

FACULDADE EVANGÉLICA DE JARAGUÁ

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**CLEITON MARCOS DA SILVA ALVES
ROBERTO GONÇALVES DE ALMEIDA FILHO**

**CONCRETO PERMEÁVEL: ANÁLISE DE DESEMPENHO NA ALTERAÇÃO DA
RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO**

Jaraguá - 2019

**CLEITON MARCOS DA SILVA ALVES
ROBERTO GONÇALVES DE ALMEIDA FILHO**

**CONCRETO PERMEÁVEL: ANÁLISE DE DESEMPENHO NA ALTERAÇÃO DA
RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado à banca examinadora do curso de Engenharia Civil da Faculdade Evangélica de Jaraguá, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador(a):

**Prof.(a). Esp. Rafael Gonçalves Fagundes
Pereira.**

**CLEITON MARCOS DA SILVA ALVES
ROBERTO GONÇALVES DE ALMEIDA FILHO**

**CONCRETO PERMEÁVEL: ANÁLISE DE DESEMPENHO NA ALTERAÇÃO DA
RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso DEFENDIDO e APROVADO em ____ de _____ de
2019, pela Banca Examinadora do Curso de Engenharia Civil, constituída pelos membros:

Prof. Espec. Rafael Gonçalves Fagundes Pereira
- Orientador -

Prof. Ms. Joaquim Orlando Parada
- Membro Interno -

Prof. Espec. Juliana Costa Campos
- Membro Externo -

SUMÁRIO

RESUMO	5
1 INTRODUÇÃO.....	6
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.1 DEFINIÇÃO E APLICAÇÕES	7
2.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	9
2.3 PERMEABILIDADE	10
2.4 VANTAGENS E DESVANTAGENS.....	10
3 MATERIAIS E MÉTODOS	11
3.1 ÁREA DE ESTUDO	11
3.2 COLETA DE DADOS.....	12
3.2.1 Agregado graúdo.....	13
3.2.2 Aglomerante	14
3.2.3 Fôrmas	15
3.3 ANÁLISE DE DADOS	16
3.3.1 Moldagem dos corpos de prova	16
3.3.2 Corpo de prova (20 cm x 10 cm x 6 cm).....	16
3.3.3 Corpo de prova (20 cm x 10 cm x 8 cm).....	17
3.3.4 Permeabilidade.....	18
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	19
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	27
REFERÊNCIAS	28

CONCRETO PERMEÁVEL: ANÁLISE DE DESEMPENHO NA ALTERAÇÃO DA RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO

Alves, Cleiton Marcos da Silva ¹
Filho, Roberto Gonçalves de Almeida ²
Pereira, Rafael Gonçalves Fagundes ³

RESUMO

O crescimento dos centros urbanos tem aumentado a quantidade de superfícies impermeáveis, o que tem dificultado a infiltração da água das chuvas no solo e sobrecarregado os sistemas tradicionais de drenagem urbana. A implantação de novas tecnologias que permitem a infiltração da água no solo tem sido estudada desde 1970 em vários países. Este trabalho trata da determinação e avaliação de um traço de concreto permeável, que pode ser utilizado como revestimento em pavimentos sem impermeabilizar a superfície. Para isso foram realizados ensaios mecânicos de resistência à compressão do concreto permeável e de permeabilidade. Para a realização dos ensaios de compressão foram moldados um total de 24 placas em paver de concreto, onde 12 placas de 20 cm x 10 cm x 8 cm e também 12 placas de 20 cm x 10 cm x 6 cm. Os resultados obtidos tiveram grandes variações devido à alteração da relação água/cimento ter chegado aos seus dois extremos. Para a realização do ensaio de permeabilidade foram utilizadas duas placas, a primeira com medidas de 54 cm x 31 cm x 6 cm e a segunda com medidas de 54 cm x 31 cm x 8 cm. Após todos os ensaios realizados, conclui-se que todos os ensaios atendem as especificações previstas na NBR 16416/2015 (pavimentos permeáveis de concreto – requisitos e procedimentos) para a composição de um pavimento permeável. Como todos os materiais estão de acordo com as exigências previstas pela NBR 16416/2015, montou-se o sistema permeável com auxílio de um reservatório de 20 litros, para ver o desempenho da estrutura, podendo visualizar a água penetrando no concreto permeável. O concreto permeável teve êxito em todo o seu funcionamento.

Palavras-chave: Concreto permeável, resistência, permeabilidade.

¹ Acadêmico do curso de Engenharia Civil – Faculdade Evangélica de Jaraguá. E-mail: cleitonmarcos05@gmail.com

² Acadêmico do curso de Engenharia Civil – Faculdade Evangélica de Jaraguá. E-mail: robertofilhog@gmail.com

³ Professor Rafael Gonçalves Fagundes Pereira, especialista, orientador do curso de Engenharia Civil – Faculdade Evangélica de Jaraguá. E-mail: fael.engcivil@hotmail.com

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil é uma das atividades mais importantes para o desenvolvimento de infraestrutura, economia e questões sociais de uma cidade, de forma a gerar empregos e beneficiar toda a população com infraestruturas; urbana, predial, estradas, pontes entre outros, porém é um dos segmentos da indústria que mais gera resíduos prejudiciais ao meio ambiente, devido ao descarte inadequado de materiais.

A busca por materiais que geram menos resíduos e não agridem o ecossistema. Assim sendo, questões referentes ao reaproveitamento de recursos hídricos são ferramentas adequadas a realidade atual. Nesse contexto, o concreto permeável é uma tecnologia que possibilita o equilíbrio entre desenvolvimento e sustentabilidade, e não apenas uma solução para um dos principais problemas da urbanização que é a impermeabilização do solo.

O presente trabalho justifica-se por uma busca de novos meios que possam melhorar as estruturas das cidades, tomando-se como base as relações de urbanismo e infraestrutura sem interferências na natureza. Busca-se compreender como o uso do concreto permeável nas cidades contribuiu para uma diminuição das inundações e também de minar alguns problemas ambientais ocasionados pelo o uso do concreto permeável. O uso concreto permeável em regiões com difícil permeabilidade contribui para que essa mesma água acumulada seja infiltrada através da estrutura do concreto, onde essa mesma água formará uma espécie de bacia rasa sobre a estrutura e logo será destinada através de sistemas de drenagem para um reservatório ou até mesmo para recarregar os aquíferos subterrâneos.

