento foi de 16 cm que ocasionou em uma ótima trabalhabilidade. Foi analisado que o uso da areia diminuiu a trabalhabilidade do concreto.

4.4. ENSAIOS NO ESTADO ENRIJECIDO DO CONCRETO

A partir dos ensaios no estado enrijecido do concreto foi possível determinar os resultados da resistência à compressão do concreto em peças retangulares e cilíndricas, índice de vazios e coeficiente de permeabilidade utilizando permeâmetro de carga variável e pelo método empírico.

4.4.1. Resistência à compressão

Antes da realização dos ensaios de resistência à compressão foi observado que os traços referência e traço com 5% de substituição de agregado graúdo por miúdo apresentavam em suas superfícies irregularidades por conterem vazios típico dos concretos permeáveis, necessitando serem capeados.

Após a realização dos ensaios em blocos cilíndricos e retangulares, foi coletado e analisado todos os dados e verificou-se que aos 28 dias de cura todos os três traços obtiveram valores superiores a 20 MPa, valor mínimo de resistência à compressão para tráfego de veículos leves e pedestres segundo a ABNT NBR 16416:2015.

Foi comparado os resultados do ensaio em blocos cilíndricos e retangulares e notou-se que nos dias 7,21 e 28 dias a resistência média de peças cilíndricas estiveram à frente das retangulares, pois a diferença de altura entre as peças foi de 12 cm, e fez com que houvesse essa diferença bastante considerável de resistência. A medida em que a espessura do pavimento aumenta, eleva-se também sua resistência.

Todos os traços moldados em CP's cilíndricos foram utilizados o modelo de prensa manual ENGETOTUS, no laboratório da concreteira Bloco Mix, já as peças retangulares foram utilizadas a prensa elétrica/hidráulica 1MN, no laboratório Controle Engenharia. A seguir é apresentado todos os valores de resistência a compressão em CP's cilíndrico e retangular.

4.4.1.1. Ensaio de resistência à compressão em CP cilíndrico

A resistência à compressão em peças cilíndricas obteve uma variação entre 15,10 à 29,90 MPa, para os três traços. O valor médio encontrado aos 28 dias para o traço convencional foi de 29,80 MPa, 22,55 MPa para o traço com 5% de substituição de agregado graúdo por miúdo e 20,55 MPa para o traço referência (Tabela 9).

Vários estudos demostram que a resistência a compressão do concreto permeável varia bastante, abrangendo, portanto, valores mais comumente compreendidos entre 8 a 20 MPa (BATEZINI; CASTRO; BOTTEON; DEO; NAITHALATH; LIM *et al.* 2013; XU *et al.* 2018).

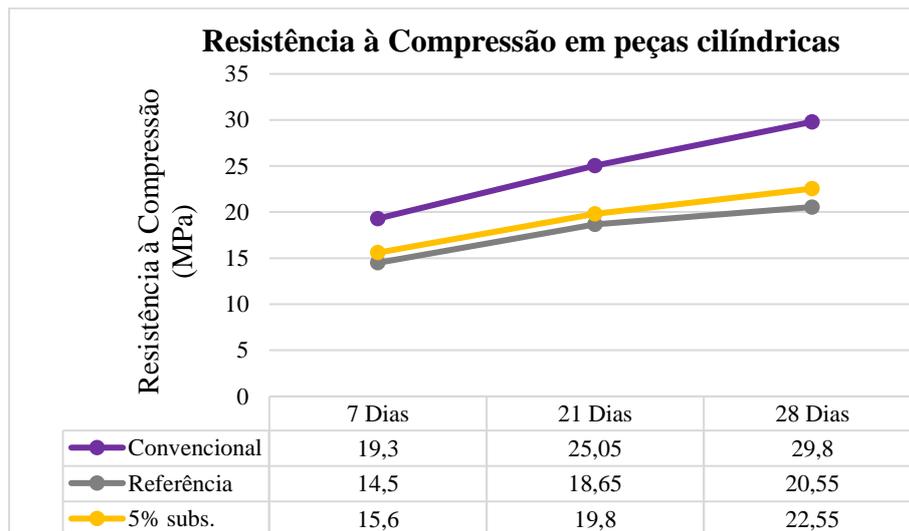
Tabela 9: Resultado do ensaio de resistência à compressão em peças cilíndricas

Resistência à compressão em peças cilíndricas									
Tipo de traço	7 dias (MPa)			21 dias (MPa)			28 dias (MPa)		
	CP1	CP2	Média	CP1	CP2	Média	CP1	CP2	Média
Convencional	19,10	19,50	19,30	25,30	24,80	25,05	29,70	29,90	29,80
Referência	15,20	13,80	14,50	18,40	18,90	18,65	20,80	20,30	20,55
5% subs.	15,10	16,10	15,60	19,70	19,90	19,80	22,50	22,60	22,55

Fonte: Autor, 2020.

