

# **RELAÇÃO ENTRE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E A PERMEABILIDADE PARA TRAÇOS DE CONCRETO PERMEÁVEL**

RELATIONSHIP BETWEEN COMPRESSION RESISTANCE AND PERMEABILITY FOR  
PERMEABLE CONCRETE TRACES

Nelson Fernando Romanelli<sup>1</sup>

Poliana Bellei<sup>2</sup>

*Submetido em 26-02-2019*

*Aprovado em 14-05-2019*

## **Revista Infinity**

Revista dos Cursos de Arquitetura e Urbanismo, Engenharia Civil e Engenharia de Produção.  
Uceff – Campus Itapiranga  
Vol. 4, nº 1, 2019  
ISSN 2525-3204

---

<sup>1</sup> Graduado em Engenheiro Civil pela Uceff Chapecó. E-mail: [nelsonromanelli@gmail.com](mailto:nelsonromanelli@gmail.com)

<sup>2</sup> Mestra em Engenharia Civil pela Ufsm. Graduada em Engenharia Civil pela Unipampa. Docente da Uceff Chapecó.  
Email: [polianabellei@gmail.com](mailto:polianabellei@gmail.com)

## Resumo

A principal característica do concreto permeável é apresentar um alto índice de vazios interligados, que permite a passagem desobstruída de grandes quantidades de água. A presente pesquisa justifica-se pela busca por novos traços de concreto permeável, bem como pela diminuição da capacidade de infiltração da água no solo, fator este, que torna-se um dos maiores problemas da humanidade, a partir do avanço descontrolado dos centros urbanos. Esse trabalho tem como objetivo geral analisar a relação entre resistência à compressão e a permeabilidade para os traços de concreto permeável. Para isso, estabeleceu-se um traço padrão de concreto permeável, o qual obteve-se características como a resistência à compressão e a permeabilidade por meio de ensaios, e ao final analisado as propriedades de cada traço. Com o intuito de obter os resultados do estudo, cada traço de concreto permeável foi produzido com granulometria diferente de brita (brita 0, 1 e 2), com isso coletaram-se os resultados de abatimento de tronco de cone, resistência à compressão e permeabilidade. A pesquisa comprovou que, com o aumento da granulometria da brita, a permeabilidade é inversamente proporcional a resistência, ou seja, quanto maior a porosidade do concreto, menor os valores encontrados para a resistência do material. Por meio dos resultados dos ensaios realizados, conclui-se que o traço produzido com a brita 1, apresentou resistência à compressão aceitável, bem como associado ao valor de permeabilidade dentro da norma regulamentadora, enfatizando o uso em locais de tráfego leve ou menos intenso.

Palavra-Chave: Agregado graúdo; Concreto Permeável; Engenharia Civil; Permeabilidade.

## Abstract

The main characteristic of the permeable concrete is to have a high index of interconnected voids, which allows the unobstructed passage of large amounts of water. This work has as general objective to analyze the relationship between compressive strength and permeability for the traces of permeable concrete. In order to obtain the results of the study, each trait of permeable concrete was produced with a different grit size (gravel 0, 1 and 2), in order to collect the results of cone truncation, compressive strength and permeability. The research proved that, with the increase of the granulometry of the gravel, the permeability is inversely proportional to the resistance, that is, the larger the porosity of the concrete, the lower the values found for the strength of the material. By means of the results of the permeability and compressive strength tests, it can be concluded that the trace produced with the gravel 1, proved to be a more advantageous material, because it presents an acceptable resistance, as well as associated with the permeability value within the regulatory standard. Thus, the applications of these traces demonstrate that this pavement can not be applied to all types of traffic, being effective in most places of light or less intense traffic.

Keyword: Large aggregate; Permeable Concrete; Civil Engineering; Permeability.

## Considerações iniciais

Devido à expansão imobiliária e habitacional nos últimos anos a taxa de ocupação das áreas urbanas aumentou com a exploração de espaços antes não urbanizados, elevando a relação entre a população e a área de ocupação. Essa ocupação acaba diminuindo as áreas com solo exposto, que são naturalmente permeáveis, e diminuem a capacidade de infiltração das águas pluviais devido, as grandes áreas revestidas de diferentes materiais. Essas ocorrências são consequências diretas da

explosão demográfica, somado a falta de planejamento de uso, e ocupação do solo urbano (ESTEVES, 2006).

As condições de superfícies impermeáveis apresentam relação com as alterações na qualidade das águas. Sobre a superfície, ficam depositados os poluentes e sedimentos, que acabam sendo transportados aos corpos d'água pelas águas das chuvas. A erosão e assoreamento de rios, são problemas que podem ser causados, em partes, pela impermeabilização das superfícies, aonde gera escoamento com maior volume e velocidade, do que o escoamento em superfícies naturais (ESTEVES, 2006).

Adotar tecnologias mais limpas seriam uma alternativa para reverter o grande impacto ambiental, que a impermeabilização urbana acarreta ao meio ambiente, tanto direta como indiretamente, permitindo uma maior infiltração da água pluvial, tal como os pavimentos de concreto permeável. A alta permeabilidade em novos materiais, como no caso do concreto permeável, é a principal razão de ser investigado e produzido. Quando o concreto permeável é utilizado em pavimentação externa, a água da chuva pode infiltrar diretamente no solo, diminuindo a vazão, que segue para o sistema de drenagem urbano (HOLTZ, 2011).

O concreto permeável é uma mistura composta por quantidades controladas de água e cimento que formam ao redor do agregado graúdo uma espessa camada, interligando os mesmos. Muitas vezes, juntamente com o concreto permeável, pode ser utilizado um reservatório de pedras subjacentes, que terá a função de reter a água, no período da precipitação e liberá-la lentamente ajudando, assim a diminuir a vazão de pico. Com isso, o concreto permeável está entre as melhores técnicas na redução do escoamento superficial de águas pluviais (BATEZINI, 2013).

Com uma tecnologia ainda incipiente no Brasil, o concreto permeável vem sendo utilizado cada frequentemente por construtores para atender, ao que as legislações municipais exigem, em relação à infiltração e permeabilidade na pavimentação de terrenos. O revestimento de concreto permeável, é a última etapa de um sistema de drenagem, isso porque permite que a água das chuvas ultrapasse, e seja armazenada nas camadas inferiores, base e sub-base, até ser conduzida ao lençol freático, por meio do subleito, ou então levada ao sistema de drenagem. Sem perder espaço de pavimentação, tem-se uma área pronta para absorver precipitações, evitando enchentes e realimentando o aquífero subterrâneo (MAZZONETTO, 2011).

