



Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais

Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

## INFLUÊNCIA DO EMPACOTAMENTO GRANULOMÉTRICO DO AGREGADO GRAÚDO NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO PERMEÁVEL<sup>1</sup>

**SILVA, Micael Rubens (1); SOARES, Hamilton (2); CASTRO, Carlos Murillo (3); CORDEIRO, Luciana (4)**

**(1)** Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), micaelrubens@gmail.com;

**(2)** Universidade Federal do Pará (UFPA), hamiltonsbs10@gmail.com

**(3)** UFPA, murillosc@gmail.com;

**(4)** UFPA, lupcordeiro@gmail.com.

### RESUMO

O objetivo deste trabalho é avaliar a influência do empacotamento granulométrico do agregado graúdo nas propriedades do concreto permeável. Para isso, foram selecionados os casos de maior massa unitária e produzidos quatro traços, com e sem areia, pelo método de dosagem proposto por Castro (2009). As misturas foram caracterizadas no estado fresco por observações de trabalhabilidade, cobertura, exsudação, efeito parede e, no estado endurecido, quanto a resistência à tração na flexão, densidade aparente, teor de ar, coeficiente de permeabilidade e porosidade efetiva. Os resultados indicaram que, a massa unitária gerada pelo empacotamento não apresentou relação com as resistências à flexão estudadas, pois não houve diferenças significativas entre as amostras, o aumento da massa unitária promoveu misturas de maior teor de ar e densidade aparente, entretanto, decaíram os valores de permeabilidade e porosidade. Por fim, apesar de constatada influência do empacotamento dos agregados nas propriedades do concreto estudado, os resultados permitem o seu emprego para pavimentação permeável de tráfego leve, de acordo com as recomendações da NBR 16416 (ABNT, 2015).

**Palavras-chave:** Agregados. Desempenho. Concreto permeável. Drenagem urbana.

### ABSTRACT

The aim of this work is to evaluate the influence of the granulometric packing of the coarse aggregate on the properties of pervious concrete. For this aim, the cases with the highest unit weight were selected and four mixtures were produced, with and without sand, by the dosage method proposed by Castro (2009). The mixtures were characterized in the fresh state by observations of workability, covering, exudation, wall effect and, in the hardened state, as to tensile strength in bending, apparent density, air content, permeability coefficient and effective porosity. The results indicated that the unit mass generated by the packing did not present any relation with the studied bending strengths, because there were no significant differences between the samples, the increase in unit mass promoted mixtures of higher air content and apparent density, however, the values of permeability and porosity decreased. Finally, despite the influence of the packing of aggregates on the properties of the concrete studied, the results allow its use for permeable paving of light traffic, according to the recommendations of NBR 16416 (ABNT, 2015).

**Keywords:** Aggregates. Performance. Pervious concrete. Urban drainage.

<sup>1</sup>SILVA, M. R. C.; SOARES, H. S. B.; CASTRO, C. M. S; CORDEIRO, L. N. P. Influência do empacotamento granulométrico do agregado graúdo nas propriedades do concreto permeável. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2020.

## 1 INTRODUÇÃO

O concreto permeável consiste em uma mistura de cimento Portland, agregado graúdo e água, podendo ou não, conter agregado fino. Seu sistema usa uma quantidade de pasta de cimento para revestir e unir as partículas agregadas, criando um sistema de alta porosidade e vazios interligados capazes de drenar água rapidamente (HUANG, 2009; ACI, 2010). Deste modo, é uma interessante alternativa para produção de pavimentos permeáveis que visam mitigar os efeitos das condições de má drenagem urbana.

Por outro lado, apesar de o conhecimento até então evidenciado sobre as vantagens do concreto permeável, suas propriedades são intimamente influenciadas pelas características dos agregados, da estrutura vazia, quantidade de cimento utilizada, projeto de mistura, aditivos químicos e o processo de compactação (TORRES et al., 2015; JIMMA et al., 2015, RANGELOV et al., 2017).