O concreto convencional obteve a maior resistência mecânica em relação aos dois traços permeáveis, conforme Gráfico 4, pois o concreto permeável apresenta um elevado índice de vazios, que são suas principais características.

Gráfico 4: Resultados médios do ensaio de resistência à compressão



Fonte: Autor, 2020.

Os resultados encontrados superaram todas as expectativas, pois estudos passados mostram que a resistência à compressão varia entre 8 à 20 MPa, e o Gráfico 4 aponta que o menor valor obtido para concreto permeável aos 28 dias foi de 20,55 MPa, estando dentro do valor mínimo determinado pela ABNT NBR 16416:2015, utilizando apenas aditivo superplastificante, que melhorou significativamente sua trabalhabilidade, mantendo a relação água cimento, sem alterar a resistência do concreto.

Aos 7 dias de idade a diferença da resistência mecânica dos traços de concreto permeável foi de 1,1 MPa, com o traço 5% subs. à frente do traço referência. Com 21 dias a

diferença subiu para 1,15 MPa, onde o traço 5% subs. continuou à frente. E por fim aos 28 dias a diferença foi de 2,0 MPa, como previsto.

Como podemos observar a adição de areia contribui para o ganho de resistência devido ao preenchimento de vazios que a brita não conseguiu suprir, deixando lacunas que facilita a perda de resistência. A diferença de resistência citado acima pode até não ser significativo para concretos convencionais, mas para concretos permeáveis a diferença foi bastante considerável visto nas revisão bibliográfica que os traços na maioria das vezes não superam os 20 MPa.

4.4.1.2. *Ensaio de resistência à compressão em CP retangular*

A variação da resistência à mecânica em peças retangulares foi de 14,30 à 25,90 MPa para as três misturas. Os valores médios aos 28 dias de cura para o traço convencional foi de 25,90 MPa, 21,45 MPa para o traço com 5% de substituição e 20,70 MPa para o traço referência, conforme Tabela 10.

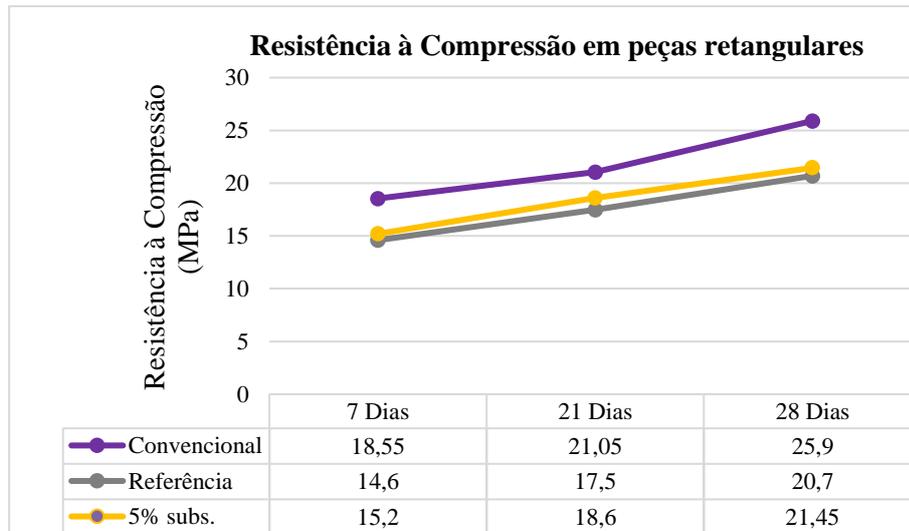
Tabela 10: Resultado do ensaio de resistência à compressão em peças retangulares

Tipo de traço	Resistência à compressão em peças retangulares								
	7 dias (MPa)			21 dias (MPa)			28 dias (MPa)		
	CP1	CP2	Média	CP1	CP2	Média	CP1	CP2	Média
Convencional	18,40	18,70	18,55	20,20	21,90	21,05	25,70	26,10	25,90
Referência	14,30	14,90	14,60	17,80	17,20	17,50	20,50	20,90	20,70
5% subs.	15,10	15,30	15,20	18,80	18,40	18,60	21,60	21,30	21,45

Fonte: Autor, 2020.