Um dos principais impactos que o desenvolvimento urbano desenfreado provoca nos processos hidrológicos está ligado ao crescimento de áreas com superfícies impermeáveis que, juntamente com a ocupação indevida das margens de rios, aumenta em grande escala a probabilidade da ocorrência de picos de cheias, agravando assim os problemas relacionado às enchentes de rios e inundações das cidades.

Segundo Esteves (2006), a condição de superfícies impermeáveis possui estreita relação com as alterações da qualidade das águas. Os poluentes e sedimentos que ficam depositados sobre tais superfícies acabam sendo transportados aos corpos d'água pelas águas das chuvas. Outros problemas, como erosão e assoreamento de rios, também podem ser causados, em parte, pela impermeabilização das superfícies, que gera escoamentos com maior volume e velocidade do que o escoamento em superfícies naturais.

O trabalho teve como objetivos analisar o desempenho do concreto permeável na alteração da relação água/cimento; estudar o uso do concreto permeável para pavimentação de

calçada e estacionamento; definir um traço referência, a partir de pesquisas e literatura, para assim estudar os resultados em relação a modificação da relação água/cimento e verificar as propriedades mecânicas de resistência à compressão e permeabilidade do concreto permeável na dosagem referência.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 DEFINIÇÃO E APLICAÇÕES

O concreto permeável é um tipo de concreto com alto índice de vazios interligados, que é uma mistura de ligante, agregado graúdo e água tratada com pouco ou nenhum agregado miúdo permitindo passagem desobstruída de grandes volumes de água (FERGUSON, 2005).

Segundo Ospina e Erazo (2007) o que o difere o concreto permeável dos outros concretos é que sua qualidade é definida pela sua porosidade, taxa de infiltração da água e seu peso, e a sua resistência não é um fator importante. A alta porosidade é assegurada pelo uso de agregados da mesma granulometria dando um volume vazio geralmente entre 15% e 30% do volume total. A quantidade de cada material depende da força desejada e do uso pretendido.

Quantidades controladas do fator água/cimento resultam em um revestimento espesso ao redor das partículas agregadas, criando vazios interconectados que conferem permeabilidade. O volume dos vazios reduz a resistência em comparação com o concreto comum. Para obter índices de resistência mais elevados, pode-se adicionar um pequeno agregado que reduz o volume dos vazios e confere ao concreto menor permeabilidade (AZAÑEDO, HELARD e MUÑOZ, 2007).

Para que o uso do concreto permeável seja satisfatório é necessário que exista todo um projeto e que seja respeitado todas as normas do mesmo, deve se levar em consideração desde a inclinação da área que será implantado o concreto até o fluxo de água daquela região. De acordo com Virgiliis (2009, p. 02):

Para o correto dimensionamento da espessura das camadas de um pavimento permeável deve-se levar em consideração o volume de tráfego, tipo de carregamento, número de solicitações e outros fatores de natureza mecânica, bem como as premissas hidráulicas de tempo de armazenamento, tempo de retenção e condutividade hidráulica, permitindo a implantação de um pavimento permeável que atenda simultaneamente às necessidades técnicas concernentes à infraestrutura de transportes e à drenagem urbana, tendo em vista as questões de sustentabilidade.

Como o custo de obras na infraestrutura dessas cidades têm um grande custo e uma demanda de tempo relativamente alta considerando as dificuldades enfrentadas junto as mesmas, o uso do concreto permeável é de suma importância pois tem um bom custo versus benefício e consegue manter toda a área coberta pelo mesmo “saudável”. De acordo com: (MARCHIONI, 2012, p. 29):

Na gestão da drenagem urbana, com foco ao combate às enchentes, tem se observado uma tendência em descentralizar as redes de drenagem, privilegiando o retardo na fonte e visando, assim, reduzir a necessidade de grandes obras de canais e reservatórios de retenção. Nessa tendência, a utilização dos pavimentos permeáveis tem se apresentado uma solução de excelente custo versus benefício para o retardo do escoamento já na sua origem. Com estes pavimentos, é possível manter o espaço útil do terreno e ao mesmo tempo, reduzir em até 100% as enxurradas.

O uso do concreto permeável em regiões com difícil permeabilidade contribuiu para que essa mesma água acumulada seja infiltrada através da estrutura do concreto, onde essa mesma água infiltrada formará uma espécie de bacia rasa sobre a estrutura e logo será destinada através de sistemas de drenagem para um reservatório ou até mesmo para recarregar os aquíferos subterrâneos. De acordo com (MARCHIONI, 2012, p. 30):

Nos pavimentos impermeáveis ou de baixa permeabilidade, rapidamente há formação de escoamento superficial, esta água superficial irá demandar os sistemas de microdrenagem durante a chuva, podendo vir a causar enchentes. Ao contrário, os pavimentos permeáveis evitam este tipo de escoamento superficial, garantindo que praticamente 100% da água seja infiltrada através de sua estrutura, podendo servir para recarga do aquífero ou ser transportada através de sistemas auxiliares de drenagem.

Revestimentos permeáveis são superfícies de drenagem que promovem a penetração, armazenamento e infiltração de parte ou da totalidade da água do escoamento superficial em uma camada de armazenamento temporário no solo que é gradualmente absorvido pelo solo. (ALVES e COSTA, 2007).

Atualmente, as aplicações de concreto permeável não se referem mais a estruturas. Pode ser usado como uma alternativa em sistemas de drenagem complexos e áreas com o objetivo de retenção de água. É uma alternativa econômica e viável e ecologicamente ideal para áreas urbanas. A pavimentação permeável pode ser usada como uma alternativa às superfícies impermeáveis tradicionais, como estradas, estacionamentos, ciclovias e calçadas (FERGUSON, 1994). Na área de pavimentação, o concreto cada vez mais permeável é usado para aumentar a segurança de rodovias e aeroportos. O uso em rodovias é atualmente o foco de pesquisas e estudos.