Nesse contexto, o objetivo principal desta pesquisa é avaliar a influência empacotamento granulométrico do agregado graúdo no desempenho mecânico e hidráulico do concreto permeável. E, como objetivos secundários, verificar a influência nos resultados frente à pequena adição de areia (5%, em volume de agregados) nos traços, sua adequação a alguns requisitos normativos da NBR 16426 (ABNT, 2015) para pavimentos permeáveis de tráfego leve e, por fim, averiguar a eficiência do método de dosagem proposto por Castro (2009) para concretos permeáveis.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Materiais e programa experimental

Para o presente estudo foi utilizado cimento Portland CP II E 32 – RS, com massa específica (ME)  $3,05 \text{ g/cm}^3$ . Como agregado miúdo, uma areia quartzosa com ME  $2,70 \text{ g/cm}^3$  (NBR NM 45/06), massa unitária (MU)  $1,50 \text{ g/cm}^3$  (NBR NM 53/09) e módulo de finura 0,94 (NBR NM 24/03). Como agregado graúdo, seixo rolado com ME  $2,62 \text{ g/cm}^3$  e absorção de água 2,76%, segundo a NBR NM 53 (ABNT, 2009). A água utilizada foi a de rede de abastecimento local.

A metodologia do trabalho propõe, primeiramente, a separação do agregado graúdo nas seguintes granulometrias uniformes: 9,5 mm (material passante na peneira 12,5 mm, retido na peneira 9,5 mm); 4,8 mm (material passante na peneira de 9,5 mm, retido na peneira 4,8 mm). Em seguida, foram realizadas combinações entre as duas faixas granulométricas e calculados seus valores de MU.

Foram consideradas duas granulometrias para a dosagem: i) a maior massa unitária entre as frações não misturadas, onde a maior massa unitária foi a do agregado de 4,8 mm ( $MU = 1.484,5 \text{ kg/m}^3$ ) e ii) a maior massa unitária entre os casos misturados, obtida na combinação de 80% e 20%, em massa, dos agregados de 4,8 mm e 9,5 mm ( $MU = 1496,5 \text{ kg/m}^3$ ). Partiu-se da hipótese de que, tais granulometrias, contariam com bom volume de vazios mesmo após o acréscimo da pasta às misturas.

Além disso, para avaliar também a influência do acréscimo do agregado miúdo ao concreto endurecido, foi feita adição de areia, limitada a 5% em volume de agregados aos dois casos escolhidos. As granulometrias escolhidas são resumidas na tabela 1.

Tabela 1 – Granulometrias adotadas para composição dos traços

Mistura	Agregado graúdo		Agregado miúdo
	4,8 mm	9,5 mm	
T1	100%	-	0%
T2	100%	-	5%
T3	80%	20%	0%
T4	80%	20%	5%

Fonte: Autores (2020)

A dosagem do concreto permeável foi de acordo com o proposto por Castro (2009). Com isso, foi fixada uma quantidade teórica de 17% de vazios interligados inerente ao método de dosagem e relação a/c igual a 0,32. A partir disso, foram produzidas quatro diferentes misturas e o traço unitário final é apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Traços dos concretos permeáveis do estudo

Mistura	Índice teórico de vazios conectados (%)	Cimento	Agregado graúdo	areia	a/c
T1	17	1	3,83	-	0,32
T2		1	3,83	0,19	0,32
T3		1	3,93	-	0,32
T4		1	3,93	0,20	0,32

Fonte: Autores (2020)

As misturas foram moldadas em amostras prismáticas (100x100x400 mm) e cilíndricas (100x200 mm). O método de compactação, segundo TORRES (2015), pôde ser realizado com uso de compactador de solos tipo Proctor de 2,5kg em queda livre de aproximadamente 300mm de forma distribuída. As amostras cilíndricas foram compactadas em duas camadas de 12 golpes cada, enquanto as amostras prismáticas, em 3 camadas com 26 golpes cada camada.

