

MÉTODOS DE DOSIFICACIÓN DE CONCRETO PERMEABLE - REVISIÓN DE ESTADO DEL ARTE

Fernanda dos Santos Gentil¹, Manuel Alejandro Rojas Manzano²

¹ Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Rio Grande do Sul, Brasil,
nandasantos1855@hotmail.com

² Pontificia Universidad Javeriana de Cali, Cali, Colombia, alejandro.rojas@javerianacali.edu.co

RESUMEN

El crecimiento acelerado de la población en las últimas décadas, así como la gestión ineficiente de la escorrentía pluvial de las zonas urbanas de países en desarrollo, ha proporcionado el aumento de las superficies impermeables y, en consecuencia, problemas como desbordamiento de efluentes e inundaciones urbanas. En este escenario, en el cual el drenaje urbano necesita de alternativas viables y eficaces, el uso del concreto permeable (CP) se presenta como una opción interesante para la construcción de pavimentos permeables, los cuales contribuirán en el drenaje sub-superficial, al servir como depósitos y permitir la infiltración de agua en el suelo. El presente trabajo tiene como objetivo realizar una revisión del estado del arte sobre los métodos de dosificación de concreto permeables y su relación con las propiedades mecánicas y parámetros asociados a la permeabilidad. De esta forma, se espera poder aportar al uso masivo del CP en Latinoamérica. Debido a la importancia de la temática, será realizado un mapeo de las principales investigaciones desarrolladas tanto en Brasil, como a nivel mundial, para evaluar un método que permita seleccionar los componentes en las proporciones adecuadas y producir un concreto que cumpla con las especificaciones de trabajabilidad, resistencia, durabilidad y coeficiente de permeabilidad.

Palabras claves: concretos especiales, concreto permeable, métodos de dosificación, permeabilidad.

INTRODUCCIÓN

Diversos impactos ambientales pasaron a ser frecuentes con el surgimiento de la civilización. Con el crecimiento de la población aumentó la cantidad de núcleos urbanos, trayendo consigo un desequilibrio ambiental. Entre los efectos negativos provenientes de la intervención humana están la disminución de los recursos naturales, extinción de especies, la ocurrencia de cambios climáticos y la carencia de agua. En este escenario global lo que está siendo priorizado es el crecimiento económico en detrimento de las cuestiones ambientales. Sin embargo, los problemas ocasionados por el desequilibrio ambiental presentan difíciles soluciones en mediano y largo plazo, perjudicando la calidad de vida de la población futura. El aumento de la urbanización ha contribuido para la generación de suelos impermeables, debido a la presencia de construcciones como edificios y vías asfaltadas con la utilización de materiales impermeables. La impermeabilización es responsable de que el volumen de agua sea transportado en un corto plazo de tiempo por la red de alcantarillado pública y los ríos que cruzan las ciudades, aumentando así el pico de las crecidas, llevando una sobrecarga al sistema de drenaje,

provocando consecuentemente inundaciones. Los métodos tradicionales utilizados para retirar las aguas pluviales no están siendo eficaces [1] Existen otras alternativas que pueden contribuir para mejorar la gestión del retiro de las aguas dentro de ellas está el concreto permeable, un material utilizado en la formación de pavimentos permeables [2].

El concreto permeable es clasificado como un material sustentable [3], que se caracteriza por tener una estructura de poros interconectados. Los índices de vacíos varían entre 15 % y 35 %. Las mezclas de este concreto utilizan para su producción, usualmente, entre 270-415 kg/m³ de cemento, 1190-1480 kg/m³ de agregado y relaciones agua/cemento (a/c) entre 0,28 y 0,40 [4]. Con relación a la resistencia a la compresión los valores obtenidos en la literatura varían entre 2,8-28 MPa. El coeficiente de permeabilidad oscila entre 0,2-5,4 m/s y los tamaños de poros entre 2-8 mm, dependiendo del tipo de agregado utilizado y el método de compactación adoptado [5].

