

**Avaliação da utilização de diferentes aditivos no concreto permeável para permitir mistura e transporte em caminhão betoneira****Evaluation of the use of different additives in permeable concrete to allow mixing and transport in concrete mixer truck**

DOI:10.34117/bjdv5n8-098

Recebimento dos originais: 14/07/2019

Aceitação para publicação: 23/08/2019

**Luciana Nascimento Lins**

Orientadora possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (2002) e mestrado em Engenharia Civil pela Universidade Federal Fluminense (2006).

Instituição: UniCEUB

Endereço: SEPN 707/907 - Campus Universitário - Asa Norte, Brasília - DF, 70790-075

E-mail: professoralucianalins@gmail.com

**Ana Gabriela de Oliveira Barreto**

Pesquisadora possui graduação em Engenharia Civil pelo UniCEUB (2018).

Instituição: UniCEUB

Endereço: SEPN 707/907 - Campus Universitário - Asa Norte, Brasília - DF, 70790-075

E-mail: gabrielabarreto@sempreceub.com

**RESUMO**

A tecnologia para pavimentos permeáveis carece de estudos aprofundados, uma vez que esse tipo de revestimento trás consigo inúmeros benefícios principalmente no quesito de sustentabilidade, como por exemplo a capacidade de percolação da água através de seus poros, o que evita o acúmulo de lâmina d'água em sua superfície, a possível recarga de lençóis freáticos, a filtragem prévia de sedimentos indesejáveis no solo, dentre outros. O estudo visa o transporte do concreto permeável em seu estado fresco através de caminhão betoneira. Para realizar esse transporte foram analisadas algumas combinações entre diferentes aditivos e o uso isolado de cada um, e foram cumpridos os ensaios sugeridos pela norma NBR 16416:2015 Pavimentos permeáveis de concreto – Requisitos e procedimento. Foi aproveitado de pesquisas anteriores parâmetros como traço utilizado, faixa granulométrica de agregados e o tipo de cimento utilizado por Teixeira (2017). Os resultados obtidos demonstraram que é possível produzir concreto permeável com diferentes usos a partir da mesma composição, variando somente o tipo de aditivo utilizado, contudo ainda não foi possível determinar se o transporte é viável.

**Palavras-Chave:** Sustentabilidade, pavimento permeável, aditivos.**ABSTRACT**

The technology used in pervious concrete lacks in depth studies, since this type of coating brings with it many benefits, especially in terms of sustainability, for an example the ability of water to percolate through its pores, which prevents the accumulations of water depth on

its surface, the possible recharge of groundwater, the previous filtration of undesirable sediments in the soil, among others. This article aims to transport pervious concrete in fresh state by concrete mixer truck. To carry out this transport, some combinations between different additives and their isolated use were analyzed, and the test suggested by NBR 16416: 2015 Permeable Concrete Pavements – Requirements and procedure were performed. It was taken from previous researches parameters such as trace used, aggregate, particle size range and the type of cement used by Teixeira (2017). The results showed that it is possible to produce permeable concrete with different uses from the same composition, varying only the type of additive used, but it has not been possible to determine if the transport is viable.

**Key Words:** Sustainability, pervious pavement, additive

## 1 INTRODUÇÃO

A alta taxa de impermeabilização do solo nunca foi tão discutida como atualmente. Um dos fatores que compõe o aumento dessa taxa é a ocupação do solo de forma desorientada. O acréscimo dessa taxa tornou-se um fator contribuinte para a ineficácia dos sistemas de drenagem urbana, não só no Brasil, como no mundo. (BARRETO, 2018).

Brasília, dentre outras cidades mundiais, tem grandes casos de inundações e alagamentos, possivelmente essas ocorrências são causadas pela ausência de estrutura de drenagem adequada no pavimento.

Uma possível solução para essa adversidade seria o aumento do tempo de percolação da água pluvial na infiltração do solo. Com isso, surge a ideia da criação de um concreto poroso, onde os vazios têm a capacidade de drenar a lâmina d'água, oriundas de uma série de fatores sendo o principal a chuva. É importante que esse tipo de pavimento tenha resistência à carga proveniente de veículos leves, pedestres e afins. (SILVA, PASSOS, 2015).

Os pavimentos permeáveis podem reduzir a velocidade do escoamento superficial, a retenção temporária de pequenos volumes na superfície do revestimento e a infiltração de parte das águas pluviais. Esse tipo de revestimento quando combinado com uma estrutura porosa de base e sub-base tem resultados mais satisfatórios do que a aplicação de uma camada de CPA (camada porosa de atrito), por exemplo (VIRGILIIS, 2009).

O concreto permeável possui uma série de benefícios ao meio ambiente, a reutilização da água drenada é um bom exemplo. Após o processo de reuso é possível recarregar lençóis freáticos, aumentando a captação de águas pluviais e probabilidade de redução de enchentes e alagamentos na área onde esse fora implantado.

Com a manutenção adequada, a vida útil do pavimento de concreto permeável pode chegar até 20 anos (BENIGNO 2012). Contudo, acredita-se que há uma necessidade de estudos mais aprofundados e pesquisas nessa área para essa confirmação de que a partir da

diminuição de lâmina d'água, seria possível ocasionar em uma redução de problemas oriundos da ineficácia da drenagem urbana. Bem como gerar uma economia para o estado, no que tange manutenção do pavimento e do sistema de drenagem.

O objetivo da pesquisa foi buscar uma melhora na trabalhabilidade do concreto permeável aditivado, através de combinações entre alguns aditivos como polifuncionais ou estabilizadores, para permitir o transporte e lançamento *in loco* com o uso do caminhão betoneira.

## 2 DESENVOLVIMENTO

A ocupação desordenada ocorrida no Brasil gerou diversas adversidades quando relacionada à drenagem urbana. A impermeabilização do solo, por exemplo, está cada vez mais comum nas cidades ocasionando na dificuldade de percolação da água nas camadas do solo, acarretando em um acréscimo de volume de água na superfície. Como consequência, o tempo de ocorrência de picos de vazão será diminuído e ocasionará inundações. (OLIVEIRA E SILVA, 2016)

Segundo Aluísio Canholi (2014), a falta de planejamento para a macrodrenagem é o principal responsável pela situação crítica em que vivemos hoje.

Em função da ineficácia da macrodrenagem, o acúmulo de água pluvial pode causar numerosas consequências não só sociais, conforme já citado, mas também ambientais, como erosões, aumento de risco de desabamento, dentre outras (ONO, BALBO & CARGNIN, 2017).

O coeficiente de escoamento varia de acordo com a relevância da precipitação, ou seja, é a relação entre o volume total de escoamento superficial no evento e o volume total precipitado. Portanto, é possível concluir que quando maior o coeficiente de escoamento menor a capacidade de infiltração (TUCCI, 2000).

Analisando a tabela 1 é notório que em zonas com edificações muito densas, 95% da água precipitada não é drenada superficialmente. Áreas com alto índice de impermeabilização se enquadram nessa categoria também.

Tabela 1 - Valores de "c" adotados pela Prefeitura Municipal de São Paulo

Zonas		Coefficiente de escoamento
1	de edificação muito densa	0,70 a 0,95
2	de edificação não muito densa	0,60 a 0,70
3	de edificações com poucas superfícies livres	0,50 a 0,60
4	de edificações com muitas superfícies livres	0,25 a 0,50
5	de subúrbios com alguma edificação	0,10 a 0,25
6	de matas, parques e campos de esportes	0,05 a 0,20

Fonte WILKEN, 1978

Após estudos, foi possível destacar que pavimentos feitos de concreto permeável, possuem coeficientes de escoamento inferiores a 5%, em alguns casos, a drenagem da água foi completa, e ainda mantém a área útil do local. (MARCHONI, SILVA E MAYOR, 2011).

Assim, conclui-se que o concreto permeável além de ser uma solução para correção de disfunções provenientes da falta de planejamento de drenagem urbana atua também como uma medida de prevenção desses (BARRETO, 2018).

Ainda que haja registros do uso de concreto com a taxa de agregado graúdo superior, ou somente o uso deste, desde o pós-guerra a comunidade acadêmica vem se mostrando interessada no assunto há alguns anos. Com o objetivo de reduzir ou até sanar, as dificuldades de drenagem urbana, constitui-se esse material especial, denominado Concreto Permeável (SCHEWETZ et al, 2014).

