CONCRETO PERMEÁVEL: ESTUDO DE VARIÁVEIS E PROCEDIMENTOS DE COMPACTAÇÃO

Igor Matheus Pastuch (PIBIC/UEPG), Rafael Jansen Mikami
Eduardo Pereira (Orientador), engenheiroeduardopereira@gmail.com

Universidade Estadual de Ponta Grossa/Departamento de Engenharia Civil

Engenharias, Engenharia Civil, Construção Civil

Palavras-chave: concreto permeável, cura, compactação, parâmetros mecânicos.

Resumo

Os problemas decorrentes da impermeabilização do solo estão mais comuns e tomando proporções maiores na drenagem urbana. O concreto permeável pode ser uma solução, porque possui na sua estrutura vazios que permitem a infiltração e percolação da água em seu interior. O objetivo deste estudo foi testar duas condições de cura: a cura por imersão e a cura úmida. Também foi testada a influência da energia de compactação por camada durante a produção do concreto permeável. Os resultados obtidos para cura por imersão e cura úmida foram similares, com valores de compressão entre 13,84 a 19,31 MPa, tração de 2,41 a 3,19 MPa, ambas aos 28 dias. Porosidades e permeabilidades médias de 27,88 % e 0,39 cm/s respectivamente. Para compactação os valores variaram de 15,93 a 24,44 MPa na compressão, tração de 2,04 a 3,70 MPa, ambas aos 28 dias. A porosidade e permeabilidade reduziram com o aumento da energia. A cura úmida mostrou-se mais eficiente, enquanto que para a compactação, a quantidade de 15 golpes por camada apresentou melhores parâmetros mecânicos.

Introdução

O concreto permeável surgiu para mitigar problemas relacionados à drenagem urbana. Com volume de vazios que podem variar de 15 a 35% tornou-se objeto de vários estudos recentes, pois o mesmo possibilita infiltração e percolação da água em seu interior, sendo uma solução para grandes centros urbanos, onde a impermeabilização do solo é elevada devido ao alto número de estradas, calçadas e construções (BONICELLI, 2016; LUND, 2018; SANDOVAL, 2018).

A predominância de agregados graúdos faz com que surjam vazios no concreto (BONICELLI, 2016; SANDOVAL 2018). O concreto permeável geralmente é uma combinação de aglomerante (cimento Portland), agregado graúdo e água. Quanto maior o número de vazios, teoricamente, menor será a resistência do concreto, pois as interações agregado-agregado e a quantidade de cimento são menores. A relação água/cimento (a/c) é baixa se comparada ao concreto convencional, sendo seu valor máximo de 0,35 (BONICELLI, 2016; LUND, 2018; SANDOVAL, 2018).

Uma importante etapa para que se obtenha maiores valores de resistência e a hidratação adequada do concreto é a cura, que faz com que o concreto não perca água por evaporação e consequentemente não surjam fissuras. A compactação aumenta as interações entre os agregados e o aglomerante, deixando o material mais rígido e resistente, porém a porosidade e a permeabilidade tendem a diminuir, pois com o aumento da energia de compactação, ocorre a redução do número de vazios, dificultando a percolação da água.

Obter valores mínimos de permeabilidade e resultados de resistência à compressão e à tração satisfatórios, associados a uma implantação em grande escala, um sistema mais econômico e durável, são os grandes obstáculos enfrentados pelos pesquisadores (SANDOVAL, 2018). Em 2015 foi publicada no Brasil a NBR 16416 (ABNT, 2015), que estabelece alguns parâmetros para confecção e manutenção de pavimentos permeáveis. Como toda inovação a quebra de preconceitos na implementação deve ser tratada com bastante atenção.

Material e Métodos

Inicialmente foram procedidos 4 testes para analisar o comportamento do concreto. Os agregados utilizados foram o pedrisco e a brita 1. As proporções do traço adotado foram de 1: 3,33 (cimento: agregado graúdo) com relação água/cimento (a/c) de 0,35 e 0,28. O cimento utilizado foi o CP II F-32.

