

PNEUS INSERVÍVEIS EM CONCRETO PERMEÁVEL PARA A SUSTENTABILIDADE HÍDRICA

Data de submissão: 28/04/2023

Data de aceite: 02/06/2023

Giovanna Fávero de Almeida

Universidade São Francisco,
Departamento de Engenharia Civil
Bragança Paulista – São Paulo
<https://lattes.cnpq.br/8423991767562470>

Estephane Caroline Silva Santos

Universidade São Francisco,
Departamento de Engenharia Civil
Bragança Paulista – São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/1871468073142343>

Cristina das Graças Fassina

Universidade São Francisco,
Departamento de Engenharia Civil
Bragança Paulista – São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/3593793991674607>

Hélio França Junior

Universidade São Francisco,
Departamento de Engenharia Civil
Bragança Paulista – São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/4075436831455801>

Renata Lima Moretto

Universidade São Francisco,
Departamento de Engenharia Civil
Campinas – São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/9818772550330671>
<https://orcid.org/0000-0001-7431-1651>

RESUMO: O crescimento desordenado das áreas urbanas reflete no aumento das áreas pavimentadas, construídas e na diminuição da sua permeabilidade. Nesse cenário, torna-se um desafio adequar o progresso com a preservação do meio ambiente. Dentre os principais problemas de regiões habitadas, está a ocorrência de enchentes, porém não são efeito apenas da falta de superfície permeável, pois o descarte incorreto de dejetos também pode ser um dos fatores que agravam o problema ambiental, como é o caso do alto índice de descarte inadequado de pneus inservíveis no Brasil. Esse trabalho tem como objetivo avaliar as características de permeabilidade, morfologia e resistência mecânica da incorporação de pneus inservíveis em concreto permeável, visando a sua aplicação em pavimentação de baixo impacto. Foram realizados o levantamento bibliográfico a respeito do tema e o desenvolvimento experimental de concreto permeável com a incorporação de diferentes proporções de pneu inservível. A avaliação da viabilidade técnica se deu por meio de ensaios de resistência à compressão e ensaio de permeabilidade. Os resultados indicaram

PALAVRAS-CHAVE: Concreto Permeável.

UNUSABLE TIRES IN PERMEABLE CONCRETE TO THE WATER RESOURCES SUSTAINABILITY

ABSTRACT: The disorderly growth of urban areas is reflected in the increase in paved and built areas and in the decrease of their permeability. In this scenario, it becomes a challenge to match progress with the preservation of the environment. Among the main problems in inhabited regions is the occurrence of floods, but they are not just an effect of the lack of permeable surface, since the incorrect disposal of waste can also be one of the factors that aggravate the environmental problem, as is the case of the high index of improper disposal of waste tires in Brazil. This work aims to evaluate the technical feasibility of incorporating waste tires into permeable concrete, aiming at producing a permeable paving to be used in low-traffic areas, as a sustainable action. A bibliographic survey was carried out on the subject and the experimental development of pervious concrete with the incorporation of different proportions of waste tire. The evaluation of the technical viability took place through compressive strength tests and permeability tests. The results indicated

KEYWORDS: Permeable Concrete. Urban Drainage. Civil Engineering. Permeable Pavemente. Urban Sustainability.

1 | INTRODUÇÃO

A impermeabilização do solo tem crescido de forma intensa em decorrência do crescimento urbano desordenado. Segundo Tucci (2008, apud RAMOS, 2018), a falta de planejamento adequado e de fiscalização contínua intensifica tais problemas.

A impermeabilização proporciona um forte impacto negativo ao solo, uma vez que acaba com quase todas as suas funções naturais. Sendo assim, o solo vem sendo impedido de infiltrar as águas pluviais e isso acontece, devido à utilização de materiais impermeáveis, como as lajotas de basalto, concreto asfáltico e construções (RAMOS, 2018). Além das complicações na drenagem dos resíduos, a impermeabilização do solo gera um impacto hidrológico, pois influencia na movimentação do fluxo de água na bacia e causa uma diminuição do nível do lençol freático (RAMOS, 2018).

Segundo Tucci (2008), o desenvolvimento urbano aumentou especialmente na metade do século XX a fim de garantir as necessidades da população frente a problemas econômicos e sociais, o que produziu competição pelos recursos naturais e assim, boa parte da biodiversidade natural foi sendo destruída.

