

# INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE CELULOSE NANOFIBRILADA NA ESPESSURA DA PASTA QUE ENVOLVE O AGREGADO DE UM CONCRETO PERMEÁVEL

**GARCIA, Hudson Balonecker (1); MARTINI, Sandro (2); SALVADOR, Renan Pícolo(3)**

(1) Mestrando em Engenharia Civil, Universidade São Judas Tadeu, engenheirohudson@gmail.com

(2) Departamento de Engenharia Civil, Universidade São Judas Tadeu, prof.martini@gmail.com

(3) Departamento de Engenharia Civil, Universidade São Judas Tadeu, renan.salvador@saojudas.br

**Resumo:** *O Pavimento de Concreto Permeável (PCP) é um pavimento permeável constituído por macro poros que permitem o escoamento das águas de chuva e a conduzem para o solo permeável ou para sistemas de reuso de água. Os PCP possuem baixa resistência mecânica à compressão e à tração, sendo que a espessura da pasta de cimento que envolve o agregado é um dos fatores que contribuem para a diminuição desta resistência, pois quanto menor esta espessura, menor a resistência do PCP. Uma das alternativas para controlar a espessura da pasta de cimento sobre o agregado, e melhorar a resistência mecânica do PCP é incorporar Celulose Nanofibrilada (CNF) à mistura. Este trabalho tem como objetivo estudar a influência da adição de CNF na mistura do PCP. Foi elaborada uma campanha experimental para investigar os efeitos da adição de CNF em concreto permeável, avaliando sua influência sobre a propriedade física e mecânica. Os resultados preliminares mostram que adição de 0,03% de CNF foi capaz de aumentar a resistência à compressão sem comprometer a permeabilidade do concreto permeável.*

**Palavras-chave:** *Concreto Permeável, Celulose Nanofibrilada, Espessura da Pasta*

**Área de Conhecimento:** *Engenharia Civil, Materiais de Construção, Pavimentação*

## 1 INTRODUÇÃO

O crescimento acelerado dos grandes centros urbanos traz consigo vários impactos ao ciclo hidrológico: modificação do meio ambiente com o desmatamento, a poluição, a impermeabilização do solo, a poluição e as políticas adotadas para a captação e tratamento dos esgotos[1]. Entre estes impactos destacam-se os causados pela impermeabilização do solo por meio dos pavimentos.

A inundação urbana ocorre quando existe a falta da capacidade de transporte dos sistemas fluviais e pluviais (rios, riachos, galerias pluviais) e saem do seu leito de escoamento ocupando áreas utilizadas pela popula o, tais como moradias, ruas, comércios, entre outros [2]. A impermeabiliza o do solo   um dos fatores que favorecem a inunda o urbana. Estas inunda es causam prejuízo aos cofres públicos. Em 2020 o Governo do Estado de São Paulo havia destinado mais de R\$1 bilhão para o combate a inunda es [3].

Além das enchentes, a impermeabiliza o do solo também causa a forma o de Ilhas de Calor Urbano (ICU). As edifica es e os pavimentos armazenam calor durante o dia e   noite esta energia armazenada   desprendida deixando o ambiente urbano mais quente. Como este fen meno só ocorre em áreas pavimentadas e impermeabilizadas ele ficou conhecido como ICU [4]. Nas áreas rurais a vegeta o e o solo ajudam a dissipar este calor ao longo do dia deixando as noites agradáveis.

Conforme a NBR 16416 [5], PCP são pavimentos formados por concreto com vazios interligados que permitem a percola o de água por a o da gravidade. Este material permite reduzir o escoamento superficial das águas de chuva, diminuindo o volume de água que causam enchentes. Seus poros podem acumular pequenas quantidades de água que evaporam durante   noite favorecendo a diminui o da temperatura e evitando a forma o das ICU [6–8].

### 1.1 Concreto Permeável

O Concreto Permeável (CPR)   um concreto com macro poros que permitem a passagem de  gua. O CPR   constituído normalmente por Cimento Portland, agregado graudo, pouco ou nenhum agregado miudo, água e em alguns casos aditivos. De acordo com a ACI 522-R [9], o CPR possui porosidade entre 15 a 35% e sua permeabilidade varia de 0,14 a 1,22 cm/s. O cimento utilizado para a confec o do CPR   o mesmo utilizado no Concreto Convencional, sendo permitida a inclusão de aditivos para melhorar a trabalhabilidade da pasta de cimento[10].