Após moldagem, as amostras foram pesadas no estado fresco para determinação do teor de ar, segundo a NBR 9833 (ABNT, 2010), envoltas em plástico filme para minimizar as perdas de água iniciais e, após 24 horas, desmoldadas e submersas em tanque de cura até a idade de 28 dias.

## 2.2 Ensaios

Após cada concretagem, as misturas foram analisadas visualmente para verificar algumas de suas características no estado fresco. Tais como: trabalhabilidade, presença do efeito parede, recobrimento das partículas agregadas e exsudação.

Aos 28 dias, as amostras prismáticas foram secas em estufa (100 °C), e ensaiadas segundo a NBR 12142 (ABNT, 2010) para determinação da sua resistência à tração na flexão em equipamento prensa marca EMIC. Buscou-se atender a especificação mínima (2 MPa) para pavimentos de tráfego de veículos leves segundo a NBR 16416 (ABNT, 2015).

A porosidade efetiva foi avaliada pelo método de Xu et al. (2018). Segundo os autores, a porosidade efetiva é o volume de poros acessíveis, isto é, os vazios pelos quais o fluido poderá percolar.

O procedimento experimental do ensaio de permeabilidade foi realizado segundo Holtz (2011) e o coeficiente pôde ser medido de acordo como exposto pelo ACI

(2010), em método idealizado por Neithalalth et al. (2003) a partir do uso de permeâmetro de carga variável.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Estado Fresco

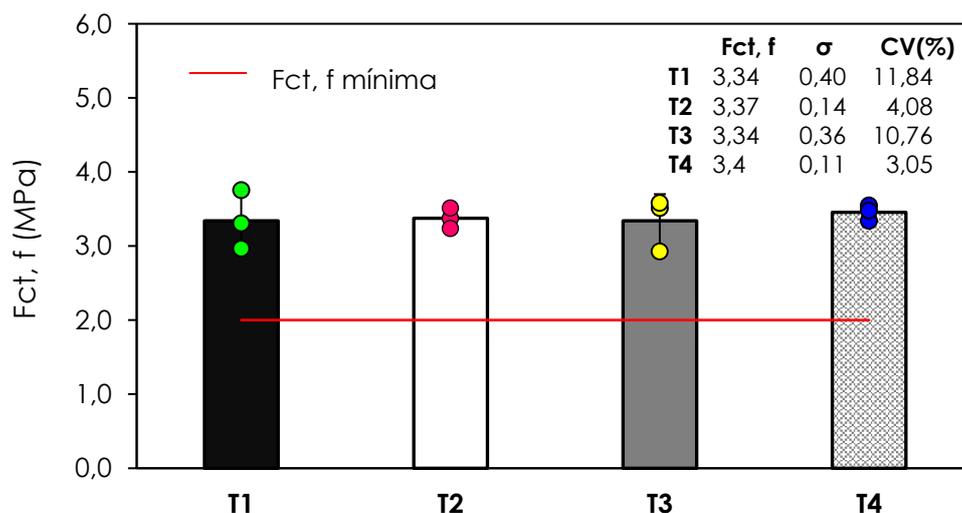
Durante a concretagem todas as misturas apresentaram boa trabalhabilidade, devido a facilidade de vencer o atrito interno entre as partículas do concreto e promover sua moldagem; não houve indício de efeito parede nos concretos após desmoldagem, isto é, sem presença de acúmulo de pasta/argamassa nas espécimes moldadas; apesar de uma forma mais esférica do seixo rolado, o cobrimento foi considerado regular, visto que, algumas partículas apresentaram superfícies expostas e sem pasta; além disso, houve ausência de exsudação nas misturas, o que pressupõe uma satisfatória a/c adotada.

#### 3.2 Estado endurecido

Aos 28 dias as amostras foram ensaiadas para determinação da sua resistência à tração na flexão ( $F_{ct}, f$ ). De acordo com os resultados apresentados na Figura 1, todas as quatro misturas atendem à especificação da NBR 16416 (ABNT, 2015) no que tange à resistência à tração na flexão mínima exigida de 2 MPa ( $F_{ct}, f$  mínima) para emprego em pavimentação de tráfego leve. O que sugere que a energia de compactação adotada, promoveu uma maior densificação das misturas e intertravamento dos agregados.