A principal diferença entre o concreto convencional e o permeável é a sua finalidade. O intuito da produção do concreto drenante é justamente para escoar a lâmina d'água da superfície. A partir dessa drenagem de água, é possível realizar diversos procedimentos com esta, dentre eles recarregar aquíferos subterrâneos. De acordo com estudos recentes da EPA (U.S Environmental Protection Agency) o concreto permeável ao ser usado em

pavimentações, reduz consideravelmente os itens de poluição difusa oriunda de óleos e outras substâncias encontradas nas pistas de tráfego.

O concreto permeável foi definido em três categorias as quais são:

- Concreto permeável hidráulico, definido com baixa resistência mecânica e elevada condutividade hidráulica, para fins não estruturais.
- Concreto permeável normal, com resistências e condutividade hidráulica intermediárias, podendo ser utilizado em estacionamentos e calçadas.
- Concreto permeável estrutural, esse possui uma elevada resistência mecânica e baixa permeabilidade, característica essa proveniente do baixo uso de agregado miúdo na composição, a partir de sua elevada resistência mecânica, esse pode ser utilizado em lugares que possuam tráfego de veículos pesados. (DELLATE E CLEARLY, 2006).

Os materiais usados para a fabricação do concreto permeável são os mesmos utilizados no concreto convencional. Contudo, para esse tipo de pavimento é necessário um elevado índice de vazios, logo a concentração de agregado graúdo é superior ao concreto tradicional e ainda existe a redução do uso de agregado miúdo, ou de acordo com Batezini (2013) é possível de realizar o traço sem a utilização de finos.

Após uma análise de estudos realizados, chegou-se a uma proporção adequada para a produção do concreto permeável. É possível verificar essa proporção na tabela 2 Entretanto, manteve-se o mesmo consumo e traço utilizado por Barreto (2018), conforme a tabela 3

Tabela 2- Consumo e proporções típicas de materiais para a produção de concreto permeável

<b>Materiais</b>	<b>Consumo/proporção</b>
Ligante hidráulico (cimento) [kg/m <sup>3</sup> ]	270
Agregado graúdo [kg/m <sup>3</sup> ]	1.190 a 1700
Relação a/c em massa	0,27 a 0,34
Relação cimento/agregado em massa	1:4 a 1:4,5
Relação agreg. Miúdo/agreg. Graúdo em massa (areia-brita)	0 a 1:1

Fonte NETO, 2015

*Tabela 3 - Consumo e proporções de materiais utilizados para a produção de concreto permeável*

<b>Materiais</b>	Ligante hidráulico (cimento) [kg/m <sup>3</sup> ]	Agregado miúdo [kg/m <sup>3</sup> ]	Agregado graúdo (brita 0 e 1) [kg/m <sup>3</sup> ]	Relação a/c em massa	Relação cimento/agregado em massa
<b>Consumo/proporção</b>	336	215,04	1128,96	0,27 a 0,35	01:04

**Fonte** BARRETO, 2018

Na hora da escolha do cimento a ser utilizado, deve-se atentar ao meio no qual será aplicado. Em função de sua alta taxa de permeabilidade, acredita-se que o uso de cimentos compostos seja eficaz para a produção do concreto permeável (BARRETO, 2018).

Contudo, a NBR 5733 (ABNT, 1991) define que o Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP V ARI) como um aglomerante hidráulico com resistência inicial elevada, quando comparado com os demais tipos. Essa característica permite uma agilidade maior na desforma da peça moldada. Com potencial para atingir resistências de até 26,0 MPa com um dia de idade, e chegando até 53,0 MPa com 28 dias, esse tipo de cimento está sendo altamente utilizado na construção civil (TEIXEIRA, 2017).

O alto ganho de resistência inicial nesse tipo de cimento é garantido através de sua elevada pureza e finura. Além dessa característica, esse tem a capacidade de reduzir o efeito de rápida perda de água por intermédio da maior velocidade de reação desse aglomerante (CADORE et al, 2016).

Um dos fatores preponderantes para a produção de concreto permeável é evitar a colmatação dos vazios. O agregado miúdo por sua vez, tem grande responsabilidade nesse preenchimento, deve-se reduzir ou até mesmo eliminar, esse componente dado sua relação inversamente proporcional com o índice de vazios.

É importante frisar que ao reduzir esse componente, há uma queda na resistência mecânica do produto final. Por isso a importância e análise de caso a caso.

Com uma graduação uniforme para o concreto drenante o agregado graúdo não deve ultrapassar o diâmetro de 19 mm. Verificou-se, na literatura, que existe uma relação direta entre o tamanho do diâmetro do agregado e a rugosidade do concreto. (MARIANO, 2014).

Podem ser utilizados agregados de formas redondas ou angulares, contudo, agregados redondos ocasionam em concretos com maiores resistências (TENNIS et al., 2004).

No concreto permeável, a relação água cimento é um fator fundamental para garantir a qualidade e a trabalhabilidade do mesmo. O erro dessa relação pode ocorrer em duas formas

diferentes. A super dosagem carrega consigo a queda excessiva da resistência mecânica. E a dosagem mínima ocasiona em uma mistura seca, sem trabalhabilidade.

Em virtude da dificuldade de trabalhabilidade pela mistura ser mais heterogênea, a relação água/cimento pode ser fixada entre 0,27 e 0,40 nas misturas. (TENNIS et al., 2004)

Em virtude da baixa relação água/cimento o uso de aditivos e adições é comum na produção de concreto permeável, para garantir melhores características e propriedades do produto final.

O concreto permeável possui características distintas em seu estado fresco e endurecido. Seu controle tecnológico deve ser constantemente e arduamente controlado, em função de sua dificuldade de execução.

As misturas de concreto permeável são caracterizadas no estado fresco por apresentarem alta consistência, com resultados de abatimento de tronco de cone (slump) variando de 0 a 20 mm podendo, em alguns casos, chegar até 50mm (TENNIS et al.,2004).

A experiência com misturas de concreto permeável torna-se um fator fundamental para o controle de produção, considerando que os critérios utilizados para a avaliação são basicamente tátil-visuais (NETO, 2015).

Outro critério que pode ser utilizado, também, é a avaliação da massa unitária, representada por 70% da massa unitária de concretos convencionais (BATEZINI, 2013).

No estado endurecido, serão avaliados aspectos dos concretos permeáveis quanto ao coeficiente de permeabilidade, resistência à compressão, resistência à tração na flexão, conforme a norma de Pavimentos Permeáveis de concreto – Requisitos e procedimentos, NBR 16.416 (ABNT, 2015). Os valores de referência estão apresentados nas tabelas 4 e 5.

Tabela 4- Determinação do coeficiente de permeabilidade

Tipo de revestimento	Método de Ensaio		Coeficiente de permeabilidade do pavimento recém construído m/s
	Local de avaliação		
	Em laboratório	Em campo	
Peça de concreto (juntas alargadas ou áreas vazadas)	Anexo A	Anexo A	> 10 <sup>-3</sup>
Peça de concreto permeável	ABNT NBR 13292 ou Anexo A		
Placa de concreto permeável			
Concreto permeável moldado no local			

Fonte NBR 16416 (ABNT, 2015).

Tabela 5 - 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	$\geq 2,0^c$	

<sup>a</sup> determinação da resistência à compressão, conforme na ABNT NBR 9781.  
<sup>b</sup> determinação da resistência à flexão, conforme na ABNT NBR 15805.  
<sup>c</sup> determinação da resistência à tração na flexão, conforme na ABNT NBR 12142.

Fonte NBR 16416 (ABNT, 2015)

Serão analisados também aspectos referentes à massa específica e índices de vazios, de acordo com a NBR 9778 (ABNT, 2015).

Apesar de uma grande divergência entres os autores, a NBR 16416 (ABNT,2015) estabelece que o valor mínimo especificado em projeto deve ser de  $1600\text{kg/m}^3$ .

Calcula-se o índice de vazios de acordo com o concreto convencional, utilizando a mesma equação.

Mariano (2014) descreve que existem dois tipos de caracterização a partir do índice de vazios. As peças produzidas com índice de vazios inferiores a 15% são determinadas como materiais de baixa porosidade, entretanto quando se tem valores superiores de 30% são definidos como matérias de alta porosidade.

Segundo a NBR 16416 (ABNT, 2015) o coeficiente de permeabilidade (K) institui a velocidade que a água é capaz de infiltrar no solo, por meio dos poros de concreto permeável. Esse deve ser maior que  $10^{-3}\text{m/s}$  e pode ser apontado em m/s, cm/s ou mm/h.

