

Análise de diferentes proporções de mistura para concreto permeável

(Analysis of different mixtures proportions for pervious concrete)

R. G. Silva¹; M. C. F. Albuquerque¹, M. Bortoletto¹, S. M. Bigotto¹, M. A. M. Alcantara¹, F. A. Spósito¹

¹Universidade Estadual Paulista – Campus Ilha Solteira
Av. Brasil Sul, 56 - Centro, Ilha Solteira - SP
garozirodrigo@gmail.com

Resumo

O concreto permeável utilizado como revestimento em pavimentos permeáveis gera benefícios ambientais, ligados ao auxílio à mitigação de enchentes e carreamento de poluentes, além de conforto e segurança aos usuários pela redução ou eliminação das lâminas de água devido ao escoamento superficial. Este concreto é composto de cimento e agregados graúdos normalmente de graduação uniforme, sendo que a pouca ou, na maioria das vezes, nula presença de agregados miúdos garante elevados índices de vazios. O presente trabalho apresenta considerações de dosagem estudadas em um concreto permeável, constituído a partir dos traços 1:3,5, 1:5, 1:6,5, (cimento: agregado graúdo), sendo que neste trabalho, não foram utilizados agregados miúdos nos concretos produzidos. A partir deste trabalho foi possível analisar tendências em diferentes proporções de mistura quando se utiliza os mesmos materiais. O traço 1:5 foi o que apresentou melhor desempenho, demonstrando uma maior eficiência deste traço.

Palavras chave: Concreto permeável, resistência mecânica, proporções de mistura

Abstract

The pervious concrete used as a coating on pervious pavements generates environmental benefits linked to the aid to the mitigation of floods and the transport of pollutants, besides comfort and safety to the users by the reduction or elimination of the sheets of water due to the surface runoff. This concrete is composed of cement and coarse aggregates, usually of uniform gradation, and the little or, often, null presence of small aggregates guarantees high void content. This work presents dosage considerations studied in a pervious concrete, constituted from mixtures 1:3.5, 1:5, 1:6.5 (cement: aggregate), and in this work, no fine aggregates were used in concrete produced. From this work it was possible to analyze trends in different mixing proportions when using the same materials. The 1:5 mixture presented the best performance, demonstrating a greater efficiency of this mix.

Keywords: Pervious concrete, mechanical strength, mixture proportions

INTRODUÇÃO

Os pavimentos permeáveis são soluções bastante eficientes que possibilitam a coleta e infiltração de água de chuva para o solo em áreas urbanizadas. Grandes impactos podem ocorrer devido à impermeabilização de áreas que normalmente seriam permeáveis sem a cobertura artificial.

Segundo Ferguson [1], o concreto permeável começou a ser utilizado pelos seus benefícios ambientais em 1970 na Flórida para retenção de água de chuva, e mostrou ser muito eficiente, quando utilizado em solos arenosos de boa infiltração de água.

A este tipo de concreto ainda é conferida outras peculiaridades, como boas propriedades térmicas e acústicas, podendo, desta forma ser utilizado em paredes de edifícios, por exemplo [2].

Para sua utilização em pavimentação, busca-se alcançar a absorção da água da superfície e fazê-la chegar à sub-base para que seja conduzida até o solo. Para isto, é essencial a criação de poros livres que promovem a percolação desta água, sendo necessária para isto, a baixa ou nula presença de finos neste concreto [3]. A composição do concreto permeável se dá, de maneira geral, por agregados geralmente de graduação uniforme (para garantir os vazios na estrutura do concreto) ligados por pasta de cimento, além da possibilidade do acréscimo de aditivos e adições. [3,4]. Eventualmente existe a possibilidade de utilizar-se agregados miúdos, em pequenas quantidades.

Além de ser eficiente na captação da água, o concreto permeável ainda contribui para a diminuição da temperatura nos espaços urbanos, pois sua coloração clara absorve menos radiação solar quando comparada com pavimentos de coloração escura e sua estrutura porosa promove menor armazenamento de calor. Os revestimentos em concreto permeável colaboram também para a redução das cargas poluentes que normalmente são carregadas até os corpos hídricos pelas águas de escoamentos em pavimentos impermeáveis. Como neste tipo de concreto a água é conduzida para o solo diretamente, as cargas poluentes são tratadas naturalmente ao percolarem pelo solo [2].