A fina pasta de cimento tem como fun o envolver os agregados e criar uma liga o entre eles como mostrado na Figura 1. Esta pasta não pode ser muito espessa, pois se o for, ela poderá cobrir os poros impedindo sua permeabilidade.

Figura 1. Diagrama esquemático da estrutura do CPR



Fonte: o autor

A relação água/cimento (a/c) em massa está entre 0,26 a 0,40 de acordo com a ACI 522-R [6,9,11]. Se o fator a/c do CPR for alto, a pasta fica muito fluida e pode escorrer para o fundo, cobrindo os poros, fenômeno este conhecido como segregação [10]. Isso impacta negativamente na sua principal característica, a permeabilidade. Um baixo fator a/c também é prejudicial, pois impede a distribuição uniforme da pasta no agregado, podendo causar a desagregação das britas do CPR [12].

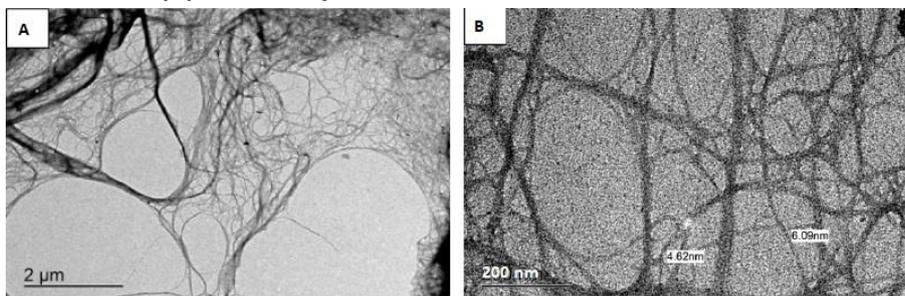
A espessura da pasta também influencia na resistência mecânica do CPR. O aumento da espessura da pasta aumenta a densidade da amostra, fazendo com que aumente sua resistência à compressão. Conforme Torres [13], para uma espessura de pasta envolvendo o agregado de 2,5 mm tem-se uma resistência à compressão de 4 MPa, enquanto que para uma espessura de 3,8 mm tem-se uma resistência à compressão de 13 MPa. Entretanto, o aumento da espessura da pasta influencia negativamente na permeabilidade. Nos mesmos estudos, para uma espessura de pasta envolvendo o agregado de 2,5 mm a permeabilidade é de 1,7 cm/s, e para uma espessura de 3,8 mm a permeabilidade é de 1,0 cm/s.

## 1.2 Celulose Nanofibrilada

A celulose, dentre os polímeros orgânicos, é o mais abundante no Planeta, com produção estimada em  $7,5 \times 10^5$  toneladas por ano [14]. Ela é um polissacarídeo com característica fibrosa, encontrada em uma ampla variedade de plantas e algas, podendo ser obtida, também, por meio de síntese bacteriana [15]. A fibra celulósica é composta por uma parede celular primária conhecida como lamela média. A parede celular das fibras é formada por micro fibrilas de celulose (CMF) e nano fibrilas de celulose (CNF) agregada [16].

O diâmetro da CNF está entre 4 nm [15] e 250 nm [17] e o seu comprimento entre 400  $\mu\text{m}$  e 800  $\mu\text{m}$  [18] (Figura 2). A composição química da CNF depende da espécie botânica que lhe deu origem. Além da espécie botânica, as condições climáticas, geográficas e a própria variedade da planta também influencia na sua composição química [19].

Figura 2. Microscopia Eletrônica de Transmissão de CNF. (A) Microscopia Eletrônica de Transmissão de CNF. (B) Microscopia Eletrônica de Transmissão de CNF de Eucalyptus



Fonte: (A) - [20] (B) - [15]

A adição de pequenas quantidades de nanocelulose em relação à massa de cimento altera o grau de hidratação do cimento [21]. O grau de hidratação é definido como a fração do cimento que reagiu totalmente com a água em relação à quantidade total de cimento na amostra [22]. Esta melhora no grau de hidratação do cimento confere a pasta um aumento na sua resistência e uma melhora na sua trabalhabilidade. Foi observado que adições inferiores a 0,2% de CNF à pasta de cimento aumentam significativamente sua resistência à compressão e a flexão [18].

