

CONCRETO PERMEÁVEL PARA UTILIZAÇÃO EM PAVIMENTAÇÃO

GAGLIARDO, Debora Pierini (1); GAGLIARDO, Jean Cleudes (2); LINTZ, Rosa Cristina Cecche (3); BARBOZA, Luiza Andréa Gachet (4)

- (1) Doutorado em Ciência dos Materiais, FT- UNICAMP, debora.pierini@unasp.edu.br
(2) Mestrado em Ciência dos Materiais, FT – UNICAMP, jcgagliardo@outlook.com
(3) Ciência dos Materiais, FT – UNICAMP, rosalint@unicamp.br
(4) Ciência dos Materiais, FT – UNICAMP, gachet@unicamp.br

Resumo: O concreto permeável, devido aos vazios interligados que permitem a percolação da água, apresenta-se como uma alternativa para a pavimentação e redução de enchentes e ilhas de calor em grandes centros urbanos, atendendo aos requisitos ambientais que hoje se impoem. Um dos maiores desafios para a produção dos concretos permeáveis é conseguir apresentar resistência mecânica requerida em norma com índices de permeabilidade que atendam a sua utilização. O concreto permeável tem sido utilizado em diversos países, no entanto no Brasil ainda são escassas as pesquisas e aplicações para este material. Este trabalho faz uma breve revisão da literatura existente, bem como avalia o comportamento mecânico do concreto permeável em idades iniciais, com o intuito de avaliar a aplicação em pavimentação. Na produção do concreto foram utilizados os seguintes materiais: cimento Portland, agregados graúdos, sílica e aditivo superplastificante. Foram realizados ensaios de resistência à compressão e tração por compressão diametral aos 07 dias. A análise foi realizada a partir dos valores de resistência e proporção de materiais (trações 1:3; 1:3,5 e 1:4), e os resultados mostraram que o traço 1:3 obteve os melhores resultados em resistência mecânica e índices físicos.

Palavras-chave: concreto permeável, permeabilidade, resistência à compressão, pavimento permeável.

1. INTRODUÇÃO

A falta de planejamento e uso do solo, aliado ao aumento desordenado das cidades tem gerado grandes impactos no ciclo hidrológico do planeta, sendo observado na ocupação irregular de margens de rios e encostas, além da impermeabilização do solo. Assim observa-se o aumento significativo em problemas de enchentes em rios, desmoronamentos, e alagamentos nas cidades.

Como uma das alternativas para amenizar problemas relacionados a escoamento e infiltração de água, bem como redução das ilhas de calos, pode-se destacar a utilização de pavimentos permeáveis de concreto. Para tanto utiliza-se o concreto permeável, que, devido aos vazios interligados que permitem a percolação da água, apresenta-se como uma alternativa para a pavimentação e redução de enchentes em grandes centros urbanos. Por ser um material drenante tem colaboração efetiva com o controle de enchentes e manutenção do nível dos lençóis freáticos.

É o pavimento que atende concomitantemente às exigências de esforços mecânicos e também condições de rolamento e cuja estrutura permite condutividade hidráulica também chamada de percolação e/ou o acúmulo provisório de água das precipitações, diminuindo assim o escoamento superficial, sem causar dano a sua estrutura (ABNT, 2015)

O concreto permeável, de forma geral, não possui uma definição efetiva, sendo denominado por autores como Lamb (2014) e Tennis et al (2004) como um concreto que apresenta elevado índice de vazios, permitindo a percolação de água em sua estrutura, tornando-se permeável.

Segundo Batezini (2013) e Lamb (2014) esta característica essencial do concreto permeável se deve à ausência ou baixa quantidade de agregados miúdos na composição destes concretos. Essa pequena ou nula presença de agregado miúdo faz com que este material apresente uma textura com uma maior rugosidade em sua superfície quando comparado ao concreto convencional.

Através de estudo do concreto sabe-se que a resistência a compressão e a permeabilidade são inversamente proporcionais, pois quanto maior o índice de vazios menos a resistência mecânica, sendo assim a capacidade de carga desses concretos pode ser aumentada com a instalação de subleito bem compactado de agregados graúdos sob o pavimento, sendo que se devidamente executados os pavimentos de concreto

permeáveis (drenantes) podem durar de 20 a 40 anos com pouca ou nenhuma manutenção (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

Estudos vem sendo realizados quanto as características, propriedades e utilização do concreto permeável aplicado à pavimentação.