O concreto permeável pode ser instalado em jardins, passeios e terraços para facilitar a drenagem. O concreto permeável também pode ser instalado em paredes e outras superfícies e áreas onde a água pode fluir através do concreto. Além desses locais, existem parques,

praças, estruturas hidráulicas, estufas e muros de arrimo. O material ainda serve como um substrato permeável para pisos altamente resistentes, isolamento térmico de paredes e paredes à prova de som (AZAÑEDO, HELARD e MUÑOZ, 2007).

Este material também é adequado para a construção de piscinões onde a água da chuva é armazenada, para que o uso do desse material seja satisfatório é necessário que exista todo um projeto onde as normas do mesmo sejam respeitadas. Além de ser favorável ao meio ambiente, os piscinões possuem uma utilidade enorme em tempos de crise hídrica (FERGUSON, 1994).

2.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

O índice de vazios deve variar de 15% a 35%, assumindo, no estado endurecido, um comportamento mecânico de resistência à compressão simples entre 2,8 e 28 MPa em 28 dias. O concreto permeável pode atingir uma resistência à compressão média de 20 MPa, onde essa resistência está associada ao projeto estrutural e a técnicas de construção exclusivas, incluindo o uso de aditivos químicos (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

Portanto, por apresentar baixa resistência mecânica em comparação ao concreto Portland convencional, o concreto permeável não é recomendado para pavimentação de estradas de veículos de alto fluxo, portanto, seu uso é sugerido em casos de bicicleta e calçada, ou em casos extremos como vias de fluxo leve para desempenhar seu papel de auxiliar a percolação das águas superficiais (BATEZINI, 2013).

Segundo Kim e Lee (2010) a resistência a compressão em diferentes tipos de agregados e graduações afeta a resistência do concreto permeável independente da graduação do mesmo. Isso pode ser atribuído pela diferença na resistência a compressão, na forma das partículas e na textura do próprio agregado. Afirmam ainda que as partículas que têm alta absorção de água não produzem altas resistências, por que a pasta em volta do agregado perde água, e produz uma zona de transição ainda mais fraca.

O agregado com partículas variando entre 9,5mm e 4,75mm produz um aumento na resistência a compressão e diminuição da permeabilidade do concreto permeável, e o agregado bem graduado causaria diminuição das resistências a compressão simples e tração na flexão do concreto permeável (BATEZINI, 2013).

2.3 PERMEABILIDADE

Permeabilidade é a propriedade que um solo ou amostra apresenta de permitir o escoamento da água através dele, sendo o grau de permeabilidade expresso numericamente pelo “coeficiente de permeabilidade”. Identifica a possibilidade de passagem de água através do material. Essa passagem pode ser por filtração sob pressão, por difusão através dos condutos capilares e por capilares (TARTUCE e GIOVANETTI, 1990).

A interconexão entre os vazios no concreto o torna permeável à água. Essa é uma importante propriedade considerando o concreto exposto ao ar, aos ataques de águas agressivas ou a ação dos agentes atmosféricos (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Segundo Kim e Lee (2010) a capacidade de drenagem do concreto poroso depende do tamanho do agregado e da densidade da mistura. A quantidade total de vazios é maior quanto menor o tamanho dos agregados.

A permeabilidade será determinante para os processos físicos e químicos que ocorrerão na vida útil do concreto. A resistência está diretamente ligada com a permeabilidade, tendo em vista que os mesmos fatores influenciam tanto uma quanto a outra. Deve-se levar em considerações diversos cuidados quanto a moldagem de um concreto, desde a escolha do seu fator a/c, dimensão dos agregados, processo de cura, entre outros, para que consiga-se um concreto com a menor porosidade possível, resultando em melhor resistência e baixa permeabilidade (MEDEIROS, ANDRADE e HELENE, 2011).

2.4 VANTAGENS E DESVANTAGENS

Como todo material, o concreto permeável possui vantagens e desvantagens, que genericamente são agrupadas nos aspectos ambientais, econômicos e técnicos. Como pode-se entender de acordo com o *American Concrete Institute* (ACI 522, 2010) alguns dos benefícios do uso de concreto permeável são:

- Redução significativa no fluxo e no volume de superfícies pavimentadas.
- A possibilidade de usá-los em superfícies já urbanizadas.
- A redução e melhorias do sistema de drenagem.
- Também é perceptível que o concreto permeável melhora a qualidade do solo e da água subterrânea.

O aspecto econômico é um outro fator positivo no uso do concreto permeável, a utilização do concreto permeável demanda, como qualquer outro pavimento, cuidados de especificação, manutenção e instalação. A recomendação para que não haja imprevistos é que

se faça o cálculo da resistência à compressão e da quantidade de chuva do local específico. No geral considera-se o custo com manutenção baixo ou quase zero (AZAÑEDO, HELARD e MUÑOZ, 2007).

A questão ambiental é um ponto positivo em relação ao concreto de acordo com Tucci (2000, p.63) um dos maiores problemas ambientais da atualidade é a grande quantidade de concreto e asfalto nas cidades, tornando o ambiente cada vez mais impermeável e sobrecarregando os sistemas de drenagem existentes. A água da chuva não consegue penetrar no solo, impedindo o reabastecimento natural das águas subterrâneas e aumentando a ocorrência de inundações.

Quando o concreto permeável é utilizado em áreas externas o mesmo permite a infiltração da água das chuvas pelas várias camadas, onde a mesma pode ser reutilizada ou liberada de uma maneira mais lenta no sistema de drenagem fazendo com que a velocidade e quantidade de escoamento reduza (FONTANEDA, BEECHAM e HERNANDEZ, 2010).