Existe bastante variação nas propriedades de resistência mecânica, permeabilidade, índice de vazios e densidade deste tipo de concreto devido a vários fatores como traço empregado, tipo e granulometria dos agregados e procedimentos de fabricação. Desta maneira, não existem métodos padrões para dosagem de concretos permeáveis, uma vez que este dependa dos materiais que serão empregados em cada caso.

De maneira geral, existe uma faixa de variabilidade das quantidades dos materiais empregados no concreto permeável por vários autores. Tennis *et al.* [2] indicam de maneira geral algumas proporções de mistura para este tipo de concreto, vistas na Tabela I. Vale ressaltar que outras proporções não estabelecidas nestas faixas podem ser utilizadas, bem como outros materiais suplementares.

Tabela I - Proporções de misturas de concretos permeáveis comumente utilizadas [2].

	Proporções kg/m ³
Materiais cimentícios	270 a 415
Agregado	1190 a 1480
Água:cimento (em massa)	0.27 a 0.34
Agregado:cimento (em massa)	4 a 4.5:1
Agregado miúdo:agregado graúdo (em massa)	0 a 1:1

Este artigo buscou apresentar e discutir ensaios realizados com misturas de concreto permeável para analisar as tendências de diferentes proporções de mistura, para os materiais exclusivamente empregados disponíveis comercialmente na região do estudo.

MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais

O aglomerante utilizado foi o cimento Portland CP II F- 40. As especificações químicas e físicas do cimento foram fornecidas pelo fabricante e são apresentadas na Tabela II.

Tabela II – Propriedades químicas, físicas e mecânicas do cimento CP II F- 40 (Fonte: Votorantim Cimentos, 2017)

Químicos				Físicos e Mecânicos							
Teores (%)				Finura (%)		Blaine	Tempo de Pega		Resistência à compressão (MPa)		
PF	MgO	SO ₃	RI	#200	#325	(cm ² /g)	Início (min)	Fim (min)	3 Dias	7 Dias	28 Dias
5,74	4,70	3,35	0,72	0,01	0,31	4680,00	190	264,38	34,51	40,86	49,67

O amassamento das misturas foram realizados com água de abastecimento público do município de Ilha Solteira. Para as misturas foi utilizado o aditivo superplastificante TEC FLOW 7000, à base de policarboxilato. Este aditivo apresenta massa específica média de 1,1 g/cm³, de acordo com o fabricante.

Os agregados utilizados foram britados de origem basáltica. Foi utilizada apenas uma granulometria de agregado, encontrada comercialmente na região do estudo agregados classificados como brita 1. A distribuição granulométrica do agregado utilizado é mostrada na Figura 1.

