

AValiação DA RESISTÊNCIA MECÂNICA E PERMEABILIDADE DE CONCRETOS PERMEÁVEIS COM ADIÇÃO DE AGREGADO MIÚDO

CAROLINE KORMANN FAGUNDES¹, JÚLIA CAMPREGHER CADORE², GABRIELLA CONTESINI PEDRONI³, SÍLVIA SANTOS⁴

¹Acadêmica Engenharia Civil, UNIVALI, Itajaí-SC. Fone: (47) 33550892,
carolinekormannfagundes@gmail.com

²Acadêmica Engenharia Civil, UNIVALI, Itajaí-SC. Fone: (47) 88283474, cadore@edu.univali.br

³Acadêmica Engenharia Civil, UNIVALI, Itajaí-SC. Fone: (47) 99630428, gabriellapedroni@edu.univali.br

⁴Dr^a. Professora Engenharia Civil, UNIVALI, Itajaí-SC. Fone: (47) 33417829, ssantos@univali.br

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2016
29 de agosto a 1 de setembro de 2016 – Foz do Iguaçu, Brasil

RESUMO: Esse trabalho teve como objetivo avaliar o comportamento mecânico e a permeabilidade de concretos permeáveis produzidos com substituição parcial do agregado graúdo por agregado miúdo para aplicação em pavimentos destinados a zonas de tráfego leve. Para a realização das análises foram produzidos 12 concretos permeáveis, com os traços unitários de 1:4 e 1:5 e relação água/cimento de 0,30 e 0,35, sendo que em cada traço foram estudadas misturas produzidas somente com agregado graúdo e misturas com substituição do agregado graúdo por miúdo de 5% e 10% em massa. O traço que apresentou melhor desempenho, com base nos resultados obtidos por meio dos ensaios de resistência a tração na flexão, de permeabilidade e de índices de vazios, foi o de traço unitário 1:4, com relação a/c de 0,35 e substituição de 10% de areia no traço. Após a avaliação de todos os resultados, os concretos permeáveis com substituição de agregado graúdo por agregado miúdo se mostraram eficazes quanto à capacidade drenante e adequados para utilização em pavimentos destinados a zonas de tráfego leve, minimizando assim os problemas associados à ocorrência de inundações e cheias, decorrentes da desordenada expansão urbana e crescente impermeabilização do solo nas cidades.

PALAVRAS-CHAVE: pavimento drenante; concreto permeável; concretos especiais.

EVALUATION OF STRENGTH AND PERMEABILITY OF PERVIOUS CONCRETE WITH THE ADDITION OF FINE AGGREGATE

ABSTRACT: This study aimed to evaluate the mechanical behavior and the permeability of pervious concrete made with partial replacement of coarse aggregate for fine aggregate for use in pavements destined to light traffic areas. For conducting the tests, 12 pervious concrete were produced with mixtures with proportions of 1:4 and 1:5 and water/cement ratio of 0,30 and 0,35, then the mixtures produced were studied with only coarse aggregate and replacements of 5% and 10% of fine aggregate. The mixture presented the best performance based on the results obtained by of tensile strength tests, permeability and volume porosity was mixed with ratio of 1: 4, with w/c ratio of 0,35 and replacement of 10% of sand. After evaluation of all the results, the concrete permeable with coarse aggregate replacement by fine aggregate is efficient to drainage and adequate capability for use in pavements intended for light traffic areas, minimizing the problems associated with the occurrence of floods and flood stemming from unplanned urban expansion and increasing soil sealing in cities.

KEYWORDS: permeable pavements; pervious concrete; special concretes.

INTRODUÇÃO

Um grande problema para as cidades brasileiras de médio e grande porte é o aumento das superfícies impermeáveis das áreas urbanas. A impermeabilização do solo trouxe e traz como consequência o crescimento considerável de inundações, ocasionando transtornos e prejuízos à população. (ARAÚJO; TUCCI; GOLDENFUN, 2000).

