

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

LUCAS CLAUDIR JAHN

**INFLUÊNCIA DO TAMANHO E TEOR DE AGREGADO NAS
PROPRIEDADES DO CONCRETO PERMEÁVEL**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO
2016

LUCAS CLAUDIR JAHN

**INFLUÊNCIA DO TAMANHO E TEOR DE AGREGADO NAS
PROPRIEDADES DO CONCRETO PERMEÁVEL**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso superior de Engenharia Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof.^a Dra. Fabiana Goia R. de Oliveira.

Co-orientador: Eng. Esp. Gustavo Macioski.

CAMPO MOURÃO

2016



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Campo Mourão
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Departamento Acadêmico de Construção Civil
Coordenação de Engenharia Civil



TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso

**INFLUÊNCIA DO TAMANHO E TEOR DE AGREGADO NAS PROPRIEDADES DO
CONCRETO PERMEÁVEL**

por

Lucas Claudir Jahn

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 13h30min do dia 14 de junho de 2016 como requisito parcial para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL, pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof.º Dr. Jorge Luís Nunes de Góes

(UTFPR)

**Prof.º Me. Ewerton Clayton Alves da
Fonseca**

(UTFPR)

Prof.ª Dra. Fabiana Goia R. de Oliveira

(UTFPR)

Orientadora

Responsável pelo TCC: **Prof. Me. Valdomiro Lubachevski Kurta**

Coordenador do Curso de Engenharia Civil:

Prof. Dr. Marcelo Guelbert

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

AGRADECIMENTOS

À minha família por todo o apoio que tive ao longo de minha vida, por me tornarem parte do que sou hoje e que sem vocês essa conquista não seria possível.

À Professora Dra. Fabiana Goia R. de Oliveira, pela orientação deste trabalho, pelos ensinamentos e pela grande ajuda para que essa pesquisa se tornasse possível.

Ao meu co-orientador Eng. Esp. Gustavo Macioski, sempre solícito e dedicado, por seu excelente trabalho nas correções e sugestões, além do auxílio durante a condução dos experimentos.

Ao Professor Dr. Jorge Luís Nunes de Góes, por sua valiosa orientação no incentivo a pesquisa como também pelo apoio e amizade.

RESUMO

JAHN, Lucas C. **Influência do tamanho e teor de agregado nas propriedades do concreto permeável** 2016. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2016.

A desordenada expansão urbana traz consigo o aumento da impermeabilização da superfície do solo através de construções, ruas, calçadas que acabam afetando o ciclo hidrológico além de causar inundações. Uma alternativa para minimizar esses problemas é a construção de pavimentos com concreto permeável que auxiliam na recuperação da capacidade de infiltração do solo. Esta pesquisa tem como objetivo estudar a influência do tamanho e teor de agregado nas propriedades do concreto permeável utilizado como camada de revestimento em pavimentos permeáveis. Para isso foram realizados ensaios em seis diferentes traços com variação do tamanho e da proporção de agregados na mistura. A caracterização das misturas foi realizada pelos ensaios de *slump test*, tempo Vebe, resistência à compressão axial, tração por compressão diametral, absorção de água, índices de vazios, massa específica e módulo de elasticidade dinâmico pela técnica de excitação por impulso. Também foi determinada a condutividade hidráulica (permeabilidade) utilizando um permeâmetro de carga variável. A partir dos resultados obtidos foi possível observar que os coeficientes de permeabilidade dos traços analisados foram altos, acima dos valores estabelecidos pela NBR 16416 de concreto permeável. Quanto à resistência na tração, todos os traços apresentaram valores acima do mínimo recomendado pela norma de concreto permeável, enquanto a resistência à compressão relativa ter apresentado valores inferiores ao mínimo recomendado pela mesma norma. O traço com melhor desempenho e potencial para utilização em pavimento permeável foi o M5B1, devido à alta permeabilidade (1,27 cm/s) e resistência à tração mínima dentro da NBR 16416.

Palavras-chave: Resistência. Permeabilidade. Ensaios de Caracterização.

ABSTRACT

JAHN, Lucas C. **Influence of size and aggregates content in the properties of pervious concrete**. 2016. 63 f. Final Essay (Bachelor of Civil Engineering) – Federal Technology University of Paraná. Campo Mourão, 2016.

The unplanned urban expansion brings with it an increase impermeabilization of the soil surface through buildings, streets, sidewalks that end up affecting the water cycle and causing flood. An alternative to solve these problems is the construction of floors with permeable concrete that help to restoring soil infiltration capacity. This research aimed to study the influence of the size and aggregate content in pervious concrete properties used as permeable coating layer in permeable pavements. For this were performed assays with six different mixtures with varying size and proportion of aggregate in the mix. The mixture characterization was done based on the following assays: *slump test*, Vebe time, compressive strength, diametric compression strength, water absorption, void ratios, bulk density and dynamic modulus of elasticity through the impulse excitation technique. To determine the hydraulic conductivity (permeability) we used a variable load permeameter. From the results it was observed that the permeability coefficient of the mixtures analyzed in the study were high, above the values established by the standard NBR 16416. Regarding to resistance, all mixtures showed good performance traction in flexion, getting the minimum requirements of the standard, although the resistance to relative compression have obtained values below the minimum specified in the standard. The mixture with better performance and potential for use in permeable paving was M5B1, since the high permeability (1,27 cm / s) and minimum traction strength within the standard NBR 16416.

Keywords: Strength. Permeability. Characterization Tests.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Seção tipo de um pavimento permeável	17
Figura 2 - Modelo de aplicação do concreto permeável	18
Figura 3 - Permeâmetro de carga constante	22
Figura 4 - Coeficiente de permeabilidade por anel de infiltração.....	22
Figura 5 - Aparelho para medição da condutividade hidráulica.....	23
Figura 6 - Curva granulométrica da areia	25
Figura 7 - Curva granulométrica dos agregados graúdos	25
Figura 8 - Equipamento Vebe.....	28
Figura 9 - <i>Slump test</i>	29
Figura 10 - Ensaio Vebe.....	30
Figura 11 - Ensaio de compressão axial	31
Figura 12 - Influência da relação altura/diâmetro sobre a resistência aparente do cilindro	31
Figura 13 - Ensaio de tração por compressão diametral.....	32
Figura 14 - Balança hidrostática.....	34
Figura 15 - Princípio de funcionamento da técnica de excitação por impulso	35
Figura 16 - Aparato para ensaio dinâmico de corpo-de-prova cilíndrico	36
Figura 17 - Permeâmetro de carga variável	37
Figura 18 - Partes do permeâmetro de carga variável	38
Figura 19 - Aderência do concreto nas paredes internas do tambor	41
Figura 20 - Resistência à compressão axial relativa com barras de erros	43
Figura 21 - Resistência à tração na flexão relativa com barras de erros.....	44
Figura 22 - Resultados de massa específica, absorção de água e índice de vazios com barras de erros	45
Figura 23 - Resultados do módulo de elasticidade dinâmico com barras de erros ...	47
Figura 24 - Resultados de ensaios de permeabilidade com barras de erros	49
Figura 25 - Correlações entre parâmetros avaliados	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Requisitos mínimos do revestimento permeável.....	16
Tabela 2 - Consumos e proporções típicos nas misturas de concreto permeável	20
Tabela 3 - Relatório de ensaio físico-químico	24
Tabela 4 - Caracterização dos agregados	26
Tabela 5 - Traços dos concretos avaliados.....	27
Tabela 6 - Tipos de ensaios e N° de CP'S	40
Tabela 7 - Valores dos coeficientes de permeabilidade obtidos nos ensaios	48

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	10
1.1.	JUSTIFICATIVAS	10
1.2.	OBJETIVO.....	11
1.2.1.	Objetivo Geral.....	12
1.2.2.	Objetivos Específicos	12
1.3.	ESTRUTURA.....	12
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1.	CONCRETO	14
2.2.	HISTÓRICO DO CONCRETO PERMEÁVEL	14
2.3.	CONCRETO PERMEÁVEL	16
2.3.1.	Vantagens e Desvantagens.....	18
2.3.2.	Composição e Requisitos Mínimos do Concreto Permeável.....	19
2.3.3.	Ensaio de Permeabilidade	21
3.	MATERIAIS E MÉTODOS	24
3.1.	MATERIAIS UTILIZADOS	24
3.1.1.	Cimento Portland.....	24
3.2.	PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL	26
3.2.1.	Procedimentos de Moldagem.....	27
3.3.	PROPRIEDADES NO ESTADO FRESCO	28
3.3.1.	<i>Slump Test</i>	28
3.3.2.	Ensaio Vebe	29
3.4.	PROPRIEDADES NO ESTADO ENDURECIDO	30
3.4.1.	Resistência à Compressão Axial	30
3.4.2.	Resistência à Tração por Compressão Diametral	32
3.4.3.	Absorção de Água, Índice de Vazios e Massa Específica	33
3.4.4.	Módulo de Elasticidade Dinâmico.....	34
3.4.5.	Permeabilidade.....	37
3.5.	RESUMO DOS ENSAIOS REALIZADOS.....	40
3.6.	DADOS ESPURIOS	40
4.	RESULTADOS	41
4.1.	CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO	41
4.2.	CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO.....	42
4.2.1.	Compressão Axial Relativa.....	42
4.2.2.	Tração Na Flexão Relativa	44
4.3.	ÍNDICES FÍSICOS.....	45
4.4.	MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO	46
4.5.	PERMEABILIDADE	48
4.6.	CORRELAÇÕES ENTRE PARÂMETROS AVALIADOS.....	50
5.	CONCLUSÕES	52
5.1.	TRABALHOS FUTUROS.....	53
	REFERÊNCIAS.....	55
	APÊNDICE A – Resumo dos resultados obtidos.....	61

1. INTRODUÇÃO

A urbanização das grandes cidades vem trazendo consigo a crescente impermeabilização da superfície do solo, através da construção de edifícios com calçadas impermeáveis ligadas por ruas pavimentadas, portanto, com a interferência humana no ciclo hidrológico. Além disso, a demanda por vias de tráfego asfaltadas levaram à ocupação de grande parte da superfície das cidades com materiais impermeáveis, como o concreto asfáltico e o concreto de cimento Portland (HÖLTZ, 2011).

Agra (2011) defende que a ocupação urbana através de áreas impermeáveis como telhados, ruas, estacionamentos e passeios também altera as características de volume e qualidade do ciclo hidrológico. Com a drenagem da água através do solo prejudicada pela ação antrópica, o escoamento e o retorno ao lençol freático da água tornam-se mais difíceis, resultando em alagamentos e enxurradas.

Araújo, Tucci e Goldenfum (2000) mostram que as ações públicas para as soluções desses problemas no Brasil estão voltadas, na maioria das vezes, somente para as medidas estruturais. As soluções geralmente encontradas têm sido a construção de redes de drenagem, que simplesmente transferem a inundação de um ponto para outro a jusante na bacia, sem que se avaliem os reais benefícios da obra.

Uma das alternativas para reduzir estes impactos é a utilização de concretos permeáveis, que podem ser utilizados como cobertura para pavimentos em via de pedestres, estacionamentos e para tráfego de veículos leves. Ao mesmo tempo que permitem a infiltração da água no solo, colaboram com a diminuição das superfícies impermeabilizadas na cidade. Marchioni e Silva (2011) afirmam ainda que pavimentos permeáveis podem reduzir o escoamento superficial em até 100%, dependendo da intensidade da chuva, e retardam a chegada da água ao subleito reduzindo assim a erosão do solo.

Desta forma, o concreto permeável é uma das alternativas que auxiliam na recuperação da capacidade de infiltração do solo que vem sendo perdida com devido ao avanço das áreas urbanas (POLASTRE; SANTOS, 2006).

1.1. JUSTIFICATIVAS

A alta permeabilidade é uma das principais razões pelo qual o concreto permeável está sendo investigado e produzido nos dias atuais. Quando o concreto permeável é utilizado em pavimentação externa, a água da chuva pode infiltrar diretamente no solo, diminuindo o escoamento superficial que segue para o sistema de drenagem urbano (NATIONAL READY MIXED CONCRETE ASSOCIATION, 2010).

Para controlar a impermeabilização das superfícies nas grandes cidades, é comum as prefeituras exigirem que uma parcela do terreno seja mantida livre de cobertura impermeável, geralmente variando entre 15% a 30% do terreno. Porém, nem sempre é possível atender este requisito. Para Marchioni e Silva (2011) uma forma de conseguir atender a legislação da cidade e ao mesmo tempo manter a área útil do terreno é através da utilização de pavimentos permeáveis.

De acordo com Höltz (2011) existem diferenças significativas entre o concreto permeável e o pavimento asfaltado. Após uma chuva, por exemplo, o asfalto se mantém escorregadio com a água da chuva, enquanto que a superfície do concreto permeável se mantém inalterada.

Além de apresentar boas características na solução da impermeabilização, o concreto permeável ainda possui uma série de aplicações e benefícios. Huffman (2005) considera que o concreto permeável adequadamente dosado deve apresentar baixa densidade, ser permeável e apresentar boa capacidade estrutural, tendo assim uma grande gama de aplicações. Além do mais, suas características são interessantes às áreas urbanas pelo ganho ambiental e econômico, onde é elevado o valor da terra (POLASTRE; SANTOS, 2006).

Considerando as vantagens da utilização deste material, ressalta-se a importância de estudos mais detalhados que considerem questões relativas aos tipos de materiais constituintes de concretos permeáveis, bem como seu comportamento mecânico frente aos requisitos de permeabilidade (BETEZINI, 2013).

