

IX-066 - ESTUDO DE DOSAGEM DE CONCRETO POROSO APLICADO À PAVIMENTAÇÃO

Monique Wesz Vogado⁽¹⁾

Graduanda em Bacharelado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Mato Grosso.

Jessica Vargas Okajima

Graduanda em Bacharelado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Mato Grosso.

Polyana Patricia Gonçalves Costa

Graduanda em Bacharelado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Mato Grosso.

Tito José Rodrigues Balabuch

Graduanda em Bacharelado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Mato Grosso.

Domingos Roversi

Graduanda em Bacharelado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Mato Grosso.

Endereço⁽¹⁾: Rua 20, nº 249, Boa Esperança. Cuiabá-MT. CEP: 78068-380 - Brasil - Tel: (65) 9685-0544 - E-mail: moniquewesz@hotmail.com

RESUMO

Este trabalho objetivou o desenvolvimento de um concreto poroso que possa ser aplicado em locais onde se queira alcançar melhores resultados no escoamento superficial, garantindo um sistema mais eficiente que o convencional. Para tanto, elaborou-se um estudo voltado à dosagem do concreto poroso, a fim de investigar seu comportamento quanto ao coeficiente de permeabilidade versus resistência à compressão, além da análise de eficiência da permeabilidade dos concretos em estudo frente aos índices pluviométricos locais. Foram elaborados três traços distintos, nos quais variou-se principalmente a quantidade de agregado graúdo, de modo a alterar o grau de porosidade das amostras. Os experimentos incluíram testes de resistência à compressão com resultados entre 10 MPa e 16,6 MPa e de permeabilidade entre 0,009 cm/s e 0,542 cm/s. Todos os traços aqui estudados enquadraram-se no conceito de pavimento permeável e, ainda, mostraram uma resposta satisfatória à infiltração de água frente às precipitações críticas da região.

PALAVRAS-CHAVE: Concreto poroso, Traços de concreto, Resistência à compressão, Permeabilidade.

INTRODUÇÃO

Concreto poroso, também conhecido como concreto permeável, além de ser um sistema estrutural, também pode ser considerado uma parte do sistema de drenagem. Isso se dá porque esse tipo de concreto possui uma estrutura porosa que permite um menor escoamento superficial, de maneira que a água permeie através dele e venha a ser depositada nas camadas inferiores do solo, podendo ser direcionada ao lençol freático ou ao sistema convencional de drenagem.

Os materiais necessários para a preparação do concreto poroso como cimento, brita, areia e água, irão variar conforme a resistência e escoamento desejados, uma vez que para ter maior permeabilidade é necessário haver um grande volume de vazios. Portanto, pode-se notar que, quanto maior a resistência desejada, menor será o índice de permeabilidade (MAZZONETTO 2011).

• VANTAGENS E DESVANTAGENS

Em uma rodovia de concreto convencional, a chuva pode gerar um rápido aumento do escoamento superficial, e o volume de água acumulado pode demandar o sistema de drenagem urbana da cidade. Por outro lado, com uma rodovia de concreto poroso, o escoamento superficial é reduzido através da infiltração das precipitações, o que evita o efeito de aquaplanagem, a saturação da rede de drenagem e, conseqüentemente, um possível alagamento, sem que haja a necessidade da ocupação de áreas adicionais à da pavimentação. (MARCHIONI et al., 2011; MAZZONETTO, 2011). Uma vez que se pode aproveitar o próprio pavimento como um sistema de drenagem, é possível reduzir ou até mesmo eliminar o número de valas e bacias de retenção. Outra clara

vantagem do concreto permeável é o abastecimento de canais e, ainda, a redução da poluição dos canais, já que a água é filtrada ao passar por ele.

Embora o concreto poroso apresente maior índice de permeabilidade em relação ao concreto convencional, ele normalmente possui menor resistência, de maneira a restringir seu uso. Assim sendo, ele pode ser aplicado em lugares com solicitações leves, como por exemplo: calçadas, quadras poliesportivas, pátios, dentre outras aplicações. Caso o local de aplicação não exija um alto valor de permeabilidade, pode-se aplicar o concreto permeável com um valor maior de resistência, desde que o tráfego não seja pesado, como por exemplo em estacionamentos e ciclovias.