Hoje, os frequentes acontecimentos de enchentes devido à impermeabilização do solo são consequência do entendimento errôneo de gestão, desde muitos anos atrás. Até o século XX, a “gestão” das águas residuárias urbanas era basicamente com o uso de fossas, sem tratamento.

De acordo com Tucci (2008), pode-se identificar diferentes fases do desenvolvimento das águas urbanas, sendo elas, a pré-higienista, até início do século XX, com grande

número de doenças, epidemias e inundações; a higienista, antes de 1970, com transporte de esgoto distante das pessoas, mas com rios contaminados e inundações; a corretiva, entre 1970 e 1990, com tratamento de esgoto, buscando a recuperação dos rios e; a fase atual, pós 1990, buscando o tratamento terciário e escoamento pluvial, com foco na conservação ambiental e redução de inundações e melhoria da qualidade de vida.

Atualmente, as regiões metropolitanas já passaram por um processo de adequação e boa parte dos problemas hidráulicos foram resolvidos ou estão em andamento. Entretanto, muitos problemas estão se repetindo nas cidades de médio porte, o que mostra que mesmo com a melhoria apresentada ainda há problemas hidráulicos, sobretudo, as enchentes. Tucci (2008) afirma que, “a base desse desenvolvimento no uso do solo é a implementação da urbanização, preservando os caminhos naturais do escoamento e priorizando a infiltração”.

O concreto permeável é um revestimento com alta capacidade de permeabilidade por conta de sua estrutura porosa. De acordo com Silva (2019), ele garante infiltração total ou parcial da água proveniente de precipitações devido às suas características, e por isso aparece como uma maneira para mitigar enchentes, de modo a favorecer a percolação da água. Botteon (2017) afirma que, o concreto permeável apresenta um alto índice de vazios devido à combinação entre o aglomerante, o agregado graúdo e a água, preparado com pouco ou nenhum agregado miúdo. A restrição do agregado miúdo no traço do concreto causa poros interconectados que facilitam a infiltração de água em seu material.

Os primeiros registros da utilização de concreto permeável foram encontrados na década de 30 no Reino Unido, e de acordo com Botteon (2017), apenas na década de 40 que essa técnica ganhou força, especialmente por conta da utilização no sistema “Wimpey no-fines house”. Esse método construtivo utilizava um concreto com uma quantidade muito pequena de areia e de agregados finos/miúdos.

No Brasil, o uso do concreto permeável teve seus primeiros registros em aeroportos, em meados de 1980 como revestimento asfáltico e logo em seguida como revestimento asfáltico drenante. Segundo Oliveira (2003 apud BOTTEON, 2017), nas rodovias, o uso iniciou em 1992, na Rodovia dos Bandeirantes, em São Paulo, e logo em seguida em 1997 foi utilizado na via marginal da Rodovia Presidente Dutra como revestimento asfáltico. O uso envolvendo a drenagem foi exclusivamente no ano de 2000.

A utilização de um índice menor de agregados miúdos na composição do concreto permeável pode interferir em sua resistência, e por esse motivo, Holtz (2011), afirma que, na maioria dos casos, a utilização do revestimento é indicada para áreas com tráfego leve ou pouco intenso.

Uma atenção especial deve ser dada ao solo que irá receber o revestimento, pois não se pode simplesmente aplicá-lo e esperar respostas extremamente positivas se não houver uma análise da capacidade de infiltração do solo. Holtz (2011), afirma que a real absorção é dada pelo solo, que deve contribuir para a percolação efetiva da água.

A utilização desse revestimento apresenta vantagens econômicas e de uso. Segundo

Botteon (2017), o concreto permeável “pode ser utilizado como alternativa aos sistemas de drenagem complexos e áreas de retenção de água, sendo uma alternativa econômica, viável e ecologicamente correta para áreas urbanas”. Holtz (2011), afirma que, por conta da baixa densidade, esse revestimento pode ser executado in loco e assim, evitam-se gastos elevados com transporte.

O pneu é um item muito utilizado atualmente já que compõe de forma essencial os processos de transporte. Porém, no Brasil esse material é descartado incorretamente, na mesma proporção que é usufruído e demoram anos para se decomporem no meio ambiente. Segundo Bertollo (2002), quando ocorrem as chuvas, o pneu acaba acumulando a água e com isso tem a possibilidade que o ambiente proporcione a proliferação de mosquitos, roedores e outros vetores de doenças.