MÉTODOS DE DOSIFICACIÓN

De acuerdo con la búsqueda realizada no se encontró un método de dosificación patrón para la producción de concreto permeable. Dentro de las metodologías que ya han sido ensayadas, se destacan las desarrolladas por: National Ready Mixed Concrete Association- NRMCA [6], American Concrete Institute - ACI 522 [5], Nguyen et al. [7], Yahia e Kabagire [8], Jimma y Rangaraju [9], Costa [10] y Gentil [11]

Método de la NRMCA [6]

Está dividido en 5 etapas, la primera consiste en la determinación de las propiedades de los agregados que serán utilizados. Para eso, se debe seleccionar el tamaño del agregado grueso de acuerdo con la norma ASTM C 33 [12], la cual recomienda usar tamaños de 2,36 mm a 9,5 mm o 1,18 a 9,5 mm cuando se vaya a producir CP para tráfico de personas. Para tráfico más pesado el agregado a utilizar es de 4,75 mm a 19 mm o mayor. Después de la etapa de selección se deben realizar algunos ensayos con esos agregados para obtener el valor de la densidad y absorción [13], peso unitario en estado seco [14] y la humedad antes de realizar la dosificación. En la segunda etapa se estima el volumen de pasta (VP) y se escoge el índice de compactación que varía entre 1 % - 8 %, caracterizando la menor o mayor compactación a ser aplicada. La tercera etapa es destinada a la determinación de la relación a/c que puede ser obtenida de dos formas: escogiendo un valor entre 0,27 y 0,36 y evaluando la consistencia de las mezclas; o realizando diversos ensayos con los intervalos antes mencionados y con incrementos de la relación a/c de 0,02. En esta fase se recomienda el uso de aditivos en las pastas. En la cuarta etapa se realiza la estimativa de los pesos de material cementante, agua y agregado. Por último, la quinta etapa consiste en determinar el tipo y dosificación del aditivo.

Método del ACI 522 [5]

Se caracteriza por ser un proceso iterativo, cuya finalidad es alcanzar una mezcla con equilibrio entre vacíos, resistencia, cantidad de pasta y trabajabilidad. La densidad seca de los agregados gruesos se utiliza para dosificar el concreto permeable. Muchos estudios fueron realizados y los resultados muestran que la relación del volumen seco de agregado grueso en una unidad de volumen de concreto (b/b₀) puede ser usada como un parámetro de diseño del concreto permeable. El método puede dividirse en 8 etapas: determinación del peso del agregado, ajuste al estado de saturado superficialmente seco (SSS), cálculo del volumen de pasta, determinación de la cantidad de cemento, cálculo del volumen de agua, determinación del volumen sólido, verificación de la cantidad de vacíos y el ensayo

del lote experimental.

Método de Nguyen et al. [7]

El paso a paso de ejecución del método consiste, en primer lugar, en determinar algunos datos del agregado grueso a ser utilizado, entre ellos están la granulometría, la masa unitaria seca compacta, la densidad específica aparente, la absorción, la compactación por el ensayo de la mesa vibratoria (10 kPa) y el porcentaje de finos. Así mismo, es importante establecer un valor para el volumen de vacíos (V_v), que debe ser superior al 15 % para que el CP presente una buena permeabilidad. Los autores utilizaron un V_v de 17 %. Posteriormente, se debe calcular el volumen de agregado (V_g) aplicando la Ecuación 1.

$$V_g = \frac{1-V_v}{a \times (k^3-1)+1+b} \quad (1)$$

Donde “ a ” es el porcentaje de agregado con diámetro superior a 80 μm , “ b ” es la absorción del agregado y “ k ” es el factor de escala referente al tamaño del agrado grueso. Los autores usaron $k = 1,116$. La etapa siguiente es calcular la masa de agregado fino y grueso, se recomienda que la cantidad de arena debe ser aproximadamente el 7 % de la masa de los agregados.