Atualmente, várias cidades brasileiras possuem políticas para preservação da infiltração da água no solo, onde estipulam que uma fração do terreno deve permanecer permeável, visando combater a problemática citada. Cidades do Vale do Itajaí, em Santa Catarina, adotaram esse tipo de política, determinando em suas legislações municipais a taxa de permeabilidade mínima do solo. Em Itajaí-SC, segundo a Lei Complementar nº 215/2012, essa porcentagem deve variar entre 10 e 20%, dependendo da zona urbana.

Segundo Marchioni e Silva (2011) os pavimentos permeáveis podem ser utilizados para permitir a percolação da água ao mesmo tempo que funcionam como via para pedestres, estacionamentos e pavimentação para vias de tráfego de veículos leves. Dentre os dispositivos que possibilitam o escoamento de água pelo solo está inserido o concreto permeável, ou também chamado de concreto drenante, que segundo Mehta e Monteiro (2014, p.594) “é um concreto especial que vem sendo desenvolvido com o objetivo de conter uma proporção significativa de poros grandes bem como sua fração em volume elevada”.

Contudo, Mehta e Monteiro (2014) afirmam que a microestrutura altamente porosa do concreto permeável proporciona, além da passagem de fluidos, resistência mecânica relativamente baixa, quando comparado com concretos convencionais. No final dos anos 90, a EPA relatou que aproximadamente 75% dos sistemas de pavimentos porosos falharam devido às baixas resistências mecânicas causadas pelo alto índice de vazios ou por práticas inadequadas de construção. Sendo assim, esta pesquisa esteve centrada em avaliar as propriedades mecânicas e a permeabilidade do concreto permeável com adição de agregado miúdo para uso em pavimentos de tráfego leve, possibilitando maior aplicabilidade do mesmo.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os procedimentos para elaboração da pesquisa partiram da definição dos teores de materiais para os concretos, baseados em estudos de Hölzt (2011) e Lamb (2014).

O cimento empregado foi CP V –ARI RS, devido a sua maior resistência inicial em virtude de sua elevada pureza e finura. Esta propriedade é significativa visto que além de favorecer a fabricação de peças pré-fabricadas em consequência da maior rotatividade, o concreto permeável tende a perder mais rapidamente a água da mistura, devido sua alta superfície em contato com o ar, efeito que é reduzido devido a maior velocidade de reação deste aglomerante.

Quanto a classificação do agregado graúdo, o ACI (2006, *apud* HÖLTZ, 2011), sugere que seja utilizado brita zero (pedrisco) para produção de concreto permeável. As propriedades granulométricas do agregado graúdo granítico utilizado foram determinadas conforme NBR NM 248:2003.

Para proporcionar maior resistência mecânica ao material, foi introduzido o agregado miúdo à mistura usual de concreto permeável. Tendo em consideração que o material necessita de alto índice de vazios para sua efetiva permeabilidade, optou-se pela utilização de areia grossa em baixos teores.

Para que a consistência de todas as misturas permanecesse similar, mesmo com a alteração dos teores de materiais, foi utilizado aditivo superplastificante à base de policarboxilatos, quando avaliado que o traço não apresentava o mesmo brilho metálico das outras misturas. Para os casos em que após adição do superplastificante a mistura ainda não apresentasse aglomeração das partículas adequada, empregou-se o aditivo modificador de viscosidade.

Foram definidos 12 traços de concreto permeável divididos em quatro famílias: (i) traço unitário de 1:4 e relação a/c de 0,30; (ii) traço unitário de 1:4 e relação a/c de 0,35; (iii) traço unitário de 1:5 com relação a/c de 0,30; (iv) traço unitário de 1:5 e relação a/c de 0,35. Em cada família houve variação da quantidade de agregado miúdo: concretos com 100% dos agregados graúdos e substituições de 5% e 10% da massa de agregado graúdo por agregado miúdo.