O descarte dos pneus não é um problema apenas pela borracha que os compõem, mas envolve também uma dificuldade em destinar todos os materiais que fazem parte da estrutura dos pneus assim como mostra a Tabela 1, e por isso é tão complexo garantir uma disposição final para esse produto.

ELEMENTO	DESCRIÇÃO
Carcaça	Parte resistente do pneu que deve resistir à pressão, peso e choques. Compõe-se de lonas de poliéster, nylon ou aço
Talões	Constituem-se internamente de arames de aço de grande resistência, tendo por finalidade manter o pneu fixado ao aro da roda
Flancos	São as laterais da carcaça. Sendo revestidos por uma mistura de borracha com alto grau de flexibilidade e alta resistência à fadiga
Cintura	Compreende o feixe de cintas (lonas estabilizadoras) que são dimensionadas para suportar cargas em movimento
Banda de Rodagem	Parte do pneu que fica em contato direto com o solo

TABELA 01 – Partes constituintes do pneu

Fonte: Rodrigues (2008).

Rodrigues (2008), afirma que “para que possamos realmente resolver a questão, temos que mudar a ótica de destinação final adequada para melhor tecnologia de tratamento disponível, ambientalmente segura e economicamente viável para os pneus inservíveis”.

Diante disso, segundo Rodrigues (2008), 29 a Resolução SMA/SS-1, publicada no Diário Oficial do Estado de São Paulo, na data 5 de março de 2002, garante novas normas para a destinação final ambientalmente apropriada de pneus em aterros sanitários. A autora ainda afirma que os pneus inservíveis, quando depositados em aterros sanitários, devem ser triturados e misturados com resíduos domiciliares para garantir que após serem aterrados, não interfiram na desestabilização dos aterros sanitários.

Contudo, observa-se ainda que é necessário o aperfeiçoamento nas leis e nas normas existentes, além de uma garantia melhor na fiscalização por parte das autoridades, já que cada vez mais fica evidente os impactos negativos que o homem provoca na

natureza, causados pela poluição, destruição de habitats, e principalmente pelo acúmulo de resíduos sólidos, como por exemplo os pneus inservíveis.

Como a reciclagem da borracha é consideravelmente improvável atualmente, seria muito interessante se o pneu passasse a ser tratado corretamente quando considerado inservível. Rodrigues (2008) afirma que, “se admitirmos que a melhor solução consiste em dar tratamento ao resíduo e não simplesmente a sua “destinação final adequada”, teremos um maior ganho ambiental para a sociedade e uma série de utilidades para as carcaças de pneus”.

Por isso, tendo em vista a dificuldade em conseguir reciclar de modo ambientalmente seguro o pneu, atualmente é sugerido como alternativa o tratamento desse resíduo através do reuso ou da inserção do material na construção civil. Além disso, o pneu também pode ser utilizado, segundo Rodrigues (2008), como matéria prima na fabricação de brinquedos de playground, na contenção de encostas e, em projetos de aterros sanitários que utilizam a estabilização da manta impermeável com pneus amarrados.

Segundo Rodrigues (2008), o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) a resolução nº 258, reforça a obrigatoriedade de um destino adequado para os pneus. Segundo a autora, a resolução entende como pneu, “todo artefato, inflável, constituído basicamente por borracha e materiais de reforço utilizados para rodagem em veículos.”

Cada vez mais os fabricantes têm investido em recursos tecnológicos para garantir uma durabilidade maior dos pneus. Segundo Bertollo (2002), um dos processos de reutilização do pneu é a recauchutagem, que se troca a banda de rodagem desgastada por uma nova camada de borracha, sendo assim aproveita-se a carcaça por mais duas vezes. Porém, se a carcaça do pneu não estiver em condições de reciclagem a recauchutagem não pode ser feita, surgindo assim os pneus inservíveis.

Segundo Bertollo (2002), a engenharia civil traz projetos que envolvem a utilização do pneu, e garante soluções que na maioria das vezes são de custos baixos. Alguns exemplos do uso do pneu na engenharia civil são: aplicação em obras de contenções nas margens de rios, construção de parques infantis, barreiras em acostamento e uso em obras de contenções.