Dentre as diversas características do concreto permeável, a sua resistência à compressão e a permeabilidade são as mais estudadas, sendo estas as propriedades que mais influenciam na utilização deste material.

Schaefer et al. (2006) encontraram coeficientes de permeabilidade variando entre $0,1 \times 10^{-3} m/s$ e $1,5 \times 10^{-3} m/s$. Montes e Haselbach (2006) alcançaram permeabilidade variando de $0,14 \times 10^{-3} m/s$ e $11,9 \times 10^{-3} m/s$. Batezini e Balbo (2015) obtiveram permeabilidade variando de $5 \times 10^{-3} m/s$ e $7 \times 10^{-3} m/s$. Tavares e Kazmierczak (2016), encontraram permeabilidade na ordem de $3,5 \times 10^{-3} m/s$. Li et al. (2017) encontraram resultados na ordem de $0,1 \times 10^{-3} m/s$ e $0,2 \times 10^{-3} m/s$, enquanto Fernandes (2019) encontrou uma permeabilidade, variando de $1,7 \times 10^{-3} m/s$ a $7,8 \times 10^{-3} m/s$.

Entretanto, o uso do concreto permeável em pavimentos depende de seu comportamento estrutural, regido por sua resistência mecânica. Este tópico tem sido amplamente estudado, uma vez que a maior fragilidade do concreto permeável é a sua baixa resistência mecânica devido ao alto índice de vazios.

Tennis et al (2004) com índice de vazio variando entre 15% e 25% obteve resistências na ordem de 5,5 a 20,6 MPa. Park e Tia (2004), alcançaram resistências a compressão de 11 a 25 MPa, com índices de vazios entre 18 e 31%. Goed (2009) obteve resultados de resistência à compressão próximos a 10 MPa e índice de vazios entre 26% e 28%.

Batezini (2013) obteve resistência à compressão variando entre 6 e 10 MPa e um índice de vazios de 25%. Batezini e Balbo (2015) alcançaram resultados entre 6,2 e 9,17 MPa e índices de vazios de 22% a 29%. Alves (2016) obteve resultados na faixa de 9,1 e 16,6 Mpa. Tavares e Kazmierczak (2016) alcançaram resultados entre 9,3 a 22,1 MPa. Já Strzoda et al (2017) com índices de vazios de 23% a 38% obtiveram resultados de resistência à compressão entre 2,1 e 9MPa. Fernandes (2019) obteve resultados de resistência à compressão variando entre 18,21 MPa e 38,19 MPa, enquanto Costa et al (2019) obteve resistências à compressão na ordem de 5MPa.

2. METODOLOGIA

Nesta pesquisa foram produzidos corpos de prova de concreto permeável para estudo de suas propriedades em idades iniciais.

2.1 Método de dosagem

Para a produção dos concretos permeáveis analisados, utilizou-se como agregado graúdo a brita zero de origem basáltica, usualmente comercializada na região de Limeira, com dimensão máxima característica de 9,5 mm. O material analisado apresentou-se dentro dos parâmetros recomendados pela ACI 522R-10 (2010). Como aglomerante optou-se pelo cimento Portland, CP-V-ARI, sendo também utilizada a sílica ativa e o aditivo Mc-powerflow 4000.

Adotaram-se três traços com relação água/cimento fixa e variação na incorporação de aditivo. De acordo com estudos de traço anteriores, indentificou-se que dosagens com proporções maiores que 1:5 não geram resultados satisfatórios. Desta forma optou-se pela utilização dos seguintes traços: 1:3, 1:3,5 e 1:4, com relação a/c 0,30 por estar dentro das recomendações da ACI 522-R10 - 0,26 a 0,45, conforme Tabela 1.

Tabela 1: Traços de concreto utilizados

Traço	1:3	1:3,5	1:4
Cimento	14 kg	14 kg	14 kg
Silica	1,4 kg	1,4 kg	1,4 kg
Brita	42 kg	49 kg	56 kg
Água (0,3)	4,2 l	4,2 l	4,2 l
Aditivo	140,3 ml	187,4 ml	189,8 ml

Na produção das misturas de concreto foi utilizada betoneira de eixo inclinado com capacidade de 55 litros e os materiais foram adicionadas a betoneira na seguinte sequência: 100% da brita, 60% da água (aproximadamente), metade do cimento portland, o restante da água com metade do aditivo, então a sílica.