Outra vantagem obtida através do uso do concreto poroso é a possibilidade de se conquistar a classificação LEED (US Green Building Council Leadership in Energy and Environmental Design). Isso é possível devido ao concreto permeável auxiliar na redução do aquecimento terrestre, ser um material reciclável e à possibilidade de se utilizar materiais locais em seu preparo (POLASTRE et al., 2006).

Na obtenção do concreto poroso, é necessário que o teor de finos seja baixo ou nulo, o que o torna mais sensível à relação água/cimento. Uma vez que o teor mencionado é baixo, o volume de vazios e a área de evaporação se tornam maiores. Neste contexto, faz-se necessário um maior tempo de cura do concreto e um maior cuidado durante este processo, para que não se perca a água de hidratação do cimento por evaporação (TENNIS, 2004). Outra desvantagem do alto teor de vazios é o cuidado necessário com a retenção de partículas sólidas, o que provoca a necessidade de uma manutenção frequente para conservar os vazios desimpedidos. Outro aspecto a ser observado é o tipo de solo sobre qual será aplicado o concreto, pois alguns tipos demandam cuidado específico, como a argila, por exemplo.

Diante do que foi exposto, percebeu-se a importância de um estudo voltado à dosagem do concreto poroso, para análise do seu comportamento quanto ao índice de permeabilidade versus a resistência à compressão, a fim de aplicá-lo à pavimentação.

METODOLOGIA

Nesta seção serão relatados os métodos desenvolvidos para testar propriedades mecânicas de alguns traços de concreto poroso.

• DEFINIÇÃO DOS TRAÇOS E CONFEÇÃO DAS AMOSTRAS

Os traços desenvolvidos para o presente estudo utilizaram materiais abundantes no estado de Mato Grosso. Entre eles encontram-se cimento CP32F, brita com distribuição granulométrica uniforme, 9,5 mm de diâmetro máximo e procedência da Guia/ MT, e, quando aplicável, areia proveniente do Rio Cuiabá/ MT. Também foram adicionados à mistura aditivo polimérico de alta resistência (APAR) e aditivo modificador (AM). Os aditivos têm o objetivo de aumentar a resistência, a plasticidade e a aderência entre a argamassa e os agregados graúdos, aliviando o efeito da elevada taxa de vazios na mistura. As proporções finais que foram adotadas estão sumarizadas na Tabela 1.

Medidas de turbidez, cor aparente, cor verdadeira, pH, alcalinidade total, dureza total, condutância específica, temperatura, foram feitas para caracterizar as águas em estudo.

Tabela 1: Traços do concreto poroso

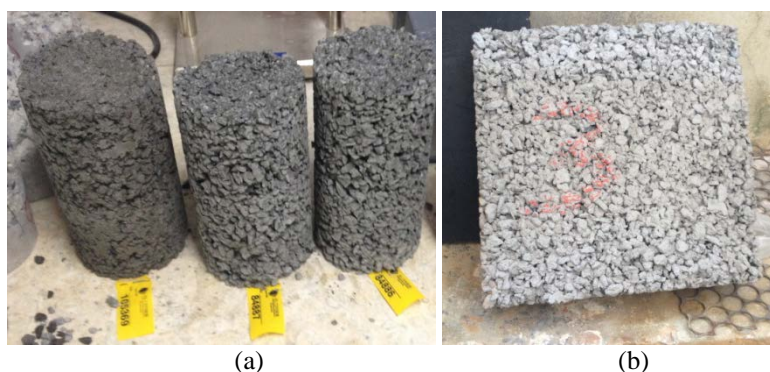
Traço	Cimento (kg/m ³)	Areia (kg/m ³)	Brita (kg/m ³)
1	365	0	1155
2	350	550	1445
3	374	0	1660

A consistência do concreto poroso, bastante característica, pode ser observada na Figura 1.



Figura 1: Concreto poroso recém-dosado.

Os corpos de prova cilíndricos a serem utilizados nos ensaios de compressão, mostrados na Figura 2(a), foram moldados de acordo com a norma NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova (ABNT, 2002) com diâmetro de 10 cm e altura de 20 cm. Já as amostras relativas ao ensaio de permeabilidade foram executadas no formato de blocos quadrados de concreto com 25cm de lado e 5cm de altura, de modo a simular a geometria do pavimento, como pode ser visto na Figura 2.