El próximo paso es establecer la cantidad adecuada de agua que maximizará la resistencia sin comprometer las características de permeabilidad del material, o sea, es importante la determinación de la relación a/c de la mezcla. Para esto los investigadores desarrollaron el Ensayo de Drenaje de Pasta, con el fin de encontrar la relación a/c que permita una elevada permeabilidad con un buen revestimiento del agregado por la pasta garantizando las propiedades mecánicas. En este ensayo la pasta se introduce en un tamiz metálico y se vibra por 15 segundos. Después es importante observar si en el fondo quedó pasta, lo que indicaría que la relación a/c no es apropiada, pues indicaría que es muy fluida y provocaría una precipitación de la misma al interior de la estructura del concreto, colmatando los poros y comprometiendo la permeabilidad. La relación a/c ideal es aquella en que después de la vibración no queda adherida pasta en el fondo. Los investigadores utilizaron un a/c de 0,37.

La siguiente etapa es calcular el grado de hidratación del cemento (α) considerando el a/c de 0,37. En este caso los autores encontraron un $\alpha = 0,71$. Determinados el valor de a/c y de α , es posible calcular la porosidad total de la pasta de cemento (P_p). Los autores encontraron un valor de $P_p = 0,36$. El proceso siguiente es calcular el parámetro β que fue de 0,279293. Con este valor se calcula el volumen de pasta (V_p) a ser utilizada que fue de $V_p = 0,231$. Después de determinar la cantidad de los materiales fueron elaborados especímenes de prueba para ensayar el modelo propuesto. Posteriormente, se ejecutaron los ensayos de compresión, tracción y abrasión con valores de 24,3 MPa, 4,0 MPa y 28,9 mm, respectivamente. Con relación a las propiedades en estado fresco del CP, se obtuvieron valores de 2034 kg/m^3 para la densidad y asentamiento cero. Utilizaron dos métodos para determinar el coeficiente de permeabilidad, el ensayo de carga variable y el de carga hidráulica constante, se obtuvieron resultados de 1,1 mm/s y 0,8 mm/s, respectivamente. Los investigadores constataron que la permeabilidad es inversamente proporcional a la resistencia a la compresión y proporcional a la porosidad.

Método de Yahia e Kabagire [8]

Consiste en la utilización del concepto de la densidad de empaquetamiento (DE) del agregado para facilitar la dosificación del CP que cumpla con las propiedades deseadas.

Los autores resaltan que la DE depende de la distribución, la dimensión y la forma de los agregados, así como del método de compactación. Usaron una relación a/c de 0,30 y agregados con diferentes tamaños máximos nominales (10 mm, 14 mm y 20 mm). Para determinar la DE aplicaron la norma ASTM C29 [12] y un método adaptado de compactador giratorio.

A partir de los valores obtenidos para cada tipo de agregado, fue posible determinar el porcentaje de volumen de pasta usado en las mezclas (entre 12-33 %) y la cantidad de agregado grueso (entre 1500-1700 kg/m³). Los autores compararon los dos métodos usados para el cálculo de la DE y verificaron que los resultados son semejantes. Concluyen que el método propuesto por la norma ASTM C29 [14] puede ser utilizado por su facilidad para el diseño de CP.

Posteriormente, realizaron ensayos en estado endurecido: resistencia a la compresión [16] y a la tracción [17]. Constataron que el volumen de la pasta tiene un efecto significativo en las propiedades mecánicas y el tipo de falla. Así mismo, observaron que a menor tamaño del agregado y a mayor DE, la resistencia del CP aumenta. Otro análisis fue la relación entre las propiedades mecánicas, la permeabilidad y el índice de vacíos. Concluyeron que el volumen de pasta ideal era del 50 %, pues brindaba un equilibrio entre las propiedades del CP, valores mayores afectan la permeabilidad y menores, la cohesión.

Método de Jimma e Rangaraju [9]

Los autores introdujeron el concepto de la capacidad de la pasta de formar película como un parámetro para la dosificación de CP. Dos características de la pasta deben ser consideradas en ese abordaje, la fluidez y la capacidad de formación de película. Una pasta muy fluida no formará una película estable lo que ocasionaría una baja resistencia a la compresión y una baja permeabilidad del CP debido a la colmatación de los vacíos en su interior.