O concreto permeável foi desenvolvido para suportar carga, e ao mesmo tempo permitir a percolação ou acúmulo temporário de água de chuva, diminuindo o escoamento superficial. Por meio do aprimoramento do controle tecnológico, busca ser explorado e pesquisado para melhor utilização na construção civil.

Nesse sentido, o objetivo geral do presente estudo buscou analisar a relação entre resistência à compressão e a permeabilidade para os traços de concreto permeável. Para isso, foram estabelecidos os traços de concreto permeável. Na sequência identificou-se a resistência mecânica à compressão dos traços de concretos permeáveis estudados, e conhecida a permeabilidade de cada traço pesquisado. Ao final, relatou-se as principais características de desempenho de cada traço de concreto permeável em pesquisa.

O presente estudo justifica-se pela busca por novos traços de concreto permeável, bem como, pela diminuição da capacidade de infiltração da água no solo ser um dos maiores problemas, com o avanço descontrolado dos grandes centros urbanos.

O desenvolvimento urbano torna-se essencial para que a humanidade possa evoluir, porém, com o passar dos anos, a sociedade passou a exigir que esse desenvolvimento fosse de forma sustentável.

### **Concretos Permeáveis**

De acordo com Alves e Costa (2007), a absorção gradual pelo solo é devido ao concreto permeável ser uma superfície drenante, onde promovem o armazenamento, infiltração e percolação de parte ou da totalidade da água designada do escoamento superficial, para dentro de uma camada de armazenamento temporário no terreno.

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

Para Azanedo et al. (2007), o concreto permeável tem como principal característica permitir a infiltração da água através de sua superfície, para depois a infiltração no solo. Por ser uma alternativa viável tanto do ponto de vista técnico como econômico, este tipo de pavimento permeável tem sido analisado.

Segundo Urbonas e Stahre (1993), o concreto permeável apresenta características construtivas similares ao tradicional. A mudança está na eliminação do material fino da sua composição, ampliando a porosidade final da mistura.

O índice de vazios aumenta ao se diminuir a quantidade de agregado miúdo ou simplesmente retirá-la da mistura de concreto. Dessa maneira, a água resultante das precipitações irá percolar por meio dos poros da placa de concreto, reduzindo notavelmente a quantidade de escoamento superficial das águas pluviais (HENDERSON; TIGHE; NORRIS, 2009).

Com a finalidade de se obter uma pasta que forme uma capa espessa ao redor das partículas dos agregados, as quantidades de água e de ligante hidráulico empregadas na composição do concreto permeável são cuidadosamente controladas. A mistura deve possuir pequena ou nula quantidade de agregado miúdo, a fim de se obter um material de elevado índice de vazios, que, com auxílio da interconectividade dos seus vazios, apresentará boa drenabilidade (HENDERSON; TIGHE; NORRIS, 2009).

### **Propriedades do Concreto Permeável**

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

De acordo com Azanedo et al. (2007), as propriedades do concreto permeável dependem da quantidade de cimento, da granulometria, relação água/cimento e quantidade de vazios. Um dos fatores que interferem nas propriedades do concreto permeável é a graduação do agregado, pois influência a permeabilidade e a resistência, que são propriedades fundamentais para o desempenho do concreto poroso.

Utiliza-se o agregado de graduação aberta, para o concreto permeável que apresenta distribuição granulométrica contínua com insuficiência de materiais finos (menor que 0,075 mm) para preencher os vazios entre as partículas maiores, resultando em maior volume de vazios, e consequentemente, em maior permeabilidade ao concreto (AZANEDO et al., 2007).

Segundo Yang et al. (2008), a presença do agregado fino é importante porque aumenta a resistência na zona da interface entre o agregado graúdo e a pasta apesar de ser conhecido como concreto sem finos. A zona de transição entre a pasta e os agregados é pequena e fraca. Percebe-se um aumento na resistência a compressão, com o aumento da quantidade de finos, pois os finos preenchem os espaços entre a pasta de cimento e o agregado graúdo, aumentando a ligação entre os agregados melhorando a resistência do concreto poroso. A principal propriedade desse material, é a permeabilidade, que devido ao uso de agregados finos diminuem os vazios, e bloqueiam a comunicação entre os poros diminuindo a permeabilidade.

## Metodologia

Neste item estão apresentadas as análises realizadas com os materiais constituintes do concreto permeável. Essa etapa torna-se importante para posteriormente realizar a produção de cada traço de concreto permeável, bem como obter os resultados dos ensaios no estado fresco e endurecido.

Além dos testes de resistência à compressão e permeabilidade realizados no laboratório da Instituição UCEFF - Faculdades, foram utilizados os procedimentos metodológicos para os ensaios de caracterização dos materiais, conforme as normas regulamentadoras: ABNT/NBR NM 16605 - Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica (2017), ABNT/NBR NM 248 (2003), ABNT/NBR 45 Agregados – Determinação da composição granulométrica (2006) e ABNT/NBR NM 53 - Agregado graúdo Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água (2009). A primeira norma refere-se a massa específica com cimento, as demais são necessárias para os ensaios com o agregado graúdo, sendo elas, granulometria, massa unitária e massa específica, respectivamente. Nota-se que não foi utilizado o agregado miúdo na composição do material, por tratar-se de traços de concreto permeável.

O cimento utilizado na pesquisa foi o CP II Z – 32, por meio do ensaio de massa específica, o valor obtido resultou em 3,045 g/m<sup>3</sup> para essa particularidade. Em relação ao agregado graúdo, cada concreto foi produzido com um tipo de brita, sendo elas: brita 0, brita 1 e brita 2.

A Tabela 01 apresenta os resultados dos ensaios de caracterização das britas utilizadas.