**Figura 2: (a) Corpos de prova cilíndricos.
(b) Corpo de prova no formato de bloco.**

• ENSAIOS DE COMPRESSÃO

Os ensaios de compressão foram realizados seguindo a norma NBR5739: Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos (ABNT, 2007). Os corpos de prova foram capeados antes de serem posicionados na máquina de compressão devidamente calibrada. Finalmente, os ensaios foram realizados e as resistências a compressão foram determinadas de acordo com a carga de ruptura.



Figura 3: Corpo de prova cilíndrico após rompimento a compressão.

• ENSAIOS DE PERMEABILIDADE

Para a realização dos ensaios de permeabilidade, consultou-se a NBR 10786: Concreto endurecido - Determinação do coeficiente de permeabilidade à água (ABNT, 1989). A amostra foi posicionada numa 'grelha', ilustrada na Figura 1(a), e utilizou-se argila na vedação entre o corpo de prova e a parede do aparelho, como mostra a Figura 1(b).



Figura 1: (a) 'Grelha' utilizada no experimento.
(b) Amostra pronta para o ensaio após vedação com argila.

Para o experimento, foi utilizada uma vazão de água que mantivesse a lâmina d'água acima da amostra com altura constante de 10 cm. O ensaio consistiu na coleta, em um recipiente graduado e durante um intervalo de tempo pré-estabelecido, do volume de água que passava pelo concreto poroso.

O coeficiente de permeabilidade foi calculado a partir da seguinte equação:

$$K = (V \cdot L) / (A \cdot h \cdot t) \quad \text{equação (1)}$$

Em que,

K = coeficiente de permeabilidade (cm/s);

V = volume de água coletada (cm³);

L = altura do corpo de prova (cm);

A = área de infiltração (cm²);

h = carga total dissipada (cm);

t = tempo (s).

RESULTADOS

• RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Os resultados dos ensaios de compressão após 28 dias são apresentados na Tabela 2. Seis corpos de prova foram testados para cada traço, resultando em valores característicos num intervalo entre 10 MPa e 16,6 MPa.

Tabela 2: Resultados dos ensaios a compressão.

TRAÇO 1			TRAÇO 2			TRAÇO 3		
Corpo de Prova	Resistência		Corpo de Prova	Resistência		Corpo de Prova	Resistência	
	Ton	MPa		Ton	Mpa		Ton	MPa
84904	9,5	12,1	84913	17,9	22,8	84923	9,4	12,0
84905	9,8	12,4	84914	14,6	18,6	84924	8,9	11,3
84907	10,8	13,8	84918	14,6	18,6	84926	8,0	10,2
84908	9,0	11,5	84919	15,1	19,3	84928	8,6	11,0
84911	8,8	11,2	84920	19,8	25,2	84929	8,5	10,8
84912	10,1	12,9	84921	17,2	21,9	84930	8,5	10,8

A Tabela 3 e a Figura 5 resumem esses resultados e proporcionam uma comparação entre as diferentes dosagens.

Tabela 3: Resumo dos ensaios a compressão.

	Traço 1	Traço 2	Traço 3
Resistência Média (MPa)	12,3	21,0	11,0
Desvio Padrão	0,935	2,684	0,614
Coefficiente de Variação	0,076	0,128	0,071
F_{ck} (MPa)	10,8	16,6	10,0

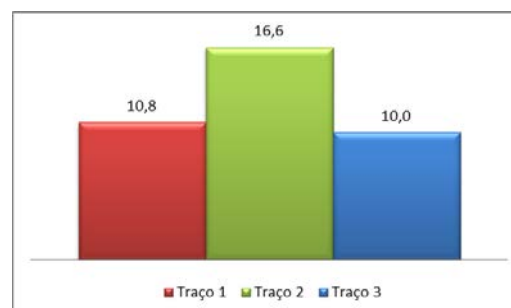


Figura 5: Ilustração dos resultados de resistência à compressão (MPa).

• COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE

A Tabela 4 ilustra os resultados obtidos nos ensaios de permeabilidade. Para cada um dos traços, o ensaio foi repetido cinco vezes, resultando em valores entre 0,009 cm/s e 0,542 cm/s. O traço que apresentou o coeficiente de permeabilidade mais satisfatório foi o de número 3. Um resumo destes resultados encontra-se na Tabela 5 e na Figura 6.