O maior valor encontrado de resistência à compressão em traços permeáveis foi de 21,60 MPa aos 28 dias de cura, proporcionado pelo traço com 5% de substituição de agregados. O Gráfico 5 é possível ter uma melhor visualização das diferenças de resistência à compressão em peças retangulares.

Gráfico 5: Resultados médios do ensaio de resistência à compressão



Fonte: Autor, 2020.

Todos os valores encontrados foram superiores ao mínimo determinado pela ABNT NBR 16416:2015, podendo ser utilizados em pavimentos de tráfego de veículos leves e pedestres. Podemos observar que por mais que foi substituído apenas 5% de brita por areia, é possível notar um pequeno ganho de resistência de 0,45 MPa aos 28 dias.

Aos 7 dias de idade a diferença da resistência mecânica dos traços de concreto permeável foi de 0,6 MPa, onde o traço 5% subs. superou o traço referência e com 21 dias a diferença subiu para 1,1 MPa, onde o traço 5% subs. continuou à frente.

Para tentar superar esses valores é recomendado realizar estudos futuros, onde pode-se aumentar a porcentagem de substituição de agregado graúdo por miúdo, sem que afete os valores mínimos do coeficiente de permeabilidade principal característica que determina um concreto permeável.

4.4.2. Índice de vazios

Para determinar o índice de vazios utilizou-se a seguinte equação:

$$V = 1 - \left(\frac{W1 + W1}{Pw + Vol} \right)$$

Onde:

V = Índice de vazios;

W1 = Peso submerso (kg);

W_2 = Peso seco (kg);

Vol = Volume da amostra (m^3);

P_w = Massa específica da água (kg/m^3).

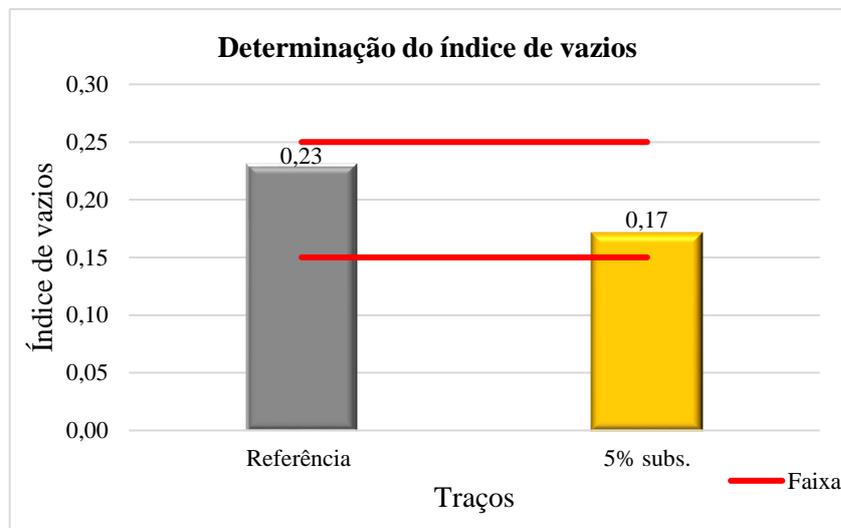
A Tabela 11 e Gráfico 6 estão apresentados os valores obtidos para o índice de vazios dos corpos de provas. Os resultados para os dois traços de concreto permeável apresentaram valores dentro da faixa predeterminada, que varia de 0,15 à 0,25 de acordo com revisão bibliográfica.

Tabela 11: Valores médios encontrados para o índice de vazios das amostras.

Traço	Índice de vazios			Média
	CP1	CP2	CP3	
Referência	0,23	0,25	0,21	0,23
5% subs.	0,16	0,17	0,19	0,17

Fonte: Autor, 2020.

Gráfico 6: Resultado médio obtidos para o índice de vazios.