1.2. OBJETIVO

1.2.1. Objetivo Geral

O objetivo desta pesquisa é avaliar as propriedades de concretos permeáveis dosados com diferentes tamanhos e teores de agregados.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Avaliar a influência do tamanho e do teor de agregado nas propriedades físicas do concreto permeável;
- Avaliar a permeabilidade dos concretos produzidos;
- Verificar o enquadramento das propriedades de resistência e permeabilidade do concreto permeável com os requisitos da NBR 16416 (ASSOCIAÇÃO..., 2015).

1.3. ESTRUTURA

No capítulo 1 será apresentado um panorama geral sobre concretos permeáveis e suas aplicações, além de descrever os objetivos, a necessidade e contribuição desta pesquisa.

No capítulo 2 será discutida a fundamentação teórica sobre concretos permeáveis, sua história e aplicação.

No capítulo 3 será mostrado qual foi a metodologia adotada para a realização dos ensaios, além de apresentar os materiais e ensaios utilizados no decorrer da pesquisa.

No capítulo 4 serão apresentadas as discussões e análises feitas sobre os resultados obtidos.

Por fim, no capítulo 5 serão apresentadas as conclusões acerca da pesquisa realizada.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. CONCRETO

O concreto é o material mais utilizado na construção civil, obtido através da mistura homogênea de cimento, agregado graúdo, agregado miúdo, e água, podendo conter aditivos e adições (RIBEIRO, 2015). A qualidade do concreto depende diretamente da qualidade dos materiais utilizados para a sua produção.

Para garantir uma mistura adequada e obter uma resistência desejada é necessário possuir material adequado, conhecer as características do mesmo, para então, calcular as proporções de cada agregado e o fator água/cimento. Outros fatores que devem ser levados em consideração são: transporte, lançamento, compactação e cura do concreto (ANDOLFATO, 2002).

As razões da maior utilização do concreto em relação aos outros materiais são: sua excelente resistência à ação da água; facilidade na obtenção de diversas formas e volumes devido à sua consistência plástica; baixo custo e disponibilidade de matéria prima (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

2.2. HISTÓRICO DO CONCRETO PERMEÁVEL

O concreto permeável tem sido usado de diversas maneiras como: construção de casas, edifícios, painéis pré-fabricados, blocos curados e pisos desde a metade do século XIX. De acordo com Ghafoori (1995), isso ocorreu em virtude da escassez de concreto ou bons tijolos e à grande disponibilidade de agregados graudos.

Segundo Mullingan (2005) somente na década de 70 é que o concreto permeável passou a ser utilizado nos EUA, em virtude de suas características de elevada permeabilidade. De fato, o uso nos Estados Unidos foi desencadeado pela tentativa de minimizar as consequências das inundações que começaram a ocorrer com frequência cada vez maior em áreas impermeáveis recém-construídas.

De acordo com Polastre e Santos (2006), já existem registros de experiências recentes em vários países, como no Japão e no Chile. Nos últimos anos a comunidade científica internacional passou a estudar de maneira mais aprofundada este material, com o objetivo de caracterizá-lo e normalizá-lo de maneira mais adequada.

O avanço considerável dos estudos nos EUA em relação a esse material, principalmente nos últimos vinte anos, permitiu ao American Concrete Institute (ACI) desde 2006 produzir coletâneas dos trabalhos relacionados ao mesmo através do boletim ACI 522 "*Pervious Concrete*", o qual possui uma série de trabalhos relevantes e especificações para o auxílio na produção de concreto permeável.

Por enquanto, a presença do concreto permeável no Brasil é tímida, esse dispositivo ainda é pouco aplicado, com iniciativas isoladas em estacionamentos de shoppings centers e condomínios (MAZZONETTO, 2012).

No ano de 2015 foi lançada a "NBR 16416:2015 - Pavimentos Permeáveis de Concreto - Requisitos e Procedimentos", que estabelece requisitos mínimos de projeto, especificação, execução e manutenção de pavimentos permeáveis de concreto. Além das definições de pavimento, ela apresenta também requisitos mínimos para a estrutura de acordo com o uso, apresentado na Tabela 1, e ainda a permeabilidade mínima relacionada ao tipo de revestimento.

Tabela 1 - Requisitos mínimos do revestimento permeável

Tipo de revestimento	Tipo de solicitação	Espessura mínima (mm)	Resistência mecânica característica (MPa)	Coefficiente de permeabilidade do pavimento recém-construído (m/s)
Peça de concreto (juntas alargadas ou áreas vazadas)	Tráfego de pedestres	60,0	$\geq 35,0^a$	$> 10^{-3}$
	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	$\geq 2,0^b$	
	Tráfego leve	80,0		
Concreto permeável moldado no local	Tráfego de pedestres	60,0	$\geq 1,0^c$	
	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: NBR 16416 (ASSOCIAÇÃO..., 2015)

2.3. CONCRETO PERMEÁVEL

Concreto permeável é um tipo de concreto com alto índice de vazios interligados, preparado com pouca ou nenhuma areia, o que permite a passagem desobstruída de grandes quantidades de água (KRISLEI, 2015).

Através de quantidades controladas de água e cimento é possível formar um espesso revestimento em torno das partículas agregadas do concreto permeável, assim, criam-se muitos vazios interligados, que deixam a peça altamente permeável. Normalmente se obtém um índice de 15 a 25% de vazios e um escoamento de água da ordem de 200L/m²/min (ACI, 2006).

A alta porosidade reduz a resistência deste material em relação ao concreto comum, de modo que sua aplicação em pavimentos não se presta a todo tipo de

tráfego, mas é adequado à maior parte dos locais de tráfego leve ou pouco intenso. (POLASTRE; SANTOS, 2006).

A maior aplicação do concreto permeável é como constituinte de pavimento permeável, como mostrado na Figura 1, com espessuras entre cinco e dez centímetros sobre camadas subsequentes, sendo: uma de agregados miúdos, outra de agregado graúdo, camada de revestimento e camada de assentamento.

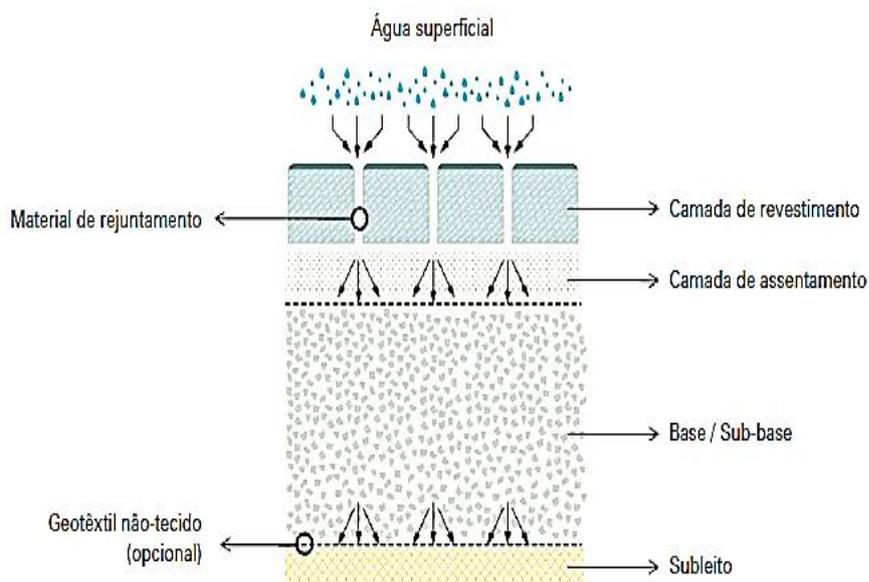


Figura 1 - Seção tipo de um pavimento permeável
Fonte: Marchioni et al. (2011)

No caso da seção apresentada na Figura 1, o concreto permeável entra na camada de revestimento e tem a função de permitir a passagem rápida da água, que então chega às outras camadas dos agregados miúdo e graúdo, para então ser conduzida a infiltração no subsolo (MARCHIONI; SILVA, 2011).

Dependendo das normas locais e das características do meio, o pavimento e sua sub-base podem ter capacidade suficiente de infiltração para eliminar a necessidade de outras obras de drenagem desde que seja preparado de maneira correta como na Figura 2 (POLASTRE; SANTOS, 2006).

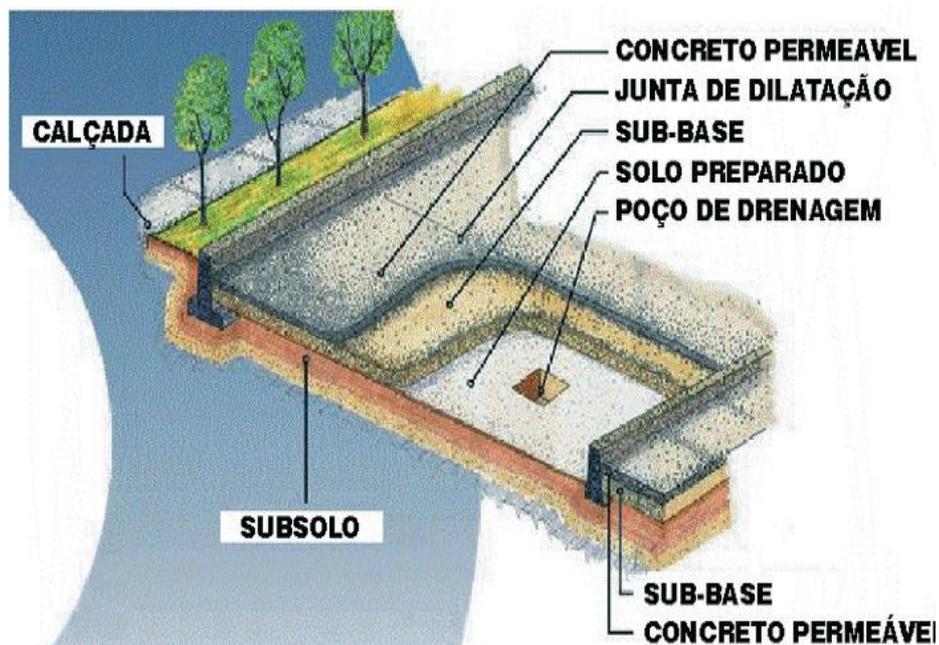


Figura 2 - Modelo de aplicação do concreto permeável
 Fonte: Rômulo Murucci (2014)

2.3.1. Vantagens e Desvantagens

Uma vantagem econômica da produção de concreto permeável é que pode ser executado *in loco*, com materiais encontrados na região, evitando custos de transporte elevados. Além disso, pode ser fabricado com baixa tecnologia e mão de obra não especializada, se a mesma receber um treinamento básico adequado (HÖLTZ, 2011).

Sua adoção também contribui para a manutenção dos aquíferos subterrâneos e para redução da velocidade e da quantidade do escoamento superficial dessas águas. Por permitir a infiltração natural das águas pluviais, ele também acaba contribuindo para um uso mais eficiente do solo, pois não são mais necessárias obras de drenagem, com pontos de retenção, valas, tubulações e outros mais (POLASTRE; SANTOS, 2006)

Entretanto como desvantagem, há sempre a possibilidade de colmatação e constantes gastos com a manutenção e limpeza do concreto. Nas considerações de Baptista e Nascimento (2011), a colmatação de uma estrutura de infiltração possui como causa básica a deposição de material particulado de finos no interior da estrutura preenchendo os vazios do meio poroso. As partículas maiores ficam

retidas nas camadas superiores ao passo que as menores vão sendo carreadas para as partes mais profundas. De maneira geral esse é o fenômeno que faz com que o meio poroso perca através do tempo sua capacidade de condutividade hidráulica de maneira lenta e progressiva.

A longo prazo, a infiltração de águas pluviais na estrutura pode tornar-se nula, uma vez que o sistema perde sua função drenante e passa a comportar-se como estrutura impermeável ou de retenção sem exutório. Assim, a colmatação está diretamente ligada à vida útil do pavimento ou do meio poroso (VIRGILIIS, 2009).

Embora se saiba do emprego do concreto permeável já há algumas décadas na Europa e Estados Unidos, no Brasil existem poucas citações do uso deste material, em sua maioria relacionados à drenagem urbana. Maior atenção tem sido dada a blocos de concreto intertravado e blocos de concreto vazado (POLASTRE; SANTOS, 2006).

O desenvolvimento de pesquisas e utilização do concreto permeável esta em estágio primitivo no Brasil, além disso, o numero de publicações e metodologias para a aplicação deste material é escasso, dificultando sua execução e aplicação. (BETEZINI, 2013). Outro problema é a falta de métodos específicos de dosagem e moldagem desse material, dificultando o processo de execução e análise de resultados.

2.3.2. Composição e Requisitos Mínimos do Concreto Permeável

O concreto permeável é composto pelos mesmos materiais utilizados na produção do concreto de cimento Portland convencional, apenas com a diferença de que a quantidade de agregados miúdos é praticamente nula (TENNIS et al., 2004)

As proporções de agregados variam dependendo dos tipos de insumos disponíveis no local de uso. Na Tabela 2 são apresentadas as faixas típicas de consumo e proporções de materiais utilizados no preparo do concreto permeável de acordo com a ACI 522R-10.