Tabela 4: Resultados dos ensaios de permeabilidade.

TRAÇO 1				TRAÇO 2				TRAÇO 3			
Teste	t (s)	V (cm³)	k (cm/s)	Teste	t (s)	V (cm³)	k (cm/s)	Teste	t (s)	V (cm³)	k (cm/s)
1	5	3250	0,520	1	20	190	0,008	1	5	3000	0,480
2	5	2900	0,464	2	20	220	0,009	2	5	3350	0,536
3	5	3200	0,512	3	20	235	0,009	3	5	3600	0,576
4	5	3300	0,528	4	20	240	0,010	4	5	3450	0,552
5	5	3300	0,528	5	20	245	0,010	5	5	3550	0,568

Tabela 5: Resumo dos ensaios de permeabilidade.

	Traço 1	Traço 2	Traço 3
Tempo (s)	5	20	5
V_{médio} (cm³)	3190	226	3390
k_{médio} (cm/s)	0,510	0,009	0,542

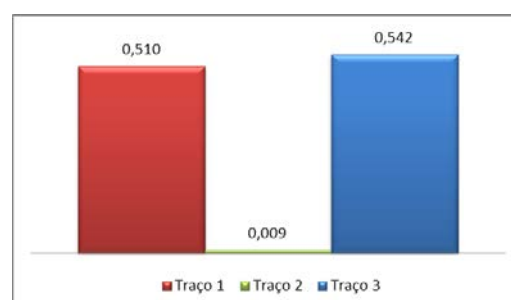


Figura 6: Ilustração dos resultados de permeabilidade (cm/s).

DISCUSSÃO

• RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

O concreto poroso utiliza os mesmos materiais que o concreto convencional, com as exceções de que o agregado miúdo é tipicamente eliminado ou limitado a pequenas frações, e a distribuição granulométrica do agregado graúdo é mantida uniforme, permitindo menor empacotamento de partículas. Geralmente, quando o volume de vazios é menor, a resistência aumenta e a permeabilidade diminui. (NRMCA, 2011).

A maior resistência alcançada, correspondente ao traço 2 (Tabela 3), é, entre outros fatores, devida à presença de partículas finas que possibilitam o empacotamento (NRMCA, 2011), dando maior homogeneidade ao material e garantindo, assim, melhor distribuição dos esforços.

Além disso, também pode se atribuir a menor resistência a baixa aderência, o que demonstra que, apesar de contribuir com essa característica, os aditivos não substituem completamente o agregado miúdo.

A resistência dos dois traços com zero teor de finos variou inversamente ao consumo de brita e a relação água/cimento corroborando, assim, os argumentos já expostos.

• PERMEABILIDADE

Os resultados de coeficiente de permeabilidade apontaram valores que variam entre 0,009 cm/s e 0,542 cm/s. Os valores de referência para pavimentos permeáveis são baseados em uma analogia aos estudos de Terzagui, 1997 sobre permeabilidade dos solos (Tabela 6). Desta forma, valores aceitáveis são os correspondentes à alta permeabilidade, ou seja, superiores a 10^{-5} m/s. Portanto, todos os concretos em estudo se enquadram no conceito de pavimento permeável.

Tabela 6: Valores típicos de coeficiente de permeabilidade de solos (TERZAGUI, 1967)

Coeficiente de Permeabilidade k (m/s)	Grau de Permeabilidade
$> 10^{-3}$	Alta
10^{-3} a 10^{-5}	Alta
10^{-5} a 10^{-7}	Baixa
10^{-7} a 10^{-9}	Muito baixa
$< 10^{-9}$	Praticamente Impermeável

O menor coeficiente de permeabilidade corresponde à dosagem que possui agregado miúdo em sua composição. Isto ocorre porque a areia permite um maior empacotamento de partículas, diminuindo, portanto, o volume de vazios, o que dificulta a passagem de água (NRMCA, 2011). Indo ao encontro do exposto anteriormente, o maior coeficiente de permeabilidade pertence ao traço que, além de não possuir areia em sua composição, possui uma maior quantidade de brita, o que facilita a passagem de água devido ao maior volume de vazios.