Apesar das inúmeras vantagens que o uso do concreto permeável apresenta, como pode-se entender de acordo com a NBR 16416/2015 (pavimentos permeáveis de concreto – requisitos e procedimentos) existem algumas desvantagens que devem ser mencionadas, sendo a principal delas o entupimento dos poros ao longo do tempo, o que reduz a capacidade de drenagem. Para evitar isso e manter a funcionalidade adequada, a manutenção preventiva com limpeza nos poros do concreto deve ser feita em um determinado período de tempo.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

Realiza-se o trabalho embasado em artigos publicados, monografias de graduação, dissertações de mestrado, livros e normas, a NBR 16416/2015 (pavimentos permeáveis de concreto – requisitos e procedimentos) com o objetivo de alcançar conhecimento sobre as suas características que diferem do concreto convencional, conceitos e ensaios de propriedades mecânicas e permeabilidade obtidos com o concreto permeável.

A norma NBR 16416/2015 (pavimentos permeáveis de concreto – requisitos e procedimentos) apresenta as condições necessárias para a realização dos ensaios de propriedades mecânicas e permeabilidade onde serão analisados os parâmetros para obter resultados mais eficientes para conforme o uso do elemento permeável. Os estudos das propriedades mecânicas e permeabilidade do concreto permeável serão feitos através dos ensaios de resistência à compressão e de permeabilidade.

Apesar da resistência à compressão do concreto não ser fator limitante para caracterização do material para fins de uso, os ensaios de resistência à compressão serão realizados para se conhecer essa propriedade do concreto permeável.

Como não há um método de dosagem padrão, a relação água/cimento é usada como base para determinar o traço e a consistência da maioria dos trabalhos anteriores, indicando que as maiores resistências são obtidas das composições 1:4 e 1:3 (cimento: agregado) segundo (BATEZINI, 2013). Sendo assim, escolhido o traço de 1:4, iremos propor os dois extremos da relação água/cimento 0,27 e 0,34 e comparar com os resultados de resistência à compressão para assim compreender como a quantidade de água afeta na resistência do concreto permeável.

O desempenho do teste de permeabilidade é extremamente importante, pois um pavimento com menos água na superfície reduz as chances de veículos de aquaplanarem, fenômeno causado pela falta de atrito entre o pneu e o pavimento causado pela presença de água, garantindo assim maior segurança para os usuários do veículo. Além disso, este teste determina o fator mais importante do pavimento permeável de concreto, que é o fluxo no qual ele pode se infiltrar.

Em seguida, os resultados obtidos tanto pelo teste de resistência à compressão quanto pelo de permeabilidade serão analisados. Através dos resultados dos ensaios será possível verificar se os mesmos estão de acordo com as normas: NBR 16416/2015 (pavimentos permeáveis de concreto – requisitos e procedimentos) e a NBR 9781/2013 (peças de concreto para pavimentação – especificação e métodos para ensaio).

3.2 COLETA DE DADOS

Para este trabalho, a fim de analisar e comparar os corpos de provas de concreto permeável com diferentes formulações de relação água/cimento foram feitos ensaios de resistência mecânica à compressão e permeabilidade. Apresenta-se abaixo as fórmulas e o processo de execução dos corpos de provas e cada ensaio realizado. Conforme apresentado na abaixo nas figuras, os materiais e equipamentos utilizados para a formulação dos corpos de provas foram os seguintes:

- Cimento Portland CP II-F 40.
- Brita 1, disposta em baias na Faculdade Evangélica de Jaraguá.
- Betoneira, disposta no laboratório da Faculdade Evangélica de Jaraguá.
- Peneira de 9,50 mm, disposta no laboratório da Faculdade Evangélica de Jaraguá.

- Fôrmas de madeira compensada.

Figura 1a. Cimento



Fonte: Autor (2019).

Figura 2b. Brita



Fonte: Autor (2019).

Figura 3c. Betoneira



Fonte: Autor (2019).

Figura 4d. Peneira



Fonte: Autor (2019).

Figura 5e. Fôrmas



Fonte: Autor (2019).

3.2.1 Agregado graúdo

O agregado graúdo utilizado foi a pedra britada classificada como brita 1, adquirida junto a Faculdade Evangélica de Jaraguá, localizada na cidade de Jaraguá/GO. A brita 1 utilizada tem graduação uniforme, predominando a granulometria entre 9,50 mm e 4,75 mm. A peneira utilizada foi a que possui granulometria de 9,50 mm, ou seja, a necessária para a classificação da brita 1.