Tabela 2 - Consumos e proporções típicos nas misturas de concreto permeável

Materiais	Proporções (kg/m³)
Material cimentício (kg/m ³)	270 a 415
Agregado graúdo (kg/m ³)	1190 a 1480
Relação água/cimento (a/c) em massa	0,27 a 0,34
Relação cimento/agregado em massa	4 a 4.5:1
Relação agreg. miúdo/agreg. graúdo em massa	0 a 1:1

Fonte: ACI (2010)

Segundo o ACI (2010), as misturas de concreto permeável normalmente tendem a desenvolver resistências de compressão na ordem de 2,8 a 28,0 MPa. Ou seja, apesar do alto índice de vazios, o contato entre os agregados que compõe o concreto permeável garantem uma resistência razoável.

Já a quantidade mínima do teor de vazios indicado pelo boletim ACI 522R-10 é de 15%, podendo chegar a até 35%, valores acima deste não são indicados pelo fato do material ter sua resistência muito reduzida.

A taxa de drenagem do pavimento de concreto permeável varia de acordo com o tamanho do agregado e da densidade da mistura, mesmo assim ele deverá geralmente se enquadrar dentro da faixa de 81 a 730 l/min/m². A granulometria dos agregados utilizadas nas misturas é normalmente do tipo uniforme, em que o diâmetro varia entre 9,5 e 19 mm (ACI, 2010).

De acordo com a NBR 16416 (ASSOCIAÇÃO..., 2015) pavimentos de concreto permeável moldados no local, devem apresentar resistência a tração na flexão igual ou superior a 2 MPa em tráfego leve e igual ou superior a 1 MPa em tráfego de pedestres.

Quanto à moldagem do concreto permeável, não existe nenhum método específico normatizado. Contudo, Schaefer et al. (2006) observaram que a ordem de mistura dos componentes altera as características do produto final. Assim desenvolveram um procedimento diferente do tradicional, em que os agregados são misturados com a água e posteriormente é adicionado o cimento. Neste novo procedimento os agregados são misturados com uma pequena porcentagem de cimento e posteriormente é adicionada a água com o restante do cimento - através deste procedimento foi obtido um material com melhores propriedades mecânicas e hidráulicas.

Para Höltz (2011), o concreto permeável tem sua densidade influenciada, diretamente, pelas propriedades e proporções dos materiais utilizados e na

metodologia de compactação usada. Normalmente encontram-se densidades na ordem de 1600 kg/m³ a 2000 kg/m³.

Suleiman et al. (2006) analisaram a influência da energia de compactação nas propriedades do concreto permeável e concluíram que moldagens com 15 golpes de bastão metálico em cada uma das três camadas de corpo de prova cilíndrico, com vibração posterior, melhora as condições de resistência mecânica após a cura, sem prejuízo a condutividade hidráulica.

2.3.3. Ensaio de Permeabilidade

O coeficiente de permeabilidade (ou condutividade hidráulica) pode ser definido como a velocidade com que água atravessa um determinado material que é considerado uma das características mais importantes do concreto permeável (BETEZINI, 2013). De acordo com Tennis et al. (2004) valores típicos encontrados em concretos permeáveis variam entre 0,21 cm/s e 0,54 cm/s.

O valor de condutividade hidráulica pode ser determinado no laboratório de diferentes formas. A maior parte dos autores utilizam permeômetros de carga variável pelo fato de sua praticidade. Neste tipo de ensaio, a amostra cilíndrica é preparada de modo que a água percole somente entre as faces superior e inferior do corpo de prova evitando que ela percole pelas laterais do corpo de prova (Schaefer et al., 2006).

De acordo com a NBR 16416 (ASSOCIAÇÃO..., 2015) - Pavimentos permeáveis de concreto, é sugerido duas formas de obtenção do coeficiente de permeabilidade. No primeiro caso é indicado uma adaptação da NBR 13292 (ASSOCIAÇÃO..., 1995) que trata da “Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares a carga constante”, para análise do coeficiente de permeabilidade do concreto permeável. A aparelhagem utilizada neste ensaio pode ser vista na Figura 3.



Figura 3 - Permeômetro de carga constante
Fonte: Batezini e Balbo (2015)

A segunda opção se aplica apenas a peças de concreto e acontece como mostrado na Figura 4, através da fixação de um anel de infiltração cilíndrico vazado com altura de 50 mm, o qual é posicionado no local do ensaio e vedado na parte em contato com o pavimento. Logo após, é despejada uma quantidade pré-fixada de água em que o tempo é cronometrado a partir do contato da água com o pavimento até não haver água livre na sua superfície. Assim com os dados de massa de água utilizada, diâmetro do cilindro e tempo de percolação da água é possível calcular o coeficiente de permeabilidade.



Figura 4 - Coeficiente de permeabilidade por anel de infiltração
Fonte: Marchioni e Silva (2011)

Ainda de acordo com a NBR 16416 (ASSOCIAÇÃO..., 2015) o coeficiente de permeabilidade para concretos permeáveis em pavimentos deve ser maior que 0,001 m/s - como já apresentado na Tabela 1.

Outro método utilizado para a obtenção do coeficiente de permeabilidade do concreto permeável, e bastante utilizada, é o método baseado na proposta apresentada por Neithalath et al.(2003). Este método de ensaio envolve a colocação de uma amostra de concreto permeável, dentro de um tubo de acrílico com diâmetro levemente superior ao do corpo de prova. Outro tubo é usado para formar um reservatório sobre o corpo de prova. A ligação do tubo superior com a amostra deve ser selada de tal modo que se possa garantir que só haverá fluxo pelo próprio concreto (Figura 5). A amostra de concreto permeável é envolta a uma manga ou faixa látex, para evitar o fluxo lateral ao longo de sua altura.



Figura 5 - Aparelho para medição da condutividade hidráulica.
Fonte: Neithalath et al. (2003)

Para realização do ensaio é adicionada uma coluna de água na parte superior do corpo de prova que percola pelo mesmo. Durante o ensaio deve ser medido o tempo em que a coluna de água demora a percolar entre dois pontos da coluna de água. Através destes dados é calculado o coeficiente de permeabilidade por meio da lei de Darcy.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. MATERIAIS UTILIZADOS

3.1.1. Cimento Portland

O cimento a ser utilizado como aglomerante para a produção do concreto foi o CP V - ARI, por não possuir adições minerais e desenvolver resistência em um curto espaço de tempo, garantindo a desmoldagem em 24h sem que as amostras sofram rupturas prematuras durante o manuseio. A caracterização físico-química do material é apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 - Relatório de ensaio físico-químico

QUÍMICOS									
Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Perda Fogo	CaO Livre	Resid. Insol.	Equiv. Alcal.
%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
4,24	18,94	2,69	61,19	4,24	2,99	3,29	0,76	0,72	0,67
FÍSICOS									
Exp. Quente	Tempo de Pega		Cons. Normal	Blaine	#200	#325	Resistencia à Compressão 28 dias	Massa específica	
	Início	Fim							
Mm	h:min	h:min	%	cm ² /g	%	%	MPa	g/cm ³	
0,05	03:28	04:07	29,7	4.280	0,04	0,62	52,4	3,09	

Fonte: Cimento Itambé (Outubro, 2015)

O agregado miúdo natural utilizado na pesquisa foi proveniente da cidade de Curitiba-PR. Na Figura 6 é apresentada a distribuição granulométrica e na Tabela 4 são apresentadas as demais características da areia utilizada.

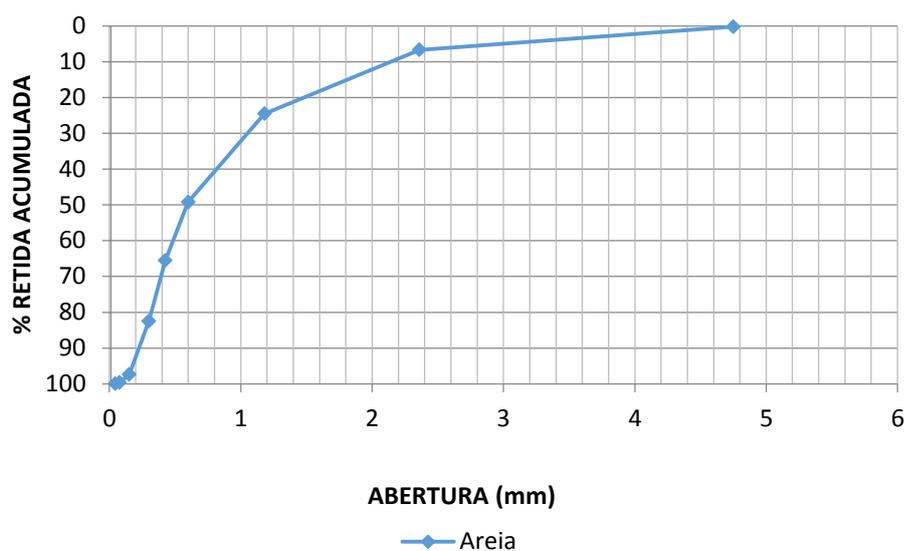


Figura 6 - Curva granulométrica da areia
Fonte: Autoria própria (2016)

O agregado graúdo utilizado foi a brita 0 granítica (pedrisco) e brita 1 granítica, tendo a última diâmetro máximo próximo de 19 mm - como sugerido por Höltz (2011). Suas devidas caracterizações estão indicadas na Tabela 4 e na Figura 7 são apresentadas suas distribuições granulométricas.

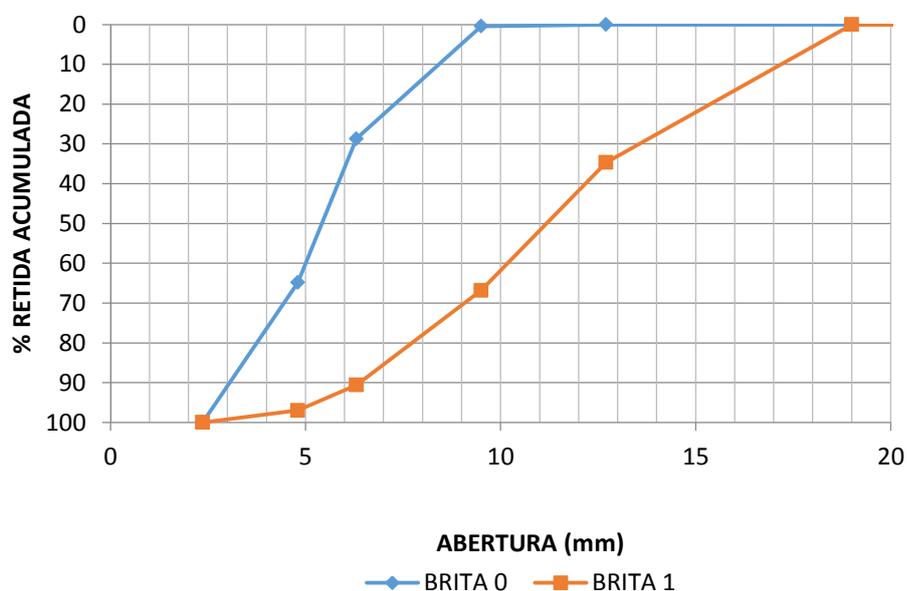


Figura 7 - Curva granulométrica dos agregados graúdos
Fonte: Autoria própria (2016)

Tabela 4 - Caracterização dos agregados

AGRAGADO	ENSAIO	NBR	RESULTADO
AREIA	Massa específica	NBR NM 52:2009	2,73±0,17 g/cm ³
	Massa unitária	NBR NM 45:2006	1,526±0,012 g/cm ³
	Material Pulverulento	NBR NM 46:2003	1,97±0,36 %
	Granulometria	NBR NM 248:2013	^a D.M.C = 4,75mm ^b M.F = 2,6058
BRITA 0	Massa específica	NBR NM 53:2009	2,621±0,042 g/cm ³
	Massa unitária	NBR NM 45:2006	1,424±0,028 g/cm ³
	Material Pulverulento	NBR NM 46:2003	1,23±1,52 %
	Absorção	NBR NM 53:2009	0,55±0,22 %
	Granulometria	NBR NM 248:2013	^a D.M.C = 9,5mm ^b M.F = 0,6527
BRITA 1	Massa específica	NBR NM 53:2009	2,615±0,061 g/cm ³
	Massa unitária	NBR NM 45:2006	1,3886±0,0065 g/cm ³
	Material Pulverulento	NBR NM 46:2003	0,65±0,10 %
	Absorção	NBR NM 53:2009	0,269±0,55 %
	Granulometria	NBR NM 248:2013	^a D.M.C = 19mm ^b M.F = 1,6381

^a D.M.C - dimensão máxima característica

^b M.F - módulo de finura

Fonte: Autoria própria (2016)

3.2. PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

A estratégia experimental foi constituída de um caráter exploratório, uma vez que não existe procedimento específico documentado para dosagem de concreto permeável. Ainda durante a revisão, foi observado que na maior parte dos experimentos já realizados, os valores dos fatores a/c utilizados variam dentro de uma pequena faixa (0,27 a 0,34) e podem ser facilmente ajustados. Por esta razão decidiu-se fixar o fator a/c e priorizar a análise da influência dos agregados e suas quantidades na avaliação dos parâmetros de permeabilidade e resistência.