Tabela 01 – Ensaio de caracterização do agregado graúdo

| Ensaio                                | Brita 0 | Brita 1 | Brita 2 |
|---------------------------------------|---------|---------|---------|
| DMC (mm)                              | 9,5     | 19      | 19      |
| Módulo de finura                      | 2,36    | 3,83    | 4,63    |
| Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> ) | 2,95    | 2,89    | 2,86    |
| Massa Unitária (g/cm <sup>3</sup> )   | 1,685   | 1,681   | 1,572   |

Fonte: Próprio autor (2017)

Foi confeccionado e moldado três traços distintos, fixando a quantidade de cimento e a relação água/cimento (a/c), contando com três variações do tamanho da brita (brita 0, brita 1 e brita 2).

Foi utilizado um traço de 1:4, ou seja, uma quantidade de cimento para quatro de brita e a relação a/c de 0,38.

Na Tabela 02 demonstra-se a quantidade de materiais utilizados para confecção dos traços de concreto permeável.

Tabela 02 - Traço unitário utilizado para cada concreto permeável

| <b>Concretos</b> | <b>Cimento</b> | <b>Brita 0</b> | <b>Brita 1</b> | <b>Brita 2</b> | <b>A/C</b> |
|------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------------|
| TRAÇO A          | 1              | 4              | -              | -              | 0,38       |
| TRAÇO B          | 1              | -              | 4              | -              | 0,38       |
| TRAÇO C          | 1              | -              | -              | 4              | 0,38       |

Fonte: Próprio autor (2017)

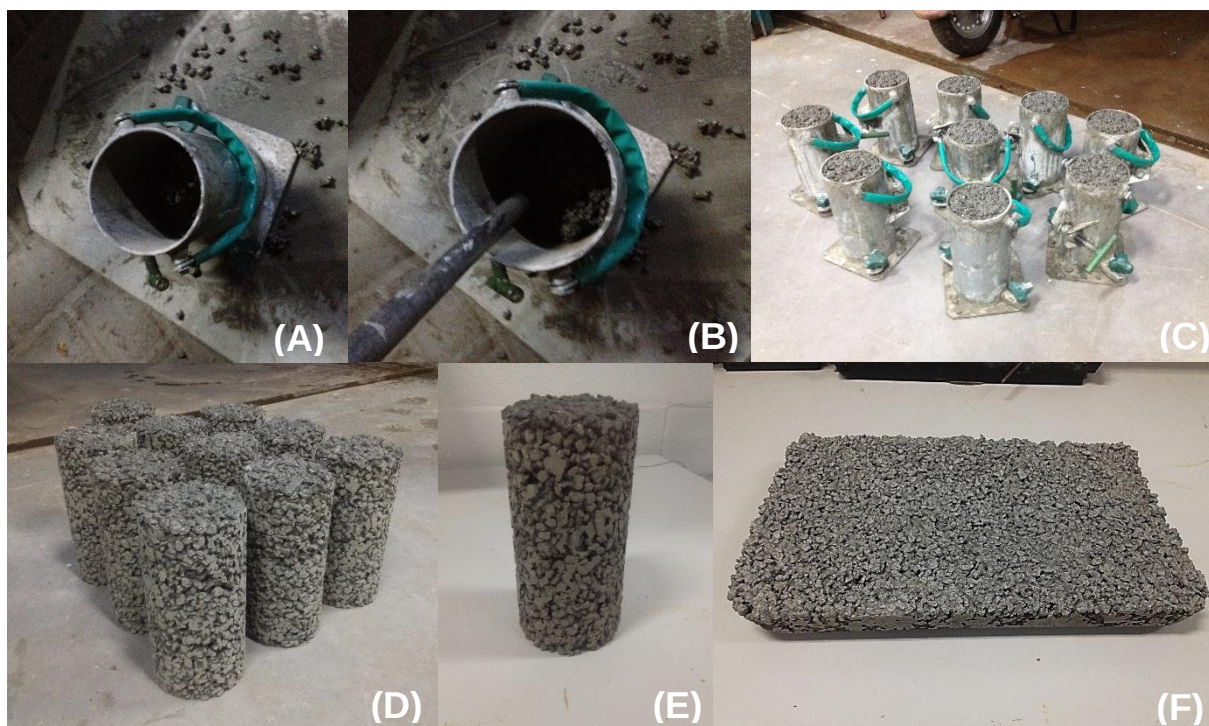
Deste modo, foi possível separar o material e produzir um concreto de cada vez na betoneira, e então moldar nove corpos de prova (CP) cilíndricos para cada traço, sendo ensaiadas três amostras a resistência à compressão aos 7 dias, 14 dias e 28 dias de idade. Além disso, foi moldado uma placa de concreto para o ensaio de permeabilidade para cada traço. A confecção do traço de concreto permeável apresentou visualmente coesão razoável entre pasta e o agregado, principalmente com a brita de menor diâmetro.

No estado fresco foi realizado o ensaio de consistência pelo abatimento do tronco de cone, conforme a ABNT/NBR NM 67 - Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento de tronco de cone (1998). Os resultados encontrados para os ensaios de consistência foram, de 14,4 cm para a o Traço A com brita 0 (zero), 15 cm para o Traço B com brita 1 (um). No Traço C, não pode ser avaliado o abatimento de cone, pois foram considerados desmoronados nas duas tentativas realizadas, assim, o concreto não é necessariamente plástico e coeso ao ser avaliado por esse ensaio. Por meio dos traços estabelecidos foi necessária a moldagem de corpos de prova com diâmetro de 100 mm e altura de 200 mm, conforme a norma ABNT/NBR 5738 - Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova (2015), para depois realizar os ensaios de resistência à compressão. Para a avaliação da permeabilidade foram moldadas placas de concreto permeável para cada traço estudado com dimensões de 47cm x 31cm x 4cm.

Foram encontradas algumas dificuldades para moldar as amostras com esse tipo de concreto, no que se refere ao acabamento superficial, principalmente no traço com a brita 1 e 2, pois ficou difícil preencher todos os espaços para completar o molde cilíndrico e placas.

A Figura 01 mostra o processo de moldagem dos corpos de prova cilíndrico (Figura 01A, Figura 01B, Figura 01C, Figura 01D e Figura 01E) e placa de concreto (Figura 01F).

Figura 01 - Etapas da produção dos moldes



Fonte: Próprio autor (2017)

Para desmoldar os corpos de prova foi preciso aguardar um período de vinte e quatro horas depois que os mesmos foram moldados. Logo depois de retirados do molde cilíndrico, os CP's foram identificados e colocados em um tanque repleto de água saturada com cal, onde permanecem até o momento do ensaio de resistência à compressão.