Figura 6. Brita

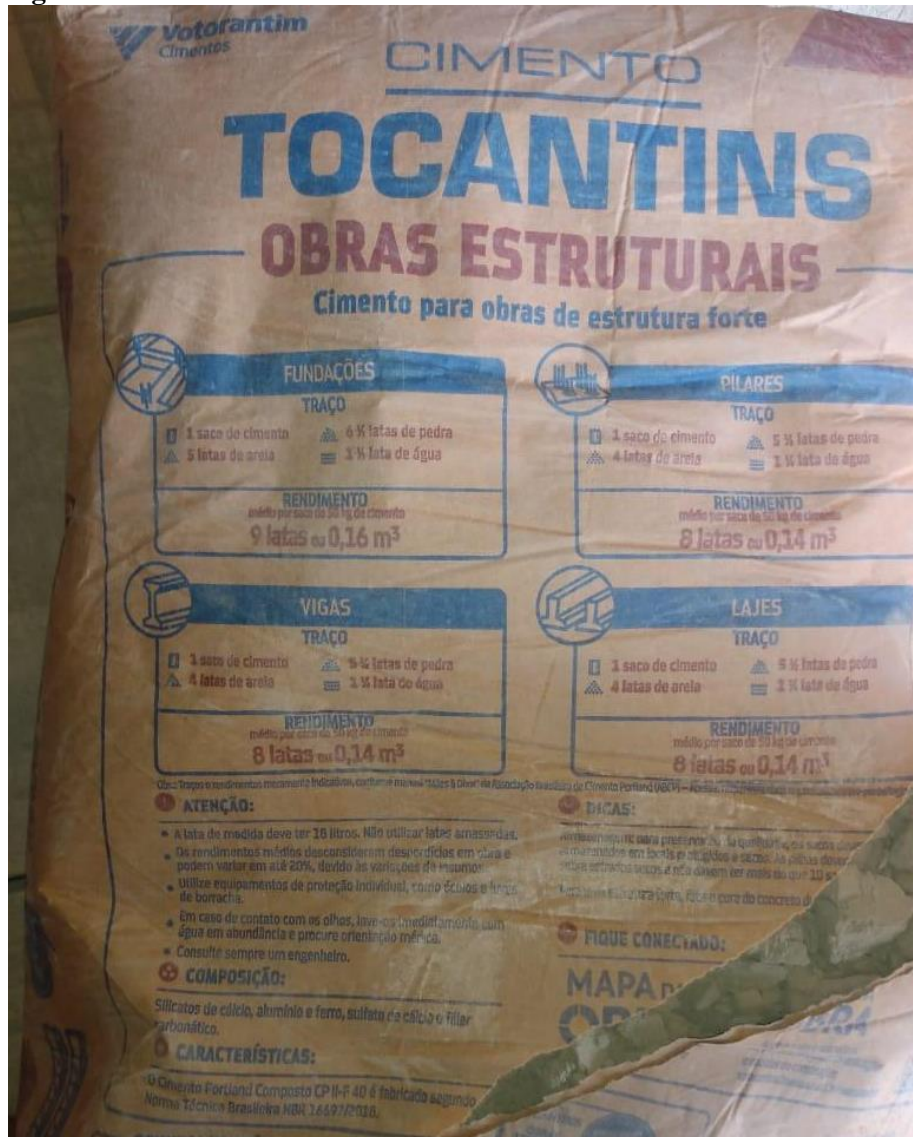


Fonte: Autor (2019).

3.2.2 Aglomerante

O aglomerante utilizado foi o Cimento Portland CP II-F 40, cimento composto com Fíler 40MPa, produzido pela Votorantim. Pela utilização deste aglomerante, os resultados significativos serão logo aos 7 dias pelo seu ganho de resistência ser alto.

Figura 7. Cimento



Fonte: Autor (2019).

3.2.3 Fôrmas

Foram fabricadas e utilizadas vinte e quatro (24) fôrmas de madeira compensada para a fabricação dos corpos de provas com medidas de 20 cm x 10 cm x 8 cm e 20 cm x 10 cm x 6 cm. Foi utilizado um desmoldante em todas as fôrmas afim de facilitar a retirada dos corpos de prova e também de prolongar a vida útil das fôrmas e o reaproveitamento das mesmas.

Figura 8. Fôrmas



Fonte: Autor (2019).

3.3 ANÁLISE DE DADOS

3.3.1 Moldagem dos corpos de prova

O traço de 1:4 tem como base, o traço abordado por Batezini (2013). Segundo o autor, gera um maior ganho de resistência mecânica à compressão para o concreto permeável produzido. Os dois extremos da relação água/cimento 0,27 e 0,34 foram utilizados nos corpos de prova de 6 centímetros e 8 centímetros de espessura respectivamente.

3.3.2 Corpo de prova (20 cm x 10 cm x 6 cm)

Para a realização dos ensaios de resistência mecânica à compressão foram moldados 12 (doze) corpos de prova com 6 (seis) centímetros de espessura, a relação água/cimento desses corpos de prova foi de 0,27, ou seja, terá uma maior resistência por possuir uma menor quantidade de água. Para a fabricação desses corpos de prova foram utilizados 6 kg de cimento, 24 kg de brita e 1,62 kg de água.

Figura 9. Corpos de provas (6 cm)



Fonte: Autor (2019).

3.3.3 Corpo de prova (20 cm x 10 cm x 8 cm)

Para a realização dos ensaios de resistência mecânica à compressão também foram moldados 12 (doze) corpos de prova com 8 (oito) centímetros de espessura, a relação água/cimento desses corpos de prova foi de 0,34, isto é, terá uma menor resistência devido a uma maior quantidade de água no concreto. Para a fabricação desses corpos de prova foram utilizados 8 kg de cimento, 32 kg de brita e 2,72 kg de água.

Figura 10. Corpos de provas (8 cm)



Fonte: Autor (2019).

3.3.4 Permeabilidade

Realizou-se o ensaio conforme normatizado no Anexo A - Determinação do coeficiente de permeabilidade de pavimento permeável, da NBR 16416/2015 (pavimentos permeáveis de concreto – requisitos e procedimentos). O ensaio de permeabilidade foi feito no laboratório da Faculdade Evangélica de Jaraguá, localizada na cidade de Jaraguá/GO. Para realizar o ensaio, foi necessária uma massa de silicone, um cilindro para cada peça de concreto permeável com 20 mm de diâmetro externo, um recipiente com volume mínimo de 20 litros, que permita a queda controlada do volume de água. Os materiais e equipamentos usados para o ensaio foram:

- Corpo de prova com medidas 54 cm x 31 cm x 6 cm.
- Corpo de prova com medidas 54 cm x 31 cm x 8 cm.
- Reservatório de 20 litros com medidas 54 cm x 31 cm x 26 cm.
- Cilindro com 19,20 cm de diâmetro interno e 20 cm de altura.

Figura 11a. Concreto 6 cm
litros

Fonte: Autor (2019).

Figura 12b. Concreto 8 cm

Fonte: Autor (2019).

Figura 13c. Reservatório 20 litros

Fonte: Autor (2019).

Para que o ensaio de permeabilidade fosse realizado foram moldados 2 (dois) corpos de provas. O primeiro corpo de prova com medidas de 54 cm x 31 cm x 6 cm tem uma relação água/cimento de 0,27, ou seja, terá uma menor percolação de água, diminuindo assim o seu índice de vazios. Para a fabricação desse corpo de prova foram utilizados 4 kg de cimento, 16 kg de brita e 1,08 kg de água. O segundo corpo de prova com medidas de 54 cm x 31 cm x 8 cm tem uma relação água/cimento de 0,34, ou seja, terá uma maior percolação de água, aumentando assim o seu índice de vazios. Para a fabricação desse corpo de prova foram utilizados 5 kg de cimento, 20 kg de brita e 1,70 kg de água.