Em seguida, foram caracterizados os agregados a serem utilizados e deu-se início a produção dos traços. Foram moldados os corpos-de-prova, com grau de compactação similar ao sugerido por Batezini (2013), seguido pelo processo de cura, para posteriores ensaios. Para cada um dos 12 traços foram moldados 12 CPs prismáticos e 2 cilíndricos, resultando em 144 CPs prismáticos e 24 CPs cilíndricos.

Os concretos foram ensaiados quanto a resistência à tração na flexão, massa específica, permeabilidade e índice de vazios. Conforme NBR 16416:2015 a caracterização da resistência mecânica dos concretos permeáveis deve ser realizada a partir do ensaio de resistência à tração na flexão, o ensaio

ocorreu conforme NBR 12142:2010 e avaliou 6 corpos de prova prismáticos a cada idade. Para obtenção da massa específica aparente no estado fresco, 6 formas foram previamente numeradas e pesadas. Após a moldagem, as formas selecionadas eram pesadas novamente para que a massa de concreto pudesse ser determinada. A massa específica de cada CP era calculada a partir da divisão da massa de concreto, em quilogramas, pelo volume da forma. A permeabilidade dos concretos foi determinada por meio do ensaio de determinação do coeficiente de permeabilidade à carga constante, de acordo com a NBR 13292: 1995. Foram determinados coeficientes de permeabilidade de dois CPs para cada traço produzido. O ensaio deu-se conforme método do volume, descrito por Sales (2008), visando melhor relação entre índice de vazios e permeabilidade do concreto permeável. Foram ensaiados dois CPs cilíndricos para cada mistura.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados médios obtidos para massa específica no estado fresco estão apresentados na Tabela 1, juntamente com desvio padrão e coeficiente de variação para os 6 CPs prismáticos de cada mistura.

Tabela 1 – Massa específica

Traço	Traço Unitário	Relação a/c	Teor de agregados	Massa específica média (kg/m ³)	Desvio padrão (kg/m ³)	Coefficiente de variação (%)
1	1:4	0,3	100% brita	1635,78	63,46	4
2			5% areia	1686,20	87,65	5
3			10% areia	1691,08	84,21	5
4		0,35	100% brita	1689,75	53,62	3
5			5% areia	1726,75	74,80	4
6			10% areia	1737,75	34,63	2
7	1:5	0,3	100% brita	1532,83	60,46	4
8			5% areia	1576,00	163,54	10
9			10% areia	1563,42	38,39	2
10		0,35	100% brita	1591,54	55,29	3
11			5% areia	1645,92	34,33	2
12			10% areia	1679,83	62,66	4

Observa-se que os resultados de massa específica dos concretos foram na ordem de 50% inferiores à valores característicos de concretos convencionais, que variam de 2.300 a 2.400 kg/m³. Embora altos, os valores de desvio-padrão observados estão de acordo com Offenbergl (2016) e são creditados à natureza do concreto permeável e à forma de moldagem e compactação dos CPs. Já os coeficientes de variação encontrados estão abaixo de 15%, o que mostra confiabilidade na produção dos corpos-de-prova. Os resultados de massa específica foram coerentes aos apresentados por Mariano (2014). Porém, nota-se que os traços 7, 8, 9 e 10 possuem massa específica menor que 1.600 kg/m³, mínimo recomendado pela NBR 16416:2015 para concretos desta natureza.

Os resultados de resistência à tração na flexão aos 14 e aos 28 dias e de permeabilidade de dois corpos de prova de cada traço estão apresentados na Tabela 2.

Quanto à resistência, observa-se que todos os resultados ficaram acima do mínimo exigido pela NBR 16416:2015 para tráfego leve, que é de 2MPa e que os valores obtidos variaram entre 3,10 e 7,79 MPa, já aos 14 dias. Nota-se que os resultados para as misturas em estudo foram superiores aos encontrados por Hóltz (2011), que obteve resistência à tração na flexão média de 2,1 MPa. Quando comparados com os valores típicos apresentados por Batezini (2013) para concretos convencionais utilizados em projetos rodoviários (entre 4,5 e 5,0 MPa), os traços estudados, exceto os traços 11 e 12, apresentam resultados que atenderiam a esta especificação.