No Brasil, entretanto, a tecnologia ainda está em análise e em estudo, mas o uso dos pneus na pavimentação seria interessante, visto que o país possui um número considerável de rodovias pavimentadas. Desse modo, é importante avaliar a alternativa dessa inserção, visto que se deve levar em conta também o problema ambiental que estaria sendo minimizado. De acordo com Ballié e Roffé (2000, apud BERTOLLO, 2002), os revestimentos asfálticos com adição de borracha também podem garantir uma melhora nas condições de circulação, pois tendem a diminuir os riscos de derrapagem no caso de pista molhada, e são capazes de diminuir os ruídos causados no contato do pneu dos carros com o pavimento.

Existem dois processos para a inserção da borracha no asfalto, sendo eles chamados

de “processo úmido” e “processo seco”. De acordo com Bertollo (2002), no processo úmido, o cimento asfáltico aquecido recebe partículas finas de borracha, e assim é produzido um ligante denominado “asfalto-borracha”. De modo geral, o asfalto obtido a partir do processo úmido tem seu uso aconselhado apenas para selagem de trincas e juntas ou quando for necessário um reforço. Sobre o processo seco, é obtido um asfalto modificado com adição de borracha. Segundo Bertollo (2002), nesse caso, os agregados pétreos que compõem o pavimento são substituídos por partículas maiores de borracha e a resposta da interação com a incorporação do ligante asfáltico é um asfalto conhecido como “concreto asfáltico modificado com adição de borracha”

Do ponto de vista de Bertollo (2002, p. 91), o método mais indicado para o Brasil seria pelo processo seco, já que se adequa melhor ao contexto brasileiro, especialmente por conta de se adaptar com mais facilidade às usinas além de exigir maior consumo de pneus. A autora ainda afirma que:

No Brasil, a necessidade de estudos complementares, para um melhor entendimento dos efeitos dos fatores intervenientes sobre as propriedades de engenharia das misturas asfálticas com adição de borracha de pneus usados, ganha ainda maior importância em razão de termos diferentes materiais (agregados pétreos e ligantes asfálticos), técnicas e cuidados construtivos e condições climáticas quando comparado com as condições que prevalecem nos Estados Unidos e Europa. (BERTOLLO, 2002, p. 92).

Esse trabalho tem como principal objetivo avaliar as características de permeabilidade, morfologia e resistência mecânica da incorporação de pneus inservíveis em concreto permeável, visando a sua aplicação em pavimentação de baixo impacto.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

O primeiro ensaio realizado foi o de granulometria do pneu e da brita. Foi essencial fazer esse ensaio para que fosse possível comparar a curva granulométrica de ambos os agregados. No caso do pneu, foi utilizado 1kg de material, que passou por um processo de separação em peneiras vibratórias. Foram utilizadas peneiras de 19, 9,5, 4,75, 2,36, 1,18 e 600 μ (mm) e as porções retidas em cada peneira foram pesadas e reservadas. Para o ensaio com a brita, foi utilizado 1kg de material, entretanto, as peneiras usadas foram de 9,5, 6,3, 4,75, 2,36 e 1,18mm, e foi realizado em peneiras vibratórias. As porções retidas em cada peneira foram pesadas e reservadas. Importante ressaltar que os ensaios foram realizados com base na ABNT NBR 7217:1987, e com os dados obtidos, foram formados os gráficos para a curva granulométrica do pneu e da brita.

Visando avaliar as características físicas e mecânicas do concreto permeável com adição de pneu, foi necessário inicialmente produzir os corpos de prova. Sendo assim, tendo como base a bibliografia estudada, foram definidos os traços dos concretos a serem produzidos e a partir da NBR 5735/91 e NBR 7225/93 (que tratam do Cimento Portland de

Alto-forno e dos Materiais de Pedra e Agregados Naturais, respectivamente) os agregados foram selecionados. Para confeccionar os corpos de prova utilizou-se como parâmetro a NBR 5738/03 que regulamenta sobre a Moldagem e Cura de Corpos-de-prova Cilíndricos ou Prismáticos de Concreto. Com relação aos materiais utilizados foram: Brita zero, água, cimento Portland CII, aditivo plastificante e pneu triturado.