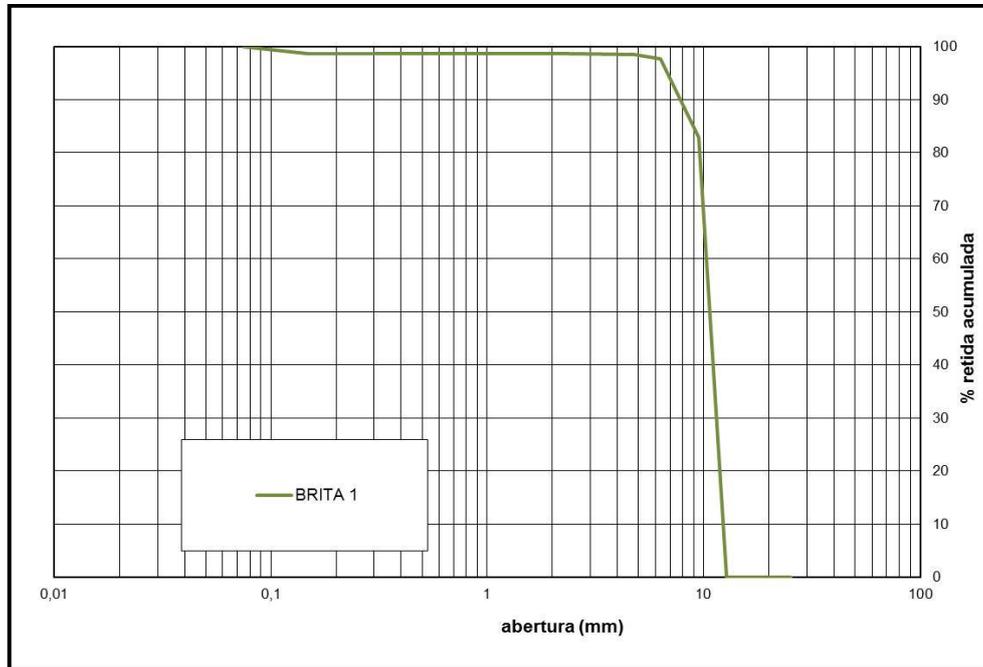


Figura 1 - Distribuição granulométrica do agregado

Métodos

Os concretos foram fabricados em três proporções básicas. Utilizou-se os traços 1:3,5, 1:5 e 1:6,5 de aglomerante:agregado. O controle de consistência foi feito visualmente, observando-se o aspecto da mistura em estado fresco e encontrando a densidade da mistura também em estado fresco. De acordo com Batezini [4] não é comum a realização do ensaio de abatimento de tronco de cone para este tipo de concreto, visto que ele praticamente não apresenta fluidez, portanto é essencial o controle do aspecto da mistura fresca.

A quantidade de água foi definida através dessa observação em estado fresco. Para a boa qualidade do concreto permeável assim como Batezini [4] faz em seu trabalho, é necessário observar se a pasta de cimento envolve corretamente os agregados e se apresenta um aspecto brilhoso. Então para a dosagem de água, utilizou-se a quantidade necessária para manter esta qualidade da mistura fresca. A Tabela III apresenta as proporções de materiais utilizadas para os traços desenvolvidos, e a Figura 2 mostra a aparência das misturas em estado fresco, em que é possível notar o bom envolvimento dos agregados pela pasta de cimento e também o brilho da mistura.

Tabela III - Proporções dos materiais utilizados nos traços desenvolvidos

Traço		Aglomerante	Agregados	Água	Aditivo Superplastificante
Identificação	Aglomerante/agregado	Cimento CII F - 40	Brita 1	Água/cimento	% da massa de cimento
M1	1:3,5	1	3,5	0,25	0,5
M2	1:5	1	5	0,26	0,5
M3	1:6,5	1	6,5	0,28	0,5