Apesar da maior variabilidade (desvio padrão= $\sigma$  e coeficiente de variação=CV) das misturas sem areia (T1 e T3), os resultados médios alcançados em todos os traços foram superiores 3 MPa (Fig.3) e estão dentro da faixa de 0,85 a 4,0 MPa (KEVERN, 2008; NGUYUEN, 2014; TORRES, 2015), geralmente encontrada na literatura para misturas de concretos permeáveis.

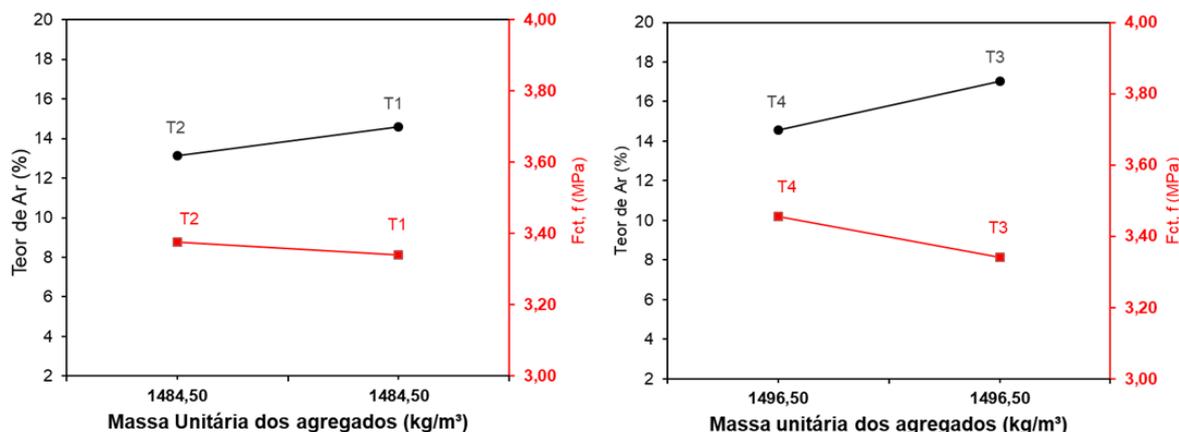
Figura 1 - Resistência à tração na flexão ( $F_{ct}, f$ ),  $n=3$ . Valores médios  $\pm$  desvio padrão.



Fonte: Autores (2020)

As amostras também foram ensaiadas de acordo com a NBR 9833 (ABNT,2009), para determinação do teor de ar, que pode ser definido como o volume de ar aprisionado ou incorporado ao concreto. E, buscou-se verificar, para as duas massas unitárias dos empacotamentos em estudo, a influência desta variável na resistência mecânica das amostras de concreto permeável. Os resultados estão apresentados na Figura 2.

Figura 2 - Teor de ar e Resistência à tração na flexão para as massas unitárias em estudo.