É possível perceber que a variação da resistência ao longo do tempo não apresentou o comportamento esperado para concretos convencionais, apresentando redução do valor obtido com diferença significativa (95% de confiança) para os traços 4 e 10, entre as idades de 14 e 28 dias.

Para análise comparativa entre os traços, foram utilizados os valores médios de resistência das entre as idades ensaiadas, visto que, com 95% de confiança, pode-se afirmar que não há diferença significativa entre os valores obtidos nas diferentes idades para 10 dos 12 traços avaliados. Os traços 4 e 10, pelo comportamento atípico apresentado, foram excluídos da análise.

Pode-se observar que para o traço 1:5 com relação a/c 0,30, quando comparado com o mesmo traço sem adição de agregado miúdo, a resistência à tração na flexão diminuiu com a incorporação de 5% de agregado miúdo e cresceu quando o teor adicionado foi de 10%.

Este comportamento pode ser explicado pela estrutura que se forma com adição de um pequeno teor de areia. Quando o a quantidade de agregado miúdo não envolve completamente o grão do agregado graúdo, pode ser formada uma estrutura com fragilidades na zona de transição entre a pasta de cimento e o agregado. Por outro lado, com uma adição de areia em maiores teores a argamassa envolve melhor os grãos de brita e proporciona maior contato entre os componentes, o que acarreta no aumento da resistência.

Tabela 2 – Resistência à tração na flexão e permeabilidade

Traço	Traço Unitário	Relação a/c	Teor de agregados	Resistência média aos 14 dias (MPa)	Resistência média aos 28 dias (MPa)	Permeabilidade (m/s)	
						CP I	CP II
1	1:4	0,3	100% brita	4,84	5,26	2,98E-03	7,50E-03
2			5% areia	6,22	6,13	4,50E-03	5,50E-03
3			10% areia	6,62	6,51	4,30E-03	1,30E-02
4		0,35	100% brita	7,79	5,39	1,70E-02	1,05E-02
5			5% areia	6,40	5,81	1,50E-02	1,10E-02
6			10% areia	6,40	7,30	1,10E-02	6,90E-03
7	1:5	0,3	100% brita	5,39	6,71	9,80E-03	9,00E-03
8			5% areia	4,71	3,72	1,15E-02	4,30E-03
9			10% areia	6,24	5,64	9,00E-03	1,30E-02
10		0,35	100% brita	5,41	4,00	1,10E-02	8,50E-03
11			5% areia	3,89	3,79	7,00E-03	9,80E-03
12			10% areia	3,10	5,22	9,50E-03	1,05E-03

Em relação à permeabilidade, pode-se notar que todos os resultados atenderam a especificação da NBR 16416 (2015) e estão acima da faixa de $2,1 \times 10^{-3}$, bem como ao valor típico encontrado na literatura de $5,4 \times 10^{-3}$ m/s. (METHA; MONTEIRO, 2014).

Quanto ao índice de vazios, Metha e Monteiro (2014) classificam concretos permeáveis com índice de vazios superior à 30% como altamente porosos e quando este é inferior à 15%, o concreto é considerado de baixa permeabilidade. Os concretos em estudo apresentaram resultado de índice de vazios entre 18% e 36%, enquadrando-os entre valor ideal e alta porosidade.

Pode-se observar que as misturas com traço mais pobre em cimento (maior teor de agregado total) apresentaram maiores índices de vazios. Da mesma forma, as misturas com relação a/c de 0,30 apresentaram maiores vazios quando comparadas com as de relação a/c de 0,35. Não foi observada grande variação do índice de vazios com adição de agregado miúdo.