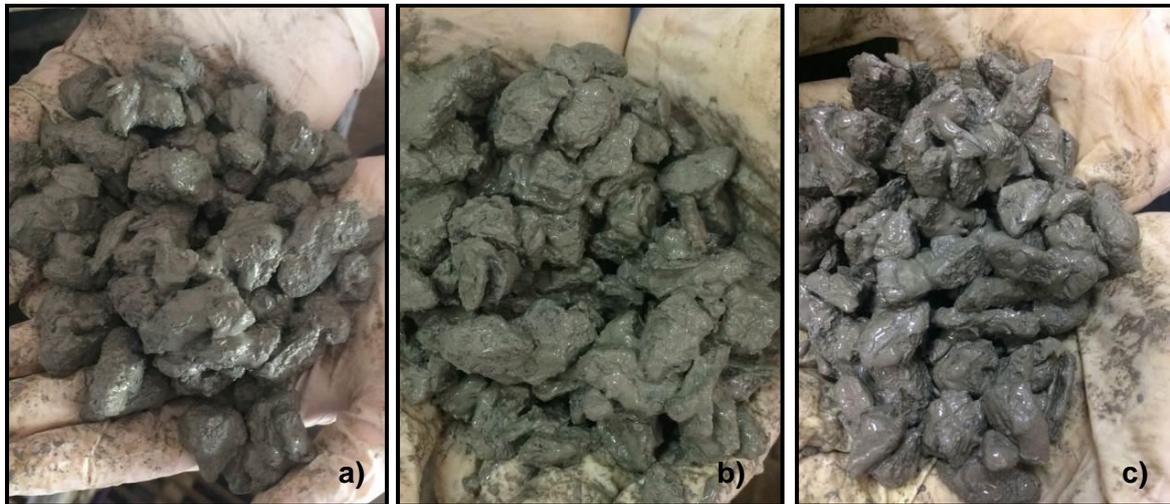


Figura 2 - Aparência das misturas em estado fresco: a)M1; b)M2; c)M3

As misturas foram fabricadas no laboratório de Engenharia Civil da UNESP – Campus de Ilha Solteira, em uma betoneira de 120 litros. A ordem de colocação dos materiais, foi seguida conforme o recomendado por Schaefer *et al.* [5], em que mistura-se primeiramente todo o agregado com 5% da quantidade total do cimento e realiza-se uma mistura prévia por um minuto. Posteriormente, adiciona-se restante dos materiais, e é realizada uma homogeneização por mais três minutos. Para finalizar, deixa-se a mistura em repouso por mais três minutos e mistura-se posteriormente por mais dois minutos. A única diferença da sequência utilizada neste estudo para a sequência realizada por Schaefer *et al.* [5] é que na etapa final, ao invés de homogeneizar a mistura por dois minutos, homogeneizou-se por cinco minutos para uma maior dispersão do aditivo superplastificante.

Foram moldados corpos de prova cilíndricos 10x20cm para os ensaios de compressão axial, tração por compressão diametral e absorção de água. O adensamento utilizado na moldagem dos corpos de prova seguiu o procedimento realizado por Batezini [4]. Dessa forma, foi realizada a moldagem em três camadas iguais com 15 golpes do bastão de adensamento em cada, e para finalizar, vibrou-se cada corpo de prova por 10 segundos. A

maior energia de adensamento, em comparação com o que se recomenda na NBR 5738 [6], para concretos convencionais, se deve à consistência mais firme do concreto permeável.

Os corpos de provas foram curados em câmara úmida com umidade relativa de 98% por um período de 14 dias, e conduzidos posteriormente aos ensaios.

Foram realizados para todos os traços ensaios de compressão axial e de tração por compressão diametral seguindo as recomendações das NBR 5739 [7] e NBR 7222 [8]. Foram realizados ainda, ensaios de absorção de água seguindo a NBR 9778 [9] enquanto que a massa específica das misturas em estado fresco e índice de vazios foram realizados de acordo com a ASTM C1688/C1688M – 14ª [10].

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Resistência à compressão axial e à tração por compressão diametral

As Tabelas IV e V apresentam os resultados dos ensaios de resistência à compressão axial e à tração por compressão diametral, respectivamente.

Tabela IV - Ensaios de resistência à compressão axial

Identificação	Máx. (MPa)	Mín. (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão
M1	20,78	15,66	18,47	2,60
M2	11,46	8,97	9,89	1,37
M3	8,05	7,13	7,45	0,52

Tabela V - Ensaios de resistência à tração por compressão diametral

Identificação	Máx. (MPa)	Mín. (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão
M1	2,60	2,40	2,49	0,10
M2	2,08	1,84	1,99	0,13
M3	1,30	0,84	1,11	0,24

Através da análise dos ensaios de resistência à compressão axial percebe-se, como esperado, elevada resistência axial para os concretos com traço mais rico e queda de resistência com a diminuição da quantidade de cimento. Percebe-se uma diminuição de 46,44% na resistência da mistura M2 e 59,68% da mistura M3, quando comparadas à mistura M1. Todavia, percebe-se também que o desvio padrão é maior no traço mais rico em cimento, sendo possível observar reduções consideráveis com a redução da quantidade de cimento.

Quanto a resistência à tração por compressão diametral, seguiu-se a mesma tendência, com elevados valores de resistência para o traço mais rico e gradativa diminuição com menores quantidades de cimento. Se comparados com a mistura M1, houve redução de 19,98% e 55,48% para as misturas M2 e M3 respectivamente. Já para a tração, os desvios mantiveram-se bastante próximos em todas as misturas, apresentando leve aumento somente na mistura M3.