El espesor de la pasta sería el valor promedio de material que envuelve cada agregado individualmente. Una pasta más espesa produce una película más gruesa, lo que conlleva a una menor permeabilidad debido a la reducción de los vacíos, pero de esta forma contribuye al mejor desempeño de las propiedades mecánicas y de durabilidad. Una pasta más fluida genera una película más fina debido al escurrimiento de la misma hacia el fondo, por tanto, la permeabilidad y las propiedades mecánicas son perjudicadas. De esta forma la idea es obtener un espesor de pasta que genere propiedades reológicas adecuadas al CP para que no ocurra colmatación de los vacíos y en cambio se produzca una maximización de la permeabilidad y las propiedades mecánicas [18]. En la Figura 1 se ilustran los procesos mencionados anteriormente y se señala el método adecuado para obtener la espesura ideal de pasta.



Figura 1: Representación de la pasta de cemento revistiendo la superficie del agregado.

Para evaluar la fluidez de la pasta se utilizaron: el Cono Marsh y el Mini Slump. Para caracterizar la capacidad de la pasta de formar una película estable, se evaluaron dos condiciones, la primera sobre una superficie lisa y no absorbente, sin tener en cuenta la influencia de la textura del agregado y las condiciones de humedad, determinándose el espesor ideal de pasta (EIP). La segunda, sobre la superficie del agregado y se estableció el espesor real de la pasta (ERP).

En el ensayo de EIP los investigadores utilizaron cuatro varillas plásticas con diferentes tamaños (1", 3/4", 1/2" e 3/8" de diámetro y 12" de longitud). La metodología consta de cinco fases y se muestra en la Figura 2. Cada varilla fue previamente mojada y seca superficialmente para evitar cualquier potencial absorción, para medir su peso inicial.

Se preparan 0,5 l de pasta de cemento y se colocan en un recipiente de 1l de capacidad (150 mm de diámetro y 200 mm de altura). Se introduce la varilla de plástico y se gira manualmente por 25 revoluciones durante 11 a 13 segundos, simulando la mezcla. Seguidamente, se retira la varilla y se mantiene 2 s en la posición vertical. Finalmente, se registra la altura revestida y el peso de la varilla. La masa ganada se traduce en espesor de la pasta con su densidad y la geometría de la varilla.



Figura 2: Metodología para evaluar EIP: a) Varillas de diferentes tamaños, b) inmersión de la varilla en pasta, c) y d) medición de la altura del revestimiento.

Los resultados del EIP variaron entre 0,1 mm a 1,0 mm, resaltando que emplearon diferentes relaciones a/c (0,23; 0,27; 0,32 y 0,37) y cantidades de aditivo superplastificante (0,025- 0,425 %). Constaron una disminución exponencial del espesor de la pasta con el aumento de la cantidad de aditivo. Mencionan la importancia de controlar esta variable en la dosificación y producción del CP.

El segundo método para determinar el ERP fue ejecutado con diferentes de agregados, uno de textura superficial lisa proveniente de río y otro rugoso proveniente de trituración.

Adicionalmente, variaron el tamaño de la partícula. La metodología consistió en mezclar en un recipiente 100 g de agregado seco con 100 g de pasta, por medio de agitación manual con una espátula durante un período de 60 s. En seguida, se retira y se coloca en un tamiz (apertura de 1,18 mm) la mezcla agregado/pasta durante 2 minutos. Finalmente, el agregado se traslada a otro recipiente y se pesa. Para el cálculo del parámetro ERP en mm fue usada la Ecuación 2.

$$EP (mm) = \frac{\text{Volumen de pasta}}{\text{Superficie de agregado}} = \frac{\% \text{ pasta}}{\rho p \times S(d) \times 100} \quad (2)$$

Donde,

ρp = densidad de la pasta

$S(d)$ = área superficial del agregado (m^2/kg)

Jimma y Rangaraju [9] aplicaron la Ecuación 3, propuesta por Chapuis y Legare, para calcular el área superficial del agregado.

$$S(d) = \frac{6}{d \times \rho s} \quad (3)$$

Donde,

d = diámetro del agregado (m)

ρs = densidad del agregado (kg/m^3)

Los autores identificaron los principales factores que influyeron significativamente en la capacidad de adherencia de las pastas en la superficie de los agregados. El aumento de la relación a/c o la cantidad de aditivo superplastificante produjeron una reducción de la capacidad de adhesión de la pasta. y el tamaño del agregado. Además, verificaron que agregados con dimensiones menores presentaron mayor ganancia de peso por humedad, de esa forma se mejora la adherencia. Así mismo, concluyeron que agregados con textura superficial rugosa contribuyen a la formación de una ERP más espesa. Finalmente, correlacionaron los dos métodos, EIP y ERP, verificando que dependían de la relación a/c.