A NBR 16416 (ABNT, 2015) define requisitos mínimos para ensaios realizados nas peças de concreto permeável, e também o coeficiente de permeabilidade (K). Esses requisitos podem ser observados na tabela 6.

Tabela 5- Requisitos mínimos para concretos permeáveis

Tipo de revestimento	Método de Ensaio		Coeficiente de permeabilidade do pavimento recém construído m/s
	Local de avaliação		
	Em laboratório	Em campo	
Peça de concreto (juntas alargadas ou áreas vazadas)	Anexo A	Anexo A	> 10 <sup>-3</sup>
Peça de concreto permeável	ABNT NBR 13292 ou Anexo A		
Placa de concreto permeável			
Concreto permeável moldado no local			

Fonte NBR 16416 (ABNT, 2015)

De acordo com a tabela acima, a determinação do coeficiente de permeabilidade K, para concretos moldados no local, pode ser realizado a partir da NBR 13292 – Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares à carga constante.

Esse ensaio foi adaptado para o uso de corpos de prova ao invés de solos granulares. Para a realização, as faces laterais do corpo de prova foram vedadas com bentonita para garantir o curso da água ao longo do comprimento do corpo de prova.

Em consequência da adaptação, alguns equipamentos, materiais e etapas de execução não foram realizados, contudo manteve-se a integridade do ensaio.

De acordo com a NBR 13292:1995 para a execução do ensaio de permeabilidade é imprescindível os seguintes equipamentos:

- Permeâmetro
- Reservatório com filtro
- Funil
- Bomba de vácuo
- Tubos manométricos
- Balanças
- Barra de calibração
- Reservatório de água
- Termômetro
- Cronômetro
- Proveta de vidro

Para a realização deste ensaio, a NBR 13292 recomenda que o equipamento seja calibrado anteriormente a realização do ensaio.

- I. Com as válvulas abertas aguardar a estabilização de cargas. Medir e registrar a carga H (diferenças nos níveis dos tubos manométricos) a temperatura T o tempo t e o volume percolado neste tempo Q (exatidões 0,1cm, 0,1°C, 1s e 2cm<sup>3</sup>, respectivamente);
- II. Deve-se aumentar a carga de 0,5cm em 0,5 cm e repetir o processo descrito anteriormente, a fim de estabelecer adequadamente a região do fluxo laminar, na qual a velocidade ( $v=Q/St$ ) é diretamente proporcional ao gradiente hidráulico ( $i = H/L$ ). Quando o regime deixa de ser laminar, ou seja, a relação entre a velocidade e o gradiente deixou de ser linear, os incrementos de carga podem ser realizados de 1 cm em 1cm;
- III. Finalizando o ensaio, deve-se drenar o corpo de prova e verificar, visualmente se ele apresenta-se homogêneo e isotrópico em suas características;

Utiliza-se a equação abaixo, para fins de cálculo.

$$k = \left( \frac{V \cdot L}{c \cdot A \cdot t} \right)$$

*Equação 1- Coeficiente de permeabilidade a partir da NBR 16416*

Onde,

k é a condutividade hidráulica (cm/s)

V é o volume de água coletado (cm<sup>3</sup>)

L é o comprimento do corpo de prova (cm)

c corresponde a carga hidráulica (cm)

A é a área da seção transversal da amostra (cm<sup>2</sup>)

t é o tempo decorrido para a coleta da água (s)

Entretanto, esse mesmo coeficiente pode ser determinado a partir do Anexo A da NBR 16416 - Pavimentos permeáveis de concreto – Requisitos e procedimentos.

De acordo com o Anexo A da NBR 16416, 2015 para a execução do ensaio é imprescindível o uso dos seguintes equipamentos:

- Anel de infiltração: cilíndrico com diâmetro de  $(300 \pm 10)$  mm e altura de 50 mm. Internamente o cilindro deve ter duas linhas de referência com distâncias de 10 mm e 15 mm em relação à face inferior do anel. O material deve ser resistente à água, com rigidez suficiente para não deformar quando cheio;
- Balança com resolução de 0,1 g;
- Recipiente com volume mínimo de 20L, que permita o derramamento controlado do volume de água;
- Cronômetro com resolução de 0,1 s;
- Massa de calafetar;
- Água limpa.

Para a execução do ensaio deve-se ser feita uma limpeza do pavimento varrendo o lixo, sedimentos e outros materiais que não estejam aderidos ao pavimento. A NBR 16416:2015 orienta que o anel de infiltração deve ser posicionado no local do ensaio e vedado na parte em contato com o pavimento com massa de calafetar, para evitar vazamentos. Devem-se seguir os seguintes procedimentos para execução do ensaio:

- I. Iniciar o ensaio em até 2 min depois da execução da pré-molhagem;
- II. Despejar a água no anel de infiltração com velocidade suficiente para manter o nível da água entre as duas marcações do anel (10 mm a 15 mm);
- III. Marcar o intervalo de tempo acionando o cronômetro assim que a água atingir a superfície do pavimento permeável e parar o cronômetro quando não houver mais água livre na superfície do mesmo. Registrar o tempo com exatidão de 0,1 s.
- IV. O volume de água do ensaio é determinado em função do tempo de pré-molhagem, conforme tabela 7.

Tabela 6- Relação tempo e massa de água

Tempo de pré-molhagem s	Massa de água para o ensaio kg
$\leq 30$	$18 \pm 0,05$
$> 30$	$3,60 \pm 0,05$

Fonte ABNT, 2015

Para o cálculo do coeficiente de permeabilidade, utiliza-se a seguinte equação:

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

Equação 2- Coeficiente de permeabilidade a partir da NBR 16416

Onde,

k é o coeficiente de permeabilidade (mm/h)

m é a massa de água infiltrada (kg)

d é o diâmetro interno do cilindro de infiltração (mm)

t é o tempo necessário para toda a água percolar (s)

C é o fator de conversão de unidades do sistema SI, corresponde a 4 583 666 000

A resistência à tração é um fator primordial na produção de concreto permeável a ser moldado no local. Os requisitos necessários podem ser observados na tabela 8.

Tabela 7 - Requisitos mínimos para resistência mecânica e espessura do concreto 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	≥ 35,0 <sup>a</sup>	ABNT NBR 9781
	Tráfego leve	80,0		
Peça de concreto permeável	Tráfego de pedestres	60,0	≥ 20,0 <sup>a</sup>	
	Tráfego leve	80,0		
Placa de concreto permeável	Tráfego de pedestres	60,0	≥ 2,0 <sup>b</sup>	ABNT NBR 15805
	Tráfego leve	80,0		
Concreto permeável moldado no local	Tráfego de pedestres	60,0	≥ 1,0 <sup>c</sup>	ABNT NBR 12142
	Tráfego leve	100,0	≥ 2,0 <sup>c</sup>	

<sup>a</sup> determinação da resistência à compressão, conforme na ABNT NBR 9781.  
<sup>b</sup> determinação da resistência à flexão, conforme na ABNT NBR 15805.  
<sup>c</sup> determinação da resistência à tração na flexão, conforme na ABNT NBR 12142.

Fonte NBR 16416 (ABNT,2015)

No estado endurecido, devem-se analisar parâmetros referentes à resistência à compressão, tração e massa específica. Contudo, deve-se considerar o índice de vazios, módulo de elasticidade, absorção de água, etc.

A resistência à compressão axial define a capacidade de suporte de concreto por unidade de área. A NBR 5739 (ABNT, 2007) determina a metodologia do ensaio, a partir dos corpos de prova, moldados conforme a NBR 5738 (ABNT, 2015).

A tração na flexão é calculada a partir na NBR 12142, a partir da ruptura do corpo de prova moldado de acordo com a NBR 5738 (ABNT, 2015).