O restante do aditivo foi sendo colocado até que na análise visual o concreto apresentasse um aspecto brilhoso e ao realizar o teste tátil visual, também indicado pela literatura, que consiste em apertar uma porção da mistura com a mão e verificar se há a formação de uma pequena aglomeração de partículas, ao apresentar a coesão mínima para utilização a incorporação de aditivo se finda.

2.2 Ensaios realizados

Foram moldados corpos de prova cilíndricos com dimensões de 10x20 cm, foram usados para a determinação da resistência à compressão, resistência a tração por compressão na diametral, absorção e índice de vazios, sendo moldados 15 corpos de prova para cada traço. Os ensaios foram realizados segundo as normas ABNT NBR5739:2018, NBR7222:2011 e NBR9778:2009.

Os corpos de prova foram capeados com mistura de enxofre e caulim para o ensaio de resistência à compressão simples, e mantidas submersas em câmara úmida até a data do ensaio, realizado aos 7 dias de idade, em uma prensa universal de ensaios de capacidade de 120 toneladas.

3. RESULTADOS

A Tabela 2 apresenta os resultados dos ensaios de resistência à compressão dos concretos 1:3, 1:3,5 e 1:4 dosados com relação água cimento 0,3. É possível observar uma considerável variação entre os resultados obtidos, evidenciando a dificuldade de padronização no adensamento dos concretos permeáveis., o que influencia diretamente no comportamento mecânico observado.

Tabela 2: Resultados dos ensaios de resistência à compressão aos 7 dias.

Traço	Máxima carga (kgf)	Tensão Máxima (MPa)	Média (MPa)
1:3	6973,30	8,71	9,47
	4453,33	5,56	
	5141,34	6,42	
	13771,77	17,20	
1:3,5	7814,19	9,76	7,76
	6192,48	7,73	
	5714,18	7,13	
	5153,50	6,43	
1:4	5041,34	6,29	6,90
	6652,04	8,31	
	5407,26	6,75	
	4994,29	6,24	

Analisando os resultados observa-se que os valores encontrados para resistência a compressão estão próximos aos encontrados na revisão da bibliografia. Nota-se que com o aumento na proporção de agregados gradúdos houve uma diminuição na resistência à compressão, provavelmente devido ao aumento na porosidade, bem como diminuição da pasta envolvente.

A Tabela 3 apresenta os resultados dos ensaios de tração por compressão diametral. Observa-se que o máximo valor médio de resistência a tração por compressão diametral se deu no traço 1:3, seguido por 1:3,5.

Tabela 3: Resultados dos ensaios de resistência à tração por compressão diametral

Traço	Máxima carga (kgf)	Tensão Máxima (MPa)	Média (MPa)
1:3	8748,37	2,73	2,83
	10762,62	3,36	
	7724,88	2,41	

1:3,5	3337,10	2,20	1,70
	5923,41	1,04	
	5623,40	1,85	
1:4	5623,40	1,76	1,61
	5213,88	1,63	
	4628,70	1,44	

Os resultados obtidos para os ensaios de absorção de água, índice de vazios e massa específica da amostra seca e saturada (NBR 9778) estão apresentados nas Tabelas 4 e 5.

Tabela 4: Resultados dos ensaios de absorção de água e índice de vazios

Traços		Absorção de água (%)	Índice de vazios (%)
1:3	1	6,40	15,22
	2	6,65	15,64
1:3,5	1	6,70	16,28
	2	6,10	15,03
1:4	1	5,28	13,14
	2	4,81	12,01

Observa-se que o resultado do índice de vazios se encontra dentro do apresentado pela bibliografia para os traços 1:3 e 1:3,5. No caso do traço 1:4 houve problemas de segregação do material, gerando distorções nos resultados encontrados.

No caso do índice de vazios, estes valores normalmente, variam entre 0,15 e 0,3, os valores encontrados estão mais próximos do limite inferior o que condiz com o traço utilizado, assemelhando-se aos concretos permeáveis com adição de finos (silica).

Tabela 5: Resultados dos ensaios de determinação da massa específica do concreto

Traços		Massa específica da amostra seca (g/cm ³)	Massa específica da amostra saturada (g/cm ³)
1:3	1	2,38	2,53
	2	2,35	2,51
1:3,5	1	2,43	2,59
	2	2,46	2,61
1:4	1	2,49	2,62
	2	2,50	2,62

Em relação a massa específica, os resultados obtidos ficaram dentro das encontradas na literatura,

4. CONCLUSÕES

Os ensaios mostraram que o comportamento dos resultados dos testes em concretos permeáveis são, normalmente, mais variáveis que os obtidos em concretos convencionais, provavelmente, sendo em decorrência dos elevados índices de vazios.