De acordo com o Instituto Nacional de Meteorologia, na cidade de Cuiabá/MT, a chuva mais intensa do ano de 2014 ocorreu no mês de março, e corresponde a um total de aproximadamente 72 mm de precipitação em um dia (Figura 2). Supondo um cenário crítico para a intensidade de precipitação, em que esta chuva teria ocorrido no período de apenas uma hora, a resultante da velocidade seria de aproximadamente 2×10^{-3} cm/s. O traço com desempenho menos satisfatório em relação à permeabilidade apresentou um coeficiente de 9×10^{-3} cm/s, ou seja, 4,5 vezes maior que o solicitado. Tal análise sugere que todos os concretos aqui estudados seriam eficientes no que diz respeito à infiltração de água na situação crítica citada.

Vale ressaltar, no entanto, que neste artigo não foram considerados a resistência do concreto à abrasão nem o entupimento dos poros, fatores que poderiam vir a diminuir a permeabilidade do concreto. Neste contexto, é de suma importância que o sistema de pavimentação tenha operação e manutenção adequados, de modo a não prejudicar o seu desempenho. (ACIOLI, 2005).

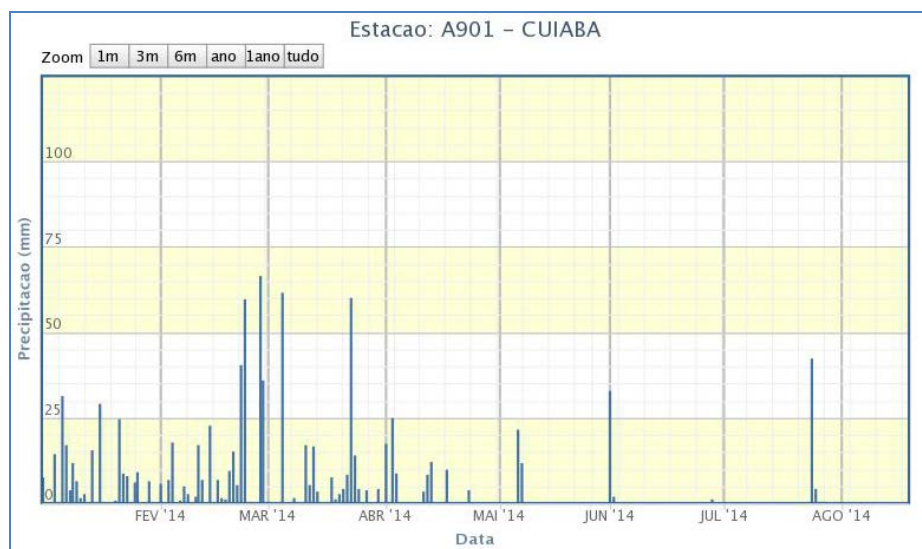


Figura 2: Índice pluviométrico da cidade de Cuiabá/MT no ano de 2014. (Fonte: INM)

• RELAÇÃO ENTRE RESISTÊNCIA E PERMEABILIDADE

A relação resistência/permeabilidade é o fator que apontará as possíveis aplicações dos traços. Com base na Figura 8, pode-se observar a correlação entre as tendências de coeficiente de permeabilidade e resistência à compressão. A tendência linear apresentou um alto nível de confiança ($R^2 = 0,997$), portanto pode ser estabelecida uma relação inversamente proporcional entre as duas propriedades, que se deve aos motivos previamente expostos nas discussões sobre resistência e permeabilidade.