Para linha de ruptura dentro do terço médio, utiliza-se a seguinte equação:

$$f_{ct,f} = \frac{F \times l}{b \times d^2}$$

Equação 3 - Cálculo da resistência à tração dentro do terço médio

Onde,

$F_{ct,f}$  = resistência à tração na flexão (MPa)

F = força de ruptura na prensa (N)

l = distância entre apoios (mm)

b = largura do corpo de prova (mm)

d = altura do corpo de prova (mm)

Já quando a linha de ruptura ocorre fora do terço médio, tem-se:

$$f_{ct,f} = \frac{3 \times F \times a}{b \times d^2}$$

Equação 4- Cálculo da resistência à tração fora do terço médio

$F_{ct,f}$  = resistência à tração na flexão (MPa)

F = força de ruptura na prensa (N)

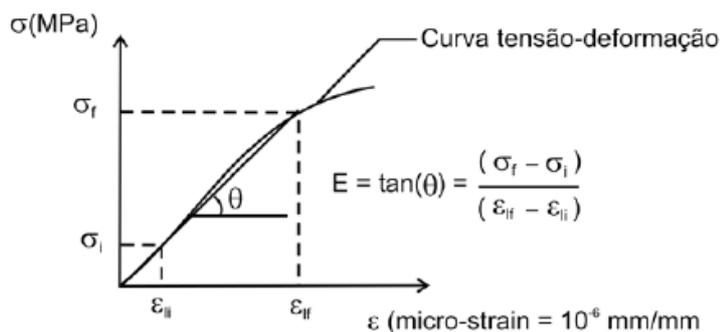
a = distância da linha de ruptura na face tracionada até o extremo mais próximo (mm)

b = largura do corpo de prova (mm)

d = altura do corpo de prova (mm)

O parâmetro é oriundo a partir do gráfico provindo do ensaio descrito na NBR 8522 (ABNT, 2008).

Gráfico 1- Cálculo do Módulo de Elasticidade



Fonte PICANÇO e GHAVAMI, 2006.

A massa específica de um determinado material é a relação entre sua massa (kg) e seu volume (m<sup>3</sup>). De acordo com a NBR 8953 (ABNT, 2015) o concreto é subdividido em três categorias, quando utilizado massa específica como referência são elas:

- Leve – menor do que 2000kg/m<sup>3</sup>
- Normal – entre 2000 e 2800 kg/m<sup>3</sup>
- Pesado – maior do que 2800 kg/m<sup>3</sup>

A NBR 9778 (ABNT, 2009) define o índice de vazios como a reação entre o volume de poros permeáveis e o volume total da amostra.

$$I_v = \frac{M_{sat} - M_s}{M_{sat} - M_i} \times 100$$

Equação 5- Índice de vazios

Onde:

$I_v$ :Índice de vazios (%)

$M_{sat}$ :Massa do corpo de prova saturado (g)

$M_s$ :Massa do corpo de prova seco em estufa (g)

$M_i$ :Massa do corpo de prova saturado imerso em água (g)

Em virtude da análise tátil-visual ser um fator preponderante na produção de concreto permeável, o processo de mistura e moldagem de corpos de prova torna-se complexo. Assim todo o procedimento deve ser feito de forma rigorosa e respeitando as normas e a literatura de forma a se atentar para o cobrimento com a argamassa, dos agregados graúdos, para obter resultados satisfatórios. É importante salientar que o processo de adensamento é fundamental para uma boa produção de corpos de prova (BARRETO, 2018).

O método de dosagem mais comum no Brasil é do IPT/EPUSP, do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, em virtude de sua eficácia e clareza de execução (HELENE; TERZIAN, 1993). Esse método foi utilizado para a realização das dosagens feitas no estudo de Mariano (2014) para concretos permeáveis.

O método tem como objetivo determinar a dosagem dos materiais constituintes do traço, para dada consistência requerida e resistência à compressão (fck) do concreto aos 28 dias (NETO, 2015).

A metodologia adotada para essa pesquisa consiste em ensaios de caracterização de materiais componentes e ensaios das propriedades do concreto no estado fresco e endurecido buscando atingir o objetivo do trabalho que é a obtenção de um concreto permeável trabalhável para produção em caminhão betoneira.

Os ensaios das propriedades do concreto serão realizados partir de um traço piloto, obtido por outros estudos já realizados sobre o assunto . A partir do traço padrão, serão acrescentados três aditivos polifuncionais (P1, P2 e P3), com funções de reduzir a água de amassamento, aumentar tempo de trabalhabilidade, controlar o tempo de pega, aumentar a plastificação, aumentar as resistências inicial e final e controlar a incorporação do ar no concreto, a combinação dos polifuncionais com o estabilizador (P1C, P2C e P3C) e um aditivo estabilizador (E).

O traço piloto será de 1:0,64:3,36, em massa relação água cimento fixada em 0,35.

A tabela X apresenta a legenda com a nomenclatura adotada para a identificação de cada traço.

Tabela 8- Nomenclatura utilizada em cada traço

<i>Composição do traço</i>	Traço piloto	Polifuncional 1	Polifuncional 2	Polifuncional 3	Polifuncional 1 + estabilizador	Polifuncional 2 + estabilizador	Polifuncional 3 + estabilizador	Estabilizador
<i>Nomenclatura</i>	Padrão	Poli 1	Poli 2	Poli 3	Poli 1 completo	Poli 2 completo	Poli 3 completo	Estabilizador
<i>Sigla</i>	P	P1	P2	P3	P1C	P2C	P3C	E

Fonte Adaptado de BARRETO, 2018

Os procedimentos de mistura, moldagem e ensaios em laboratório para este estudo foram realizados de acordo com as normas vigentes da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Procedimentos especiais adotados, tendo em vista a ausência de parâmetros normativos inclusivos, foram devidamente estudados e estão amparados pela literatura.

Para a realização deste trabalho, o cimento adotado foi o Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP V ARI). A escolha deste foi dada a partir de sua alta resistência à compressão (inicial e final), assim é possível reduzir a quantidade de aglomerante no traço objetivando a menor quantidade de finos. Em consequência da redução de cimento, evita-se o preenchimento dos vazios e ainda tende a aumentar a possibilidade de unir as duas características necessárias ao concreto drenante, sendo elas, a resistência à compressão e a permeabilidade.

O agregado graúdo utilizado foi a brita 0 e brita 1, doadas pelo Grupotecno Sistemas Construtivos localizada no SDMC Lotes 38 a 52, Q 1 - Ceilândia Norte, Brasília – DF. As faixas granulométricas das Britas 0 e 1 são compatíveis com as granulometrias utilizadas em experimentos anteriores.

Para os agregados miúdos foi utilizada areia artificial doada pelo Grupotecno Sistemas Construtivos localizada em SDMC Lotes 38 a 52, Q 1 - Ceilândia Norte, Brasília – DF. Foi verificada a umidade do material e, quando necessário, o traço inicial foi corrigido, em função desse fator.

Foi utilizada água de poço do Grupotecno Sistemas Construtivos localizada em SDMC Lotes 38 a 52, Q 1 - Ceilândia Norte, Brasília – DF.

Foi utilizado o aditivo polifuncional 1, é utilizado em casos onde há a necessidade de uma redução de água de amassamento, ou quando um maior tempo de trabalhabilidade seja necessário (BARRETO, 2018)..

O aditivo polifuncional 2 também foi utilizado e ocasiona alta plastificação com manutenção prolongada, controle sobre o tempo de pega e maior redução do ar incorporado. Apresenta aumento nas resistências inicial e final (versão com menor incorporador de ar) (BARRETO, 2018).

Ainda tem-se o aditivo polifuncional 3, que é indicado para concretos com cimentos de tempo de pega rápido, e quando se deseja maior plasticidade da mistura com manutenção por período prolongado mesmo sob elevadas temperaturas. Controla o ar incorporado (versão com menor quantidade de incorporador de ar) (BARRETO, 2018).

Por fim o aditivo estabilizador é um aditivo controlador de hidratação produzido para permitir maior controle sob o início de pega do concreto (BARRETO, 2018).

Para a determinação das proporções dos materiais utilizados nas misturas de concreto permeável foram levados em consideração os traços utilizados por Mariano (2014), Neto (2015), Teixeira (2017), Barreto (2018) e as recomendações da literatura para

a produção de concretos permeáveis. Foi fixado o traço de 1:0,64:3,36 (proporção, em massa, de cimento para areia e brita, respectivamente) e foi feito experimentos com a relação a/c a partir de critérios tátil-visuais para definir qual seria a melhor relação em cada traço. Essa relação começou com 0,27 e teve seu pico em 0,35.

Uma quantidade maior de água de água, origina a formação de pasta ocasionando a colmatação dos vazios, A tabela 15 informa a relação água cimento utilizada em cada traço.

*Tabela 9- Relação água cimento utilizada*

<i>Traço</i>	P	P1	P2	P3	P1C	P2C	P3C	E
<i>a/c utilizada</i>	0,35	0,35	0,28	0,29	0,35	0,27	0,28	0,28

**Fonte** Adaptado BARRETO, 2018.

Ainda de acordo com Barreto (2018), foi fixado o consumo de 0,8% de aditivo sobre a massa de cimento utilizada.