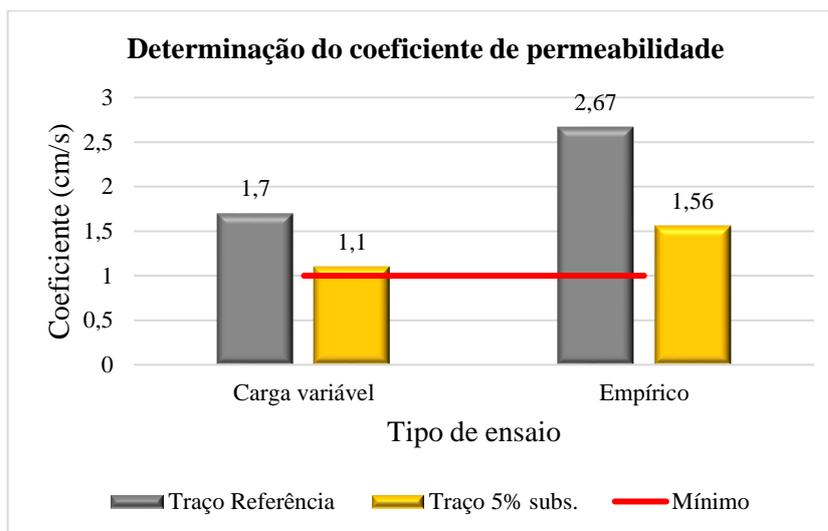
Fonte: Autor, 2020.

Pode ser verificado através dos Gráfico 6 que com a substituição de 5% de agregado graúdo por miúdo, o índice de vazios foi bem menor em relação ao traço referência como esperado. Isso se deu pelo fato de que a areia consegue preencher melhor os vazios que a brita, permitindo assim um menor índice de vazios.

4.4.3. Coeficiente de Permeabilidade

Como mencionado na metodologia foram executados dois tipos de ensaios para determinação do coeficiente de permeabilidade, são eles: ensaio em laboratório com utilização de um permeâmetro de carga variável e ensaio “in loco” de modo empírico. O Gráfico 7 apresenta os resultados obtidos para os dois tipos de ensaios.

Gráfico 7: Resultados médios obtidos para os dois tipos de ensaios de coeficiente de permeabilidade



É possível observar que o resultado obtido pelo método empírico tanto para o traço referência quanto para o traço com 5% substituição de agregado graúdo por miúdo foi superior em relação ao método utilizando permeâmetro de carga variável. Essa diferença ocorreu, pois, pequena parcela de água escoou na superfície fora do cilindro, por motivo de que a superfície do concreto permeável não ser totalmente plana. Seria necessário a utilização da massa para calafetar as bordas do cilindro que estava em contato com a peça de concreto para sessar o vazamento.

O traço com 5% substituição de agregado graúdo por miúdo, afeta diretamente a condutibilidade hidráulica do concreto permeável. Dois fatores podem ser determinantes para este impacto na condutibilidade hidráulica, são eles: adição de areia e excesso de compactação. Para uma melhor comparação, seria importante fazer uma segunda compactação reduzindo o tempo de compactação de 10 para 5 segundos, no entanto afetaria diretamente a resistência mecânica. Porém, os dois resultados foram maiores do que o valor mínimo determinado em norma, assim os dois traços passaram no teste, podendo ser

utilizados para pavimentos, como blocos intertravados para tráfego de veículos leves e pedestres.

4.4.3.1. *Ensaio com permeâmetro de carga variável*

O coeficiente de permeabilidade foi determinado através da lei de Darcy apresentada abaixo:

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

Onde:

k = Coeficiente de permeabilidade (cm/s);

A1 = Área da sessão da amostra (cm²);

A2= Área do tubo (cm²);

L = Comprimento da amostra (cm);

h1 = Altura inicial (cm);

h2 = Altura final (cm);

T = Tempo (s).

A Tabela 12 apresenta os resultados obtidos para determinação do coeficiente de permeabilidade.

Tabela 12: Determinação do coeficiente de permeabilidade

Traço	Corpo de Prova (cm/s)			Média
	CP1	CP2	CP3	
Traço Referência (cm/s)	1,8	1,7	1,5	1,7
Traço 5% subs. (cm/s)	1,1	1,3	1,1	1,1

Fonte: Autor, 2020.