Após a definição do traço inicial, tipo de agregado e forma de compactação inicial, foram estudadas a cura e a compactação do material. Na etapa de comparação das condições de cura do concreto permeável, foram avaliados dois procedimentos: cura por imersão e cura úmida. A cura por imersão foi realizada com o corpo de prova totalmente imerso em água. A cura úmida foi feita com uma imersão em água e posteriormente vedação com plástico, tentando se aproximar de uma situação de aplicação em campo. Após o tempo de cura do concreto, foram feitos testes para resistência à compressão e à tração aos 7, 14 e 28 dias, sendo rompido 5 corpos de prova por condição de cura e idade. As etapas de cura por imersão e cura úmida são representadas na Figura 1:

Figura 1: Tipos de cura: (a) cura por imersão; (b) cura úmida



(a) (b)

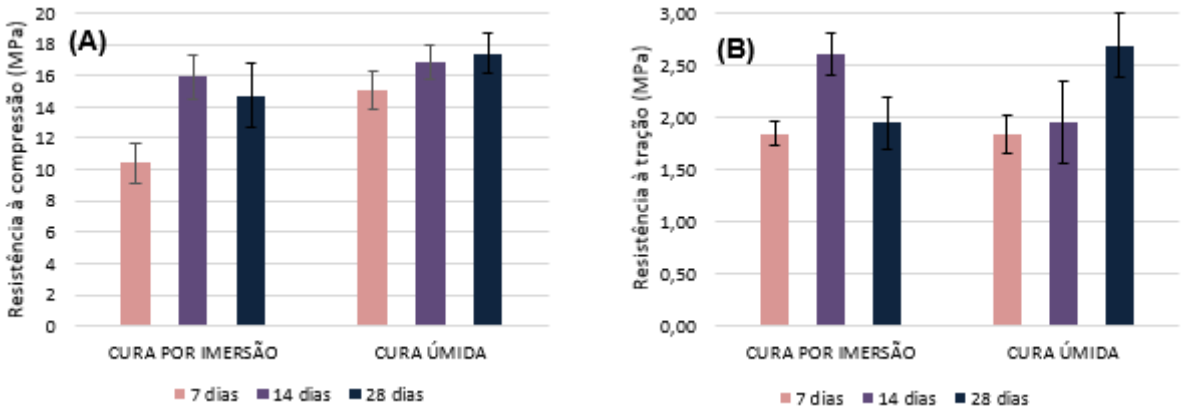
Na etapa de compactação foi alternada a energia (número de golpes) nos corpos de prova. Foi utilizado o compactador Proctor para a confecção de todos os corpos e prova. O corpo foi moldado em duas camadas e cada camada recebeu um determinado número de golpes. Foram testadas camadas com 10, 15 e 20 golpes cada, e os testes de resistência à compressão e à tração aos 28 dias, sendo rompido 4 corpos para as diferentes compactações e resistências. No total, foram rompidos 60 corpos de prova para os testes de cura e 24 para a etapa de compactação.

Resultados e Discussão

Após os testes iniciais, decidiu-se usar para os ensaios de cura e compactação o pedrisco como agregado graúdo. Optou-se em não usar naquele momento aditivo superplastificante devido ao aumento da fluidez, que poderia causar o tamponamento dos poros, tornando o concreto impermeável. O número de camadas escolhidas foram duas, pois uma maior energia na compactação acarreta em

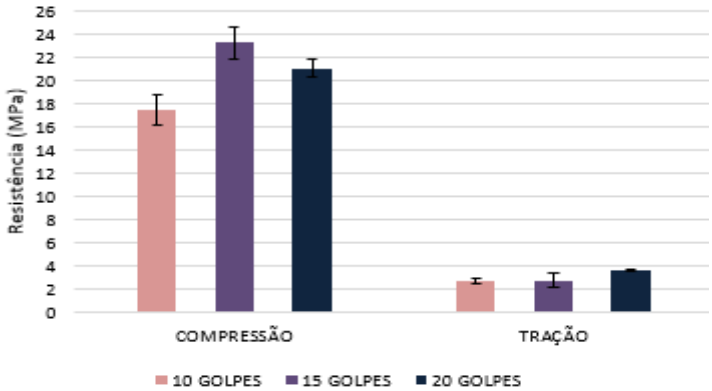
resultados de resistência a tração e compressão maiores. A relação de água/cimento utilizada foi de 0,28, por resultar em melhor resistência e ainda garantir consistência da pasta para envolver o agregado homogeneamente.
Quanto as análises de procedimento de cura, os valores médios de resistência à compressão e à tração encontram-se na Figura 2:

Figura 2: Resistência mecânica dos concretos: (a) resistência à compressão; (b) resistência à tração