O procedimento de mistura foi realizado em uma betoneira de 120 litros, e a ordem de mistura e adição dos materiais foi seguida conforme método descrito por Teixeira (2017) para concretos permeáveis, a qual constatou que tal forma de mistura é bem condizente com a realidade nas concreteiras e usinas de dosagem. Para a realização dos corpos de prova, foram seguidos os passos a seguir.

- 1) Adicionar o agregado graúdo/miúdo com o cimento;
- 2) Misturar por cerca de 1 a 2 min;
- 3) Adicionar uma 1/3 de água;
- 4) Misturar por 2 min e adicionar o aditivo polifuncional e/ou o aditivo estabilizador;
- 5) Adicionar o resto da água em conjunto com o aditivo;
- 6) Misturar continuamente por cerca de 5 a 10 min;

Para a realização dos ensaios foram moldados seis corpos de prova cilíndricos de 10x20 cm diâmetro e altura respectivamente, para resistência à compressão, determinação do coeficiente de permeabilidade e avaliação de temperatura a partir do uso de termopares. Também foram moldados seis corpos de prova prismáticos de 15x15x50 cm para a determinação de resistência à tração na flexão e quatro placas de 71x71x10 cm para a determinação do coeficiente de permeabilidade.

*Tabela 10- Adensamento nos corpos de prova*

<i>Corpo de prova</i>	Cilíndrico	Prismático	Placa
<i>Dimensão (cm)</i>	10 x 20	15 x 15 x 50	71 x 71 x 10
<i>Camadas</i>	2	3	1
<i>Golpes por camadas</i>	12	25; 10 na última camada	32

**Fonte** Adaptado BARRETO, 2018

Após a moldagem, os corpos de prova foram umedecidos para garantir o processo de cura das peças. Entretanto, o corpo de prova utilizado para fazer a análise de temperatura, foi inserido o cabo termopar para a aferição da temperatura e logo após foi coberto com plástico filme, para evitar a perda de água, e foi mantido fora para facilitar o processo de medição desse fator. A figura 1 mostra como ficaram os corpos de prova após desmolde.

Figura 1- Corpos de prova cilíndricos



**Fonte** Arquivo, 2018

A literatura cita que os corpos de prova só atingem consistência para desforma após 7 dias (NETO,2015). No entanto, foi observado nesta pesquisa que há vários fatores que

irão interferir nessa desforma dos corpos de prova, como por exemplo, fatores climáticos, ambientais, aditivos utilizados e o tipo de cimento. Neste estudo, os corpos de prova cilíndricos foram desformados com dois dias de idade.

Os corpos de prova foram capeados com argamassa de cimento e areia para uniformizar a superfície da peça e validar os ensaios realizados. Os corpos de prova utilizados para os ensaios de permeabilidade foram os únicos a não serem capeados.

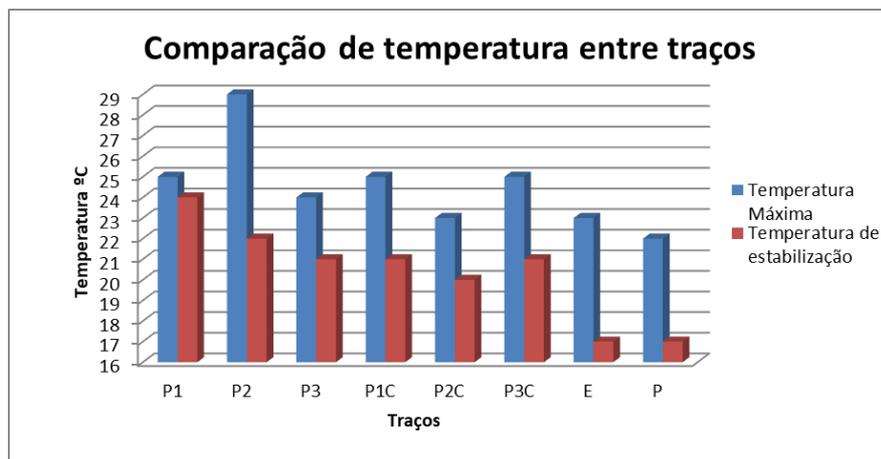
A análise da temperatura foi feita em todos os traços executados, essa se deu em um corpo de prova cilíndrico onde foi alocado um fio de termopar e a aferição foi feita de 30 em 30 minutos, através de um multímetro, até notar uma estabilização de temperatura. Após a estabilização, foram realizadas medições a cada hora em um período total de 24 horas. A tabela 12 e o gráfico 2 demonstram as temperaturas máximas atingidas em cada traço, bem como a temperatura de estabilização.

Tabela 11- Comparativo de temperatura

Traço	P	P1	P2	P3	P1C	P2C	P3C	E
Temperatura máxima (°C)	23	25	29	24	25	23	25	22
Temperatura de estabilização (°C)	17	24	22	21	21	20	21	17

Fonte Adaptado BARRETO, 2018.

Gráfico 2- Comparação de temperatura



Fonte Adaptado BARRETO, 2018.

Acredita-se que a relação a/c tem relação diretamente proporcional com a redução de temperatura de pico no concreto em seu estado fresco. Um exemplo é o traço padrão, onde houve uma temperatura menor quando comparado aos traços com aditivos polifuncionais e suas combinações. Analisando caso a caso, foram observados os seguintes comportamentos conforme a tabela 13.

Tabela 12- Análise da temperatura de cada traço

Traço	P1/P1C	P2/P2C	P3/P3C	E
Temperatura de pico	Não houve diferença com a adição do aditivo estabilizador	Houve redução da temperatura de pico a partir da inserção do aditivo estabilizador	Houve aumento da temperatura de pico a partir da inserção do aditivo estabilizador	O aditivo estabilizador, como esperado, obteve as menores temperaturas de pico e de estabilização.
Tempo de atuação da temperatura máxima	Houve redução do tempo de atuação a partir da inserção do aditivo estabilizador	Não houve resultados significativos nesse aspecto	Não houve resultados significativos nesse aspecto	
Temperatura de estabilização	Houve redução da temperatura de estabilização a partir da inserção do aditivo estabilizador	Houve redução da temperatura de estabilização a partir da inserção do aditivo estabilizador	Não houve diferença com a adição do aditivo estabilizador	

Fonte Autor, 2018.

Os resultados com o sombreamento verde estão de acordo com o esperado, os em amarelo não contribuíram, pois se mantiveram iguais aos resultados dos traços sem adição de aditivo estabilizador e o resultado em vermelho fugiu do comportamento que era esperado.

O controle da temperatura no concreto drenante é importante para controlar e evitar a perda de água no estado fresco. A relação água/cimento é baixa e o aumento de temperatura pode ocasionar em evaporação de água o que prejudica a hidratação do aglomerante.

Foram moldados oito corpos de prova, em formatos prismáticos, com medidas de 15x15x50 cm, sendo um para cada traço, para a idade de 28 dias. Contudo, por questões técnicas, não foi realizado o ensaio no traço E. A figura 2 corresponde ao ensaio de determinação de resistência à tração na flexão em andamento.

Figura 2- Ensaio de tração em andamento



Fonte BARRETO, 2018.

Tabela 13- Resultados do ensaio de tração da flexão

Traço	P	P1	P2	P3	P1C	P2C	P3C	E
Resistência (MPa)	2,1	1,8	1,3	1,3	1,7	1,3	1,7	-

Fonte Adaptado BARRETO, 2018

A NBR 16416 – Pavimentos de concreto permeáveis – requisitos e procedimentos usa como diretriz a resistência de, no mínimo, 1MPa para tráfego de pedestres. Após observar a tabela acima, todos os traços executados estão acima do padrão exigido pela norma. Contudo o traço padrão obteve resultados satisfatórios para receber tráfego leve, respeitando o mínimo de 2 MPa exigido pela norma.

Foram moldados três corpos de prova cilíndricos (10x20 cm) para a realização do ensaio nas idades de 7, 14 e 28 dias. Contudo, durante o desmolde dos corpos de prova, os traços P2C e P1C ainda estavam úmidos (após quatro dias) conforme a figura 3. Acredita-se que a interação dos aditivos combinados, exige uma menor dosagem do estabilizador. Em virtude desse fato, esses traços serão ensaiados apenas com 28 dias de idade.

Figura 3- Traço P2C ao ser desmoldado



Fonte BARRETO, 2018.