Figura 14.Corpos de provas

Fonte: Autor (2019).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O concreto permeável sem aditivo apresenta uma resistência mecânica à compressão de 7 a 14 MPa para concretos com agregados miúdos (AZAÑEDO, HELARD e MUÑOZ, 2007) e sem agregados miúdos de 12 a 19 MPa (MEHTA e MONTEIRO, 2014). Neste estudo

obteve-se a média da resistência mecânica à compressão de 7,32 MPa para o concreto permeável com espessura de 6 (seis) centímetros e de 6,92 MPa para o concreto permeável com espessura de 8 (oito) centímetros. Esses valores representam resistências mecânicas à compressão aceitáveis para o uso na pavimentação tanto de calçadas e estacionamentos considerando que o concreto não possui nenhum tipo de adição química ou mineral. Vale ressaltar que as adições podem aumentar os valores de resistência mecânica à compressão de 14 MPa para 20 MPa (AZAÑEDO, HELARD e MUÑOZ, 2007), em casos com adições de tiras de polietileno, e de 19 MPa para 46 MPa em casos com adições de areia, sílica e superplastificante (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

Figura 15.Corpos de provas



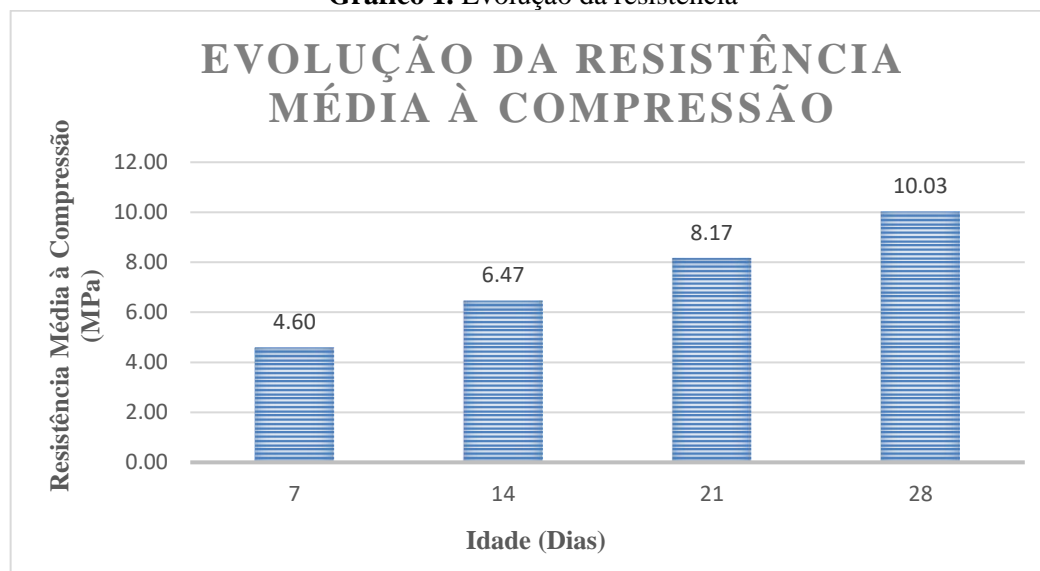
Fonte: Autor (2019).

A tabela 1 abaixo apresenta os valores obtidos dos corpos de provas de 6 (seis) centímetros de espessura no ensaio de resistência mecânica à compressão, onde os mesmos possuem uma relação água/cimento de 0,27. Conforme o gráfico 1 tem-se a evolução dos resultados de resistência mecânica à compressão ao passar dos dias de idade do concreto permeável.

Quadro 1. Comparação dos resultados obtidos em relação a idade do concreto

Corpos de provas		
Idade (Dias)	Tensão de ruptura (Mpa)	Carga de ruptura (Kgf)
7	3,50	7140
7	4,60	9350
7	5,70	11720
14	6,10	12350
14	6,50	13230
14	6,80	13870
21	7,80	15810
21	8,00	16220
21	8,70	17790
28	8,90	18050
28	10,20	20710
28	11,00	22360

Fonte: Autor (2019).

Gráfico 1. Evolução da resistência

Fonte: Autor (2019).

Os resultados de resistência mecânica à compressão obtidos no gráfico acima foram crescentes ao passar da idade do concreto permeável com 6 (seis) centímetros de espessura, chegando a uma tensão de ruptura média com o valor de 10,03Mpa no vigésimo oitavo dia.

A seguir a tabela 2 exibe os valores obtidos dos corpos de provas de 8 (oito) centímetros de espessura no ensaio de resistência mecânica à compressão, onde os mesmos

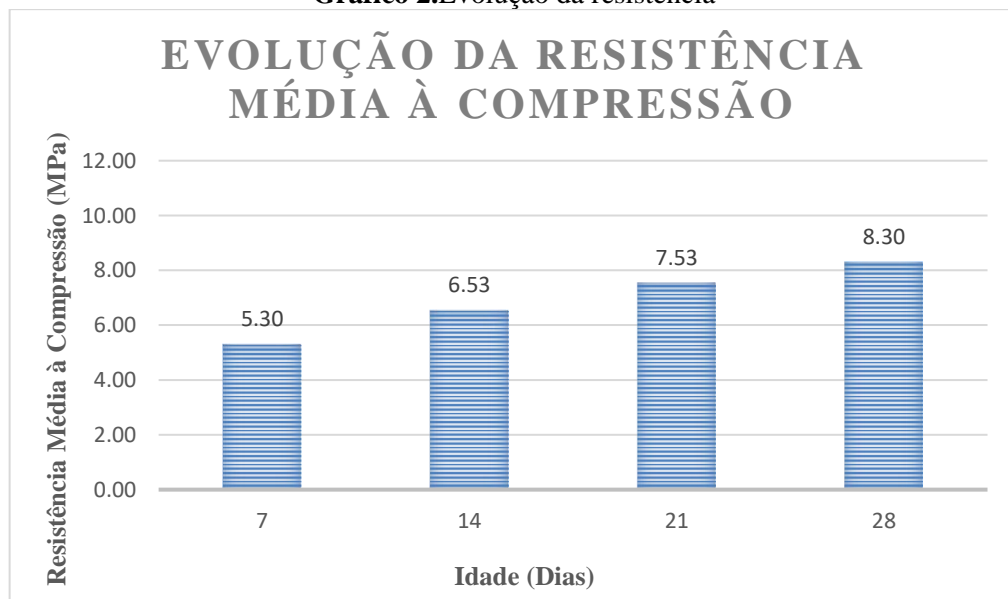
possuem uma relação água/cimento de 0,34. No gráfico 2 pode-se notar também a evolução da resistência mecânica à compressão, porém, com valores menores devido a uma maior quantidade de água no corpo de prova.