Foram produzidos dezoito corpos de prova de 10x20cm de acordo com o traço 1:0:2,85 (sendo a proporção de cimento, areia e brita, respectivamente). No traço 1 não foi adicionada nenhuma quantidade de pneu, no traço 2 foi adicionado 7,5% de pneu e no traço 3, foi adicionado 10% de pneu, conforme indicados na Tabela 02. Importante ressaltar que a porcentagem de pneu é proporcional à quantidade de cimento no traço e o aditivo utilizado é do tipo plastificante.

Traço	Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita (kg)	Água (l)	Pneu (g)	Aditivo (ml)
1	1,875	0	5,350	0,525	0	1,687
2	1,875	0	5,350	0,525	93,750	1,687
3	1,875	0	5,350	0,525	140,000	1,687

Tabela 02 - Traços desenvolvidos na moldagem dos corpos de prova analisados

Fonte: Autores (2022).

Após a moldagem dos corpos de prova, foram reservados por dois dias e no terceiro dia depois da confecção, colocados em cura úmida, que permaneceram por três dias. A partir disso, foi realizado o ensaio de compressão considerando 14 e 28 dias de idade, embasado na NBR 5739/07 que regulamenta sobre Ensaio de Compressão de Corpos-de-prova Cilíndricos.

Para avaliar a porosidade e a permeabilidade do concreto produzido foi realizado um ensaio adaptado pela NBR 9778:2005 que regulamenta sobre a Determinação da Absorção de Água, Índice de Vazios e Massa Específica. Os corpos de prova foram deixados por 72 horas em estufa a 80°C, antes da execução do ensaio, visando obter a melhor condição seca do material. Para o teste, em um balde contendo 4 litros de água, os corpos de prova de dimensões 10x20cm foram inseridos e ficaram submersos durante 20 minutos. Após esse tempo, mediu-se o volume de água com o corpo de prova. Logo após, foi obtido o volume do sólido que basicamente é a soma do volume de água com o volume do corpo de prova subtraído ao volume de água inicial. Com isso, calculou-se o volume de vazios, e a porosidade.

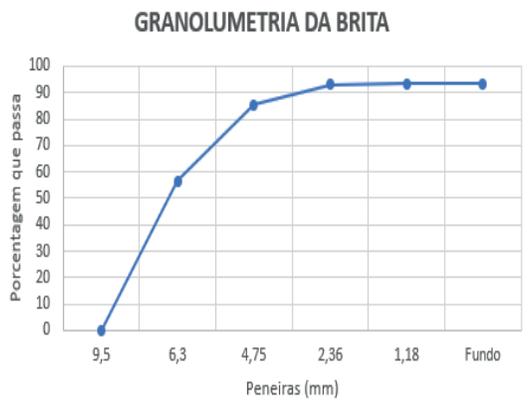
3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com o ensaio de granulometria dos agregados realizados, foi possível observar uma certa semelhança entre a curva granulométrica da brita com a do pneu, o que

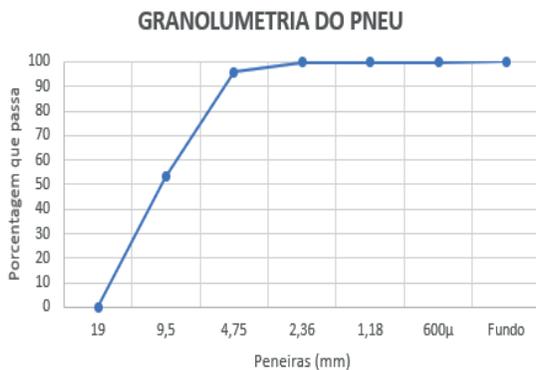
indica que a interação dos agregados com compõem o concreto, pode ser favorável com o pneu, assim como é com a brita, conforme indicam Figura 1:

Ao comparar os resultados obtidos durante os ensaios de compressão com os doze corpos de prova avaliados, constata-se que o melhor resultado encontrado foi no concreto com 7,5% de adição de pneu, visto que as maiores resistências foram observadas nesse traço tanto com 14 dias quanto com 28 dias de idade, a qual praticamente dobrou ao longo do tempo.

No concreto com 10% observou-se uma queda quando comparada ao traço de 7,5% de adição de pneu com a mesma idade, ficando por volta de 15,63% aos 14 dias e 14,43% aos 28 dias de idade.