Embora sejam claras as melhores resistências mecânicas da mistura M1 por ser mais rica, deve-se levar em consideração o maior consumo de cimento desta mistura e também a tendência de escorrimento de pasta devido a altas concentrações de pasta de cimento nas misturas. De acordo com Kia *et al.* [11], fatores como excesso de água na mistura, alto conteúdo de pasta de cimento ou excesso de compactação podem ocasionar o escorrimento da pasta de cimento para a base do concreto, podendo causar o fechamento dos poros na base, mantendo o concreto com bons índices de vazios, porém sem eficiência devido à tal obstrução. A Figura 3 mostra os corpos de prova depois de desmoldados das três misturas.

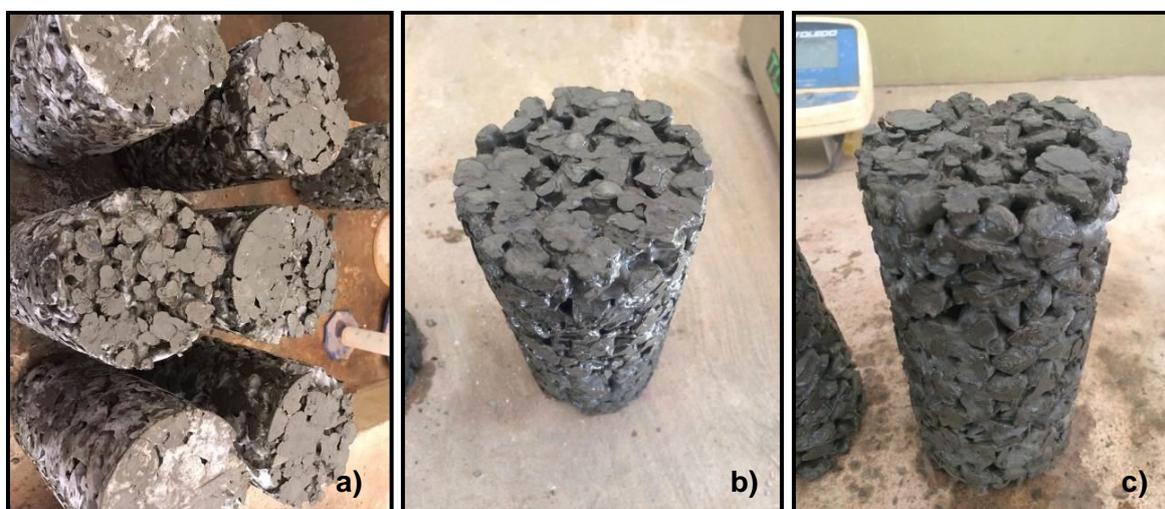


Figura 3 - Vista da face inferior dos corpos de prova desmoldados: a)M1; b)M2; c)M3

Pela observação da face inferior das misturas após desmoldadas, percebe-se que na mistura M1 os corpos de prova apresentaram alguns pontos de obstrução, causada pelo escorrimento da pasta. Desta maneira, há forte perda da capacidade drenante do material, pela diminuição considerável da estrutura porosa da base. O excesso de pasta nesta mistura devido ao traço mais rico, tende a ser a causa do escorrimento, indo de encontro com o que afirma Kia *et al.* [11] e também quando se observa as outras duas misturas M2 e M3 que mantiveram porosidade praticamente homogênea do topo até a base do corpo de prova pela análise visual

nas mesmas circunstâncias de moldagem e adensamento e mantendo a mesma consistência aparente da mistura em estado fresco.

Dessa forma, embora a mistura M1 seja mais resistente que as demais e apresente quantidade notória de índices de vazios, não apresenta boa eficiência quanto à distribuição dos vazios, podendo diminuir consideravelmente a percolação de água nesta. Considerando-se também o alto custo e a alta geração de CO₂ do cimento, não é conveniente a utilização de traços ricos em cimento, tornando a mistura M1 menos interessante.

A mistura M3 apresentou valores de resistência à compressão axial próximos aos da mistura M2, porém quanto à resistência à tração por compressão diametral, observa-se redução maior. Como a resistência à tração é um importante parâmetro para construção de pavimentos que receberão cargas, deve-se atentar para este fator.

Massa específica, índice de vazios e absorção de água

Os valores de densidade em estado fresco, índice de vazios, absorção de água e consumo de cimento das respectivas misturas são apresentados na tabela VI.