Método de Costa [10]

Para la producción del CP, Costa [10], utilizó el método de dosificación del IPT/EPUSP, el cual fue desarrollado por Helene e Terzian [19]. La investigadora realizó algunas adaptaciones en ese método aplicándolo para CP, pues es un procedimiento muy usado para la determinación de las cantidades de materiales constituyentes de un concreto convencional. Según la autora, este método fue escogido pues a partir de los consumos de los materiales obtenidos, es posible obtener la densidad teórica del concreto y así, utilizarlo como variable de control para la obtención de la porosidad establecida.

Los especímenes de prueba sin materiales alternativos en su composición, fueron sometidos a ensayos de resistencia a la compresión y coeficiente de permeabilidad. Con relación a las propiedades en el estado fresco del CP, la autora obtuvo un valor de 1970 kg/m^3 para la densidad y slump cero. Los valores de la resistencia estuvieron entre 8,5 y 12 MPa, ya para el coeficiente de permeabilidad se obtuvieron resultados entre 1,17 y 20,8 mm/s.

Método de Gentil [11]

Para la producción de CP con agregados reciclados de concreto, Gentil [11], primero elaboró pastas de cemento de diferentes relaciones a/c (0,25; 0,30; 0,34 y 0,40), dentro del

intervalo especificado por la NRMCA [6]. Con un valor ideal de fluidez de la pasta, por medio del ensayo desarrollado por Kantro [20] y como muestra la Figura 3a, fue posible determinar el porcentaje de aditivo a ser utilizado para cada relación a/c. Después de esta etapa, fueron moldeados especímenes cilíndricos (20 mm de diámetro y 33 mm de altura), como se muestra en la Figura 3b, para ser sometidos a ensayos de resistencia a la compresión, por medio de la adaptación de la norma ABNT NBR 5739 [21], y a la tracción por compresión diametral, conforme a la adaptación de la norma ABNT NBR 7222 .



Figura 3: a) mini-cono de Kantro para evaluar la consistencia de la pasta de cemento y b) especímenes cilíndricos.

Las muestras que presentaron los mejores resultados fueron aquellas con relaciones a/c de 0,25; 0,30 y 0,40. Estos valores fueron utilizados para la producción del CP. La siguiente etapa fue realizar la selección de la dosificación por medio de una adaptación del método desarrollado por Nguyen et al [7] . La mezcla escogida para la producción de los concretos fue aquella de relación 1:2,5. Con el dato anterior, se procedió a calcular los pesos de los materiales.

Con relación a los resultados en estado endurecido, la autora encontró valores de resistencia a la compresión en un intervalo entre 8,5 y 19,6 MPa. Para la resistencia a tracción los valores oscilaron entre 0,85 y 3,25 MPa. Sobre el ensayo de resistencia a la abrasión, las pérdidas de masa de las muestras estuvieron entre 18,34 % y 80,95 %. Finalmente, los resultados de coeficiente de permeabilidad variaron en el intervalo de 1,046 a 7,716 mm/s.

CONCLUSIONES

De acuerdo a la revisión de la literatura realizada se puede constatar que no hay una estandarización de los métodos de dosificación para la producción de concreto permeable. Si se analiza el tiempo en el que este material ha sido aplicado, tanto en Estados Unidos como en Europa, se puede inferir que existen pocos métodos de dosificación desarrollados.

Debido a lo anterior, puede afirmarse que el CP es un material complejo pues su desempeño depende de factores como: la cantidad de cemento, la relación a/c, el tipo y forma de los agregados, el uso de aditivos químicos y los procesos de aplicación, compactación y curado [23].