Foi analisado que os três CP's estudados se encontram dentro da faixa mínima determinados pela norma, e que a média entre ambos foi de 1,7 cm/s para o traço referência e 1,1 para o traço com 5% de substituição de agregado graúdo por miúdo. Como mencionado acima o agregado miúdo influencia diretamente na condutibilidade hidráulica do concreto permeável por preencher os vazios em que a água certamente infiltraria.

4.4.3.2. *Ensaio de modo empírico*

Foi feita a relação entre o volume de água que passa pela peça por um determinado período de tempo. O resultado das vazões encontradas é dado pela a equação seguinte:

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

Onde:

Q = Vazão (l/s);

V = Volume (l);

t = Tempo (s).

A determinação do coeficiente de permeabilidade foi através da fórmula abaixo:

$$k \frac{C \cdot m}{(d^2 \cdot t)}$$

Onde:

k = Coeficiente de permeabilidade (cm/s)

C = Fator de conversão de unidades do sistema SI, com valor igual a 127324,0555.

m = Massa de água infiltrada (kg)

d = Diâmetro interno do cilindro de infiltração (mm)

t = Tempo necessário para toda a água percolar (s)

A Tabela 13 apresenta os resultados obtidos do tempo médio, vazão média e coeficiente de permeabilidade dos dois tipos de traço

Tabela 13: Resultados obtidos para tempo, vazão e coeficiente de permeabilidade

Dados	Traço Referência	Traço 5% subs.
Tempo(s)	37,8	64,3
	40,3	65,2
	38,2	65,7
Média(s)	38,2	65,2
Vazão(l/s)	0,052	0,031
k(cm/s)	2,67	1,56

Fonte: Autor, 2020.

Conforme mostra a Tabela 13 para a determinação da permeabilidade, realizou-se uma análise com relação aos valores mínimos determinados em norma e com os valores obtidos nos ensaios realizados.

Fazendo a análise dos resultados obtidos nos ensaios, pode ser feita a verificação de que quanto mais compactado menor é o coeficiente de permeabilidade.

5 CONCLUSÃO

Conforme estabelecido inicialmente, esta pesquisa se propôs a desenvolver e caracterizar um traço de concreto permeável e convencional para atender as exigências mínimas determinadas em norma.

É possível concluir que os resultados dos ensaios físicos, mecânicos e hidráulicos desta pesquisa superou os valores mínimos exigidos em norma. Visto que, apenas os resultados de determinação do coeficiente de permeabilidade através do método empírico apresentaram diferença significativa quando comparado com o resultado utilizando um permeâmetro de carga variável.

Na determinação da resistência à compressão a maior média encontrada aos 28 dias de cura entre os três traços estudados foi de 29,80 MPa em CP cilíndrico e 25,90 MPa em CP retangular, ambos pertenceram ao traço convencional, como já esperado. Com relação aos dois traços de concreto permeável o que obteve maior média de resistência tanto em peças cilíndricas quanto retangulares foi o traço com 5% de substituição de agregado graúdo por miúdo, atingindo 22,55 MPa para peças cilíndricas e 21,45 MPa para retangular. No entanto o traço referência obteve um valor de 20,70 MPa em peça retangular, permanecendo acima do valor mínimo determinado pela ABNT NBR 16416:2015 de 20MPa.

A menor média do resultado do índice de vazios atingido foi de 0,17 para o traço 5% subs. sendo esse valor superior ao mínimo exigido pela norma ABNT NBR 9778:2009 de 0,15 à 0,25. Já a maior média encontrada foi de 0,23 para o traço referência, permanecendo abaixo do limite superior da faixa que caracteriza um concreto permeável.

Para determinação do coeficiente de permeabilidade foram utilizados dois métodos distintos, o empírico realizado “in loco” e em laboratório com a utilização de um permeâmetro de carga variável. O menor valor encontrado foi através do método em laboratório apresentando valor de 1,1 cm/s, tornando aceitável pois esse valor é superior que rege a ABNT NBR 16416:2015 de 1,0 cm/s.

Através dos resultados levantados é possível concluir que a condutibilidade hidráulica e a resistência do concreto permeável são inversamente proporcional, ou seja, quanto maior a condutibilidade hidráulica, menor sua resistência, visto que quanto obteve-se um coeficiente de permeabilidade de 2,67 cm/s a resistência foi de 20,70 MPa para o traço referência e quando o coeficiente de permeabilidade foi 1,56 cm/s a resistência foi 21,45 MPa.