A secagem do concreto das placas moldadas, as mesmas foram armazenadas em temperatura ambiente, já que, nesse caso, não necessitou de um processo de cura, pois não foi avaliada a resistência da mesma. As placas foram utilizadas para analisar a permeabilidade por meio de seus vazios.

### Ensaio de Resistência à Compressão

O ensaio apresentado a seguir mensura a principal característica do concreto, a resistência à compressão. Os ensaios foram realizados seguindo as recomendações conforme a ABNT/NBR 5739 - Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos (2007).

Para realização do ensaio, os corpos de prova foram retirados do reservatório de cura, com temperatura controlada em  $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2$ , respeitando as idades de ensaio de 7, 14 e 28 dias. O capeamento do corpo-de-prova (CP) foi realizado no laboratório antes de serem ensaiados, com auxílio de máquina retificadora, a qual desgasta por abrasão uma fina camada de aproximadamente

1 mm de espessura, alterando a base e o topo do CP deixando-o plano e liso, perpendicular ao seu eixo longitudinal. Foi utilizado os apoios de neoprene com anel de confinamento, para auxiliar no rompimento, devido as superfícies dos corpos de prova não serem totalmente regulares. A distribuição de tensões se dá de forma concentrada e não distribuída em toda a área do corpo de prova, como descreve a norma ABNT/NBR 5739 (2007), por este motivo os valores encontrados apresentam algumas variações, devido as tensões localizadas no concreto. Observou-se as características após a ruptura dos corpos de prova e a correlação dos valores da tensão de ruptura.

A Tabela 03 apresenta os resultados obtidos na compressão dos traços.

**Tabela 03 - Ensaio de compressão axial dos traços**

| <b>TRAÇO</b>              | <b>7 dias (MPa)</b> | <b>14 dias (MPa)</b> | <b>28 dias (MPa)</b> |
|---------------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| <b>A</b>                  | 15,90               | 17,01                | 22,41                |
| <b>B</b>                  | 9,34                | 12,78                | 12,84                |
| <b>C</b>                  | 7,08                | 6,47                 | 8,01                 |
| <b>MÉDIA (MPa)</b>        | 10,77               | 12,08                | 14,42                |
| <b>DESVIO PADRÃO (DP)</b> | 3,74                | 4,75                 | 7,59                 |

Fonte: Próprio autor (2017)

Por meio dos resultados obtidos fica evidente que a compactação influencia diretamente no ganho de resistência. Os resultados mostram uma peculiaridade no que diz respeito a resistência do concreto permeável estudado. Nota-se, que em todos os casos, com o aumento do diâmetro da brita, a resistência à compressão acaba diminuindo em todas as idades estudadas. Estes resultados mostram um comportamento semelhante aos estudados na literatura, devido a composição granulométrica utilizada, e a pasta de cimento que faz a ligação entre as britas, ficando maior o índice de vazios nos traços onde a brita tem maior tamanho. Estes valores reduzidos de resistência estão atribuídos ao elevado índice de vazios característico das misturas em estudo, o que caracteriza o material como de baixa resistência.

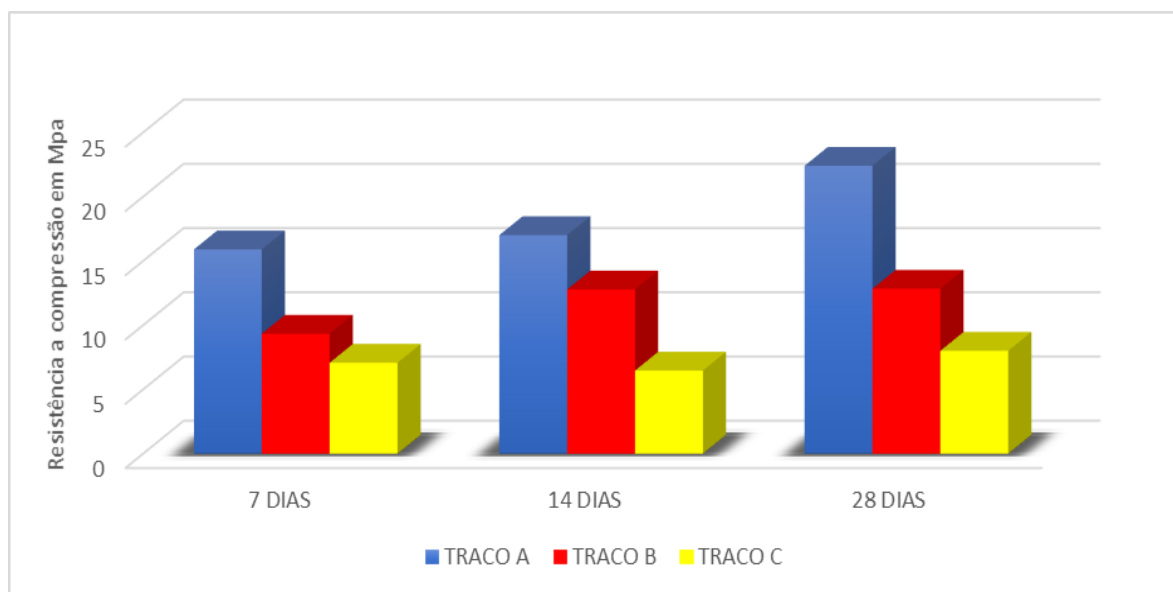
A média dos valores nos ensaios de resistência à compressão foram aumentando conforme o passar do tempo de cura do concreto, em torno de 24,6 %. Isso vale também para o desvio padrão, que teve esses valores aumentados, devido a discrepância dos traços estudados, onde interferiu diretamente na resistência.

Os valores encontram-se muito próximos ao limite inferior da faixa de valores verificada na revisão bibliográfica, em que a resistência à compressão de concretos permeáveis variam entre 4,1 MPa e 55,8 MPa. Goede (2009) realizou estudos de resistência à compressão de amostras cilíndricas de concreto permeável e determinou que a resistência à compressão variou entre 9,2

MPa e 11,5 MPa, com coeficiente de variação de 8,3%. Observa-se que, considerando um valor médio de índice de vazios muito semelhante ao traço B, o autor obteve resistências à compressão muito próxima da presente pesquisa.