O aumento na proporção de agregados graúdos apresentou redução na resistência mecânica do material, indicando que relações menores como o traço 1:3 são mais adequados a fim de garantir resistência mecânica adequada.

Os resultados obtidos foram satisfatórios comparando-os com a revisão bibliográfica e estudos realizados,

podendo aplicar em pavimento de tráfego leve, no entanto o intuito é aprimorar o traço a fim de obter concretos permeáveis com resistência mecânica elevada sem prejuízo em sua permeabilidade.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16416 *Pavimentos permeáveis de concreto – requisitos e procedimentos*. Rio de Janeiro, 2015.

_____. NBR 5739. *Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos*. Rio de Janeiro, 2018.

_____. NBR 7222. *Concreto e argamassa – determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos*. Rio de Janeiro, 2011.

_____. NBR 9778 *Argamassa e concreto endurecidos – determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica*. Rio de Janeiro, 2009.

ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C1701 / C1701M-09, *Standard Test Method for Infiltration Rate of In Place Pervious Concrete*, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2009

BATEZINI, R. *Estudo preliminar de concretos permeáveis como revestimento de pavimentos para áreas de veículos leves*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de transportes – Infraestrutura de Transportes). Escola Politécnica da Universidade de Pão Paulo – USP. São Paulo-SP, 2013.

BATEZINI, R.; BALBO, J. T. *Study on the hydraulic conductivity by constant and falling head methods for pervious concrete*. Revista Ibracon de Estruturas e Materiais. v.8, n.3, p.248-259. 2015.

COSTA, M. C. B.; SILVA, L. S. NOGUEIRA, M. H. P.; LIMA, G. K. M.; BATISTA, N. J. S. *Estudo da viabilidade técnica do uso de concreto permeável em pavimentos urbanos de baixo tráfego utilizando agregado graúdo regional*. RCT – Revista de Ciência e Tecnologia. V. 5, n. 8, p. 1 -17, 2019

FERNANDES, W. E. H. *Concreto permeável para aplicação em pavimentação intertravada a partir de concreto de pós-reativos-CPR*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de Viçosa. Viçosa, MG, 72p. 2019.

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

LAMB, G. S. *Desenvolvimento e análise do desempenho de elementos de drenagem fabricados em concreto permeável*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 152p. 2014.

LI, J.; ZHANG, Y.; LIU, G.; PENG, X. *Preparation and performance evaluation of an innovative pervious concrete pavement*. Construction and Building Materials. Volume 138, p. 479-485, Maio 2017.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. *Concreto: microestrutura, propriedades e materiais*. 3. ed. São Paulo: Ibracon - Instituto Brasileiro de Concreto, 674p., 2014.

MONTES, F.; HASELBACH, L. *Measuring Hydraulic Conductivity in Pervious Concrete*. Environmental Engineering Science V. 23, p. 960-969, 2006.

PARK, S.; TIA, M. *An experimental study on the water-purification properties of porous concrete*. Cement and Concrete Research, v. 34, p. 177-184, 2004.

SCHAEFER, V.; WANG, K.; SULEIMAN, M.; KEVERN, J. *Mix Design Development for Pervious Concrete in Cold Weather Climates. Final Report*, Civil Engineering, National Concrete Pavement Technology Center, Iowa State University, Ames, IA, USA, 2006.

SILVA, F. B. Pavimentos de concreto permeável. Revista Técnica, São Paulo, edição 190. Novembro, 2012. Disponível em: <<http://techne17.pini.com.br/engenhariacivil/190/artigo288015-1.aspx>>. Acesso em: 20 nov. 2019.

STRZODA, F. A.; MORAES, M. L.; MAGALHÃES, F. C.; REAL, M. V. *Concreto permeável como alternativa para pavimentos retroportuários*. Revista de Engenharia e Tecnologia. V. 9, n. 2, Ago. 2017.

TAVARES, L. M.; KAZMIERCZAK, C. S. *The influence of recycled concrete aggregates in pervious concrete*. Revista Ibracon de Estruturas e Materiais. V9, N1. P. 75-90. 2016.

TENNIS, P. D.; LEMING, M. L. AKERS, D. J. *Pervious concrete pavements*, EB 302, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, 36p. 2004.