Diante do exposto é possível notar que o concreto permeável possui vários poros vazios em sua estrutura, o que lhe permite ser um material adequado para pavimentos

visando a redução do escoamento superficial, visto que sua grande porosidade permite maior interação entre o solo facilitando a percolação das águas pluviais.

Todavia o traço 5% subs. apresenta-se como o mais indicado para ser empregado, devido principalmente à sua relação entre resistência mecânica e condutividade hidráulica ser mais equilibrada quando comparado com o traço referência. Em virtude da resistência à compressão ser maior e seu coeficiente de permeabilidade está acima do valor mínimo exigido por norma, que garante com essas características ser um concreto permeável.

Para realização deste trabalho foram estudados apenas aspectos de resistência mecânica, índice de vazios e condutividade hidráulica de amostras. Portanto, seguem algumas sugestões para futuros trabalhos voltado ao tema abordado.

5.1. SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

De acordo com as percepções obtidas no estudo, sugere-se para novas pesquisas:

- Alterar o percentual de adição de areia afim de elevar o ganho de resistência à compressão mantendo o valor mínimo do coeficiente de permeabilidade;
- Reduzir o tempo de vibração de 10 segundos por camada para 5 segundos e realizar novos ensaios para os corpos de prova;
- Usar compactação mecânica em um traço de concreto sem adição de areia; para obter uma comparação real entre os resultados obtidos nesse trabalho;
- Alterar a relação água/cimento em outras misturas e analisar sua influência;
- Analisar a influência de sílica ativa na mistura, assim como outros aditivos;
- Uso de aditivo retardador de pega, para retardar o início de pega do concreto para facilitar a moldagem dos corpos de prova;
- Avaliar a influência da porosidade na condutividade térmica do concreto permeável;
- Uso de massa para calafetar as laterais do cilindro no ensaio para determinação do coeficiente de permeabilidade “in loco” para evitar o vazamento de água na superfície da peça de concreto permeável;
- 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;

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

_____. **ABNT NBR 5739:2018** - Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. 9p.

_____. **ABNT NBR 6458:2017** - Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm - Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água. 10p.

_____. **ABNT NBR 7211:2019** - Agregados para concreto – Especificação 9p.

_____. **ABNT NBR 9778:2009** – Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. 4p.

_____. **ABNT NBR 9781:2013** - Peças de concreto para pavimentação — Especificação e métodos de ensaio. 21p.

_____. **ABNT NBR 9833:2009** - Concreto fresco - Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico. 7p.

_____. **ABNT NBR 14545:2000** - Solo - Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos a carga variável. 12p.

_____. **ABNT NBR 16416:2015** – Pavimentos permeáveis – requisitos e procedimentos. 25p.

_____. **ABNT NBR NM 26:2009** – Agregados – Amostragem. 10p.

_____. **ABNT NBR NM 45:2006** – Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. 8p.

_____. **ABNT NBR NM 52:2009** – Agregado miúdo – Determinação de massa específica, massa e específica aparente. 6p.

_____. **ABNT NBR NM 67:1998** - Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. 8p.

_____. **ABNT NBR NM 248:2003** – Agregados - Determinação da composição granulométrica. 3p.

_____. **ABNT NBR 16605:2017** – Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica. 4p.

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

ARAÚJO, P. R.; Tucci, C.E.; Goldenfum, J. A. (2000) **Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução do escoamento superficial**. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos. v. 5, n. 3, p. 21-29. DOI: 10.21168/rbrh.v5n3.p21-29.

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

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

BEAN, E. Z.; HUNT, W. F.; BIDELESPACH, D. A. **Field Survey of Pavement Surface Infiltration Rates**. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Vol. 133, No. 3, June, 2007.

BEECHAM, S.; LUCKE, T.; MYERS, B. **Designing porous and permeable pavements for stormwater harvesting and reuse**. Proc. 1st European IAHR Congress, Edinburgh, UK. 2010. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Terry_Lucke/publication/265823466. Acesso em: 19 mar. 2020.

BOTTEON, Letícia Machado. **Desenvolvimento e caracterização de concreto permeável para utilização em blocos intertravados para estacionamento**. 2017. 95p. Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: < <https://app.uff.br/riuff/bitstream/1/5255/1/LET%C3%8DCIA%20MACHADO%20BOTTEON%2011.37.017.pdf>> . Acesso em: 02 out. 2020.