Tomando como base as informações apresentadas na ACI 522R-10 e os estudos realizados por Hölitz (2011), esta pesquisa realizou o estudo de traços similares aos executados nos trabalhos citados. Desta forma, optou-se por analisar 6 diferentes traços, resultantes da combinação de uma relação água cimento (a/c) em massa de 0,30; com relações de cimento/agregado (*l:m*) de: 1:4 e 1:5, e variação do agregado em brita 0, brita 1 e a mistura de brita 1 com areia, afim de obter-se

concretos com diferentes composições. Os traços avaliados são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Traços dos concretos avaliados

Traço	Relação <i>l:m</i>	Relação <i>a/c</i>	Brita 0 (%)	Brita 1 (%)	Areia (%)
M4B1				100%	
M4B0	1:4		100%		
M4B1/A		0,30		95%	5%
M5B1				100%	
M5B0	1:5		100%		
M5B1/A				95%	5%

Fonte: Autoria própria (2016)

3.2.1. Procedimentos de Moldagem

Para a mistura dos concretos foi utilizado o procedimento proposto por Schaefer et al.(2006) conforme segue:

- Adicionar a quantidade total de agregado na betoneira com 5% do peso total do cimento;
- Misturar por 1 minuto;
- Adicionar o restante do cimento juntamente com a água;
- Misturar por mais 3 minutos;
- Deixar a mistura em repouso por 3 minutos;
- Misturar por mais 2 minutos.

Os corpos de prova foram confeccionados em moldes metálicos (100 x 200). O método de adensamento do concreto para os corpos de prova foi baseado na NBR 5738 (ASSOCIAÇÃO..., 2003) e nos estudos de Suleiman et al. (2006). Assim, o procedimento consistiu em 45 golpes por amostra, dividido em três camadas iguais, com posterior vibração do corpo de prova por 10 segundos a uma frequência de 16,1 Hz no equipamento Vebe (Figura 8).



Figura 8 - Equipamento Vebe
Fonte: Autoria própria (2016)

Todos os corpos de prova foram desmoldados após 24 horas, em seguida foram mantidos em cura submersa pelo período de 28 dias.

3.3. PROPRIEDADES NO ESTADO FRESCO

3.3.1. *Slump Test*

O ensaio para determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone (*Slump test*) teve como base a norma NBR NM 67 (ASSOCIAÇÃO..., 1998). A Figura 9 apresenta a execução do teste.



Figura 9 - Slump test
Fonte: Autoria própria (2016)

3.3.2. Ensaio Vebe

A fim de se obter o máximo de informações com relação à consistência do concreto permeável no estado fresco, foi realizado o Ensaio Vebe de acordo com a norma DNIT 064/2004.

Este ensaio possui aplicabilidade voltada aos concretos de mistura mais seca, tendo seu uso destinado apenas aos laboratórios devido à dificuldade de executá-lo no campo. O aparelho empregado neste ensaio é constituído por um cone de *slump test* que é colocado no interior de um cilindro fixado em uma mesa vibratória (Figura 10). O procedimento de ensaio consiste em colocar uma amostra de concreto no interior da fôrma tronco-cônica de forma semelhante ao método do *slump test*. Após a mesa vibratória ligada, mediu-se o tempo decorrido até remodelar o concreto, da forma tronco-cônica para cilíndrica.



Figura 10 - Ensaio Vebe
Fonte: Autoria própria (2016)

3.4. PROPRIEDADES NO ESTADO ENDURECIDO

3.4.1. Resistência à Compressão Axial

O ensaio de compressão axial foi realizado de acordo com a norma NBR 5739 (ASSOCIAÇÃO..., 2007). A prensa utilizada para realização do ensaio foi a EMIC modelo PC200. Os CP's utilizados se encontravam no estado saturado após um período de 28 dias em imersão. Em virtude das irregularidades dos topos dos corpos de prova, foram utilizados discos neoprene para auxiliar na distribuição de tensões nos CP's.



Figura 11 - Ensaio de compressão axial
Fonte: Autoria própria (2016)

A fim de se obter parâmetros de comparação para com a norma de concreto permeável NBR 16416 (ASSOCIAÇÃO..., 2015), a qual indica valores mínimos de resistência à compressão para peça de concreto permeável (paver) de 20 MPa, foi realizada uma correção nos valores de resistência à compressão axial obtidos utilizando o gráfico proposto por Neville (1997) indicado na Figura 12, que apresenta uma correlação da resistência em função da relação altura/diâmetro do CP.

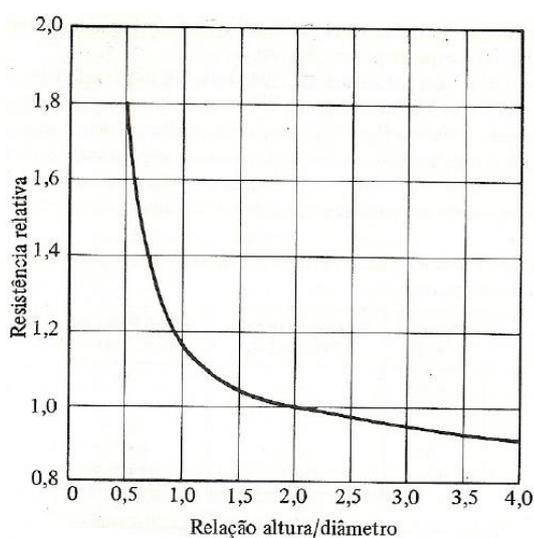


Figura 12 - Influência da relação altura/diâmetro sobre a resistência aparente do cilindro
Fonte: Neville (1997)

Para a análise, considerou-se um paver padrão de 6cm de altura e diâmetro de ensaio normatizado de 9,7cm, obtendo-se uma relação altura/diâmetro de 0,62 e consequentemente uma correção da resistência de 1,5. A nova resistência calculada foi denominada resistência relativa.

O valor mínimo de resistência para peça de concreto permeável apresentado na Tabela 1 é de 20 MPa, podendo ser considerado um valor elevado quando comparado a resistência de peças sem função estrutural pela NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO..., 2015). Porém, destaca-se que o índice de forma (relação diâmetro/altura) das peças de concreto (paver) é diferente dos corpos de provas cilíndricos normalmente utilizados para analisar o concreto (5x10 10x20 e 15x30) resultam em diferenças na resistência a compressão, por possuírem geometrias diferentes.

3.4.2. Resistência à Tração por Compressão Diametral

O ensaio de tração por compressão diametral foi realizado de acordo com a norma NBR 7222 (ASSOCIAÇÃO..., 2011). A prensa utilizada para realização do ensaio foi a EMIC modelo DL 30.000. As amostras utilizadas se encontravam no estado saturado após um período de 28 dias em imersão.



Figura 13 - Ensaio de tração por compressão diametral
Fonte: Autoria própria (2016)

Para ser possível a comparação dos resultados obtidos com a norma foi utilizada a equação de Hammitt (1971), a seguir, que correlaciona a resistência à tração na flexão relativa com a resistência à tração indireta por compressão diametral. Desta forma, os resultados de resistência à tração apresentados neste trabalho serão os de tração na flexão.

$$f_{ct,f} = 1,02 \cdot f_{ct,sp} + 1,48 \quad (1)$$

Sendo:

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

$f_{ct,sp}$ = resistência à tração por compressão diametral (MPa);

Este procedimento foi adotado para permitir uma comparação direta com os requisitos da NBR 16416 (ASSOCIAÇÃO..., 2015) que especifica o valor mínimo, de 2 MPa, para a resistência à tração na flexão para concretos permeáveis.

3.4.3. Absorção de Água, Índice de Vazios e Massa Específica

O ensaio para a determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica teve como base a norma NBR 9778 (ASSOCIAÇÃO..., 2005). A Figura 14 apresenta a balança hidrostática utilizada para a obtenção do peso seco e submerso de cada CP.

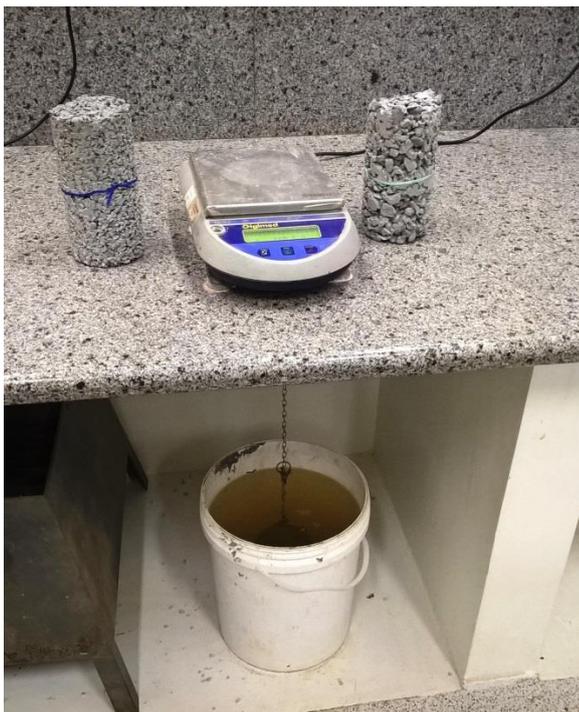


Figura 14 - Balança hidrostática
Fonte: Autoria própria (2016)

3.4.4. Módulo de Elasticidade Dinâmico

O procedimento de caracterização de materiais empregando a técnica de excitação por impulso consiste em excitar o corpo de prova com um leve impulso mecânico e em calcular os módulos de elasticidade a partir das frequências naturais de vibração e da atenuação da resposta acústica, como ilustra a Figura 15.

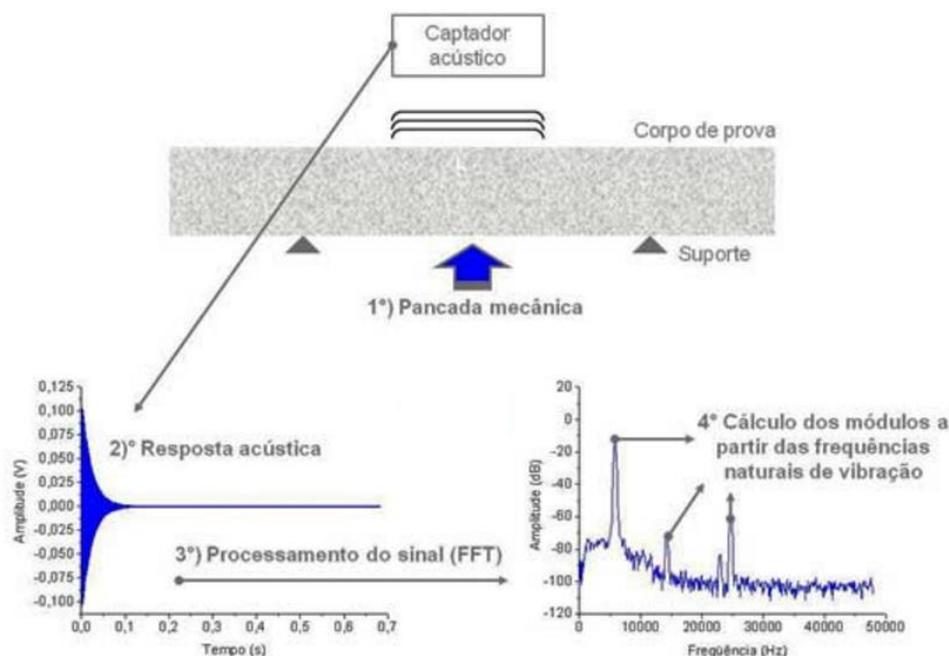


Figura 15 - Princípio de funcionamento da técnica de excitação por impulso
Fonte: C215 (ASTM, 2008)

O programa experimental desta parte corresponde aos ensaios de caracterização do concreto via técnica de excitação por impulso, utilizando o equipamento Sonelastic® PC Based. O ensaio foi realizado em cilindros de concreto permeável no estado seco aos 28 dias de cura com o intuito de determinar o módulo de elasticidade dinâmico longitudinal.

Visando a determinação do módulo de elasticidade dinâmico (E_{cd}) obtido com a frequência ressonante longitudinal, foram adotadas as prescrições C215 (ASTM, 2008) no que diz respeito ao posicionamento do microfone e pulsador, ao ponto de aplicação da excitação e à maneira de simular a condição de contorno necessária à realização do ensaio. A Figura 16 apresenta o esquema de ensaio dos CPs realizados.