Neste trabalho foi analisado a influência da adição de CNF em um concreto permeável. O objetivo foi verificar a alteração da espessura da pasta que envolve o agregado.

## 2 METODOLOGIA

O cimento utilizado neste trabalho foi o Cimento Portland V de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI) da empresa Liz Cimentos. De acordo com o fabricante, este cimento possui resistência à compressão aos 7 dias de 47,9 MPa, finura blaine de 507 m<sup>2</sup>/kg, tempo de início de pega de 113 min. e tempo de fim de pega de 148 min [23]. Foi verificada a densidade da pasta de cimento [26] a cada lote de cimento. A densidade da pasta de cimento do traço de referência é de 1.237,18 kg/m<sup>3</sup> e a densidade da pasta com a CNF é de 1.346,34 kg/m<sup>3</sup>. A brita utilizada é proveniente de uma mina de granito no interior de São Paulo. Para garantir a homogeneidade dos traços, foram realizados ensaios de granulometria [24] e massa específica do agregado [25] a cada 100 kg de brita. Conforme a ACI 522R-10 [9], os agregados para CPR devem ter granulometria única ou diâmetros entre 9,5 mm e 19 mm. Todo o material foi peneirado em agitador de peneira e para garantir a granulometria proposta em ACI 522R-10 [9], todo o material inferior a 9,5 mm ou superior a 19 mm foi descartado. A massa específica média do agregado é de 2,758 g/cm<sup>3</sup>. Para melhorar as condições de trabalhabilidade da pasta foi utilizado o Superplastificante ADVA CAST 525 da GCP Applied Technologies, cuja massa específica é de 1,04 g/cm<sup>3</sup>. O material, de cor alaranjada, é fornecido em galões de 5 L. A celulose nanofibrilada é proveniente da Polpa Kraft de Eucalipto da Suzano S.A., com concentração de 3% em relação a solução.

Foram confeccionados três traços de CPR, sendo um de referência e dois com adição de CNF. Em todos os traços, a relação água/cimento utilizado foi de 0,35 conforme proposto por Perialisi [10]. Inicialmente foi acrescentado nos três traços 0,4% de superplastificante (SP) em relação à massa de cimento conforme indicação do fabricante. Nos traços que continham CNF esta adição de SP fez com que a pasta escorresse e entupisse os poros do CPR. Foram moldados corpos de prova reduzindo em 0,05% a adição de SP da recomendada pelo fabricante até atingir condições de trabalhabilidade da mistura. Foi definido que a concentração ideal de SP é de 0,2% para que não haja o escorrimento da pasta ocasionando o entupimento dos poros. As adições de CNF foram de 0,03% e 0,05% da massa de cimento. Como o produto utilizado é uma concentração de 3% de CNF na solução, foram feitas correções de água para cada traço.

O traço adotado em massa para referência foi 1:4:0,35:0,2 (cimento : brita : água/cimento : SP); e os traços usados com CNF foram 1:4:0,35:0,2:0,03 e 1:4:0,35:0,2:0,05 (cimento : brita : água/cimento : SP : CNF)

Devido a inexistência de material normativo, tanto nacional quanto internacional, que defina o procedimento para determinar a espessura da pasta que envolve o agregado, utilizou-se o processo definido por Xie *et al* [12]. Neste processo é colocado o CPR fresco em uma peneira, cuja abertura é um número imediatamente inferior ao menor diâmetro da brita utilizada juntamente com o fundo. É verificada a massa retida no fundo da peneira em 3 estágios: no primeiro a peneira com o fundo é deixada em repouso por 2 minutos e verifica a massa retida no fundo devido ao escorrimento da pasta; no segundo é colocado novo fundo e é levado a peneira com o fundo para a mesa de fluidez e é aplicado um golpe da mesa, verificado a massa de pasta que ficou retida devido no fundo e no terceiro é repetido o processo anterior onde são aplicados 2 golpes (1 golpe por segundo). Com o auxílio da Equação 1 é calculada a espessura média de pasta que envolve o agregado.

$$e_{pc} = \frac{m_p}{m_a \cdot S_a \cdot \rho_p} \quad , \quad (\text{Eq.1})$$

sendo:  $e_{pc}$  = espessura da pasta que envolve o agregado

$m_p$  = massa de pasta que fica retida no fundo da peneira

$m_a$  = é a massa do agregado utilizada para realizar o ensaio

$S_a$  = é a área específica do agregado

$\rho_p$  = é a densidade da pasta de cimento

Foram moldados corpos de prova (cp) cilíndricos de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura e utilizando um permeâmetro de carga variável (Figura 3) confeccionado conforme [27]. Foi verificada a permeabilidade dos cps para cada traço fabricado, tendo sido fabricado sete cps para cada traço.