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 out. 2020.

COLLISCHONN, Walter; TASSI, Rutinéia. **Introduzindo hidrologia**. Porto Alegre, 2008. Disponível em:< <http://pt.scribd.com/doc/43435101/Apostila-Hidrologia>>. Acesso em: 10 mar. 2020, as 17:00:36.

COOLEY, R.L. **Practical Scheffe-type credibility intervals for variables of a groundwater model**. Water Resources Research, v.35, n.1, p.113-126, 1999.4

COOPER, Alisson Meira. **Estudo de viabilidade técnica da implantação de pavimentos permeáveis do tipo infiltração total para redução do escoamento superficial, na cidade de Alegrete/RS**. 2013. 57p. Universidade Federal do Pampa. Porto Alegre, 2013. Disponível em:<<https://dspace.unipampa.edu.br/bitstream/riu/1657/1/Estudo%20de%20viabilidade%20t%C3%A9cnica%20da%20implanta%C3%A7%C3%A3o%20de%20pavimentos%20perme%C3%A1veis%20do%20tipo%20infiltra%C3%A7%C3%A3o%20total%20para%20redu%C3%A7%C3%A3o%20do%20escoamento%20superficial%20na%20cidade%20de%20Alegrete.pdf>> Acesso em: 01 mar. 2020.

DIAZ, Fernanda Spitz; ANTUNES, Patrícia Tainá da Silva Corrêa. **Estudo comparativo de projeto de drenagem convencional e sustentável para controle de escoamento superficial em ambientes urbanos**. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/pesquisae.php?fcampo=titulo&fnome1=Estudo+comparativo+de+projeto+de+drenagem+convencional+e+sustentavel+para+controle+de+escoamento+superficial+em+ambientes+urbanos&fnome2=&fnome3=&fnome4=>>>. Acesso em: 30 de mar. 2020, as 16:01:56.

DEO, O.; NEITHALATH, N. Compressive response of pervious concretes proportioned for desired porosities. **Construction and Building Materials**, v. 25, n. 11, p.4181-4189, 2011.

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

FIORITI, Cesar F. **Pavimentos intertravados de concreto utilizando resíduos de pneus como material alternativo**. 2007.

GARCEZ, Lucas. Nogueira; ALVAREZ, Guillermo Acosta. **Hidrologia**. 2ª edição, São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 1988.

KAJIO, S.; TANAKA, S.; TOMITA, R.; NODA, E.; HASHIMOTO, S. **Properties of Porous Concrete with High Strength**, Proceedings 8th International Symposium on Concrete Roads, Lisboa, p. 171-177, 1998.

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

LIM, E.; TAN, K. H.; FWA, T. F. Effect of Mix Proportion on Strength and Permeability of Pervious Concrete for Use in Pavement. **Journal Of The Eastern Asia Society For Transportation Studies**, Singapore, v. 10, p.1565-1575, 2013.

MAZZONETTO, C. **Concreto permeável alternativa para aumentar a permeabilidade de pavimentos submetidos a cargas reduzidas, sistema demanda cuidados de especificação, instalação e manutenção**. 2011. Disponível em: <http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/13/artigo254488-2.aspx>. Acesso em: 15 abr. 2020.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concrete, Microstructure, Properties and Materials**, São Paulo: Ibracon, 2008. 674p.

MOURA, Thales Augustus Moreira. **Estudo experimental de superfícies permeáveis para o controle do escoamento superficial em ambientes urbanos**. Brasília, DF 2005. Disponível: <http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action=&co_obra=144377>. Acesso em: 05 mar. 2020, 11:53:45.

MONTES, F. & HASELBACH, L. **Measuring Hydraulic Conductivity in Pervious Concrete**. Environmental Engineering Science. University of South Carolina, Columbia, v.23, n.6, p. 960 – 969, 2006.