(a)

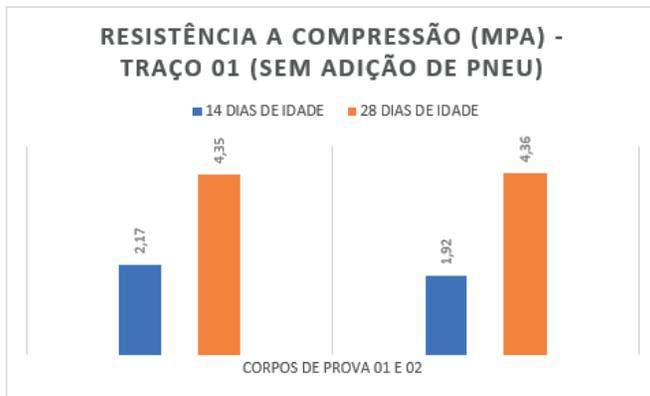


b)

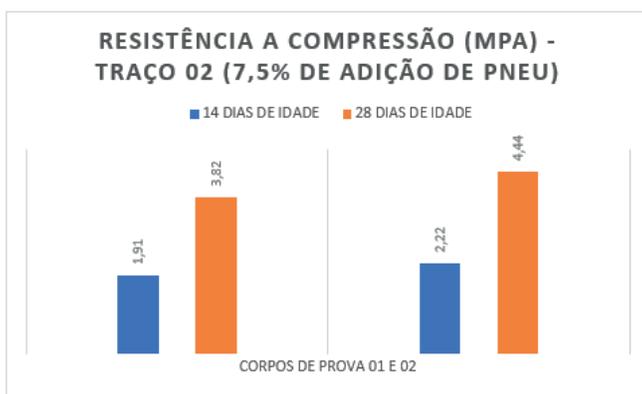
Figura 1 – Granulometria: a) Brita; b) Pneu.

Fonte: Autores, 2022.

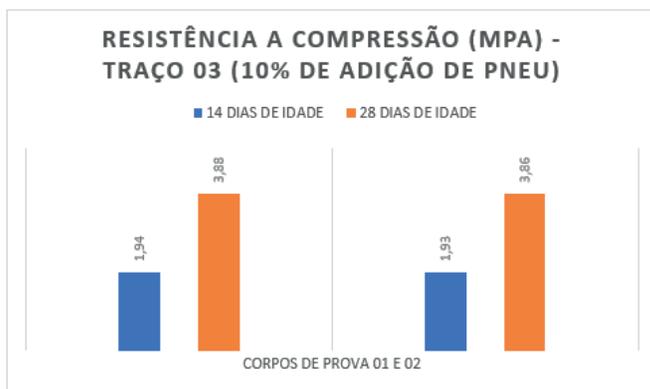
Os resultados podem ser avaliados conforme a Figura 2.



a)



b)



c)

Figura 2 - Resistência à compressão em MPa conforme a idade e o traço de cada corpo de prova: a) Traço 01 (sem adição de pneu); b) Traço 02 (com adição de 7,5% pneu); c) Traço 03 (com adição de 10% pneu)

Fonte: Autores, 2022

Analisando a questão da interferência do pneu na resistência à compressão do concreto permeável, entende-se que do primeiro para o segundo traço aos 14 dias de idade, houve praticamente os mesmos resultados, porém, é possível avaliar uma diminuição de aproximadamente 29% na resistência entre a incorporação de 7,5% para 10%. Com 28 dias de idade, os maiores resultados obtidos foram sem a incorporação de pneu, mas, do primeiro para o segundo traço, a queda ficou por volta dos 54%, enquanto do segundo para o terceiro traço, a queda avaliada foi de aproximadamente 56%. Assim como no concreto convencional, no concreto permeável com a inserção de pneu, houve um aumento das resistências à compressão conforme o tempo, sendo essa uma resposta positiva.

Para avaliar a porosidade do concreto confeccionado, foi adaptado o ensaio segundo a norma vigente, conforme o seguinte memorial de cálculos:

a) Volume sem o corpo de prova (VI):

Em um balde graduado de 25cm de diâmetro, foi adicionado 4 litros de água e a altura d'água observada foi de 11 cm. Com isso, foi calculado o volume sem o corpo de prova:

$$V = \pi * r^2 * h \rightarrow VI = 3,14 * 12,5^2 * 11 \rightarrow VI = 5,39L$$

b) Volume com o corpo de prova após 20 minutos (VF):