Figura 3. Permeâmetro utilizado nos ensaios



Fonte: O autor

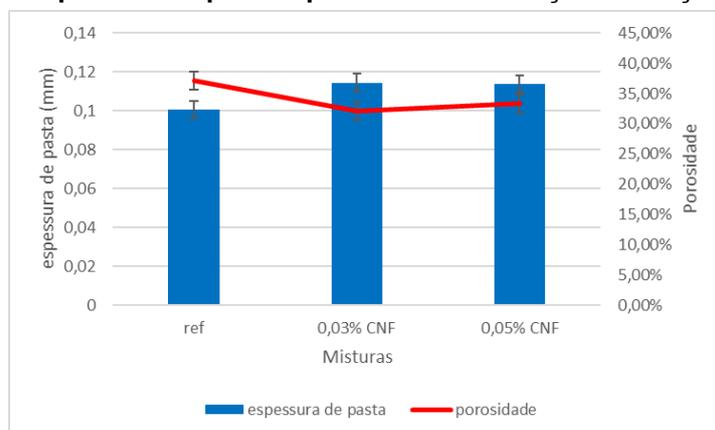
Foram tomados 3 cps de cada traço e utilizando o procedimento descrito pela ASTM C1754/C1754M[28] para obter a porosidade de cada cp.

Foi verificado, também, a resistência à compressão conforme procedimento descrito pela NBR 5739[29]. A verificação foi realizada em 7 cps de cada traço com idade de 14 dias.

### 3 RESULTADOS

A Figura 4 mostra os valores obtidos da espessura da pasta em função da adição de CNF. A espessura da pasta que envolve o agregado na referência apresentou um valor médio de 0,100 mm, enquanto a espessura na mistura com 0,03% de CNF foi de 0,114 mm e na mistura com 0,05% de CNF foi de 0,113 mm. Os resultados da porosidade também estão apresentados no Figura 4. Observa-se que a porosidade dos cps de CPR com adição de CNF permaneceu com um valor de 32,03% para adição de 0,03% de CNF e de 33,33% para adição de 0,05% de CNF, enquanto a porosidade dos cps sem a adição de CNF obteve um valor de 37,09% de porosidade. Os resultados indicam que a incorporação de baixos teores de CNF em relação à massa de cimento alterou o grau de hidratação do cimento, promovendo uma alteração na espessura da pasta que envolve o agregado e da porosidade.

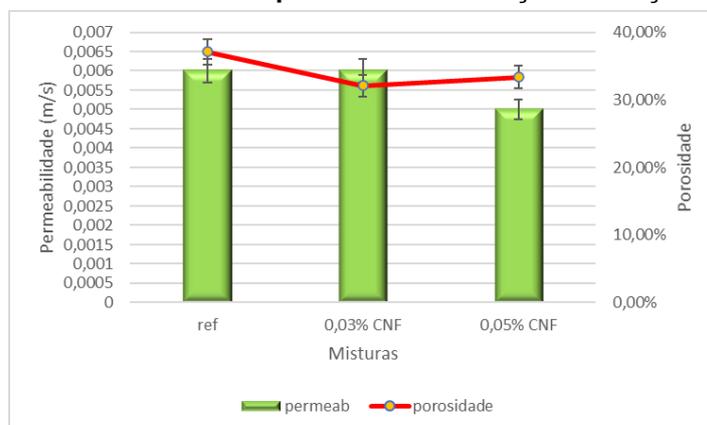
**Figura 4. Espessura de pasta e porosidade em função da adição de CNF.**



Fonte: O autor

A Figura 5 apresenta os resultados do ensaio de permeabilidade. Conforme a NBR 16416 [5] a permeabilidade do CPR deve ser maior que 0,001 m/s. Os resultados obtidos mostram que todos os corpos-de-prova ensaiados obtiveram permeabilidade maior que a recomendada pela referida norma, sendo que a permeabilidade dos corpos-de-prova de referência obteve um resultado médio igual aos dos cps com adição de 0,03% de CNF, que foi de 0,006 m/s, enquanto os cps com adição de 0,05% de CNF obtiveram uma permeabilidade de 0,005 m/s.