A Figura 02, apresenta os valores médios da resistência à compressão aos 7, 14 e 28 dias dos traços estudados.

Figura 02 - Resistência à compressão axial



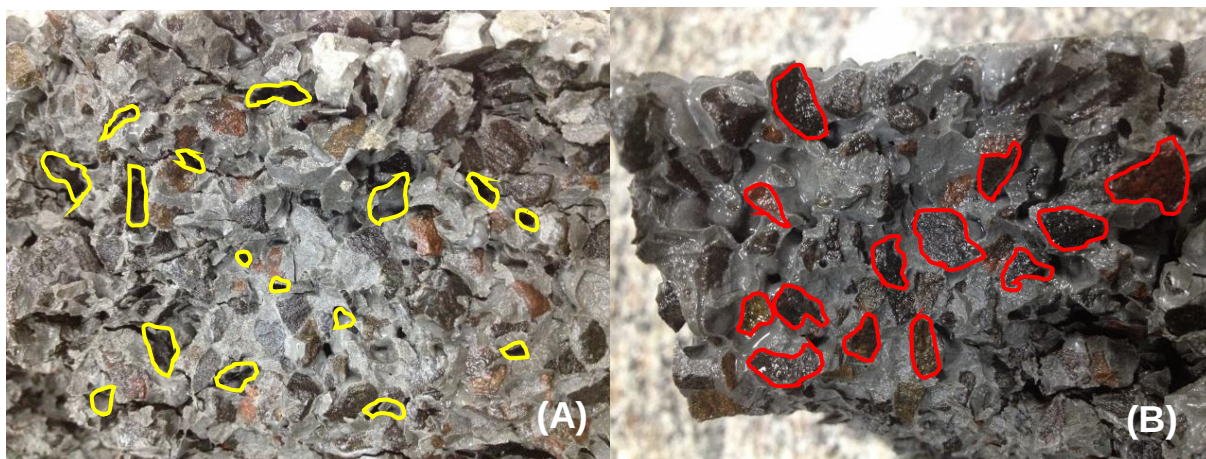
Fonte: Próprio autor (2017)

A curva de evolução da resistência à compressão do concreto permeável estudado, mostra o desempenho de cada traço ao passar do tempo, pois é possível avaliar para qual idade a resistência se mostra maior com a variação da brita utilizada.

Ao analisar os dados da compressão, observou-se que a resistência do Traço A, nos 28 dias, aumentou em 40,9 % comparando com ao rompimento aos 7 dias. No Traço B, essa diferença ficou em 37,4 %. Já no Traço C, o aumento foi de 13,14 %.

Esse traço de concreto permeável apresenta uma maior fusão entre a pasta de concreto com a brita 0, pelo fato do diâmetro da brita ser menor, e favorecer a diminuição de espaços vazios entre os agregados graúdo, já que nessa pesquisa não foi utilizado nenhuma quantidade de agregado miúdo para o traço. Na Figura 03A, em amarelo, pode-se observar a diferença nos espaços vazios formados pela característica da brita, já a Figura 03B mostram em vermelho a ruptura da brita.

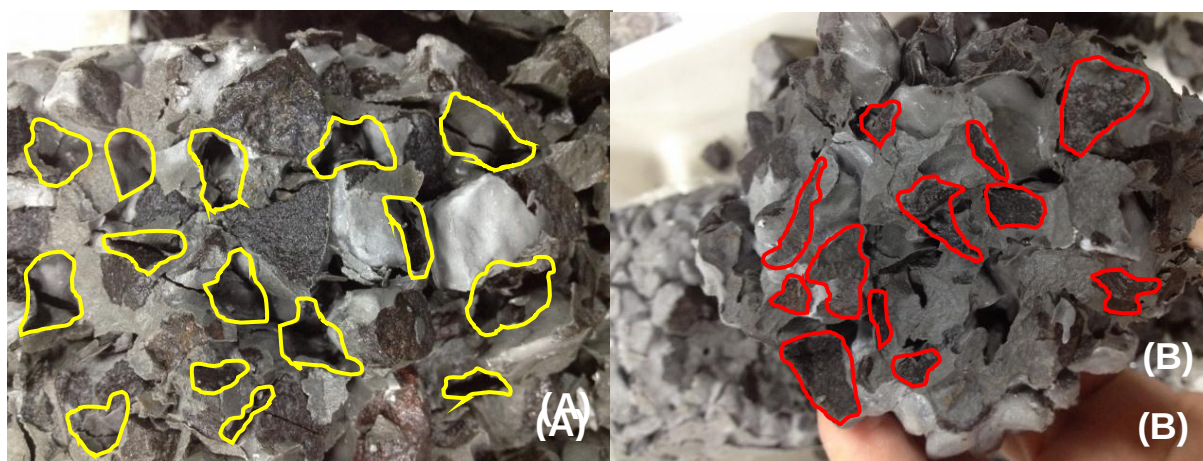
Figura 03 – Parte interna da ruptura do Traço A (Brita 0)



Fonte: Próprio autor (2017)

A falta de ganho de resistência à compressão, relacionada ao aumento da granulometria da brita, gerou um acréscimo de tensões na brita, onde estas estão ligadas apenas com uma cola de cimento, e de modo a ficarem úmidas, muitas vezes, pelas suas partes angulares, ou seja, sem a argamassa. A força aplicada pela prensa do ensaio é distribuída em uma área muito pequena, ponta com ponta, levando em vários casos a ruptura da brita, que teoricamente deveria resistir a uma tensão maior. Em amarelo, na Figura 04A observa-se os vazios, e na Figura 04B mostra-se a ruptura da Brita 1.