Cada corpo de prova ficou submerso por 20 minutos em cada balde, e após esse tempo, foi medida a diferença na altura d'água indicada no balde graduado. Analisou um aumento de 3 centímetros na altura d'água. Sendo assim, foi calculado o volume com o corpo de prova após o tempo de imersão:

$$V = \pi * r^2 * h \rightarrow VF = 3,14 * 12,5^2 * 14 \rightarrow VF = 6,86L$$

c) Volume do sólido (VS):

Para conseguir calcular o volume de vazios no ítem “e” é necessário calcular o volume do sólido, que é dado pela diferença entre os volumes medidos com e sem o corpo de prova.

$$VS = VF - VI \rightarrow VS = 6,86 - 5,39 \rightarrow VS = 1,47 L$$

d) Volume do molde (VM):

Como foram utilizados corpos de prova de 10cm de diâmetro por 20cm de altura, é necessário calcular o volume do molde para também aplicar na fórmula do volume de vazios do ítem “e”.

$$VM = \pi * r^2 * h \rightarrow VM = 3,14 * 5^2 * 20 \rightarrow VM = 1,57L$$

e) Volume de vazios (VV):

Para o cálculo da porosidade no ítem “f”, é necessário identificar o volume de vazios, ou também chamado de volume de poros.

$$VV = VM - VS \rightarrow VV = 1,57 - 1,47 \rightarrow VV = 0,10L$$

f) Porosidade

A porosidade (P) é dada pelo resultado da divisão entre o volume de vazios (VV) pelo volume total (Vt). Para isso, é necessário calcular o volume total (Vt), que é dado pela soma entre o volume do sólido (VS) pelo volume de vazios (VV).

$$Vt = VS + VV \rightarrow Vt = 1,47 + 0,10 \rightarrow Vt = 1,57L$$

$$P = \frac{VV}{Vt} \rightarrow P = \frac{0,10}{1,57} \rightarrow P = 0,00636 \rightarrow P = 6,37\%$$

Segundo Monteiro (2010), a porosidade obtida em um concreto permeável deve ficar entre 15 e 20%, e o índice alcançado neste trabalho ficou em torno de 6%, o que indica um resultado contrário ao esperado.

Analisando do ponto de vista econômico, o concreto permeável dispensa o uso de areia em seu traço, apresentando uma economia considerável, já que o metro cúbico desse agregado em nossa região custa por volta de R\$185,00 (Referência: dezembro/2023). Além disso, como esse revestimento pode ser executado “in loco”, existe também uma viabilidade econômica na questão do transporte, já que se evitariam gastos relacionados a isso.

Importante ressaltar que, de acordo com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), uma coleção de 17 metas globais estabelecidas pela Organização das Nações Unidas (ONU), esse tema se encaixa em quatro tópicos, os quais são eles: Indústria, Inovação e Infraestrutura; Cidades e Comunidades Sustentáveis; Vida na Água e Vida Terrestre, se mostrando como um importante tópico na promoção da sustentabilidade e na preservação do meio ambiente e dos recursos hídricos.

4 | CONCLUSÃO

A impermeabilização do solo é um fator decorrente do super desenvolvimento das cidades brasileiras e realmente traz diversos danos ambientais e hídricos, que conforme o passar dos anos, se intensificam e causam malefícios à população. Por isso, é sugerido o uso de pavimentos permeáveis, para garantir que o escoamento superficial seja absorvido pelo revestimento e assim, direcione a água pluvial para o solo ou para bacias de captação.

Conforme os resultados obtidos, nota-se que a granulometria do pneu não interfere negativamente na resistência do concreto permeável, visto que a curva granulométrica da brita é semelhante. Além disso, pode-se dizer que a inserção de borracha contribui para aumentar a incorporação de ar, tornando assim o concreto mais poroso, sendo esse um acontecimento importante para o concreto permeável.

A inserção de pneus no concreto permeável não interfere de forma significativa no

aumento da resistência à compressão, visto que esse índice é afetado principalmente pelo tempo de cura do concreto. Mesmo assim a inserção do pneu no concreto permeável é considerada válida partindo do princípio que não interfere negativamente nos principais pontos analisados, e refletindo sobre sustentabilidade e meio ambiente é interessante considerar sua inserção no meio da construção civil, já que estaria sendo reutilizado de forma correta e positiva. O traço mais adequado seria o com a incorporação de 7,5% de pneu proporcionalmente à quantidade de cimento.