**Figura 5. Permeabilidade e porosidade em função da adição de CNF.**

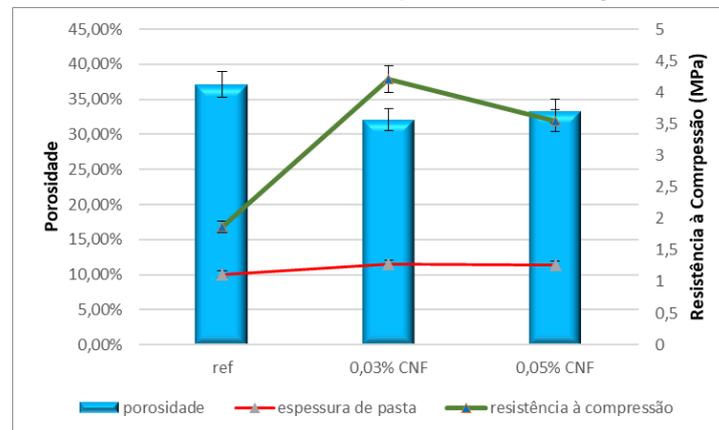


Fonte: O autor

A Figura 6 mostra os resultados do ensaio de resistência à compressão realizado com 14 dias após a moldagem dos corpos-de-prova. Observa-se que a mistura com adição de 0,03% de CNF obteve o melhor

resultado médio com uma resistência igual a 4,21 MPa, enquanto a mistura com adição de 0,05% de CNF obteve um resultado médio de 3,55 MPa e a referência obteve um resultado médio de 1,87 MPa.

Figura 6. Porosidade e Resistência à compressão em função da adição de CNF



Fonte: O autor

Cabe ainda destacar que adição do (SP) garantiu uma dispersão melhor das partículas do cimento, causando uma queda brusca na tensão de escoamento da pasta e a CNF, como material hidrofílico, conseguiu que a pasta não escorresse, permitindo uma melhor hidratação do cimento e, conseqüentemente, aumentando sua resistência à compressão, sem a perda da permeabilidade.

#### 4 CONCLUSÃO

Neste estudo foram realizados ensaios experimentais para verificar a influência da adição da CNF na espessura da pasta que envolve o agregado de CPR. Os resultados mostraram que pequenas adições de CNF foram capazes de alterar a espessura da pasta. Além disso os efeitos combinados da CNF e do SP promoveram uma redução da porosidade e, conseqüentemente, um aumento da resistência à compressão, mas sem afetar negativamente a permeabilidade do CPR. Esses resultados mostram que a utilização da CNF pode ser método eficiente para a utilização do CPR em diversas situações que se exigem maiores resistências à compressão.

#### 5 BIBLIOGRAFIA

- [1] CORTE, Ariéli Corrêa dalla. **Balço Hídrico em Bacia Urbana**. 2015. 88 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.
- [2] TUCCI, Carlos. Gerenciamento integrado das inundações urbanas no Brasil. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 59-73, 2004. Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH. <http://dx.doi.org/10.21168/reg.v1n1.p59-73>.
- [3] SÃO PAULO. Governo do Estado de São Paulo. Secretaria da Fazenda e Planejamento (org.). **Relatório Anual do Governo do Estado: exercício 2019**. Exercício 2019. 2020. Disponível em: <https://portal.fazenda.sp.gov.br/acessoinformacao/Paginas/Relat%C3%B3rio-Anual-do-Governo-do-Estado.aspx>. Acesso em: 15 maio 2021.
- [4] SILVA, Ingrid Almeida da; SANTOS, Joel Silva dos; VIEIRA, Maria de Lourdes S.. Análise das ilhas de calor em um campus universitário no Litoral Norte da Paraíba. **Revista de Geociências do Nordeste**, João Pessoa, v. 2, n. , p. 469-479, 2016.
- [5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16416: Pavimentos de concreto permeáveis**. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2015. 25 p..
- [6] BALBO, José Tadeu. **Pavimentos de concreto permeáveis: uma visão ambiental da tecnologia sustentável emergente**. São Paulo: Oficina de Textos, 2020..
- [7] VIRGILLIS, Afonso Luís Corrêa de. **Procedimentos de Projeto e Execução de Pavimentos Permeáveis visando retenção e amortecimento de picos de cheias**. 2009. 191 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Transportes, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009..
- [8] XIE, Ning; AKIN, Michelle; SHI, Xianming. Permeable concrete pavements: a review of environmental benefits and durability. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 210, p. 1605-1621, fev. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.134>.
- [9] AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 522R-10: Report on Pervious Concrete**. Michigan: ACI, 2010. 42 p.