Se verificó que los concretos permeables producidos a partir de los métodos anteriormente descritos, presentan un desempeño promisorio para su uso como material de pavimento en vías de bajo volumen de tráfico, como calles pequeñas, vías peatonales, garajes y estacionamientos. En virtud de esas aplicaciones y en el ámbito de la sostenibilidad, el CP tiene como principal función disminuir en parte los impactos ambientales causados por el acelerado desarrollo urbanístico y el crecimiento poblacional.

REFERENCIAS

- [1] Holtz FC, "Uso de concreto permeável na drenagem urbana: análise da viabilidade técnica e do impacto ambiental.", Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio

- Grande do Sul, Porto Alegre, (2011).
- [2] Urbonas B, Stahre P, "Stormwater Best Management Practices and Detention.", Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, (1993), 450 p.
- [3] Chandrappa AK, Biligiri KP, "Comprehensive investigation of permeability characteristics of pervious concrete : A hydrodynamic approach.", *Construction and Building Materials*, 123, (2016^a) 627– 637.
- [4] Haselbach L, Gaither A, "Preliminary field testing: urban heat Island impacts and pervious concrete. In: Focus on sustainable development.", Denver, CO: National Ready Mixed Concrete Association, (2008), p. 11.
- [5] AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Committee 522, ACI Report on Pervious Concrete, (2010).
- [6] NATIONAL READY MIXED CONCRETE ASSOCIATION (NRMCA), Pervious Pavement. Disponível em: < <http://www.perviouspavement.org/>>. Acesso em: 13 de set. 2018.
- [7] Nguyen et al., "A modified method for the design of pervious concrete mix.", *Construction and Building Materials*, 73, (2014), 271- 282.
- [8] Yahia A, Kabagire KD, "New approach to proportion pervious concrete." *Construction and Building Materials*, 62, (2014), 38–46.
- [9] Jimma BE, Rangaraju PR, "Film-forming ability of flowable cement pastes and its application in mixture proportioning of pervious concrete." *Computers and Chemical Engineering*, 71, (2014), 273–282.
- [10] Costa FBP, "Análise e desenvolvimento de misturas de concreto permeável para aplicação em pavimentação.", 2019, Tese (Doutorado em Engenharia) –Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, (2019).
- [11] Gentil FS, "Estudo de parâmetros de dosagem que influenciam as propriedades de concretos permeáveis com agregados reciclados.", Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS, São Leopoldo, RS, (2020).
- [12] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS, ASTM C33-18, Standard Test. Standard Specification for Concrete Aggregates. United States of America, (2018).
- [13] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. ASTM C127-15, Standard Test. Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate. United States of America, (2015).
- [14] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. ASTM C29-17a: Standard Test. Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate. United States of America, (2017).
- [15] Waller V, "Relation entre formulation d'un béton et propriétés mécanique, formulation et chaleur d'hydratation, cas de cendres volantes.", PhD thesis, Ecole Nationale des Ponts et chaussées, (1999).
- [16] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. ASTM C39-20: Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, ASTM International, West Conshohocken, PA, (2020).
- [17] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. ASTM C496-17: Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens, ASTM International, West Conshohocken, PA, (2017).
- [18] Xie X et al., "Maximum paste coating thickness without voids clogging of pervious concrete and its relationship to the rheological properties of cement paste.", *Construction and Building Materials*, 168, (2018), 732–746.
- [19] Helene PRL, Terzian P, Manual de Dosagem e Controle do Concreto. São Paulo: PINI, (1992), 349p.
- [20] Kantro DL, "Influence of Water-Reducing Admixtures on Properties of Cement Paste--A Miniature Slump Test". *Cement Concrete. and Aggregates, CCAGDP*, Vol. 2, No. 2, (1980), 95-102.
- [21] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: Concreto- Ensaio de
- [22] compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, (2018).
- [23] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7222: Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, (2011).
- [24] Kia A, Wong HS, Cheeseman CR, "Clogging in permeable concrete : A review.", *Journal of Environmental Management*, 193, (2017), 221–233.