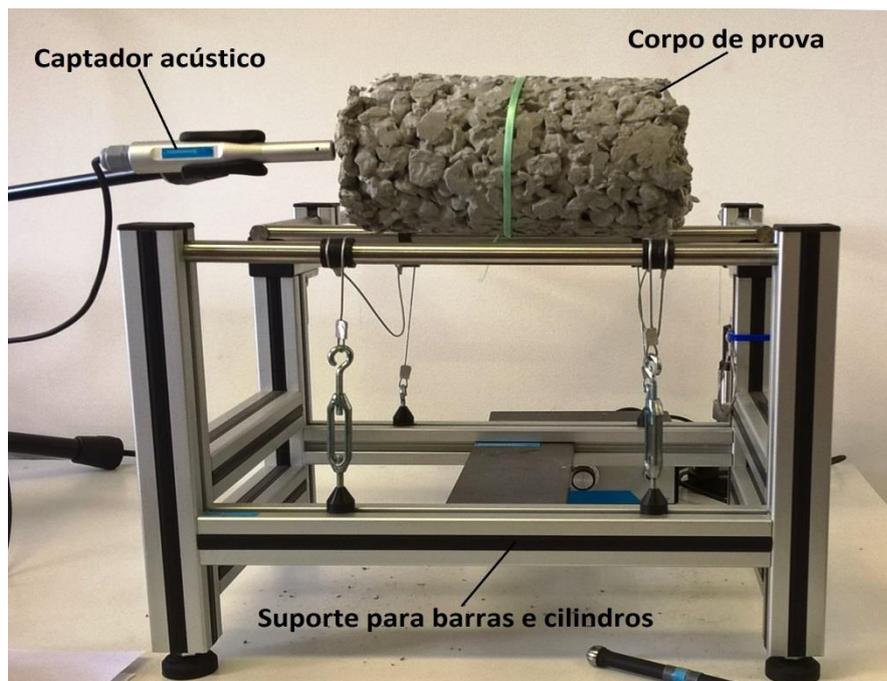


Figura 16 - Aparato para ensaio dinâmico de corpo-de-prova cilíndrico
Fonte: Autoria própria (2016)

Para o cálculo do módulo dinâmico (E_{cd}), utilizando a frequência fundamental longitudinal, foi utilizada a Equação 2 indicada pela E1876 (ASTM, 2015). Foram obtidos três valores de E_{cd} para cada amostra, os quais foram utilizados para o cálculo da média.

$$E_{cd} = 16mf_l^2 \left[\frac{L}{\pi D^2 K} \right] \quad (2)$$

Sendo:

E_{cd} : Módulo de Elasticidade Dinâmico (Pa);

m : Massa da barra

L : Comprimento da barra

f : Frequência fundamental para a barra em modo longitudinal (Hz)

K : Fator de correção em função da geometria

D : Diâmetro do cilindro

3.4.5. Permeabilidade

Para a realização dos ensaios de permeabilidade foi utilizado o método baseado na proposta apresentada no trabalho de Neithalath et al.(2003), descrita no item 2.3.3, sendo feitas algumas adaptações. Assim o equipamento utilizado, foi montado da seguinte maneira:

- **Corpo Principal:** na parte do corpo principal, onde se inseria a amostra, o tubo de inserção da amostra foi eliminado, e optou-se em vedar o corpo de prova com um filme de PVC naquele trecho (Fase 1) e sobre este aplicado uma camada de fita adesiva (Fase 2). Já na parte inferior foi utilizada uma caixa sifonada, que serviu de apoio para o corpo de prova e garantiu seu posicionamento. A fim de garantir a vedação das partes com o corpo de prova, foram utilizadas abraçadeiras na parte superior e inferior da amostra;

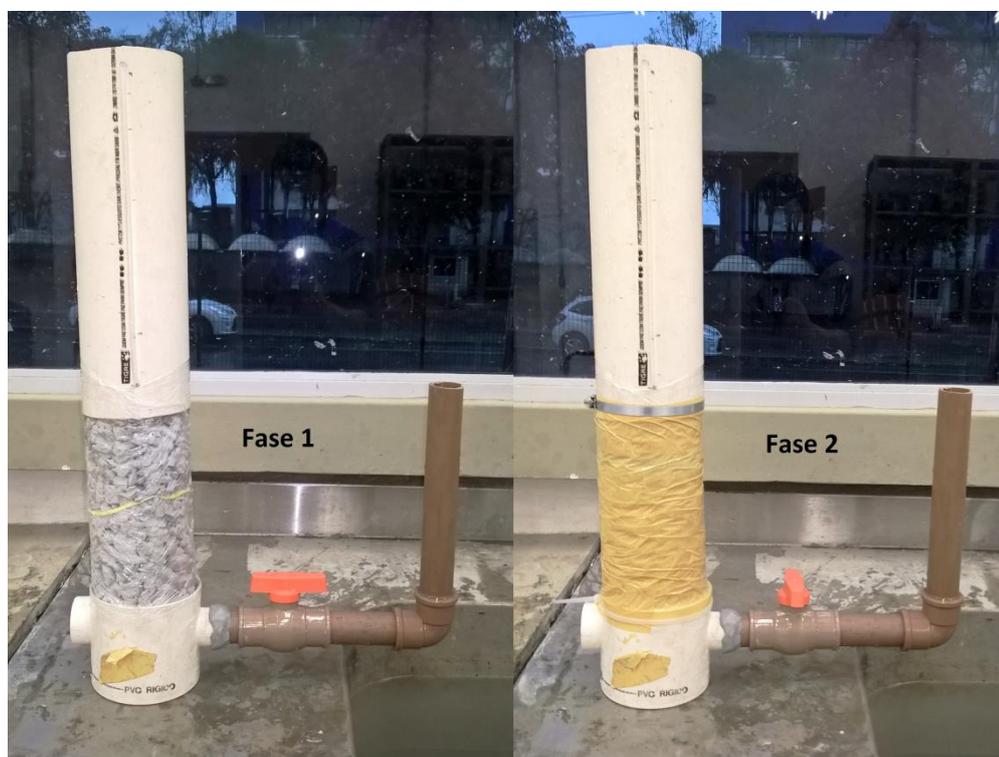


Figura 17 - Permeâmetro de carga variável
Fonte: Autoria própria (2016)

- Reservatório de água: para o reservatório de água utilizou-se um tubo de PVC, com diâmetro interno de 97 mm e 300 mm de comprimento, acoplado a amostra com uma abraçadeira externa. Para acompanhar o fluxo de água foi adaptada uma mangueira transparente a parte externa do tubo de PVC;
- Dreno: para regular a saída de água do reservatório principal foi usado um cano com diâmetro interno de 32 mm ligado a caixa sifonada e um registro esfera. O cano de 32 mm seguiu em uma extensão vertical com altura suficiente para estabilizar a coluna de água em um nível 10mm mais alto que o topo da amostra como indicado na Figura 18 .



Figura 18 - Partes do permeômetro de carga variável
Fonte: Autoria própria (2016)

A execução do ensaio ocorreu da seguinte forma:

- Introduziu-se a amostra na ligação da caixa sifonada;
- Acoplou-se o reservatório de água na parte superior da amostra;
- Vedou-se a amostra com um filme de PVC e sobre esse se aplicou uma camada de fita adesiva;
- Aplicaram-se abraçadeiras na ligação superior e inferior da amostra;
- Com o registro aberto no dreno, foi colocado água até a saída da mesma pelo “ladrão”;
- Fechou-se o registro e o reservatório foi preenchido até completar o nível desejado;
- Aguardaram-se três minutos para o preenchimento da água nos vazios da amostra já saturada, completando-se o nível do reservatório de água quando necessário;
- Abriu-se o registro com um movimento único, o cronometro foi disparado no nível 270 mm e travado no nível de 50 mm do reservatório;
- Fez-se a leitura e repetiu-se o processo por três vezes.

Com o tempo médio foi calculado o coeficiente de permeabilidade (k) pela equação de Darcy apresentada a seguir:

$$k = \frac{A_1 l}{A_2 t} \log\left(\frac{h_2}{h_1}\right) \quad (3)$$

Sendo:

k = coeficiente de permeabilidade (cm/s);

A_1 = área da secção transversal da amostra (cm²);

l = comprimento da amostra cilíndrica (cm);

A_2 = área da secção transversal do tubo (cm²);

t = tempo decorrido de escoamento entre h_1 e h_2 (s);

h_1 = altura inicial da lamina d'água (cm);

h_2 = altura final da lamina d'água (cm).

3.5. RESUMO DOS ENSAIOS REALIZADOS

A quantidade de amostras e os ensaios realizados para cada traço são resumidos na Tabela 6.

Tabela 6 - Tipos de ensaios e N° de CP'S

ENSAIO	MÉTODO UTILIZADO	CP'S
<i>Slump Test</i>	NBR NM 67:1998	*
Ensaio Vebe	DNIT 064/2004	*
Resistência à compressão Axial	NBR 5739:2007	4
Resistência à tração por compressão diametral	NBR 7222:2011	4
Absorção de Água, Índice de Vazios e Massa Específica	NBR 9778:2005	
Modulo de Elasticidade Dinâmico	ASTM E1876 - 15	4
Coeficiente de Permeabilidade	Neithalath et al. (2003)	
TOTAL		12

**Realização de duas leituras no estado fresco*

Fonte: Autoria própria (2016)

3.6. DADOS ESPURIOS

Os dados espúrios são aqueles que estão fora do comportamento esperado para o conjunto de variáveis considerando. (HAIR et al., 2005).

Visando a eliminação de erros sistemáticos, foi realizada a análise de dados espúrios nos resultados obtidos, considerado um intervalo de confiança de 68% (1 sigma) em relação a distribuição normal. Assim 68% dos dados analisados apresentam-se dentro do intervalo compreendido entre $\mu + \sigma$ e $\mu - \sigma$, onde μ é a média aritmética dos dados e σ , o desvio padrão. Foi eliminado apenas um dado por vez, recalculando-se a média, até que todas as amostras se encontrassem dentro do intervalo de confiança estipulado com base nos procedimentos sugeridos por Vuolo (1996).

4. RESULTADOS

4.1. CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO

Durante o estudo experimental utilizando o procedimento proposto por Schaefer et al.(2006), foi possível notar que ao misturar apenas o agregado graúdo com uma pequena porção de cimento para posterior adição de água, auxiliou na deposição uniforme de pasta sobre os grãos do agregado graúdo. Contudo, após a adição da água com o restante dos materiais verificou-se que uma quantidade considerável de cimento aderiu nas paredes internas do tambor da betoneira como pode ser visto na Figura 19, houve assim a necessidade da raspagem deste cimento durante o tempo de repouso para garantir a homogeneidade da mistura.



Figura 19 - Aderência do concreto nas paredes internas do tambor
Fonte: Autoria própria (2016)

Após a mistura dos materiais foi realizado o ensaio de abatimento de tronco de cone (Figura 9). Os resultados para todos os traços se mostraram bastante similares, com valores em torno de 18 cm de abatimento. Destaca-se que todos os traços apresentaram desagregação dos agregados - devido ao baixo teor de argamassa utilizado - o que impediu que o teste obtivesse resultados confiáveis

como cita a NBR NM 67 (ASSOCIAÇÃO..., 1998) item 5.7 em que caso ocorra desmoronamento ou deslizamento, em dois ensaios consecutivos, o concreto não é necessariamente plástico ou coeso para a aplicação do ensaio de abatimento. Sendo assim não serão apresentados os resultados para a caracterização do concreto no estado fresco deste ensaio.

O ensaio Vebe foi realizado em uma frequência de vibração diferente da normatizada, pelo fato de o aparelho não possuir regulagem, resultando na obtenção de tempos de 1,5 a 2 s para os traços. De acordo com a norma DNIT 064/2004, quando o tempo de vibração for igual ou inferior a 3 segundos o resultado passa a não ser significativo e a consistência deve ser analisada por outro método. Portanto o teste também não se mostrou adequado para medir a consistência dos traços estudados. Um dos motivos para esse comportamento pode ser o fato do equipamento possibilitar a vibração apenas em uma frequência muito baixa, quando comparado com a norma, o que pode influenciar os resultados do ensaio.

Ressalta-se a importância de se elaborar novos estudos através de outros métodos para que seja possível medir e analisar a consistência deste tipo de concreto como reômetros de torque acoplados à betoneira.

4.2. CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

4.2.1. Compressão Axial Relativa

Os resultados de resistência à compressão relativos, corrigidos com base na geometria dos CP's ensaiados e de uma peça para pavimento intertravado (paver), estão apresentados na Figura 20.

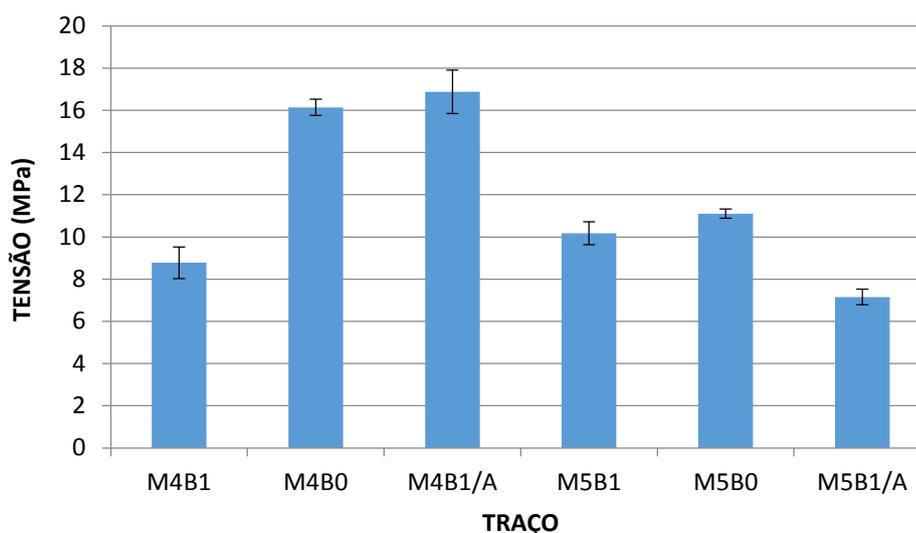


Figura 20 - Resistência à compressão axial relativa com barras de erros
Fonte: Autoria própria (2016)

Os valores obtidos encontram-se dentro dos valores indicados por Delatte e Cleary (2009) que obteve valores de resistência à compressão que variam entre 4,1 e 55,8 MPa para esse tipo de material. Como pode ser observado na Figura 20, o valor máximo foi em torno de 16,87 MPa, este valor reduzido de resistência está ligado ao alto índice de vazios característico das misturas estudadas.