- [10] PIERALISI, Ricardo. **Characterization and modelling of pervious concrete**. 2016. 176 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia, Departament D'enginyeria de La Construcció, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 2016.
- [11] BATEZINI, Rafael. **Estudo Preliminar de Concretos Permeáveis como Revestimento de Pavimentos para Áreas de Veículos Leves**. 2013. 133 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Transportes, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013..
- [12] XIE, Xiaogeng 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**, [S.L.], v. 168, p. 732-746, abr. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.02.128>.
- [13] TORRES, Anthony; HU, Jiong; RAMOS, Amy. The effect of the cementitious paste thickness on the performance of pervious concrete. **Construction And Building Materials**, [S.L.], v. 95, p. 850-859, out. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.07.187>.
- [14] DAMASIO, Renato Augusto Pereira. **Caracterização E Aplicações De Celuloses Nanofibrilada (CNF) e Nanocristalina (CNC)**. 2015. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015.
- [15] MAGALHÃES, Washington Luiz Esteves *et al.* **Produção de nanofibrilas de celulose por desfibrilação mecânica em moinho coloidal**. Colombo: Embrapa, 2017. 5 p.
- [16] CORREIA, Viviane da Costa. **Produção de celulose nanofibrilada a partir de polpa organossole de bambu para nanoreforço de compósitos cimentícios**. 2015. 166 f. Tese (Doutorado) - Curso de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2015.
- [17] ARDANUY, Monica *et al.* Nanofibrillated Cellulose As Reinforcement For High Performance Cement Mortar Composites. **15Th European Conference On Composite Materials**, Veneza, v. 15, p. 1-6, jul. 2012.
- [18] JIAO, Li *et al.* Natural Cellulose Nanofibers As Sustainable Enhancers in Construction Cement. **Plos One**, [S.L.], v. 11, n. 12, p. 1-13, 22 dez. 2016. Public Library of Science (PLoS). <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0168422>.
- [19] YAN, Libo *et al.* A review of recent research on the use of cellulosic fibres, their fibre fabric reinforced cementitious, geo-polymer and polymer composites in civil engineering. **Composites Part B: Engineering**, [S.L.], v. 92, p. 94-132, maio 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.02.002>.
- [20] POTULSKI, Daniele Cristina *et al.* Caracterização de nanofilmes de celulose nanofibrilada obtida em diferentes consistências. **Scientia Forestalis**, [S.L.], v. 44, n. 110, p. 361-372, 1 jun. 2016. Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais (IPEF). <http://dx.doi.org/10.18671/scifor.v44n110.09>.
- [21] CAO, Yizheng et al. The influence of cellulose nanocrystal additions on the performance of cement paste. **Cement And Concrete Composites**, [S.L.], v. 56, p. 73-83, fev. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2014.11.008>.
- [22] FAGERLUND, Göran. Chemically bound water as measure of degree of hydration: method and potential errors. **TVBM**, Lund, v. 3150, p. 1-27, 2009..
- [23] LIZ CIMENTOS. **Características do cimento**. 2019. Disponível em: <http://www.cimentosliz.com.br/cimento/ensaioCimento>. Acesso em: 01 out. 2020.
- [24] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003. 6 p.
- [25] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16917**: Agregado graúdo - Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2021. 6 p.
- [26] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13278**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro: ABNT, 2005. 4 p.
- [27] OLEK, Jan et al. Development Of Quiet And Durable Porous Portland Cement Concrete Paving Materials. **Transportation Research Board**, West Lafayette, p. 2-179, set. 2003.
- [28] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C1754/C1754-M**: Standard Test Method for Density and Void Content of Hardened Pervious Concrete. West Conshohocken: Astm, 2018. 13 p.
- [29] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto — Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018. 9 p.