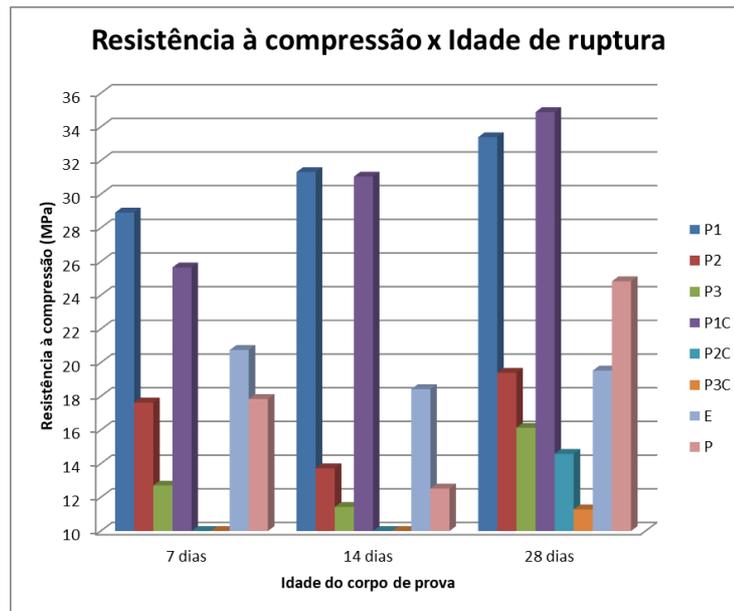
A tabela 15 juntamente com o gráfico 3, sintetizam a relação da resistência à compressão do concreto, nas diferentes idades, quando da adição de diferentes aditivos.

Tabela 14- Análise de resistência à compressão

Traço	P	P1	P2	P3	P1C	P2C	P3C	E
7 dias	17,84	28,91	17,63	12,7	25,65	-	-	20,75
14 dias	12,52	31,32	13,72	11,43	31,05	-	-	18,43
28 dias	24,83	33,39	19,39	16,13	34,88	14,58	11,29	19,53

Fonte Adaptado BARRETO, 2018

Gráfico 3- Comparativo resistência e idade



Fonte BARRETO, 2018

Os resultados que se destacaram foram o alto ganho de resistência entre os traços P1 e P1C. Quanto aos outros traços, notou-se uma queda de resistência na idade intermediária da peça e logo após um incremento desta. Acredita-se que essa variação de resistência deu-se em função do método de adensamento escolhido, dado que houve relatos parecidos em alguns estudos similares.

Por fim, a relevância do uso do aditivo polifuncional 1 para o aumento da resistência à compressão é real e dependendo do caso à ser aplicado, necessária.

Para a determinação da massa específica em concretos endurecidos, utiliza-se a relação entre peso seco e volume dos corpos de prova cilíndricos, apresentados em  $\text{kg/m}^3$ .

Para a definição da massa específica e índice de vazios, o ensaio começou com a colocação dos corpos de prova na estufa, onde esses permaneceram por 72 horas. Logo após, os corpos de prova foram dispostos em um tanque onde foi preenchido com água no volume

correspondente a 1/3 de sua altura e assim permaneceu por quatro horas. Nas quatro horas subsequentes foi adicionado um volume de água correspondente a mais 1/3 da altura do CP, totalizando 2/3. Após as oito horas já realizadas de ensaio, foi adicionado água no reservatório até cobrir os corpos de provas, de acordo com a NBR 9778 (ABNT, 1987). Os corpos de prova foram pesados quando passadas 72 horas de ensaio.

Tabela 15- Determinação massa específica

Traço	P	P1	P2	P3	PIC	P2C	P3C	E
Peso seco (kg)	2,47	2,45	2,27	2,43	2,45	2,43	2,56	2,37
Volume da amostra (m <sup>3</sup> )	0,001178097	0,001178097	0,001178097	0,001178097	0,001178097	0,001178097	0,001178097	0,001178097
Massa específica (kg/m <sup>3</sup> )	2094,16	2078,31	1927,05	2058,67	2078,39	2060,73	2170,25	2015,77

Fonte Adaptado BARRETO, 2018.

Todos os resultados apresentados estão acima do mínimo de 1600 kg/m<sup>3</sup> exigido pela NBR 16416.

De acordo com a NBR 16416 (ABNT, 2015) determina que para concreto permeável, moldado *in loco*, o coeficiente de permeabilidade pode ser determinado a partir do seu Anexo A, ou através da NBR 13292 (ABNT, 1995). Assim foram realizados ensaios em conformidade com as duas normas. Conquanto, após uma análise da ação do aditivo estabilizador combinado com outros polifuncionais notou-se um retardo na pega dessa composição. Logo para realizar essa confrontação, foram utilizados apenas os traços com a adição de aditivo polifuncional.

Após 20 dias de moldagem, o ensaio de permeabilidade foi realizado nas placas, essas se encontravam secas e foram armazenadas em um local limpo onde não havia poeira.

Para a realização desse ensaio, foi necessário um anel de infiltração do 300 mm, nesse foi realizado duas marcas, a primeira com 10mm e a segunda com 15 mm, usando a placa como referência de altura.

Foi feito uma pré-molhagem na placa com uma mangueira por 30 segundos, e logo em seguida foram adicionados 18 kg de água. Foi respeitada a altura de água no cilindro, entre as duas marcas realizadas, durante todo o ensaio. Desde o início da inserção dessa massa de água, foi marcado o tempo, para cálculos futuros. Esses procedimentos foram realizados nas duas faces da placa e em todas as placas realizadas.

A figura 4 retrata a placa de concreto drenante com o anel de infiltração fixado, pronta para dar continuidade ao ensaio.

Para melhor entendimento dos resultados obtidos, foram elaborados a tabela 17 e o gráfico 21.

Figura 4- Placa de concreto drenante



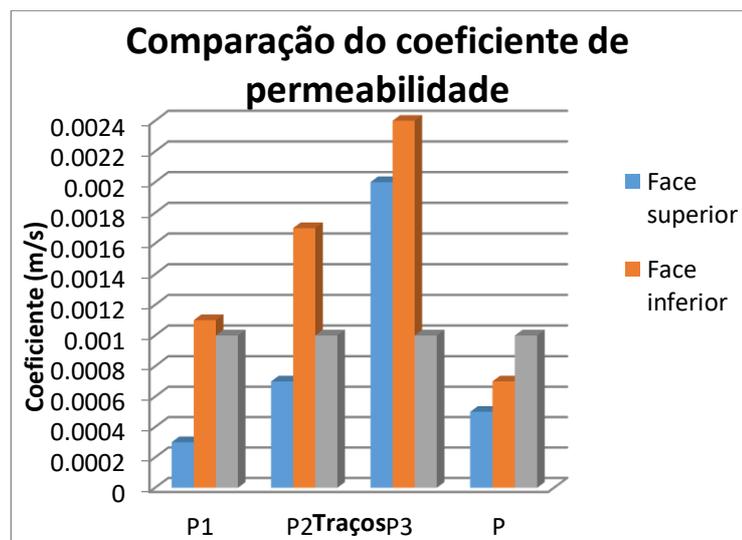
Fonte BARRETO, 2018.

Tabela 16- Coeficiente de permeabilidade

Traço	P1	P2	P3	P
Face Inferior (m/s)	0,0011	0,0017	0,0024	0,0007
Face superior (m/s)	0,0003	0,0007	0,002	0,0005

Fonte Adaptado BARRETO, 2018

Gráfico 4- Comparação do coeficiente de permeabilidade



Fonte BARRETO, 2018

Após uma análise foi verificado que, a priori, somente as faces inferiores dos traços aditivados estariam aptas para o uso, de acordo com a norma. Contudo, as faces superiores ainda possuem uma permeabilidade média ( $K > 0,001\text{m/s}$ ) de acordo com a NBR 16416 (ABNT, 2015).

Acredita-se que o método utilizado para o adensamento, o uso de soquete despencando a uma altura de 30 cm das placas não seja o ideal para esse caso, em virtude do baixo resultado de permeabilidade causado nas faces superiores, ocasionados pelo excesso de colmatação de vazios.

O traço padrão apresentou os piores resultados, para o ensaio de permeabilidade, ficando inviável o uso desse traço para a produção de concreto drenante.

Para a realização desse ensaio foram utilizadas as premissas descritas na NBR 13292 – Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares à carga constante.