Apesar dos resultados obtidos não atingirem o limite mínimo da norma NBR 16416 (ASSOCIAÇÃO..., 2015), de 20 MPa, este valor poderia ser alcançado se utilizado aditivos superplastificantes, reduzir a relação água/cimento ou ainda com alteração dos traços e do empacotamento com a redução dos vazios que acarretaria na diminuição da permeabilidade.

Na Figura 20 verifica-se que os traços contendo brita 0 apresentaram bons resultados dentro de cada relação de cimento agregado ($l:m$), além de apresentarem desvios padrões inferiores as outras composições. Para a relação 1:4, a substituição da B1 por B0 causou um aumento de 45,64% na resistência à compressão, enquanto que para a relação 1:5 este aumento foi de apenas 8,37%.

O maior valor de resistência foi obtido pela composição M4B1/A, podendo ser resultado da adição de 5% de areia que ocasionou um melhor preenchimento dos vazios entre os agregados graúdos. Este comportamento não foi observado para o traço M5B1/A, pois mesmo com a manutenção da relação a/c, ocorreu a redução do consumo de cimento neste traço.

4.2.2. Tração Na Flexão Relativa

Os resultados de tração por flexão relativa calculados, de acordo com a equação de Hammitt (1971), a partir dos resultados obtidos no ensaio de tração por compressão diametral estão apresentados na Figura 21:

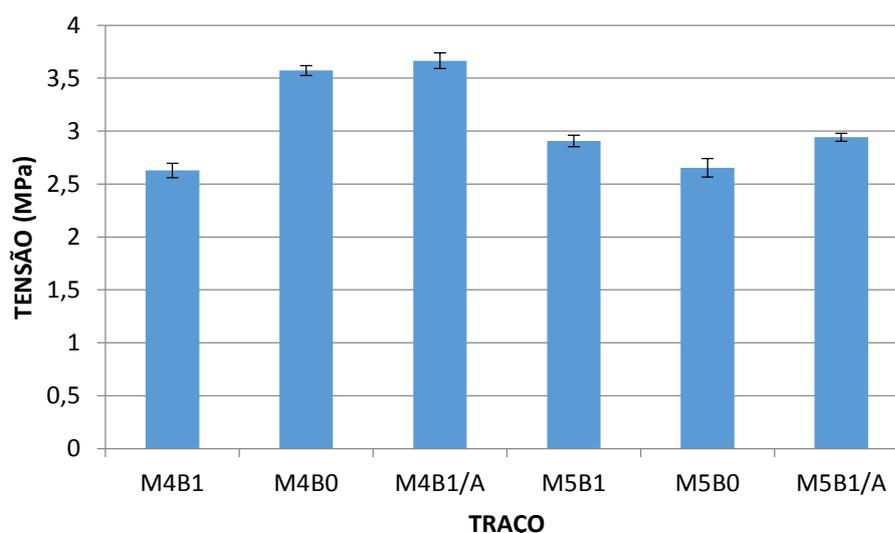


Figura 21 - Resistência à tração na flexão relativa com barras de erros
Fonte: Autoria própria (2016)

É possível verificar que os valores de resistência à tração na flexão relativa variam de 2,62 a 3,66 MPa. Estes valores obtidos estão todos de acordo com a norma brasileira de concreto permeável NBR 16416 (ASSOCIAÇÃO..., 2015), a qual exige que a resistência mínima para concretos permeáveis moldados no local seja maior ou igual a 2 MPa, como indicado na Tabela 1.

Para a relação 1:4 o uso de B0 apresentou um aumento de resistência em relação ao uso de B1 em 26,61%, contudo, para a relação 1:5 a resistência diminuiu 8,62%. A areia em geral auxiliou no aumento da resistência à tração do concreto que apresentou resultados levemente superiores aos traços sem a adição de areia.

Destaca-se que a resistência à tração é uma das propriedades mais importantes relacionadas à resistência de pavimentos, uma vez que o esforço nestas peças possuem uma solicitação maior na tração (PITTA, 1998).

4.3. ÍNDICES FÍSICOS

Os resultados obtidos para a massa específica aparente seca, absorção e índice de vazios, estão apresentados na figura a seguir:

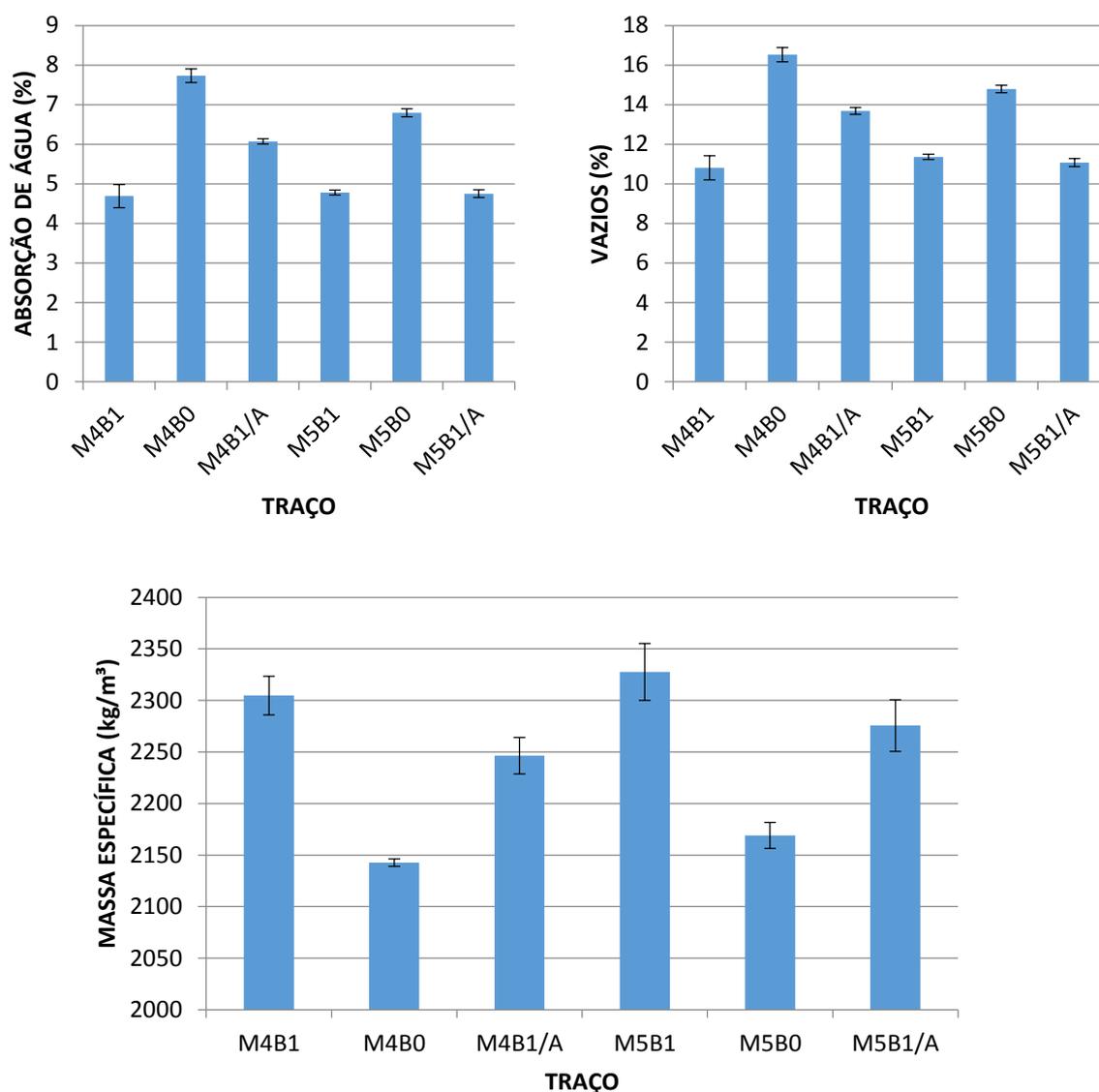


Figura 22 - Resultados de massa específica, absorção de água e índice de vazios com barras de erros

Fonte: Autoria própria (2016)

Observa-se que os resultados de massa específica aparente seca ficaram todos acima dos valores encontrados na bibliografia. De acordo com Höltz (2011), normalmente encontram-se densidades na ordem de 1600 kg/m³ a 2000 kg/m³.

Consequentemente os resultados dos índices de vazios apresentaram-se abaixo dos valores previstos, como os sugeridos pela ACI 522R-10 que normalmente variam entre 15 a 25% de vazios. Na Figura 22 percebe-se que 83,33% dos resultados obtidos apresentaram valores inferiores a 15%, exceto pelo traço M4B1 que chegou ao valor de 16,52%.

Destaca-se que tanto a massa específica aparente seca quanto o índice de vazios dependem diretamente dos tipos de materiais utilizados e do procedimento empregado para a compactação e adensamento do concreto. Uma possível causa para a alteração verificada nos valores pode ser um excesso de vibração ou utilização de uma frequência inadequada de vibração, visto que a vibração foi realizada pelo equipamento Vebe, gerando assim uma compactação excessiva entre os agregados e a pasta de cimento.

Ainda é possível verificar que os traços contendo brita 0 obtiveram melhores resultados, com baixos valores de massa específica seca (2142 kg/m^3) e alto índices de vazios (16,52%) ficando assim mais próximos aos indicados pela bibliografia pesquisada. Enquanto que os resultados para os traços contendo apenas brita 1 apresentaram resultados desfavoráveis, com massas específicas altas e baixos índices de vazios.

Ressalta-se que a relação $l:m$ não teve grande influência nos resultados para estes índices e que os valores de absorção de água apresentaram uma tendência muito similar aos índices de vazios.

4.4. MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO

Os resultados dos módulos de elasticidade dinâmicos obtidos pelo método de excitação por impulso estão apresentados na Figura 23:

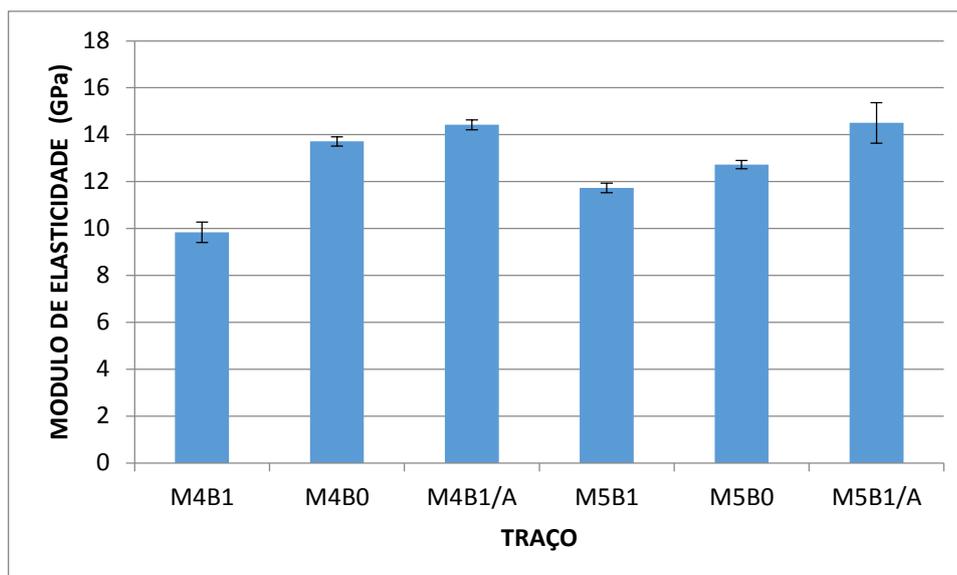


Figura 23 - Resultados do módulo de elasticidade dinâmico com barras de erros
Fonte: Autoria própria (2016)

Observa-se que os módulos de elasticidade dinâmicos variam entre 9,83 e 14,50 GPa. Estes resultados se encontram abaixo dos valores de módulo de elasticidade estático de concretos convencionais, que são na ordem de 28 GPa de acordo com a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO..., 2013).

De acordo com Santos (2013) o que determina o comportamento elástico do concreto são a fração volumétrica, a densidade e o módulo dos principais componentes. Uma vez que a densidade é inversamente proporcional à porosidade, a densidade das misturas e a variação no teor de agregado nos traços possivelmente causaram as variações observadas no módulo elástico.

Assim a diferença entre os valores encontrados para as amostras de concreto permeável para os valores de concretos convencionais é racional, visto que o concreto permeável estudado apresentou uma porosidade média de 13,1%.

Além disso, os valores obtidos neste trabalho ficaram próximos ao valor encontrado por Vidal (2014) onde o módulo de elasticidade para o concreto permeável estudado obteve o valor de 12,61 GPa.

Os resultados do módulo de elasticidade aumentaram na seguinte ordem: B1, B0 e B1/A. Resultado este inesperado, uma vez que os traços com B0 foram os que apresentaram maior teor de vazios e menor densidade, esperando um baixo módulo de elasticidade. Estes resultados podem ser explicados pelo agregado B0 possivelmente possuir uma composição mineralógica diferente, apresentando individualmente um módulo de elasticidade superior à B1.

Ainda, o teor de agregados finos mostrou-se relevante nos resultados do módulo de elasticidade uma vez que os valores de M4B1/A e M5B1/A apresentaram resultados levemente superiores aos outros traços.

Um menor módulo de elasticidade possui o benefício de auxílio na absorção acústica, por aumentar o amortecimento das ondas mecânicas proveniente dos veículos. Em se tratando da aplicação deste material em vias de transporte automobilístico, a estrutura aberta do concreto permeável promove uma diferença no tempo de chegada e de reflexão das ondas sonoras oriundas da movimentação dos veículos sobre o pavimento. Esta diferença diminui o nível do ruído, fazendo que com o pavimento absorva parte deste ruído proveniente do tráfego (OLEK, 2003).