Figura 04 - Parte interna da ruptura do Traço B (Brita 1)

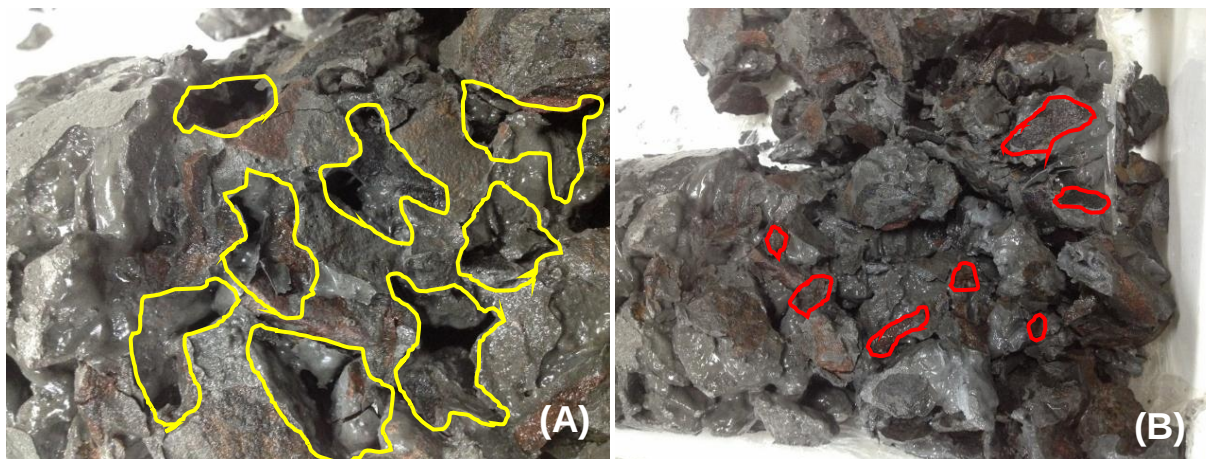


Fonte: Próprio autor (2017)

Observou-se que nos rompimentos das primeiras idades do concreto permeável, em ambos os traços, a ruptura do agregado graúdo se rompia da parte externa do corpo de prova para a parte

interna, proporcionalmente, conforme a cura do concreto. Os vazios no concreto produzido com Brita 2 estão demonstrados na Figura 05A, e a ruptura do agregado na Figura 05B.

Figura 05 - Parte interna da ruptura do Traço C (Brita 2)



Fonte: Próprio autor (2017)

Ao analisar os corpos de prova pós rompimento, não se pode justificar os baixos valores de resistência à compressão, apenas pelo fato da brita ter se rompido, pois, muitas vezes observou-se que a ligação entre os agregados não suportou elevadas cargas no ensaio, principalmente, no rompimento aos 7 dias, onde o concreto está em fase inicial de cura, ou seja, neste caso o elo fraco do concreto foi a cola de cimento entre as britas. Esses fatores podem ser justificados também pela má distribuição de tensões nas superfícies do corpo de prova.

Todos os traços estudados e apresentados foram executados e mantidos em cura úmida pelos mesmos procedimentos, o que descarta a possibilidade de falha nos valores de resistência por tratamentos distintos de um concreto para outro.

### Ensaio de Permeabilidade

Para o ensaio de permeabilidade do concreto foram produzidas uma placa de cada traço (Figura 06), para que fosse possível demonstrar que o concreto cumpre sua principal função, que é permitir a passagem de água por meio de seus vazios, e também mensurar essa característica em forma de testes.

Figura 06 - Placas moldadas para cada traço



Fonte: Próprio autor (2017)

O ensaio de permeabilidade das placas foi realizado 45 dias após a confecção do primeiro traço. Em virtude da falta de normativas e ensaios para mensurar a permeabilidade das placas de concreto permeável, foi utilizado o ensaio de permeabilidade para o laboratório de campo, presente na ABNT/NBR 16416 - Pavimentos permeáveis – requisitos e procedimentos (2015) a qual determina a permeabilidade de pavimentos permeáveis.

Para o ensaio foi utilizado um cilindro de infiltração com diâmetro de 30 cm, de acordo com a norma vigente, onde foram marcadas duas linhas internamente servindo de referência, com distâncias de 10 mm e 15 mm em relação a parte inferior do cilindro. O círculo foi posicionado sobre a placa de concreto, e vedada sua base com massa de calafetar, para evitar vazamento no ensaio, conforme Figura 07.

Figura 07 - Placas para ensaio da permeabilidade



Fonte: Próprio autor (2017)

Na sequência foi realizado a pré-molhagem da placa em até 30 segundos, onde resulta em aproximadamente 18 kg de massa de água para o ensaio, de acordo com a norma regulamentadora. Após a pré-molhagem, foi iniciado o ensaio antes de dois minutos, onde foi despejado água no cilindro de infiltração procurando manter sempre entre o nível demarcado. Foi cronometrado o tempo entre a água atingir a superfície do pavimento permeável, até o momento em que não existia mais água livre na superfície.

Foi mensurado duas vezes o ensaio no mesmo ponto para cada placa, e a partir dos resultados calculou-se o coeficiente de permeabilidade ( $k$ ), de acordo com a Equação 1 da normativa.

$$K = (C \times m) / (d^2 \times t) \quad (\text{Equação 1})$$

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 água percolar (s);

$C$  = fator de conversão de unidade do sistema SI, com valor igual a 4.583.666.000.

Na Figura 08 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, mostra o ensaio de permeabilidade do Traço A, onde é utilizado brita 0 (zero). Percebe-se que a passagem de água pelo concreto é reduzida devido ao baixo índice de vazios, característico da brita com menor granulometria. O resultado do coeficiente de permeabilidade ( $k$ ) deste traço foi de 0,00110 m/s, ficando dentro do limite da norma, porém com os valores na zona inferior.

Figura 08 - Ensaio de permeabilidade no Traço A



Fonte: Próprio autor (2017)

A Figura 09 demonstra o ensaio de permeabilidade do Traço B, onde foi utilizado a brita 1 (um) como diferencial dos demais traços. Neste ensaio, observou-se que a passagem da água sobre o concreto ocorreu de forma mais rápida comparando com o Traço A. Isso pode ser justificado pelo fato de apresentar um índice de vazios maior devido a granulometria da brita. O resultado do ensaio, teve como valor do coeficiente de permeabilidade ( $k$ ) de 0,00189 m/s, permanecendo dentro dos padrões da norma, com valores próximos da zona inferior limite.

Figura 09 - Ensaio de permeabilidade no Traço B



Fonte: Próprio autor (2017)

No ensaio de permeabilidade do Traço C, observe-se que a passagem da água pelo concreto foi rápida, pelo fato da característica desse traço apresentar grandes vazios, utilizado a brita 2 para o traço. O resultado do coeficiente de permeabilidade ( $k$ ) foi de 0,00562 m/s, demorando apenas

45,31 segundos para os 18 litros de água atravessar o concreto, o que caracteriza uma boa permeabilidade dentro do limite da norma, como mostra a Figura 10.