Para a execução do ensaio, foi utilizado o permeâmetro de carga constante, onde dispõe de uma base inferior metálica que serviu para acoplar o corpo de prova no aparelho. Com a finalidade de evitar perda de água pela lateral, esse foi vedado com bentonita. Para preencher o vazio criado entre o corpo de prova e as paredes do equipamento, também foi utilizado bentonita no preenchimento. Assim, garantiu-se que a percolação de água se daria somente no sentido perpendicular à superfície do corpo de prova conforme a figura 13. A figura 14 representa o ensaio em andamento.

Figura 5- Revestimento do equipamento com bentonita



Fonte BARRETO, 2018.

Figura 6 - Ensaio de permeabilidade em andamento



Fonte BARRETO, 2018.

Após o revestimento, retirou-se todo o ar presente na mangueira de entrada e saída de água do equipamento. Foi medida a altura do nível de água e foi certificado que essa altura se manteve constante. Logo após houve a liberação do fluxo de água até a saturação completa do corpo de prova, ou seja, até a água percolar por completo ao longo do corpo de prova e sair pelo outro orifício do equipamento. Após a conclusão da saturação, foi aferido o volume de água coletado em um recipiente no período de 20 segundos. Em seguida, o volume de água foi inserido em uma proveta de 1000 ml para verificar a quantidade de água que foi recolhida. Esse procedimento foi repetido por quatro vezes a fim de obter melhores resultados. A tabela 18 representa a relação dos coeficientes de permeabilidades atingidos de acordo com cada traço.

Tabela 17- Coeficiente permeabilidade de acordo com a NBR 13292

Traço	P1	P2	P3	P
Coeficiente (cm/s)	0,003	0,006	0,0048	0,0079

Fonte Adaptado BARRETO, 2018

Nota-se que o traço sem consumo de aditivo, traço padrão, obteve o maior resultado na obtenção do coeficiente de permeabilidade.

Os resultados foram expressos na unidade cm/s, conforme orientado pela NBR 13292.

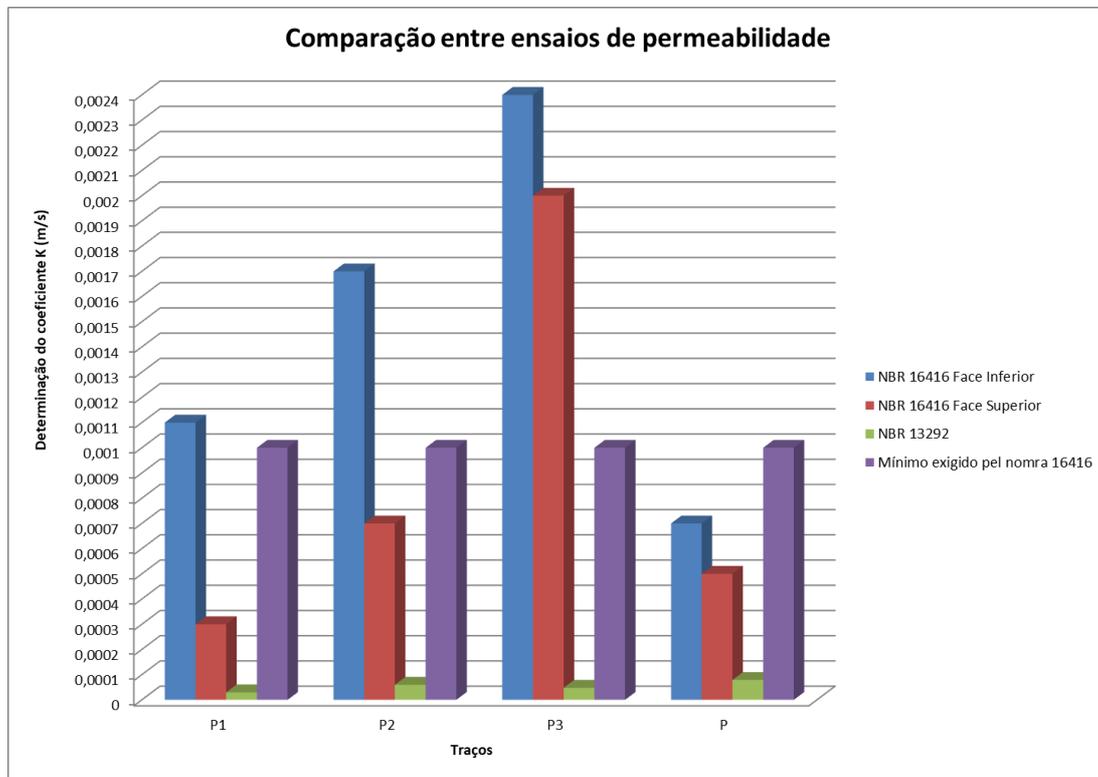
A tabela 19 e o gráfico 5 resumem os dados obtidos através dos ensaios realizados.

Tabela 18- Comparação entre ensaios de permeabilidade

Traço	P1	P2	P3	P
NBR 16416 Face Inferior (m/s)	0,0011	0,0017	0,0024	0,0007
NBR 16416 Face superior (m/s)	0,0003	0,0007	0,002	0,0005
NBR 13292 (m/s)	0,00003	0,00006	0,000048	0,000079
Mínimo exigido pela NBR 16416 (m/s)	0,001	0,001	0,001	0,001

Fonte Adaptado BARRETO, 2018.

Gráfico 5- Comparação entre ensaios de permeabilidade



Fonte BARRETO, 2018.

Após uma breve análise Na tabela e gráfico acima, nota-se uma discrepância entre os resultados obtidos nos dois ensaios.

De acordo com os resultados obtidos, percebe-se uma disparidade entre os ensaios propostos pela NBR 16416 e pela NBR 13292, para todos os traços. Observando os resultados obtidos a partir da amostra preparada pela dosagem 3, verifica-se o excelente resultado

apresentado quando analisado pela NBR 16416 e a não conformidade, quanto à permeabilidade, quando analisado pela NBR 13292.

Para melhor acompanhamento a tabela 20 demonstra a nomenclatura utilizada em cada traço.

*Tabela 19- Nomenclatura utilizada*

<b>Composição do traço</b>	Traço piloto	Polifuncional 1	Polifuncional 2	Polifuncional 3	Polifuncional 1 + estabilizador	Polifuncional 2 + estabilizador	Polifuncional 3 + estabilizador	Estabilizador
<b>Nomenclatura</b>	Padrão	Poli 1	Poli 2	Poli 3	Poli 1 completo	Poli 2 completo	Poli 3 completo	Estabilizador
<b>Sigla</b>	P	P1	P2	P3	P1C	P2C	P3C	E

Fonte Adaptado de BARRETO, 2018

#### 4 CONCLUSÃO

O desenvolvimento do estudo possibilitou as seguintes conclusões:

Há controvérsias entre os resultados de permeabilidade obtidos através do anexo A da NBR 16416 e da NBR 13292. A diferença apresentada é muito alta e ainda leva ao questionamento de qual método seria o mais eficaz.

Os traços que continham o aditivo polifuncional 1 apresentaram resistências à compressão superiores aos demais.

O traço que continha o aditivo polifuncional 3 apresentou maior índice de permeabilidade, segundo a NBR 16416, dentre os traços utilizados.

A dosagem de aditivo estabilizador foi muito alta e causou um retardo de hidratação acima do esperado. Isso inviabilizou alguns ensaios para os traços que continham essa adição.

A consistência do concreto, em seu estado fresco, ficou semelhante às com as características referidas pela literatura. A pasta cimentícia envolveu todos os grãos, houve um brilho na mistura no estado fresco, e ainda a mistura ficou homogênea ao ponto de descolar das paredes da betoneira. Contudo, o *slump* das misturas permaneceu em 0mm, o que inviabiliza o bombeamento desse tipo de concreto.

Apesar dos resultados positivos quando a aparência do concreto em seu estado fresco acredita-se que o transporte ainda é inviável para esse caso.

O uso do aditivo estabilizador reduziu a temperatura máxima em somente um traço dos estudados. No entanto ao compararmos os resultados dos outros ensaios, o uso desse aditivo não trouxe benefícios significativos. Por fim, acredita-se que o uso desse aditivo pode ser dispensável.

Quando analisados todos os fatores necessários, acredita-se que o traço P3 seja o mais eficiente entre todos os estudados. Apesar de não ter resultados de resistência mecânica mais

elevados, os resultados obtidos estão de acordo com o mínimo exigido pela norma NBR 16416. Contudo esse traço teve resultados de permeabilidade de massa específica muito bons e acima do esperado.