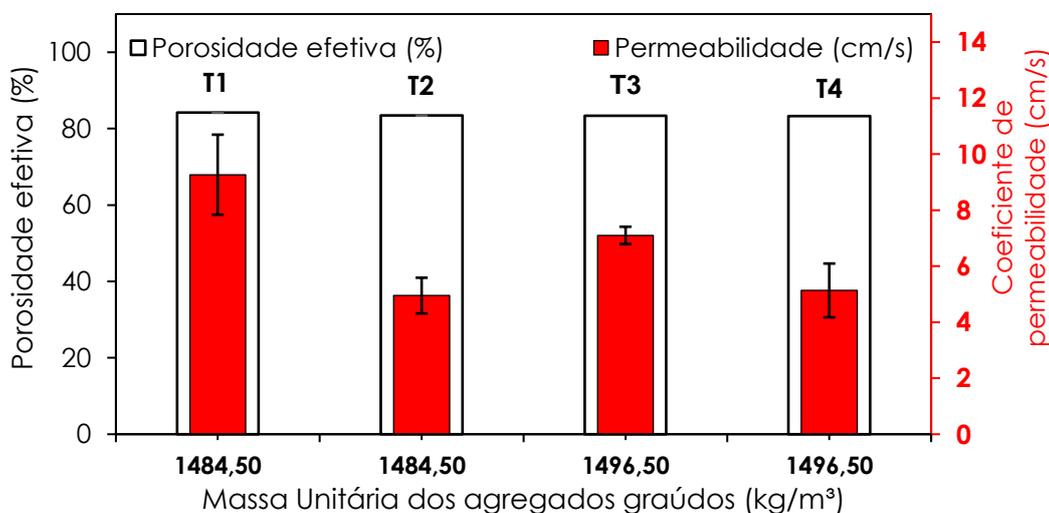


Fonte: Autores (2020)

Segundo a Figura 2, é possível verificar a influência do teor de ar na resistência à tração na flexão. As misturas sem areia (T1 e T3) apresentam maior consumo de cimento (Tabela 2), porém, apresentaram maior teor de ar corroborando para o decréscimo de sua resistência à tração na flexão em comparação as misturas com o acréscimo de areia (T2 e T4).

A permeabilidade média e porosidade efetiva de cada uma das misturas de concreto permeável é apresentada na Figura 3.

Figura 3 - Resultados médios de porosidade efetiva (%) e permeabilidade (cm/s). Barras de erro indicam  $\pm$  desvio padrão



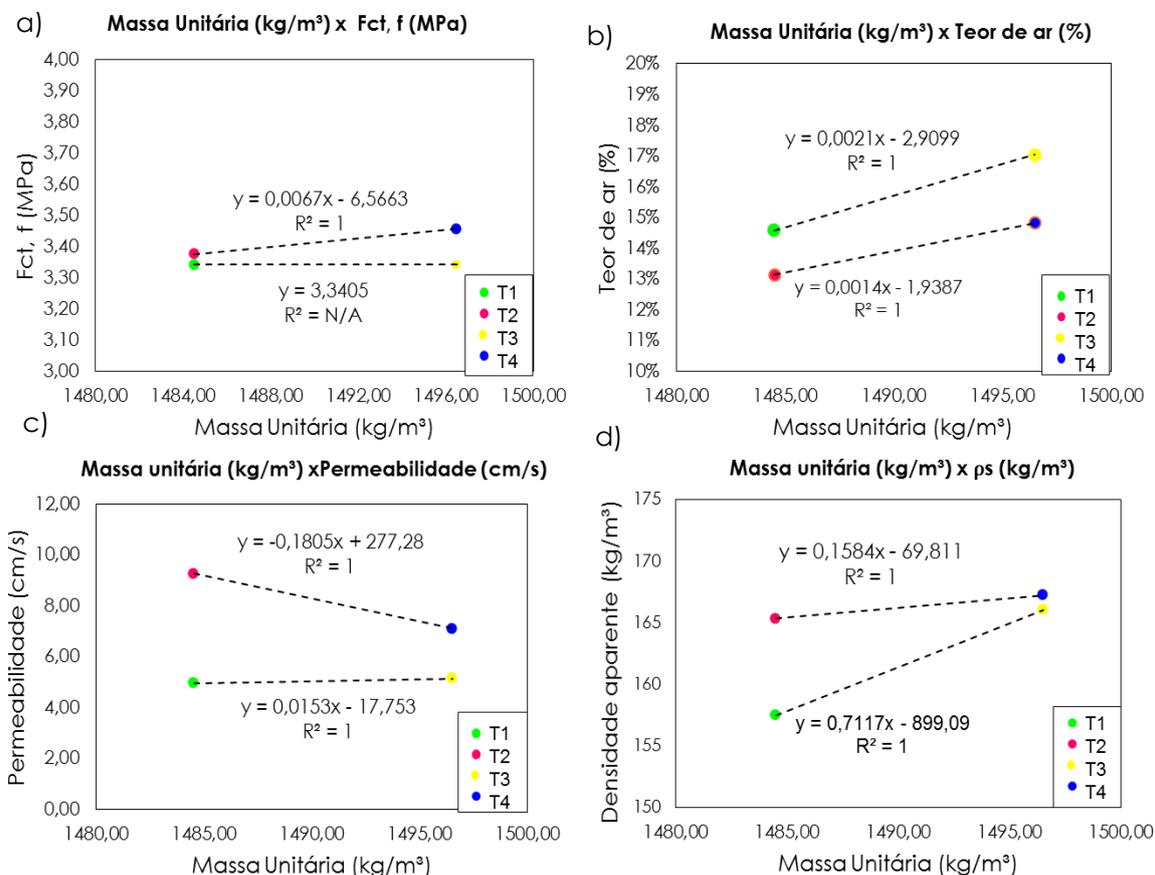
Fonte: Autores (2020)