MÜLLER, Rodrigo M. **Avaliação de transmissão de esforços em pavimentos intertravados de blocos de concreto**. 2005, 256 f. Dissertação (Mestrado) – Mestrado em Ciências em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

NGUYEN, D. H. *et al.* A modified method for the design of pervious concrete mix. **Construcion and Building of pervious**. v. 73, p. 271-282. 2014. Disponível em: <<https://gogale.ez71.periodicos.capes.gov.br/ps/i.do?id=GALE%7CA394180673&v=2.1&u=capes&it=r&p=AONE&sw=w>> Acesso em: 15 set. 2020

PARKINSON, Jonathan *et al.* **Drenagem urbana sustentável no Brasil**. Relatório do workshop em Goiânia-GO, 2003. Disponível em:< http://4ccr.pgr.mpf.gov.br/institucional/grupos-de_trabalho/residuos/docs_resid_solidos/drenagem_urbana_no_Brasil-workshop_relatorio081003.pdf>. Acesso em 10 abr. 2020, as 13:40:20.

PEREIRA, K.K.; BARBOSA, M.P. **Desenvolvimento de composição de concreto permeável com agregados oriundos de resíduos de construção civil da região de campinas**. Publicação Anais do XX Encontro de Iniciação Científica, 2015.

PETTERMANN, Rodrigo. **Avaliação do desempenho de blocos de concreto para pavimentação com Metacaulim e Sílica ativa**. 2006, 71 f. Monografia (PósGraduação) – Programa Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006

PINDADO, M. A; AGUADO, A.; JOSA, A. **Fatigue Behavior of Polymer Modified Porous Concretes**. Universitat Politècnica de Catalunya, School of Civil Engineering (ETESECCPB) Barcelona, Spain, 11p., 1999. Disponível em:<http://upcommons.upc.edu/e-prints/bitstream/2117/2482/1/aguado_cement_1.pdf> Acesso em: 12 abr. 2020.

PINTO, L. L (2011) **O desempenho de pavimentos permeáveis como medida mitigadora da impermeabilização do solo urbano**. Tese de doutorado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011. Disponível em : <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-31082011-160233/pt-br.php> > em 20 mar 2020 as 10:42:22

SALES, T. D. (2008). **Pavimento permeável com superfície em blocos de concreto de alta porosidade. Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Disponível em : < <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/92148/262396.pdf?sequence=1&isAllowed=y> > Acesso em 08 mar 2020, as 12:49:50

SANTOS, Álvaro Rodrigues dos. **Enchentes e deslizamentos: causas e soluções: áreas de risco no Brasil**. 1ª edição. São Paulo: PINI, 2012.

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

SOUZA, Vladimir Caramori Borges. **Estudo experimental de trincheiras de infiltração no controle da geração do escoamento superficial**. Porto Alegre, 2002. Disponível em: < <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/3006> >. Acesso em: 07 mar. 2020, as 17:25:13.

SILVEIRA. **Inundações urbanas na América do sul**. Porto Alegre, 2003. p.11-44. Disponível em: <http://galileu.iph.ufrgs.br/aguasurbanas/Contents/Publicacoes/Downloads/CE_Tucci/INUNDACOES_URBANAS.pdf>. Acesso em: 17 mar. 2020, as 22:45:00.

SULEIMAN, M. T.; KEVERN, J.; SCHAEFER, V. R.; WANG, K. **Effect of Compaction Energy on Pervious Concrete Properties**, Proceedings of Concrete Technology Forum: Focus on Pervious Concrete, Nashville, TN, May 24-25, 2006.

SWART, J.H. **Experience with Porous Asphalt in the Netherlands**. In: Congresso Europeo de Mezclas Drenantes, 1997, Madri. 1997. p.1019-1035.

TUCCI, C. M.; Tozzi, M. J. (1998) **Drenagem urbana: gerenciamento, simulação, controle**. Associação Brasileira de Recursos Hídricos, p. 155-163. Editora UFRGS, Porto Alegre.

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

TUCCI, C. M.; Bertoni, J. C. (2003) **Inundações urbanas na América do Sul**. Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre.

VIRGILIIS, A. D. (2009). **Procedimentos de projeto e execução de pavimentos permeáveis visando retenção e amortecimento de picos de cheias**. Dissertação de

XU, G. SHEN, W. HOU, X. YANG, Z. WANG, J. ZHANG, W. JI, X. Investigation on the properties of porous concrete as road base material. **Construction and Building Materials**, v. 158, p. 141 – 148, 2018. Disponível em :<<https://www-sciencedirect.ez71.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S095006181731975X?via%3Dihub>>. Acesso em 17 out. 2020.

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

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