Figura 1 - Ensaio de permeabilidade no Traço C



Fonte: Próprio autor (2017)

O concreto permeável, segundo a ABNT/NBR 16416 (2015), deve apresentar o coeficiente de permeabilidade maior que  $10^{-3}$  m/s. A Tabela 04 **Tabela 041**, apresenta os resultados dos ensaios da permeabilidade para ambos os traços, bem como o tempo de vazão necessário para a passagem da água pelo concreto, o volume de água utilizado para o ensaio, e o diâmetro da circunferência.

Tabela 041 - Resultado do ensaio à permeabilidade

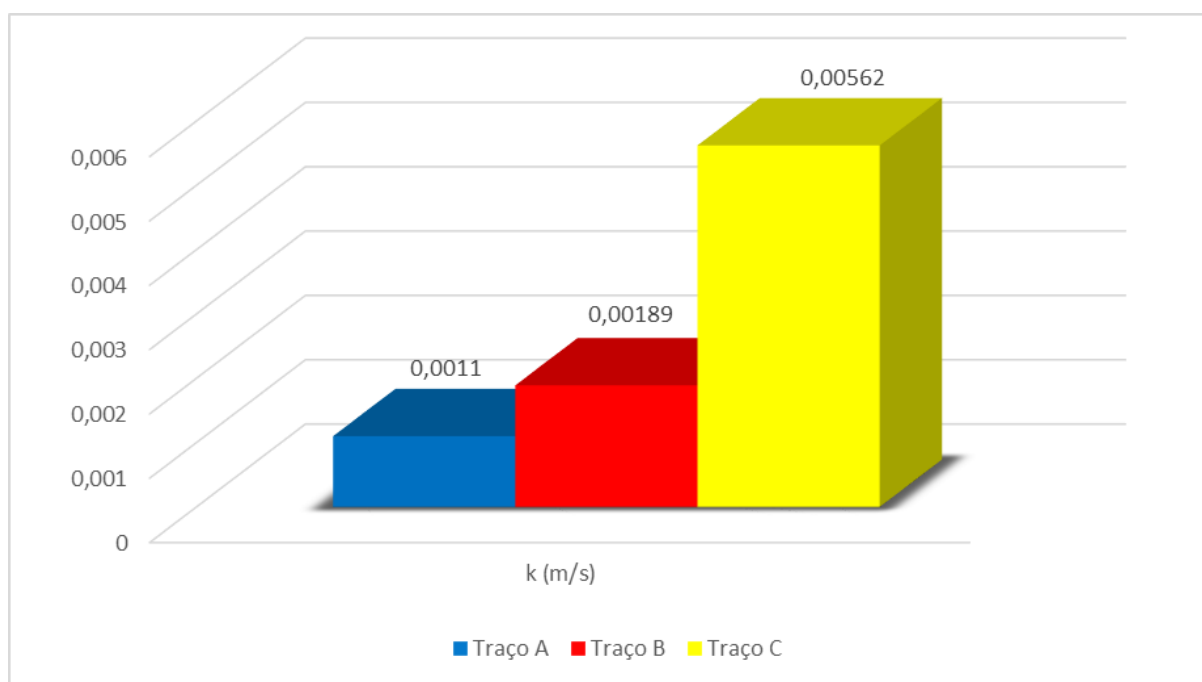
| TRAÇO | m (kg) | C             | d (mm) | t (s)  | k (m/s) | Norma $k > 0,001$<br>m/s |
|-------|--------|---------------|--------|--------|---------|--------------------------|
| A     | 18     | 4.583.666.000 | 300    | 231,15 | 0,00110 | Ok                       |
| B     | 18     | 4.583.666.000 | 300    | 134,22 | 0,00189 | Ok                       |
| C     | 18     | 4.583.666.000 | 300    | 45,31  | 0,00562 | Ok                       |

Fonte: Próprio autor (2017)

Os dados apresentados são os necessários para encontrar o coeficiente de permeabilidade, resultantes por meio da Equação 1. Para coleta dos dados foram realizados ensaios experimentais em laboratório, seguindo os procedimentos extraídos da ABNT/NBR 16416 (2015).

A Figura 11 apresenta os valores do coeficiente de permeabilidade ( $k$ ) de cada traço estudado.

Figura 11 – Resultados dos coeficientes de permeabilidade



Fonte: Próprio autor (2017)

Fazendo a análise dos resultados obtidos nos ensaios, verificou-se que quanto mais compactado o concreto permeável, ou seja, quanto menor a granulometria da brita, consequentemente, menor é o índice de vazios, bem como o coeficiente de permeabilidade. É possível observar que os traços de concreto permeável estão dentro dos limites da norma, porém os Traços A e B estão próximos do limite inferior, no entanto, pode-se considerar que todos os traços atendem as exigências normativas. Já o traço C, apresenta um coeficiente de permeabilidade muito satisfatório, obtendo ótimo parâmetro na taxa de infiltração da água através da sua estrutura. Segundo TENNIS et al., 2004, esses valores típicos de condutividade hidráulica de concretos permeáveis para revestimento de pavimentos variam entre 0,0021 m/s e 0,0054 m/s, o que vem de encontro aos valores analisados na presente pesquisa.

### Considerações Finais

Os resultados desse estudo foram aceitáveis, considerando que o concreto permeável não possuía nenhum tipo de adição química ou mineral, apenas cimento, brita e água. O Traço A, correspondeu a resistência à compressão de concretos permeáveis, que obteve o melhor resultado, variando de 15,90 MPa aos 7 dias, até 22,41 MPa aos 28 dias. Conclui-se que as amostras atingiram a resistência projetada.

No quesito de conhecer a permeabilidade de cada traço pesquisado, ficaram evidente as diferenças nos coeficientes ( $k$ ), pois alguns fatores no ensaio influenciaram diretamente no desempenho da passagem da água pelo concreto. O Traço C foi o que demonstrou melhor desempenho, já que apresenta maior índice de vazio, favorecendo a percolação da água sobre o concreto. O valor do coeficiente de permeabilidade ( $k$ ) para o Traço C foi de 0,00562 m/s, atingindo os níveis aceitáveis pela norma regulamentadora. Os demais traços também atingiram os índices da norma, porém com valores baixos, concentrados na zona inferior.