Em relação à permeabilidade, as misturas com areia (T2 e T4), obteve-se coeficiente de permeabilidade médio de 5 cm/s, menor que as misturas sem areia (T1 e T3), resultado esperado, conforme relata Barnhouse et al. (2016). Apesar das diferenças, todas as misturas atendem a especificação mínima de 1 cm/s da NBR 16416 (ABNT, 2015).

Os resultados de porosidade efetiva de todas as formulações foram aproximadamente 83%. Ao se considerar o desvio padrão desses resultados, não se observa diferença entre as misturas com e sem areia e independente das massas unitárias também. Isso implica que a porosidade efetiva não seja um fator influenciado pela MU ou presença de areia para medir a percolação de água dos concretos permeáveis aqui estudados.

A relação entre a massa unitária do agregado gráúdo com algumas propriedades foi estudada, os resultados são apresentados na Figura 4.

Figura 4 – Massa unitária (Kg/m<sup>3</sup>) x Propriedades do concreto permeável



Fonte: Autores (2020)

Na Figura 4.a, a relação entre a resistência e a massa unitária não pode ser estabelecida. O intervalo dos resultados de resistência (Figura 1) não possuem diferenças significativas entre as amostras.

Na Figura 4.b, nota-se que, para uma mesma MU, as misturas com areia T2 e T4 apresentaram menor teor de ar incorporado, quando comparadas às suas referências sem areia T1 e T3, respectivamente. Quanto ao aumento de massa unitária, houve aumento de teor de ar incorporado nos traços T3 e T4. Segundo Castro (2009), isto ocorre, pois, as misturas de maior massa unitária contam maior volume

iniciais de vazio, que permanecem maior mesmo frente a adição da pasta de cimento.

Na Figura 4.c, o acréscimo de areia nas misturas dos traços T2 e T4 fez com que ocorresse diminuição da permeabilidade do fluido nas amostras, quando comparadas às suas referências sem areia T1 e T4, respectivamente. Observou-se que o aumento da massa unitária foi acompanhado da diminuição da permeabilidade. Um maior volume de vazios não implica em uma maior permeabilidade, pois esta propriedade depende da conectividade dos poros, gerada pelos aglomerantes, por onde a água poderá percolar (SUMMANASOORIYA; NEITHALATH, 2011)

Na Figura 4.d, o acréscimo de areia nos traços provocou o aumento da densidade aparente das amostras dos traços T2 e T4. Nos traços com agregados de maior massa unitária (T3 e T4), observou-se um maior resultado de densidade aparente, o que pode indicar a influência da fração de agregado 9,5 mm da mistura. A densidade aparente representa o valor da massa do material dividido pelo volume considerados todos os poros. Isso sugere que quanto maior a densidade aparente menos poroso é o material, o que condiz com os maiores valores para as misturas com areia T2 e T4.