Avaliando os quesitos técnicos apresentados no trabalho, a inserção de pneus inservíveis no concreto permeável é uma técnica válida em obras de pavimentação de baixo tráfego, em especial em locais que sofrem com a falta de permeabilidade no solo. Como esse revestimento pode ser executado “in loco”, existe também uma viabilidade econômica na questão do transporte, já que se evitariam gastos relacionados a isso.

Portanto, é extremamente válido sugerir o uso do concreto permeável já que é uma possível solução dentre problemas ambientais e hídricos, sendo tecnicamente fácil de se executar.

Recomenda-se também a execução do ensaio de permeabilidade para se determinar o valor do coeficiente de permeabilidade (K).

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7217. Agregados - Determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778. Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica.** Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5735. Cimento Portland de alto-forno.** Rio de Janeiro, 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739. Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738. Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.** Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7225. Materiais de pedra agregados naturais.** Rio de Janeiro, 1982.

BERTOLLO, Sandra Aparecida Margarido. **Avaliação Laboratorial de Misturas Asfálticas Densas Modificadas com Borracha Reciclada de Pneus.** Orientador: José Leomar Fernandes Júnior. 2002. 252 f. (Tese de Doutorado em Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, 2002. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18137/tde-14122015-152916/en.php>. Acesso em: 17 abr. 2022

BOTTEON, Letícia Machado. **Desenvolvimento e caracterização de concreto permeável para utilização em blocos intertravados para estacionamentos**. Orientadora: Camila Aparecida Abelha Rocha. 2017. 95 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Civil, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2017. Disponível em: <https://app.uff.br/riuff/handle/1/5255>. Acesso em: 27 mar. 2022

HOLTZ, Fabiano da Costa. **Uso De Concreto Permeável Na Drenagem Urbana: Análise Da Viabilidade Técnica E Do Impacto Ambiental**. Orientador: Luiz Carlos Pinto da Silva Filho. 2011. 138 f. (Dissertação de Mestrado em Engenharia) - Escola de Engenharia, UFRGS, Porto Alegre, 2011. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/35615>. Acesso em: 27 mar. 2022

MONTEIRO, Anna Carolina Neves. **Concreto Poroso: Dosagem e Desempenho**. Orientador: André Luiz Bortolacci Geyer. 2010. 35 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Civil, Universidade Federal Goiás, 2010. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/557672754/Concreto-Poroso-Dosagem-e-Desempenho#:~:text=CONCRETO%20POROSO%3A%20DOSAGEM%20E%20DESEMPENHO%20Trabalho%20de%20conclus%C3%A3o,Goi%C3%A1s%20para%20obten%C3%A7%C3%A3o%20do%20t%C3%ADtulo%20de%20Engenheiro%20Civil>. Acesso em: 26 out. 2022

OLIVEIRA, Carlos Gustavo Macedo. **Estudo de Propriedades Mecânicas e Hidráulicas do Concreto Asfáltico Drenante**. Orientador: José Camapum De Carvalho. 2003. 104 f. Tese (Mestrado em Geotecnia) - Faculdade de Tecnologia - Departamento De Engenharia Civil e Ambiental, UnB, Brasília, 2003. Disponível em: <https://docplayer.com.br/10222064-Estudo-de-propriedades-mecanicas-e-hidraulicas-do-concreto-asfaltico-drenante-carlos-gustavo-macedo-oliveira.html>. Acesso em: 10 mai. 2022.

RAMOS, Gustavo Moreira. **Análise Das Propriedades Do Concreto Permeável Com Adição De Agregado Miúdo E Resíduo (Cinza Madeira)**. Orientadora: Valéria Bennack. 2018. 90 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2018. Disponível em: <https://1library.org/document/zg8kw02yanalise-propriedades-concreto-permeavel-adicaoagregado-residuomadeira.html>. Acesso em: 05 abr. 2022

RODRIGUES, Mara Regina Pagliuso. **Caracterização E Utilização Do Resíduo Da Borracha de Pneus Inservíveis Em Compósitos Aplicáveis Na Construção Civil**. Orientadora: Akemi Ino. 2008. 290 f. (Tese de Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, 2008. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-17112008-104700/en.php>. Acesso em: 10 abr. 2022

TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. **Revista Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 97- 112, 2008. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/10295>. Acesso em: 20 mar. 2022