CONCLUSÕES

A resistência à tração na flexão dos concretos em estudo, considerados válidos, se mostrou superior ao mínimo recomendado pela NBR 16416:2015, com resultados entre 3,10 e 7,30 MPa. Boa parte desses valores se enquadram na faixa típica (4,5 a 5,0 MPa) de concretos convencionais para projetos rodoviários. Os concretos com maiores teores de agregado miúdo obtiveram maiores resistências à tração na flexão, sendo que os traços mais ricos em cimento (1:4) obtiveram os melhores resultados.

Verificou-se que os resultados de permeabilidade dos traços ficaram superiores ao mínimo recomendado pela NBR 16416:2015, caracterizando concretos altamente permeáveis. Quanto ao índice de vazios, os concretos apresentaram resultados entre 18% e 36%, sendo classificados como de alta porosidade.

Ao avaliar os concretos aqui produzidos, considerando a massa específica obtida seriam descartados os traços 7, 8, 9 e 10, pois não atingiram a especificação da NBR 16416:2015. Entre os traços que atenderam a massa específica, os melhores resultados de resistência à tração na flexão foram alcançados pelos traços 3 e 6, sendo que ambos também atenderam à especificação normativa no que tange a permeabilidade. Assim, o traço 6 foi considerado o melhor no âmbito deste trabalho, por demandar menor quantidade de aditivo para sua produção, tornando-o mais econômico.

Por fim, os resultados alcançados indicam que a incorporação de agregado miúdo em baixos teores ao concreto permeável, permitiu a produção de misturas que possuem resistência mecânica adequada para aplicação em pavimentos destinados à zona de tráfego leve e permeabilidade apropriada para uso em pavimentos permeáveis que visam contribuir com a drenagem urbana.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, P. R. de; TUCCI, C. E. M.; GOLDENFUM, J. A., Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução de escoamento superficial. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre, v.5, n.3, p21-29, 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12142: Concreto - Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13292: Solo - Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares à carga constante - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1995.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16416: Pavimentos permeáveis de concreto - Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2015.
- BATEZINI, R. Estudo preliminar de concretos permeáveis como revestimento de pavimentos para áreas de veículos leves. 2013. 133 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Departamento de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2013.
- HÖLTZ, F. C. Uso de concreto permeável na drenagem urbana: análise da viabilidade técnica e do impacto ambiental. 2011. 118 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/35615>>. Acesso em: 30 ago. 2015.
- ITAJAÍ (Município). Lei nº 215, de 31 de dezembro de 2012. Institui normas para o código de zoneamento, parcelamento e uso do solo no município de Itajaí. Lei Complementar. Itajaí, SC, Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a2/sc/i/itajai/lei-complementar>>. Acesso em: 7 set. 2015.
- LAMB, G. S. Desenvolvimento e análise do desempenho de elementos de drenagem fabricados em concreto permeável. 2014. 150 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/114985>>. Acesso em: 30 ago. 2015.
- MARCHIONI, M.; SILVA, C. O. Melhores práticas pavimento intertravados permeável. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), 2011, 24 p.
- MARIANO, Humberto Rodrigues. Influência do teor de argamassa e da granulometria da brita na permeabilidade e nas resistências à compressão e à abrasão de concretos permeáveis. 2014. 161 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014. Disponível em: <https://repositorio.bc.ufg.br/tede/bitstream/tede/4071/5/Dissertação-Humberto_Rodrigues_Mariano-2014.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2016.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: Pini, 2014, 573 p.
- OFFENBERG, Matthew. Pervious concrete pavements: materials, drainage characteristics and structural issues. Concreto e Construções, São Paulo, v. 81, n. 53, p.62-67, mar-abr2016.
- SALES, Tarso Luís de. Pavimento Permeável com Superfície em Blocos de Concreto de Alta Porosidade. 2008. 173 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/92148/262396.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 30 mar. 2016.
- USA. US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). Permeable Pavement. Disponível em: <<https://www.epa.gov/soakuptherain/permeable-pavement>>. Acesso em: 05 mar. 2015.