## 4 CONCLUSÕES

Diante os resultados, foi possível alcançar todos os objetivos propostos na pesquisa, visto que, o empacotamento, para as situações com e sem mistura de fração dos agregados, foi capaz de fornecer traços de concreto permeável com vazios suficientes para o alcance de resultados satisfatórios, mesmo frente a adição de areia em 5% do volume de agregados. Dentre os resultados encontrados, destacam-se:

- a. Em relação à resistência à tração na flexão, todas as quatro misturas atenderam as especificações da NBR 16426 (ABNT, 2015). Além disto, a adição de areia não alterou significativamente esta variável, apesar dos resultados apresentarem maior coeficiente de variação. Um fator que pode ter influenciado os resultados satisfatórios foi a aplicação de uma energia de compactação adequada que promoveu maior densificação da mistura e maior intertravamento dos agregados.
- b. O teor de ar presente nas misturas, foi uma propriedade que manifestou relação com a resistência do concreto no estado endurecido. Vale ressaltar que, mais importante que o consumo de cimento nas amostras, é a quantidade de teor de ar existente, visto que este, para uma mesma massa unitária de agregados, poderá decair a sua resistência.
- c. Além disso, frente ao desvio padrão dos resultados, não houve diferença entre as misturas com e sem areia quanto à porosidade efetiva, sendo apenas a permeabilidade a propriedade que houve decréscimo nas situações de mistura com a presença de agregado miúdo. Isso implica que a porosidade efetiva não seja um fator influenciado pela MU ou presença de areia para medir a percolação de água dos concretos permeáveis aqui estudados.
- d. A massa unitária apresentou influência nas propriedades que regem a porosidade, permeabilidade e resistência nos concretos permeáveis.

A proposta estudada corrobora nos estudos de parâmetros que influenciam o desempenho desse material, no caso os vazios iniciais dos agregados diante a variação do empacotamento. Foram alcançados resultados satisfatórios a partir do emprego de um agregado graúdo existente na região e sem apresentar a

necessidade do acréscimo de areia para desempenho satisfatório, poupando então a utilização desse recurso natural.

## 5 REFERÊNCIAS

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248:** Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 45:** Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003

\_\_\_\_\_. **NBR NM 45:** Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 52:** Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 53:** Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR 9833:** Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 16416:** Pavimentos permeáveis de Concreto – Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2015.

ACI 522R-10; Report on Pervious Concrete, American Concrete Institute. March. 2010.

BARNHOUSE et al.; Material characterization and hydraulic conductivity modeling. In: **Construction and Building Materials**. Vol. 110 p. 89–97. 2016.

CASTRO, J.; Estudio de dosificaciones en laboratorio para pavimentos porosos de hormigón. **Revista Ingeniería de Construcción** Vol. 24 No3, 2009.

HOLTZ, F. **Uso de concreto permeável na drenagem urbana: análise da viabilidade técnica e do impacto ambiental**. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Porto Alegre, 2011.

HUANG, et al.; Laboratory evaluation of permeability and strength of polymer- modified pervious concrete. In: **Construction and Building Materials**, 818–823, 2009.

JIMMA, B., E.; RANGARAJU, P., R.; Chemical admixtures dose optimization in pervious concrete paste selection – A statistical approach. **Construction and Building Materials**, 1047–1058, 2015.

Kevern JT. **Advancements in pervious concrete technology**. PhD thesis in Civil Engineering Materials, Iowa State University, Iowa; p. 118, 2008.

RANGELOV, M.; Quality evaluation tests for pervious concrete pavements' placement. In: **International Journal of Pavement Research and Technology**. Vol:10. 245– 253, 2017.

SUMANASOORIYA, MILANI S. AND NARAYANAN NEITHALATH. 2011. **“Pore structure features of pervious concretes proportioned for desired porosities and their performance prediction.”** Cement and Concrete Composites 33(8):778–87, 2011.

TORRES, et al.; The effect of the cementitious paste thickness on the performance of pervious concrete. **Construction and Building Materials**, 850–859, 2015.

XU, et al.; Investigation on the properties of porous concrete as road base material. **Construction and Building Materials**. Vol: 158. P. 141-148, 2018.