Quadro 2. Comparação dos resultados obtidos em relação a idade do concreto

Corpos de provas		
Idade (Dias)	Tensão de ruptura (MPa)	Carga de ruptura (Kgf)
7	4,40	9060
7	5,60	11380
7	5,90	11990
14	6,00	12300
14	6,30	12830
14	7,30	14820
21	7,40	15130
21	7,60	15450
21	7,60	15470
28	7,60	15530
28	8,40	17230
28	8,90	18210

Fonte: Autor (2019).

Gráfico 2. Evolução da resistência



Fonte: Autor (2019).

Como pode-se notar nos gráficos acima os corpos de prova com 8 (oito) centímetros de espessura tiveram um ganho maior em resistência mecânica à compressão em relação aos corpos de provas de 6 (seis) centímetros nas primeiras semanas de idade, logo nos primeiros 7 dias de idade o corpo de prova com 8 (oito) centímetros de espessura teve um ganho de resistência mecânica à compressão de 15,21% em relação ao corpo de prova de 6 (seis) centímetros de espessura. O mesmo ocorreu aos 14 dias de idade, porém com um acréscimo de 0,92%.

Após as primeiras semanas, a resistência mecânica à compressão nos corpos de prova de 6 (seis) centímetros de espessura teve um aumento em relação aos corpos de provas de 8 (oito) centímetros, com 21 dias de idade o corpo de prova de 6 (seis) centímetros teve um acréscimo na resistência mecânica à compressão de 7,83% em relação ao corpo de prova de 8 (oito) centímetros. Ao chegar no vigésimo oitavo dia de idade, o corpo de prova com 6 (seis) centímetros chegou alcançar 10,03 Mpa com um aumento de 17,24% em relação ao corpo de prova de 8 (oito) centímetros.

Os resultados de resistência mecânica à compressão obtidos no gráfico acima foram crescentes aos passar da idade do concreto permeável com 8 (oito) centímetros de espessura, chegando a uma tensão de ruptura média com o valor de 8,30Mpa no vigésimo oitavo dia.

Os resultados obtidos nos ensaios de resistência mecânica à compressão pelos corpos de provas com 6 (seis) centímetros de espessura foram superiores aos corpos de provas com 8 (oito) centímetros de espessura. Isso se dá pelo fato da relação água/cimento ter sido alterada propositalmente, usando os seus dois extremos para cada ensaio.

A relação água/cimento influenciou diretamente nos resultados obtidos nos ensaios devido a quantidade de água nos corpos de provas, ou seja, quanto maior a quantidade de água menor será a resistência do concreto. A relação água/cimento de 0,27; em conjunto com uma maior quantidade de cimento, apresentou os melhores resultados de resistência mecânica à compressão.

Uma relação que pode ser verificada, é que quando diminui o índice de vazios, aumentou a resistência do concreto. Com isto fica evidente que quanto maior o índice de vazios menor é a resistência do material, ou seja, quanto maior a quantidade de cimento mais resistente o concreto permeável fica.

Para a realização do ensaio de permeabilidade conforme normatizado no Anexo A - Determinação do coeficiente de permeabilidade de pavimento permeável, da NBR 16416/2015 (pavimentos permeáveis de concreto – requisitos e procedimentos) primeiro deve-se determinar a pré-molhagem, utilizando 3,6 kg de água, cronometrando o tempo que a

mesma irá infiltrar no concreto permeável. Quando o tempo de pré-molhagem é menor que 30 segundos, é necessário utilizar 18 kg de água. Já quando o tempo de infiltração na pré-molhagem é maior que 30 segundos, é recomendado usar 3,60 kg de água.

Figura 16. Permeabilidade



Fonte: Autor (2019).

Ao realizar a pré-molhagem no corpo de prova com 6 (seis) centímetros de espessura, o tempo encontrado foi de 15 segundos e assim foi necessário utilizar 18 kg de água para realizar o ensaio de permeabilidade. Para calcular o coeficiente de permeabilidade a norma oferece a seguinte equação:

$$k = \frac{c \times m}{D^2 \times T}$$

$$k = \frac{4583666000 \times 18}{192^2 \times 35}$$

$$k = 63,94 \text{ m/s}$$

Onde:

K = coeficiente de permeabilidade expresso em milímetros por hora (mm/h)

M = a massa de água infiltrada expressa em quilogramas (kg)

D = diâmetro interno do cilindro de infiltração expresso em milímetros (mm)

T = é o tempo necessário para toda água percolar expresso em segundos (s)

C = fator de conversão de unidades do sistema SI, com valor igual 4583666000

A massa de água que infiltra no concreto permeável é de 18 kg, o diâmetro interno do cilindro é igual a 192 mm, o tempo necessário para a água percolar são 35 segundos. Sendo assim, determinou-se o coeficiente de permeabilidade.

Figura 17. Concreto permeável (6 cm)



Fonte: Autor (2019).

Ao realizar o mesmo procedimento de pré-molhagem no corpo de prova com 8 (oito) centímetros de espessura, o tempo encontrado foi de 15 segundos e assim foi necessário utilizar os mesmos 18 kg de água para realizar o ensaio de permeabilidade.

$$k = \frac{c \times m}{D^2 \times T}$$

$$k = \frac{4583666000 \times 18}{192^2 \times 22}$$

$$k = 101,73 \text{ m/s}$$

A massa de água que infiltra no concreto permeável é de 18 kg, o diâmetro interno do cilindro é igual a 192 mm, o tempo necessário para a água percolar são 22 segundos. Sendo assim, determinou-se o coeficiente de permeabilidade.