Com os resultados apresentados, pode-se concluir que a cura úmida é mais eficiente que a cura por imersão, pois apresenta um ganho de resistência ao longo do tempo, enquanto que a cura por imersão diminui a resistência dos 14 para os 28 dias, não dando confiabilidade no concreto. Tal fato pode ser explicado devido à perda de componentes do concreto na água. Além de possuir resistências mecânicas maiores, cerca de 18,2% para compressão e 37,9% para tração, a cura úmida é um processo mais prático pensando em uma aplicação no campo, pois o controle para realizar uma saturação e posterior vedação é mais simples do que deixar o concreto totalmente imerso em água ao longo dos 28 dias. Tal característica é muito importante e diferencial pensando em uma obra de grande escala. A permeabilidade atendeu o mínimo exigido pela NBR 16416 de 0,10 cm/s. Por apresentar melhores resultados, optou-se em utilizar a cura úmida na etapa de compactação do concreto permeável.
Quanto as análises de forma de compactação, os valores médios para resistência à compressão e à tração encontram-se na Figura 3:

Figura 3: Resistência mecânica dos concretos permeáveis aos 28 dias



Com os resultados obtidos na etapa de compactação, pode-se concluir que um acréscimo de energia e consequente redução dos vazios, aumentam-se as

resistências de compressão e tração, porém deve-se ter cuidado com o aumento excessivo de energia, para não comprometer os agregados presentes no concreto. Isso pode explicar o fato de o concreto confeccionado com 15 golpes por camada ter um resultado médio para compressão maior que com 20 golpes. A porosidade e permeabilidade diminuem com o aumento da energia. A permeabilidade atendeu o mínimo exigido pela NBR 16416 de 0,10 cm/s.

Conclusão

Após análise dos resultados obtidos nas etapas de cura e compactação, em sua maioria, o concreto permeável atendeu às exigências normativas da NBR 16416. Os resultados de resistência à compressão e à tração foram maiores que os exigidos, 20 e 2,0 MPa, respectivamente. Observou-se que quanto maior a energia de compactação do concreto permeável, maiores foram seus valores para às resistências, mostrando-se uma forma de controlar a resistência e porosidade sem alterar o traço, desde que se tome cuidado para não diminuir de maneira demasiada a permeabilidade, e que a energia não seja excessiva, o que causaria fratura dos agregados. É necessário que o concreto permeável suporte aos diversos esforços que irá sofrer, e com a compactação realizada com 15 golpes por camada, os resultados obtidos foram maiores que os exigidos tanto à tração quanto à compressão. A permeabilidade foi atingida em todos os ensaios. O concreto curado por imersão apresentou problemas por perder componentes presentes na pasta para água, aumentando o número de poros e diminuindo a resistência com o tempo. Em contrapartida, os resultados para cura úmida foram mais eficientes, por apresentar resistências crescentes ao longo dos dias, além de ser a situação mais próxima da aplicação em campo.

Agradecimentos

Ao professor Eduardo Pereira e ao professor Rafael Jansen Mikami, que ajudaram de maneira incondicional para a realização do trabalho. Ao funcionário Paulo Ubirajara dos Santos e ao estagiário Raul Afonso pelo auxílio na realização dos ensaios. A UEPG pelo apoio financeiro através da bolsa de estudos e pela concessão de seus laboratórios.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16416:** Pavimentos permeáveis de concreto - Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2015.

Barreto Sandoval, G. F. Schwantes-Cezario, N. Souza Nogueira, G. Martins Toralles, B. (2018). **Influência da porcentagem da fração fina proveniente do agregado graúdo no desempenho de concreto permeável.** Ciencia y Poder Aéreo, 13(2), 124-136.

BONICELLI, Alessandra; ARGUELLES, Gilberto Martínez; PUMAREJO, Luis Guillermo Fuentes. **Improving Pervious Concrete Pavements for Achieving More Sustainable Urban Roads**. Procedia Engineering, [s.l.], v. 161, p.1568-1573, 2016.

LUND, M. S. M., HANSEN, K. K., JENSEN, A. H., MØLGAARD, E., MADSEN, P. K., **Self-Compacting Pervious Concrete Mix Design for Permeable Concrete Soakaway Rings**, Advances in Civil Engineering Materials, Vol. 7, No. 1, 2018, pp. 340–352.

RAJ, J. Leon; CHOCKALINGAM, T.. Strength and abrasion characteristics of pervious concrete. **Road Materials And Pavement Design**, [s.l.], p.1-18, 7 abr. 2019.