4.5. PERMEABILIDADE

Os resultados da condutividade hidráulica estão apresentados na Tabela 7:

Tabela 7 - Valores dos coeficientes de permeabilidade obtidos nos ensaios

TRAÇO	k (cm/s)	k (m/s)	FLUXO (l/min/m ²)
M4B1	0,346	0,0035	207,82
M4B0	0,344	0,0034	206,37
M4B1/A	0,407	0,0041	244,18
M5B1	1,267	0,0127	760,27
M5B0	0,669	0,0067	401,67
M5B1/A	0,960	0,0096	576,13

Fonte: Autoria própria (2016)

Observa-se que os valores médios de permeabilidade obtidos nos ensaios variam de 0,34 cm/s a 1,27 cm/s. Estes valores se encontram dentro da faixa de valores obtidos pela maioria dos autores que testaram a permeabilidade de concretos permeáveis, como Scharfer et al. (2006) que considera aceitáveis valores entre 0,01 cm/s e 1,5 cm/s.

A ACI 522R-10 prevê que o fluxo para concreto permeável com proporções típicas deverá estar na faixa de 81 a 730 l/min/m². Analisando a Tabela 7 em relação ao fluxo é possível perceber que quase todos os valores se enquadram dentro da faixa indicada, exceto pelo traço M5B1 que apresenta fluxo superior à

faixa indicada pela ACI 522R-10. Assim, apesar da resistência à compressão não atingir resistência indicada por norma, conseguiu-se obter uma permeabilidade dentro da indicada pela ACI 522R-10.

Ainda, todos os resultados de permeabilidade obtidos estão de acordo com a norma brasileira de concreto permeável NBR 16416 (ASSOCIAÇÃO..., 2015), a qual exige que a permeabilidade mínima seja maior que 0,001 m/s como indicado na Tabela 1.

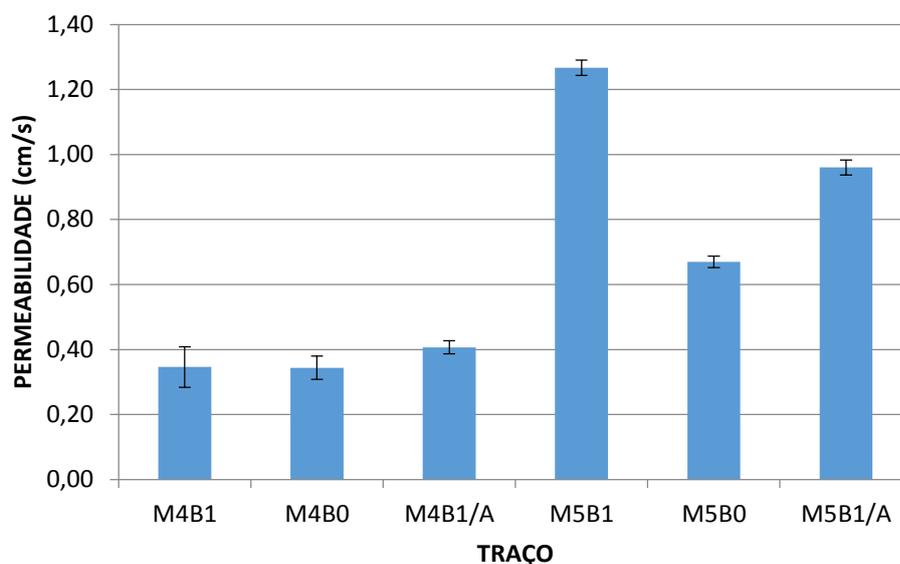


Figura 24 - Resultados de ensaios de permeabilidade com barras de erros
Fonte: Autoria própria (2016)

Através da Figura 24 é possível perceber que todos os traços com relação $l:m$ de 1:4, apesar da alta resistência obtiveram baixos coeficientes de permeabilidade se comparados aos traços com $l:m$ de 1:5. Uma possível causa é o fato do traço de 1:4 possuir uma quantidade menor de agregados, alta de cimento, e por consequência um aumento de pasta entre os agregados, obstruindo os poros.

A média dos coeficientes de permeabilidade foi elevada, apresentando um valor cinco vezes maior que o indicado pela norma de concreto permeável. Uma possível explicação para este comportamento seria que CP cilíndrico moldado em forma metálica apresenta um empacotamento menos eficiente favorecendo o aumento dos vazios e dos valores de permeabilidade se comparado a CP obtido por extração, conforme verificado por Hölztz (2011). Assim é evidenciado que a análise da permeabilidade através de CP cilíndrico moldado pode superestimar a permeabilidade do material.

4.6. CORRELAÇÕES ENTRE PARÂMETROS AVALIADOS

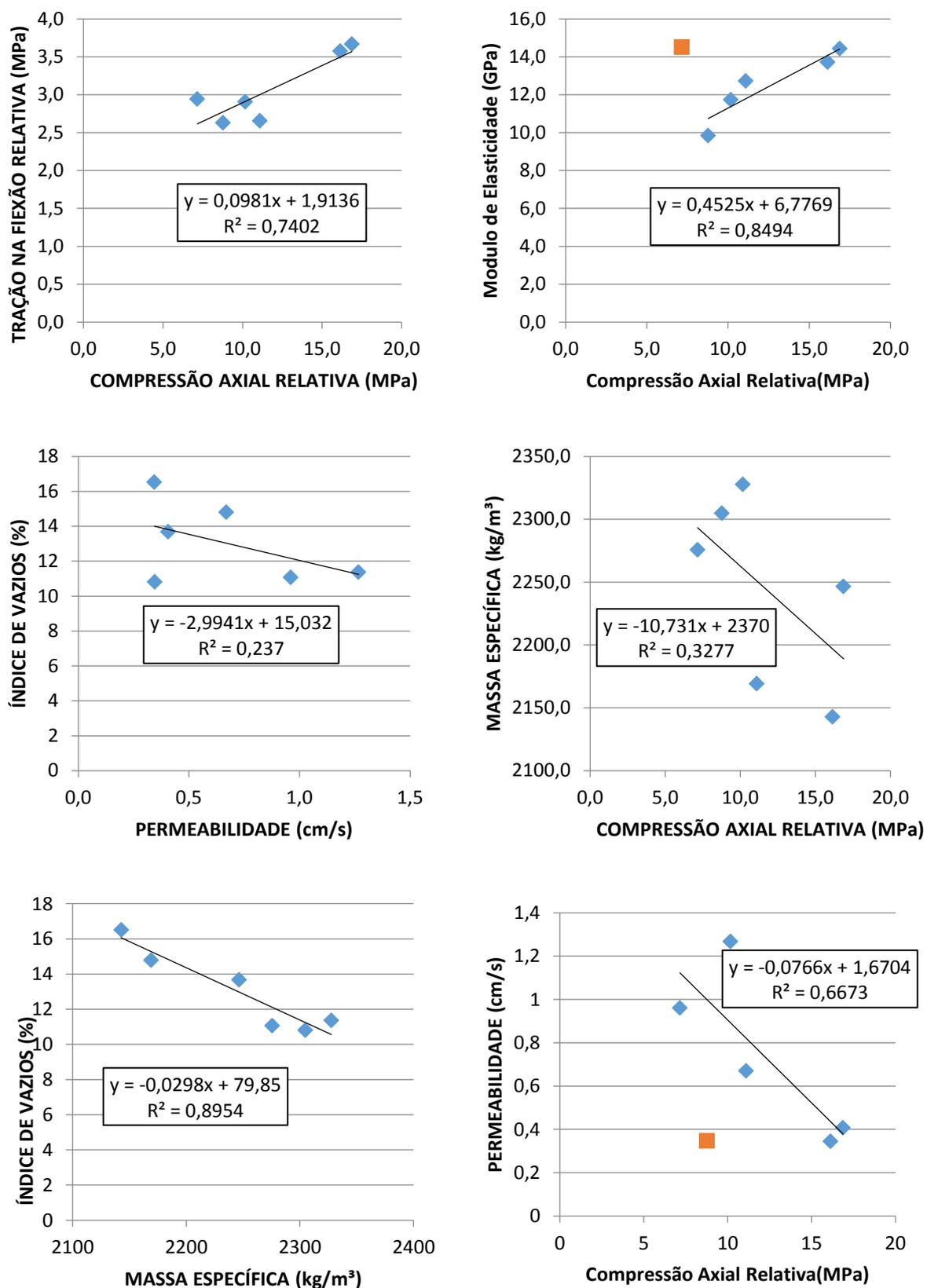


Figura 25 - Correlações entre parâmetros avaliados
 Fonte: Autoria própria (2016)

Na Figura 25 é apresentada a média dos valores de índice de vazios em função da massa específica aparente. Nota-se que o índice de vazios tende a diminuir com a elevação da massa específica aparente seca. O valor do coeficiente de determinação R^2 de 0,8954 indica uma boa correlação entre as variáveis conforme classificação de correlação de Cargnelutti e Storck (2009).

Esta relação se mostra importante, uma vez que a massa específica aparente seca é um parâmetro fácil de ser obtido e esta diretamente ligada aos índices de vazios do material que por sua vez influencia nos fatores de resistência mecânica e condutividade hidráulica do concreto.

Outra relação a qual apresentou bom resultados foi a de tração na flexão relativa x compressão axial relativa, com coeficiente de determinação R^2 de 0,7402 considerado alto.

Contudo entre as demais variáveis não foi possível observar boas correlações, todas obtiveram coeficiente de determinação inicial R^2 baixos. Para as correlações de compressão axial relativa x permeabilidade e de compressão axial relativa x módulo de elasticidade, foram retirados os valores com alta variação e recalculados novos coeficientes como apresentado na Figura 25.

Ainda na figura acima foram verificados resultados inesperados como na correlação entre compressão axial relativa x massa específica e índice de vazios x permeabilidade onde na última verificou-se a diminuição do índice de vazios com o aumento da permeabilidade.

Verificou-se que o índice de vazios e a massa específica não apresentaram valores confiáveis, sem boas correlações. Uma possível causa poderia ser pela irregularidade dos topos das amostras, pois as diferenças de altura em relação aos moldes, não foram consideradas nos cálculos de volume. O ideal seria cortar 1/3 médio dos corpos de prova para fazer a determinação, reduzindo os possíveis erros do volume do corpo de prova.

Assim é possível verificar que o concreto permeável nem sempre se comporta de forma semelhante ao concreto convencional, como apresentado nas correlações obtidas (Figura 25), por isso ressalta-se a importância de estudar as propriedades desse tipo de concreto para entender seu comportamento e a influência das variáveis de dosagem nas propriedades do estado fresco e endurecido deste material.

5. CONCLUSÕES

Por meio dos ensaios e das análises realizadas foi possível elaborar as seguintes conclusões:

- A caracterização do material no estado fresco pelos métodos *slump test* e tempo Vebe se mostrou ineficiente para os traços analisados, mostrando a necessidade de se elaborar estudos de métodos específicos para analisar a consistência do concreto permeável;
- Para o módulo de elasticidade, os melhores resultados foram obtidos pela mistura de brita 1 com areia (14,5 GPa). Já entre brita 1 e brita 0 a utilização de brita 0 apresentou um aumento de até 28,4% no módulo de elasticidade. E entre os traços 1:4 e 1:5 não houve mudanças significativas;
- Os coeficientes de permeabilidade dos concretos permeáveis avaliados foram elevados com valores de até 0,0127 m/s, além de todos os traços terem apresentado permeabilidade superior à mínima, de 0,001 m/s, indicada pela NBR 16416 (ASSOCIAÇÃO..., 2015);
- Os traços 1:4 e 1:5 apresentaram resistência à tração na flexão com valores de até 3,66 MPa, atendendo aos requisitos mínimos da NBR 16416 (ASSOCIAÇÃO..., 2015), apesar da resistência à compressão não atingir ao mínimo, de 20 MPa, indicado pela mesma;
- A maior quantidade de cimento nos traços de 1:4 em relação ao traço de 1:5 acarretou em maiores resistências a compressão e a tração (ganho médio de 30%) e menor permeabilidade (máxima de 0,407 cm/s), enquanto que os traços de 1:5, em relação aos de 1:4, apresentaram elevadas permeabilidades (ganho médio de 62,12%) e menores resistências (máximo de 11,1 MPa) na compressão axial relativa;

- Em geral o uso de agregado com menor diâmetro (brita 0) auxiliou o empacotamento dos agregados e conduziu a traços com alta resistência a tração relativa (3,57 MPa) e alto módulo de elasticidade (13,7 GPa) se comparado com a brita 1. A presença deste tamanho de agregado influenciou na redução da permeabilidade nos traços com brita 0, enquanto brita 1 apresentou alta permeabilidade chegando a 1,27 cm/s;
- A adição de 5% de areia auxiliou de forma mais relevante nos traços de 1:4, pois melhorou a resistência e não teve grande influência na permeabilidade, mostrando-se assim uma adição positiva nos traços. Enquanto que para os traços de 1:5 a presença da areia se mostrou desfavorável, diminuindo tanto a permeabilidade quanto a resistência;
- Foi possível obter boas correlações entre as propriedades de resistência, permeabilidade, e módulo de elasticidade. Contudo, os resultados de índice, vazios e massa específica não apresentaram o comportamento padrão esperado, mostrando a necessidade da aplicação de outra metodologia para estas determinações.