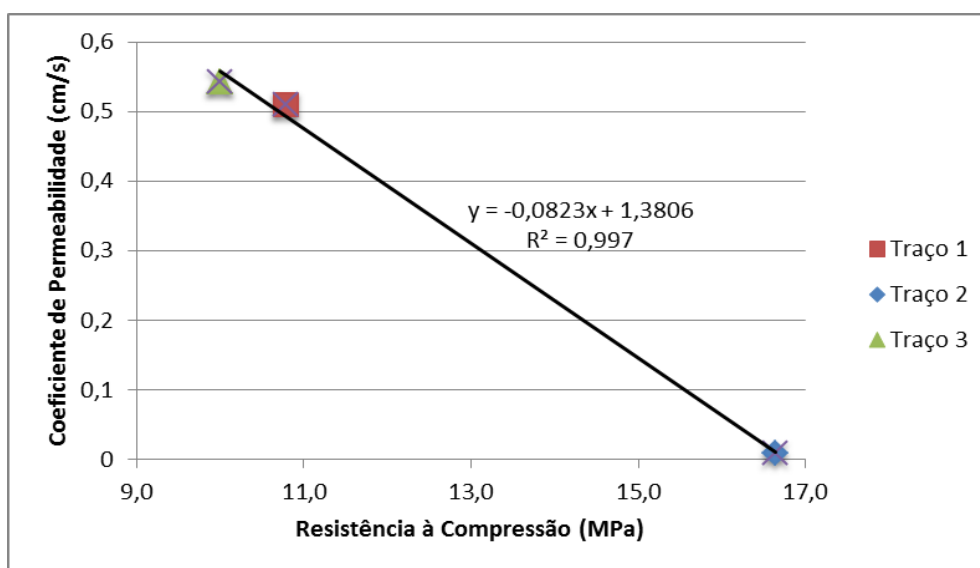


Figura 8: Relação entre resistência e permeabilidade

CONCLUSÕES

Os concretos produzidos neste estudo podem ser dispostos em duas classes distintas. A primeira delas, constituída por um concreto de maior resistência e permeabilidade ainda satisfatória, tem aplicação proposta em pavimentos de tráfego leve, estacionamentos e ciclovias. Já a segunda classe, cujos traços demonstram alta permeabilidade, mas menor resistência, podem ser utilizados em locais como calçadas, quadras poliesportivas e pátios.

Durante esta pesquisa, encontrou-se significativa dificuldade em relação à existência de normas brasileiras que regulem experimentos e definam parâmetros de análise e aplicação de concreto poroso.

Os dados expostos neste artigo visam agregar informações à literatura existente sobre concreto poroso. Acredita-se, no entanto, que ainda existem inúmeras lacunas a serem preenchidas sobre este assunto, entre elas: investigação do efeito da abrasão, estudo do desempenho a longo prazo em relação ao entupimento, análise de viabilidade econômica, pesquisa sobre instalação e operação de pavimentos permeáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT. Concreto endurecido - Determinação do coeficiente de permeabilidade à água. NBR 10786 (1989)
2. ABNT. Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. NBR 5739 (2007)
3. ABNT. Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. NBR 5738 (2003)
4. ACIOLI, Laura Albuquerque. Estudo experimental de pavimentos permeáveis para o controle do escoamento superficial na fonte, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, 2005, 162p.
5. EL CONDOR. Catálogo de Aditivos, Brasil, 2014, 32p.
6. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INM). Estação: A901 - Cuiabá. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_auto_graf>. Acesso em: 21 set. 2014.
7. FHWA, Techbrief: Pervious Concrete. Federal Highway Administration, Office of Pavement Technology, Dezembro, Port Royal Road, Springfield, USA, 2012, 8 p.
8. MCCAIN, George N., DEWOOLKAR, Mandar M., Porous Concrete Pavements: Mechanical and Hydraulic Properties, The University of Vermont 6, Burlington, USA, 2010, 19p.
9. MARCHIONI, M. L.; SILVA, C. O. e MAYOR, A. V. Conceitos e Requisitos para Pavimentos de Concreto Permeável. Pavimentos Permeáveis, São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), jun. 2011.
10. MAZZONETTO, C. Concreto permeável. Infraestrutura Urbana, São Paulo: Ed. Pini, n. 13, p. 44-45, abr. 2012.
11. NATIONAL READY MIXED CONCRETE ASSOCIATION (NRMCA). CIP 38 - Pervious Concrete. Silver Spring, MD, 2004.
12. POLASTRE, B. e SANTOS, L. D. Concreto Permeável. São Paulo: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2006.
13. TENNIS, Paul, D.; LEMING, Michael, L.; and AKERS David, J. Pervious Concrete Pavements, EB302.02, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, and National Ready Mixed Concrete Association, Silver Spring, Maryland, USA, 2004, 36 p.
14. TERZAGHI, K.; PECK, R. B. Soil Mechanics in Engineering Practice, 2nd edn.. John Wiley, New York, London, Sydney, 1967.
15. UNIBETÃO. Ficha técnica de Betões Drenantes: Unidren®. Lisboa, Portugal, 2014.
16. VOGADO, M.; COSTA, F.; LUTZE, W. and GONG, W. Resistência à corrosão de concreto geopolimérico de ultra-alto desempenho. 1o Congresso Brasileiro de Patologia das Construções, Foz do Iguaçu, PR, 2014.