Relatando as principais características de desempenho de cada traço de concreto permeável, observou-se nos resultados dos ensaios que o Traço B torna-se mais vantajoso, devido ao fato de que apresentou em suas propriedades hidráulicas, uma permeabilidade dentro dos padrões da norma regulamentadora, e em suas propriedades mecânicas resistência à compressão aceitável para as aplicações desse concreto. Assim, o Traço B (1:4:0,38) utilizando como diferencial na sua produção a brita 1, foi o concreto que apresentou melhor relação de permeabilidade (0,00189 cm/s) e resistência à compressão (11,87 MPa). Já os demais traços estudados, em alguns desses fatores, ficaram abaixo dos valores almejados, não apresentando uma performance esperada. Com isso, a pesquisa comprovou que, com o aumento da granulometria da brita, a permeabilidade é inversamente proporcional a resistência, ou seja, quanto maior a porosidade do concreto, menor os valores encontrados para a resistência do material.

A limitação desse estudo foi que a quantidade de material para a produção dos traços de concreto permeável foi reduzida, o que influenciou na moldagem dos corpos de prova e principalmente na confecção da placa. Grande parte da liga de cimento se fixava na superfície interna e pás da betoneira, gerando um concreto não uniforme à medida que fosse diminuindo a quantidade de concreto na betoneira, o que influenciou diretamente no ensaio de resistência à compressão e permeabilidade.

Com o crescimento contínuo e acelerado do meio urbano, é fundamental o planejamento e controle da ocupação do solo, de forma a possibilitar o desenvolvimento sustentável das cidades e diminuir os impactos decorrentes da urbanização. O concreto permeável, é com certeza, um grande aliado na tentativa de soluções para o gerenciamento de águas da chuva, com objetivo de reduzir os impactos da urbanização.

O cenário atual da engenharia civil, está em constante evolução exigindo cada vez mais o aprimoramento, e melhorias no controle tecnológico de matérias de construção, o qual é alcançado, por meio de estudos práticos e teóricos relativos ao concreto permeável.

Conclui-se com este estudo, que foi significativo o desenvolvimento da pesquisa nessa área, pois através da prática em laboratório associada ao conhecimento bibliográfico, buscou-se estudar um traço de concreto permeável, o qual apresentou resultados satisfatórios por meio das análises desenvolvidas, comprovando ser tecnicamente viável para tráfego leve e menos intenso.

Como tema para futuros trabalhos nessa mesma linha de pesquisa, recomenda-se verificar a durabilidade deste concreto, com o intuito de analisar as alterações de desempenho ao longo do tempo no revestimento e capacidade de infiltração. Também, a necessidade de limpeza do revestimento, a fim de desacelerar o processo de entupimento dos poros, ou seja, a colmatção, que levam a perda de eficiência da estrutura.

### **Referências bibliográficas**

- ALVES, F. A. de O.; COSTA, A. R. *Técnicas compensatórias no controle de cheias urbanas*. In: CURSO Básico de Hidrologia Urbana. Núcleo Regional Centro-Oeste de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental. Dep. Eng. Civil da Universidade Federal de Goiás, 2007. Cap. 5, p. 54-66.
- ASSOCIAÇÃO DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 16416: Pavimentos permeáveis – requisitos e procedimentos*. Rio de Janeiro, 2015.
- ASSOCIAÇÃO DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5738 “Concreto – Procedimento para moldagem de corpos-de-prova”*. Rio de Janeiro, 2015.
- ASSOCIAÇÃO DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5739 “Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos”*. Rio de Janeiro, 2007.
- ASSOCIAÇÃO DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR NM 67 “Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone”*. Rio de Janeiro, 1998.
- ASSOCIAÇÃO DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR NM 53 “Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água”*. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR NM 16605: Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica*. Rio de Janeiro, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR NM 45: Agregados – Determinação da massa unitária e dos espaços vazios*. Rio de Janeiro, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica*. Rio de Janeiro, 2003.

AZANEDO, W.H.M., HELARD, C.H., MUÑOZ, R.G.V., *Diseño de mezcla de concreto poroso con agregados de la cantera La Victoria, cemento pórtland tipo i con adición de tiras de plástico, y su aplicación en pavimentos rígidos, en la Ciudad de Cajamarca*, Universidade Nacional de Cajamarca, 2007. Disponível em: < <https://pt.scribd.com/doc/30421057/RESUMEN-TESIS-CONCRETO-PERMEABLE> >. Acesso: 20 ago. 2017.

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

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

HENDERSON, V.; TIGHE, S. L.; NORRIS, J. **Pervious Concrete Pavement**. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. v. 2095, p. 13–21, Nov. 2009.

HOLTZ, F. C. *Uso do concreto permeável na drenagem urbana: Análise da viabilidade técnica e do impacto ambiental*. 2011. 139 p.

GOEDE, W. G. *Pervious Concrete: Investigation into Structural Performance and Evaluation of the Applicability of Existing Thickness Design Methods*. Department of Civil and Environmental Engineering, Washington State University, Washington DC, 2009, 198p.

MAZZONETTO, C. *Concreto permeável: Alternativa para aumentar a permeabilidade de pavimentos submetidos a cargas reduzidas, sistema demanda cuidados de especificação, instalação e manutenção*. Pini / Infraestrutura Urbana, São Paulo, 2011.

OSPINA, C. M. M, ERAZO, C. H. B. *Resistência mecânica y condiciones de obra del concreto poroso en los pavimentos según el tipo de granulometría*. Medellín, 2007. Disponível em:< [http://vitela.javerianacali.edu.co/bitstream/handle/11522/3082/Dise%F1oaplicacion\\_concreto.pdf;jsessionid=83F9AEA21CF4E07F97184D57F07CB3B4?sequence=1](http://vitela.javerianacali.edu.co/bitstream/handle/11522/3082/Dise%F1oaplicacion_concreto.pdf;jsessionid=83F9AEA21CF4E07F97184D57F07CB3B4?sequence=1) >. Acesso em:31 maio 2017.

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

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

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