De forma geral, o traço que sugere um melhor desempenho, é o M5B1 pela resistência à tração dentro da norma de concreto permeável e alto coeficiente de permeabilidade (1,27 cm/s), apresentando assim um bom desempenho como material permeável para aplicação na moldagem de pisos de pavimento permeável.

5.1. TRABALHOS FUTUROS

Naturalmente, é importante que se de continuidade aos estudos para que se possam analisar com maior confiabilidade os fatores, relacionados aos agregados, que influenciam o comportamento do concreto permeável. Sendo assim, seguem algumas sugestões para estudos futuros:

- Desenvolvimento de métodos específicos para analisar a consistência deste material no estado fresco;
- Estudo microscópico que possibilite a análise mais detalhada do comportamento micro estrutural do concreto permeável;
- Implantação de testes *in loco*.

REFERÊNCIAS

ACI Committee 522, **Pervious Concrete, 522R-10**, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 2010.

AGRA, S. G. **Estudo Experimental de Microreservatórios para Controle do Escoamento Superficial**. Porto Alegre, UFRGS. 2001. Disponível em:<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/3282?locale=pt_BR>. Acesso em: 01 abr. 2016

American Society for Testing and Materials, **E 1876**: Standard Test Method for Dynamic Young's Modulus, Shear Modulus, and Poisson's Ratio by Impulse Excitation of Vibration. West Conshohocken, 2005

ANDOLFATO, Rodrigo P. **Controle Tecnológico Básico Do Concreto**. Ilha Solteira, 2002. Disponível em:<http://sinop.unemat.br/site_antigo/prof/foto_p_downloads/fot_7351contbole_tecnologico_bysico_do_concbeto_pdf.pdf>. Acesso em: 19 mar. 2016

ARAÚJO, Paulo R.; TUCCI, Carlos E. M.; GOLDENFUM, Joel A. Avaliação Da Eficiência Dos Pavimentos Permeáveis Na Redução De Escoamento Superficial. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 5 n.3, p. 21-29, Jul/Set 2000. Disponível em:<<http://www.rhama.net/download/artigos/artigo10.pdf>>. Acesso em: 14 set. 2013

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13292**: Solo - Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares à carga constante - Método de ensaio. NBR 13292 Rio de Janeiro, 1995.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. NBR 5738 Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de Compressão para Corpos de Prova Cilíndricos. NBR 5739 Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 67:** Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. NBR 67 Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118:** Projeto de estruturas de concreto. NBR 6118 Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222:** Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. NBR 7222 Rio de Janeiro, 2011.

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

BAPTISTA, Márcio; NASCIMENTO, Nilo.; BARRAUD, Sylvie, **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**, Porto Alegre: ABRH, 2011.

BATEZINI, R., & BALBO, J. T.. (2015). **Estudo da condutividade hidráulica com carga constante e variável em concretos permeáveis**. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, São Paulo Junho 2015. Disponível em:<<https://dx.doi.org/10.1590/S1983-41952015000300002>>Acesso em: 04 mai. 2016.

BETEZINI, Rafael. **Estudo Preliminar De Concretos Permeáveis Como Revestimento De Pavimentos Para Áreas De Veículos Leves**. São Paulo 2013. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-19072013-155819/pt-br.php>>. Acesso em: 02 abr. 2016.

CANHOLI, Aluísio. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

CARGNELUTTI A. e STORCK L. **Medidas do grau de precisão experimental em ensaios de competição de cultivares de milho**. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v44n2/v44n02a01.pdf>>Acesso em: 21 mai. 2016.

DELATTE, N, CLEARY, J. **Developing a Structural Design Method for Pervious Concrete Pavement**. Cleveland, 2009. Disponível em: <<http://www.nssga.org/aftre/Symposium/2006-06.pdf>>. Acesso em: 14 mai. 2016.

DEPARTAMENTO DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 064:** Pavimento rígido – Determinação da consistência do concreto pelo consistômetro Vebe . DNIT 064 Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-08092010-122549/pt-br.php>>. Acesso em: 15 set. 2013.

GHAFOORI, N. Development of No-Fines Concrete Pavement Applications. **Journal of Transportation Engineering**, v.126, n.3, p. 283 – 288, May/June 1995. Disponível em: <[http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)0733-947X\(1995\)121%3A3\(283\)](http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)0733-947X(1995)121%3A3(283))>. Acesso em: 20 nov. 2013.

HAIR, J. F. et al. **Análise Multivariada de Dados**. Porto Alegre: ArtMed Editora S.A., 2005.

HAMMITT, G.M. II. **Concrete strength relationships**. US Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, 1971, Vicksburg. Disponível em: <<http://acwc.sdp.sirsi.net/client/search/asset/1041369>>. Acesso em: 14 mai. 2016.

HÖLTZ, Fabiano C. **Uso De Concreto Permeável Na Drenagem Urbana: Análise De Viabilidade Técnica E De Impacto Ambiental**. 2011.118 f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2011. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/35615>>. Acesso em: 10 jan. 2013.

HUFFMAN, D. Understanding Pervious Concrete. On: **The Construction Specifier**. p.42-49. Dez/2005. Disponível em: <http://www.concreteparking.org/downloads/PerviousConcreteCSI_12-05.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2013.

KRISLEI, Pereira K. **Desenvolvimento de composição de concreto permeável com agregados oriundos de resíduos de construção civil da região de campinas**. Pontifícia Universidade Católica de Campinas, São Paulo, 2015. Disponível em: <http://www.puc-campinas.edu.br/websist/Rep/Sic08/Resumo/2015818_144134_374889159_resoni.pdf>. Acesso em: 02 abr. 2016.

LI, J. **Mix Design of Pervious Recycled Concrete**. GeoHunan International Conference – Material Design, Construction, Maintenance, and Testinf of Pavements, 2009. Disponível em: <[http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/41047\(354\)15](http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/41047(354)15)>. Acesso em: 25 mar. 2016.

MARCHIONI, Mariana S.; SILVA, Cláudio O. **Pavimento Intertravado Permeável - Melhores Práticas**. São Paulo, Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), 2011. Disponível em:< http://www.abcp.org.br/conteudo/wp-content/uploads/2011/06/Cartilha_Pav_Intertravado_Permeavel_v1.pdf>. Acesso em: 22 out. 2013.

MAZZONETTO, Caroline. Concreto Permeável. **Revista Infraestrutura Urbana**. ed. 11, fev. 2012. Disponível em:< <http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/13/artigo254488-1.aspx>>. Acesso em: 09 mai. 2013.

MEHTA, Povindar K. ; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto - Estrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo: Pini, 1994.

MULLINGAN, A.N., 2005 **Attainable Compressive Strength of Pervious Concrete Paving Sistens**. University Orlando, Florida.

MURUCCI, Rômulo. **Concreto Permeável – Blog do PET Civil, 2000**. Disponível em: <<http://blogdopetcivil.com>>. Acesso em: 20 mai. 2016.

NATIONAL READY MIXED CONCRETE ASSOCIATION, 2010. **Pervious Concrete**. Disponível em: < www.perviouspavement.org>. Acesso em: 15 abr. 2009.

NEITHALATH, N. et al. **Development of Quiet and Durable Porous Portland Cement Concrete Paving Materials**. Final Report, The institute for Safe, Quiet, and Durable Higways, 2003. Disponível em:< http://www.ntl.bts.gov/lib/24000/24600/24636/SQDH2003-5_Final_Report.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2013.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. Trad. Salvador e. Giannusso. 2. Ed. São Paulo: PINI, 1997.

OLEK Jan, W. et al. **Development of quiet and durable porous portland cement concrete paving materials**. Center os Advanced Cement Based Materials, Purdue, 2003.

PETRUCCI, Eladio G. R. **Concreto de cimento Portland**. 13. ed. São Paulo: Globo, 1998.

PITTA, Márcio R. **Dimensionamento de Pavimentos de Concreto**. Associação Brasileira de Concreto Portland: São Paulo, 1998.

POLASTRE, B. e SANTOS, L.D. **Concreto Permeável – Impermeabilização Do Solo E Drenagem Urbana**. Universidade de São Paulo (USP), São Paulo. 2006. Disponível em: <http://www.usp.br/fau/cursos/graduacao/arq_urbanismo/disciplinas/aut0221/Trabalhos_Finais_2006/Concreto_Permeavel.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2013.

RIBEIRO, Enio J. **Propriedades dos materiais constituintes do concreto**. Goiânia, 2015 Disponível em: < <http://www.ipog.edu.br/home>>. Acesso em: 27 mar. 2016.

SANTOS, A. M. et al. **Análise do módulo de elasticidade estático e dinâmico para diferentes dosagens de concreto**. Gramado, 2013 Disponível em: < <http://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2014/06/264.pdf>>. Acesso em: 10 mai. 2016.

SCHAEFER, V.; WANG, K.; SULEIMAN, M.; KEVERN, J. **Mix Design Development for Pervious Concrete in Cold Weather Climates**. Final Report, Civil Engineering, Iowa State University, 2006. Disponível em: <http://www.ctre.iastate.edu/reports/mix_design_pervious.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2016.

SULEIMAN et al. **Effect of compaction energy on pervious concrete properties**, Proceedings of Concrete Technology Forum: Focus on Pervious Concrete, Nashville, TN, 2006. Disponível em: < <https://www.researchgate.net/publication/228841934>>. Acesso em: 25 mar. 2016.

TENNIS, P.D.; LEMING, M.L.; AKERS, D.J. **Pervious Concrete Pavements**, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, 2004. Disponível em: <<http://www.rmcfoundation.org/images/PCRC%20Files/Applications%20&%20Case%20Studies/Pervious%20Concrete%20Pavement%20On%20Slope.pdf>>. Acesso em: 27 mar. 2016.

VIDAL, Almir dos Santos. **Caracterização de concreto permeável produzido com resíduos de construção e demolição para utilização em pavimentação permeável em ambiente urbano**. Rio de Janeiro, 2014. Dissertação (Mestrado) – Programa de Engenharia Urbana, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

VIRGILIIS, Afonso L. C. **Procedimentos de projeto e execução de pavimentos permeáveis visando retenção e amortecimento de picos de cheias**. 2009.213 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Departamento de Engenharia de Transportes. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2009.

VUOLO, Henrique J. **Fundamentos da Teoria de Erros**. São Paulo: Edgard Blucher, 1996.

APÊNDICE A – Resumo dos resultados obtidos

Apêndice A - Tabela I - Massa Específica, Absorção de Água e Índice de Vazios

Traço	Corpo de Prova	$\rho(\text{kg/m}^3)$	Absorção de Água (%)	Índice de Vazios (%)
M4B1	1	2288,02	0,27	10,67
	2	2365,96	1,55	10,44
	3	2321,48	1,19	10,95
	4	2286,34	0,42	13,09
M4B0	1	2149,71	0,40	15,49
	2	2135,59	0,35	16,64
	3	2137,71	0,20	16,40
	4	2147,83	0,28	17,23
M4B1/A	1	2265,11	0,39	14,13
	2	2293,64	0,45	13,71
	3	2227,73	0,27	13,32
	4	2216,14	0,38	13,65
M5B1	1	2384,87	1,22	11,36
	2	2368,47	1,38	11,36
	3	2276,92	1,27	11,40
	4	2286,85	1,31	10,84
M5B0	1	2160,20	0,68	15,32
	2	2178,02	0,82	14,95
	3	2155,25	0,69	14,50
	4	2211,18	0,63	14,64
M5B1/A	1	2277,09	0,92	10,83
	2	2274,14	0,74	11,55
	3	2311,19	0,95	10,67
	4	2381,51	1,00	11,31

Apêndice A - Tabela II - Resistência à Compressão Axial e Resistência à Tração por Compressão Diametral

Traço	Corpo de Prova	Comp. Axial (MPa)	Comp. Diam. (MPa)
M4B1	1	5,85	0,186
	2	13,06	0,416
	3	4,44	0,141
	4	7,01	0,223
M4B0	1	11,4	0,363
	2	10,76	0,343
	3	7,88	0,251
	4	10,05	0,320
M4B1/A	1	6,44	0,205
	2	8,62	0,275
	3	11,25	0,358
	4	12,03	0,383
M5B1	1	5,48	0,175
	2	4,87	0,155
	3	7,31	0,233
	4	6,78	0,216
M5B0	1	7,36	0,234
	2	8,04	0,256
	3	7,4	0,236
	4	8,13	0,259
M5B1/A	1	4,77	0,152
	2	5,35	0,170
	3	4,05	0,129
	4	7,84	0,250

Apêndice A - Tabela III - Permeabilidade e Módulo De Elasticidade Dinâmico Longitudinal

Traço	Corpo de Prova	k (cm/s)	E long. (GPa)
M4B1	1	0,270	0,63
	2	1,555	1,78
	3	1,194	2,10
	4	0,423	2,21
M4B0	1	0,403	0,70
	2	0,350	1,18
	3	0,200	1,60
	4	0,279	2,14
M4B1/A	1	0,395	0,70
	2	0,447	1,22
	3	0,268	1,63
	4	0,379	2,19
M5B1	1	1,225	1,11
	2	1,375	1,69
	3	1,270	2,14
	4	1,306	2,65
M5B0	1	0,685	0,84
	2	0,825	1,41
	3	0,690	1,84
	4	0,634	2,32
M5B1/A	1	0,923	0,96
	2	0,740	1,37
	3	0,954	1,98
	4	1,003	2,50