Figura 18. Concreto permeável (8 cm)



Fonte: Autor (2019).

Os resultados do coeficiente de permeabilidade obtidos no ensaio pelos corpos de provas de 6 (seis) centímetros e 8 (oito) centímetros atenderam os requisitos mínimos estipulados pela NBR 16416/2015 (pavimentos permeáveis de concreto – requisitos e procedimentos).

A NBR 16416/2015 (pavimentos permeáveis de concreto – requisitos e procedimentos) exige que o coeficiente de permeabilidade do concreto permeável encontrado pelo método de ensaio de permeabilidade do anexo A e realizado em laboratório seja maior que 10^{-3} m/s. A figura abaixo resume as considerações previstas pela NBR 16416/2015 (pavimentos permeáveis de concreto – requisitos e procedimentos) para a determinação do coeficiente de permeabilidade em campo e em laboratório.

Tabela 3. Determinação do coeficiente de permeabilidade**Tabela 7 – 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		> 10 ⁻³
Peça de concreto permeável	ABNT NBR 13292 ou Anexo A	Anexo A	
Placa de concreto permeável			
Concreto permeável moldado no local			

Fonte: NBR 16416/2015 – Pavimentos permeáveis.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Entende-se a importância de utilizar-se o concreto permeável em ambientes urbanos para a redução de áreas de inundação e melhoria da permeabilidade local, logo analisa-se diante dos resultados obtidos com os ensaios de resistência mecânica à compressão realizados com os corpos de provas de 6 (seis) e 8 (oito) centímetros com a relação água/cimento de 0,27 e 0,34 respectivamente, verificou-se que ambos os corpos de provas podem compor a estrutura de um pavimento permeável, dando ênfase para o corpo de prova de 6 (seis) centímetros de espessura. Desta forma para a execução deste método construtivo é necessário regularizar o terreno, prevendo as espessuras de cada camada.

Os valores obtidos das resistências mecânicas à compressão são aceitáveis para o uso na pavimentação tanto de calçadas e estacionamentos considerando que o concreto não possui nenhum tipo de adição química ou mineral.

Observando-se os resultados obtidos nos ensaios da pesquisa, conclui-se que o concreto permeável mostrou resultados de tensão e carga de ruptura extremamente eficientes e que é interessante fazer um investimento em estudos sobre o uso do mesmo em larga escala no Brasil, visando no futuro usá-lo como alternativa ao piso de concreto convencional, frisando sempre que ele é um material necessário para a melhoria da qualidade de vida da população evitando possíveis desastres hídricos e é uma alternativa de construção sustentável que vêm para auxiliar a combater crise hídrica que vem afetando nosso país. Vale ressaltar que os ensaios e testes realizados foram feitos em laboratório em sistema fechado. Sendo necessário avaliar o comportamento do concreto permeável em campo e com um tempo maior de utilização.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 16416**. Pavimentos permeáveis de concreto – requisitos e procedimentos.

_____ **NBR 9781**. Peças de concreto para pavimentação – especificação e métodos para ensaio.

ACI COMMITTEE 522. **522R-10 Report on Pervious**. P.38, 2010.

ALVES, F. A.; COSTA, A. R. **Técnicas compensatórias no controle de cheias urbanas**. Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2007.

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

BATEZINI, R. **Estudo preliminar de concretos permeáveis como revestimento de pavimentos para áreas de veículos leves**. São Paulo: [s.n.], 2013.

ESTEVES, R. L. **Quantificação das superfícies impermeáveis em áreas urbanas por meio de sensoriamento remoto**. Universidade de Brasília. Brasília, 2006.

FERGUSON, B. K. **Stormwater infiltration**. Boca Raton: Lewis, 1994.

FERGUSON, B. K. **Porous pavements**. Boca Raton: CRC Pres, 2005.

FONTANEDA, L. A. S.; BEECHAM, S.; HERNANDEZ, J. R. **Projetando Pavimentos Porosos e Permeáveis para Coleta e Reutilização de Águas Pluviais**. **ResearchGate**, 2010. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/265823466_Designing_Porous_and_Permeable_Pavements_for_Stormwater_Harvesting_and_Reuse>. Acesso em: 12 Maio 2019.

KIM, H. K.; LEE, H. K. **Influence of cement flow and aggregate type on the mechanical and acoustic characteristics of porous concrete**. hong kong: [s.n.], 2010.

MARCHIONI, M. Concreto: Aliado na construção de cidades sustentáveis. **Revista Concreto**, São Paulo, n. 68, Dezembro 2012.

MEDEIROS, M. H. F.; ANDRADE, J. J. O.; HELENE, P. **Durabilidade e Vida Útil das Estruturas de Concreto**. 1. ed. São Paulo: Ibracon, v. 1, 2011.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. **Concreto: microestrutura propriedades e materiais**. 3. ed. São Paulo: Ibracon, 2008.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: [s.n.], 2014.

OSPINA, C. M. M.; ERAZO, C. H. B. **Resistencia mecánica y condiciones de obra del concreto poroso en los pavimentos según El tipo de granulometría**. Medellín, 2007.

TARTUCE, R.; GIOVANETTI, E. **Princípios Básicos sobre Concreto de Cimento Portland**. São Paulo: Pini/IBRACON, 1990.

TUCCI, C. E. M. Coeficiente de Escoamento e Vazão Máxima de Bacias Urbanas. **Revista Brasileira de recursos Hídricos**, São Paulo, v. 5, n. 1, p. 61-68, 2000. Disponível em: <<https://www.semarh.se.gov.br/modules/wfdownloads/visit.php?cid=1&lid>>. Acesso em: 3 Maio 2019.

VIRGILIIS, A. L. C. **Procedimentos de Projeto e Execução de Pavimentos Permeáveis Visando Retenção e Amortecimento de Picos de Cheias**. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.