Tabela VI – Densidade em estado fresco, índice de vazios, absorção de água e consumo de cimento

Identificação	Densidade média (kg/m ³)	Índice de vazios (%)	Absorção de água (%)	Consumo de cimento (kg/m ³)
M1	2.235,61	16,32	5,72	471,35
M2	2.072,06	23,75	5,48	331,41
M3	1.975,09	27,93	4,84	254,10

Pela observação da densidade e índice de vazios da mistura, nota-se que estas acompanham também a quantidade de cimento presente no traço. Quanto mais cimento, menor o índice de vazios e consequentemente, maior a densidade da mistura. Para a densidade nota-se redução de 7,32% e 11,65% respectivamente para as misturas M2 e M3 em relação a M1. Quando se comparam os índices de vazios das misturas M2 e M3 ao da M1, têm-se acréscimos de 45,53% e 71,14% respectivamente, enquanto que o consumo de cimento é 29,69% e 46,09% respectivamente menor. Nota-se que a absorção de água também tem relação com a proporção de cimento no traço, apresentando maiores valores nos traços mais ricos em cimento. As misturas M2 e M3 têm absorção de água 4,28% e 15,44% menores, respectivamente, em relação à mistura M1.

Como Tennis *et al.* [2] indicam que, em geral, a massa unitária do concreto permeável é em torno de 70% a do concreto convencional, variando de 1600 kg/m³ a 2000 kg/m³ e o índice de vazios varia em torno de 15% a 25% do volume total de concreto, nota-se que a mistura M2 é a que mais se aproxima dessa faixa, com bons valores médios de resistência. Além disso, a mistura M2 apresenta uma economia de quase 30% de cimento, comparada com a M1.

CONCLUSÕES

A presente pesquisa buscou estudar misturas de concretos permeáveis, e a partir dos resultados é possível concluir que:

- O traço mais rico em cimento representado pela mistura M1, apresentou melhores resultados de resistência, porém devido ao alto consumo de cimento, e aparente obstrução da base do concreto devido ao excesso de pasta, deve ser utilizado cautelosamente apenas em situações que seja conveniente um traço com tais características.
- O traço médio, representado pela mistura M2, apresenta resultados satisfatórios de maneira geral, mantendo equilíbrio entre todas as propriedades analisadas e consumo de materiais.
- O traço mais pobre em cimento representado pela mistura M3 embora apresentou menores índices de resistência à tração, tem boa resistência à compressão, alta porosidade e baixo consumo de cimento, podendo ser bastante útil em situações que não necessita-se de resistências elevadas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem primeiramente a Deus, às empresas Votorantim Cimentos e GCP *Applied Technologies* pela disponibilização de materiais e a CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pelo auxílio financeiro.

REFERÊNCIAS

- [1] FERGUSON, B. K. **Porous Pavements – Integrative Studies In Water Management and Land Development**, Taylor & Francis Group CRC Press, 577p., 2005.
- [2] TENNIS, P. D.; LEMING, M. L.; AKERS, D. J.. **Pervious Concrete Pavements**. Maryland: Silver Spring, 2004. 36 p.

- [3] MCCAIN, G. N.; DEWOOLKAR M. M.. **Strength and Permeability of Porous Concrete Pavements**. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. p. 01-13, 2009.
- [4] BATEZINI, R.. **Estudo preliminar de concretos permeáveis como revestimento de pavimentos para áreas de veículos leves**. 2013. 133 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.
- [5] SCHAEFER, V. R. *et al.*. **Mix Design Development for Pervious Concrete in Cold Weather Climates**. Ames: Center For Transportation Research And Education, 2006. 67p.
- [6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015. 9 p.
- [7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT - **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007. 9 p.
- [8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT - **NBR 7222**: Concreto e argamassa - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011. 9 p.
- [9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009. 4 p.
- [10] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **C1688/C1688M – 14A**: Standard Test Method for Density and Void Content of Freshly Mixed Pervious Concrete. West Conshohocken: Astm International, 2014. 4 p.
- [11] KIA, Alalea; WONG, Hong S.; CHEESEMAN, Christopher R.. Clogging in permeable concrete: A review. **Journal Of Environmental Management**, [s.l.], v. 193, p.221-233, maio 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.02.018>.