### REFERÊNCIAS

- \_\_\_\_. **NBR NM 9:** Concreto e argamassa – Determinação dos tempos de pega por meio de resistência à penetração. Rio de Janeiro, 2002.
- \_\_\_\_. **NBR NM 43:** Cimento Portland – determinação da pasta de consistência normal. Rio de Janeiro, 2003.
- \_\_\_\_. **NBR NM 45:** Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.
- \_\_\_\_. **NBR NM 46:** Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem. Rio de Janeiro, 2003.
- \_\_\_\_. **NBR NM 52:** Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.
- \_\_\_\_. **NBR NM 53:** Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.
- \_\_\_\_. **NBR NM 67:** Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.
- \_\_\_\_. **NBR NM 248:** Agregados - Determinação da composição granulométrica
- \_\_\_\_. **NBR 5733:** Cimento Portland de alta resistência inicial. Rio de Janeiro, 1991.
- \_\_\_\_. **NBR 5738:** Concreto – procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2015.
- \_\_\_\_. **NBR 5739:** Concreto – ensaio de compressão de corpos- de- prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.
- \_\_\_\_. **NBR 7211:** Agregados para concretos – Especificação. Rio de Janeiro, 2009.
- \_\_\_\_. **NBR 7215:** Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1997.
- \_\_\_\_. **NBR 8522:** Concreto – determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão. Rio de Janeiro, 2017.
- \_\_\_\_. **NBR 8953:** Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro, 2015.

\_\_\_\_. **NBR 9776:** Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco chapman - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1988.

\_\_\_\_. **NBR 9778:** Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009.

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

\_\_\_\_. **NBR 10342:** Concreto - Perda de abatimento. Rio de Janeiro, 1992.

\_\_\_\_. **NBR 11579:** Cimento Portland — Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº 200). Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_. **NBR 12142:** Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro, 2015.

\_\_\_\_. **NBR 13292:** Solo - Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares à carga constante - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1995.

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

\_\_\_\_. **NBR 16607:** Cimento Portland - Determinação do tempo de pega. Rio de Janeiro, 2017. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do cimento portland** – BT-106, 7 ed., São Paulo, 28p. 2002.

BATEZINI, RAFAEL. **Estudo preliminar de concretos permeáveis como revestimento de pavimentos para áreas de veículos leves.** 134p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo – USP, São Paulo. 2013.

BRAJA, M. DAS. **Fundamentos de Engenharia Geotécnica.** Cengage learning, 560p. 2014.

BARRETO, ANA GABRIELA DE OLIVEIRA. **Análise do método da determinação do coeficiente de permeabilidade em concretos permeáveis aditivados através das normas NBR 16416 e NBR 13292.** 94p. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Centro Universitário de Brasília – UniCEUB, Brasília. 2018.

CADORE, JÚLIA CAMPREGHER; FAGUNDES, CAROLINE KORMANN; PEDRONI, GABRIELLA CONTESINI; SANTOS, SÍLVIA. **Avaliação da resistência mecânica e permeabilidade de concretos permeáveis com adição de agregado miúdo.** Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia CONTECC'2016. 5p. Paraná, 2016.

CANHOLI, ALUÍSIO PARDO. **Drenagem urbana e controle de enchentes.** São Paulo, Oficina de Textos, 384p. 2014.

- DELLATE, N; CLEARY, J. **Developing a Structural Design Method for Pervious Concrete Pavement**. Disponível em: <http://www.nssga.org/aftre/Symposium/2006-06.pdf>
- EFFTING, CARMEANE. **Agregados**. Notas de aula. UDESC, Departamento de Engenharia Civil. Joinville, 2014.
- HELENE, PAULO R. L.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto**. São Paulo, PINI, 349p. 1992.
- INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. IBRACON, 2007. Editor Geraldo Cechella Isaia.
- MARCHIONI, Mariana L.; SILVA, Cláudio O. **Conceitos e Requisitos para Pavimentos Intertravado Permeável**. Prática Recomendada PR-2. Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP). São Paulo, 2011.
- MARIANO, HUMBERO RODRIGUES. **Influência do teor de argamassa e da granulometria de brita na permeabilidade e nas resistências à compressão e à abrasão de concretos permeáveis**. 2014. 163p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade federal de Goiás, Goiânia, 2014.
- NETO, ELDER FREIRE SILVEIRA. **Estudo da variação do teor de argamassa na composição de concretos permeáveis para atendimento da ABNT 16416:2015**. 92P. Trabalho de curso (Bacharel em Engenharia Civil) – Centro Universitário de Brasília – UniCEUB, Brasília, 2015.
- NEVILLE, A. M.; J. J. BROOKS. **Tecnologia do Concreto**, tradução: Ruy Alberto Cremonini. - 2ª ed. Porto Alegre, Bookman, 448p. 2013.
- OLIVEIRA, REGINA LÚCIA MELO DE; SILVA, SIMONE ROSA DA. **Alternativas compensatórias para drenagem urbana em ponto crítico da Cidade do Recife – PE**.
- ONO, BRUNO WATANABE; BALBO, JOSÉ TADEU; CARGNIN, ANDRÉIA POSSER. **Análise da capacidade de infiltração em pavimento permeável de bloco de concreto unidirecionalmente articulado**, 177p. Revista de Transportes, volume 5, ed. 3
- PARISSOTO, MICHAEL; LINHARES, VÍTOR MARQUES; FERREIRA, LÍVIA ZOPPAS; PERERA, GABRIEL GALVAN; SCHWETZ, PAULETE FRIDMAN, LORENZI, ALEXANDRE. **Desenvolvimento e Aperfeiçoamento da Confecção de Pisos e Elementos Drenantes de Concreto Permeável**. Feira de Inovação Tecnológica da UFRGS – FINOVA. Porto Alegre, 2014.

PICANÇO, MARCELO DE SOUZA; GHAVAMI, KHOSROW. **Comportamento à compressão de argamassas reforçadas com fibras vegetais da Amazônia**. Revista Escola de Minas, Volume 61, 13-18p. 2008.

RAHMAN, SONIA; NORTHMORE, ANDREW B.; HENDERSON, VIMY; TIGHE, SUSAN L. **Developing A Framework for Low-Volume Road Implementation of Pervious Concrete Pavements**, International Journal of Transportation Science and Technology, volume 4, 91p. 2015

SILVA, D. C. DE S.; PASSOS, P. G. C. **Estudo das características do concreto permeável produzido com agregado graúdo e miúdo**. 22p. Trabalho de curso (Bacharel em Engenharia Civil) – Universidade Católica de Brasília – UCB. Brasília, 2015.

SILVA, Fernando Benigno da. **Pavimentos de concreto permeável**. Disponível em <http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/190/artigo288015-3.aspx>

TEIXEIRA, AMANDA ROSA. **Estudo da aplicação in loco de concreto permeável em pavimentos segundo a NBR 16416:2015**, 27p. Projeto de pesquisa – Universidade Católica de Brasília –UCB, Brasília. 2017.

TENNIS, PAUL, D; LEMING, MICHEL, L; E AKERS, DAVID, J., **Previous Concrete Pavements**, EB302.02. Portland Cement Association, Skokie, Illinois, e National Ready Mixed Concrete Association, Silver Spring, Maryland, EUA. 36p. 2004.

TUCCI, CARLOS E. M. – **Coefficiente de escoamento e vazão máxima de bacias urbanas**, Revista Brasileira de recursos hídricos, volume 5, Porto Alegre. 61-68p. 2000.

UFRGS. Elementos de drenagem urbana utilizando concreto permeável. Disponível em <https://www.ufrgs.br/vitrinetecnologica/maquinas-e-equipamentos/elementos-de-drenagem-urbana-utilizando-concreto-permeavel/>

U.S ENVIRONMENTAL PROTECTY AGENCY, 2009. Disponível em <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/waterfront.pdf>

VIRGILIIS, Afonso Luís Corrêa de – Procedimentos de projeto e execução de pavimentos permeáveis visando retenção e amortecimento de picos de cheias. 213p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP, São Paulo. 2009.

WILKEN,P.S. **Engenharia de drenagem superficial**. São Paulo: CETESB P477, 1978.

ZANETTA, LUIZ HENRIQUE RODRIGUES. **Inserção de Uso do Concreto Permeável no Espaço Público Urbano**. Menção Honrosa Prefeitura Municipal de Guarulhos/SP. 2012.

Disponível em: <http://www.mma.gov.br/informma/item/9182-men%C3%A7%C3%A3o-honrosa-2012-prefeitura-municipal-de-guarulhos-sp>