

Desenvolvimento de concreto drenante com resíduo de borracha de pneu

VANESSA G. DE OLIVEIRA ALMEIDA - PROF. - <https://orcid.org/0000-0001-9740-1940> (vanessa.gentil@hotmail.com) ;

FERNANDA M. C. DE MELO - PROF. - <https://orcid.org/0000-0002-0122-8336> ; **HERBET A. DE OLIVEIRA** - PROF. - <https://orcid.org/0000-0003-4159-6325> ;

LARISSA I. C. DA SILVA - GRAD. - <https://orcid.org/0000-0002-2654-3658> ; **EMILLY DE O. SANTOS** - GRAD. - <https://orcid.org/0009-0009-4531-7881> ;

LUAN DA C. RIBEIRO - GRAD. - <https://orcid.org/0009-0006-2808-2724> | INSTITUTO FEDERAL DE SERGIPE

RESUMO

ESTE TRABALHO TEM COMO OBJETIVO A PRODUÇÃO DE UM CONCRETO DRENANTE COM A INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DE BORRACHA DE PNEU NAS PROPORÇÕES DE 5% E 7% EM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL AO AGREGADO GRAÚDO, AVALIANDO SUAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS. OS RESULTADOS MOSTRARAM QUE O CONCRETO DRENANTE DE REFERÊNCIA (CPR) APRESENTOU MASSA ESPECÍFICA APARENTE NO ESTADO FRESCO SUPERIOR AO ESTABELECIDO PELA NORMA INTERNACIONAL PARA CONCRETOS PERMEÁVEIS. NO ESTADO ENDURECIDO, A MASSA ESPECÍFICA FOI REDUZIDA NOS CONCRETOS QUE CONTINHAM RESÍDUO. EM RELAÇÃO À ABSORÇÃO DE ÁGUA NÃO FORAM OBTIDAS VARIAÇÕES SIGNIFICATIVAS COM A INCORPORAÇÃO DO RESÍDUO. TODOS OS TIPOS DE CONCRETO APRESENTARAM ALTA PERMEABILIDADE À ÁGUA. NO QUE TANGE À RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E À RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO, OS CONCRETOS NÃO APRESENTARAM VALORES DENTRO DO LIMITE ESTABELECIDO PELA ABNT NBR 16416:2015. CONTUDO, ESSE MATERIAL PODE SER APLICADO EM ÁREAS DE JARDINS, CALÇADAS COM POUCO FLUXO DE PESSOAS, TAMPAS DE VALAS E BUEIROS.

PALAVRAS-CHAVE: CONCRETO DRENANTE, RESÍDUO, BORRACHA DE PNEU, PERMEABILIDADE À ÁGUA.

1. INTRODUÇÃO

O crescimento das áreas urbanas, juntamente com a falta de planejamento do uso e ocupação do solo, vem gerando problemas de saneamento básico, em função do surgimento de mais áreas impermeabilizadas. Em pavimentos de concretos convencionais, é possível notar que, durante as chuvas, há escoamento

superficial da água e este volume passa para o sistema de drenagem urbana da cidade. Essa demanda, por sua vez, que chega ao sistema pode causar uma saturação e ocasionar as enchentes.

Uma alternativa para tentar favorecer o escoamento de água e reduzir as áreas de impermeabilização e, em contrapartida, as enchentes, é aumentar a permeabilidade do solo através do uso do concreto drenante para revestimento de pavimentos. Bressam, Dessuy e Oliveira (2017) afirmam que é possível aplicar pavimentos permeáveis em substituição ao sistema convencional, fazendo com que ocorra a infiltração da água e o escoamento superficial seja reduzido.

A característica de permeabilidade do concreto dá-se através de vazios interligados que permitem a percolação da água por ação da gravidade. Por esse motivo, na maioria das misturas, não se utiliza o agregado miúdo, logo o concreto é produzido apenas com o ligante, água e o agregado graúdo. Diferente dos outros tipos de concreto, a sua qualidade é definida pela porosidade, pela taxa de infiltração de água e sua massa, não sendo a resistência fator de grande importância (BOTTEON, 2017).

A indústria da construção civil exerce importante papel na transformação ambiental da sociedade, mas gera impactos negativos sobre o meio ambiente devido às diversas formas de poluição ambiental, por meio do elevado consumo de recursos naturais e, também, com a geração de resíduos. Com

isso, a utilização de resíduos como matéria-prima para construção pode ser uma alternativa para reduzir a quantidade desses recursos naturais retirados do meio ambiente, ao mesmo tempo em que oferece uma disposição ambiental adequada dos resíduos.

Os resíduos sólidos são muitas vezes descartados de maneira inadequada. Dentre os vários tipos de materiais que são encontrados em meio aos descartes, e que vem trazendo uma preocupação em relação aos danos que podem causar ao ambiente, encontram-se os chamados pneus inservíveis.

Diante desta realidade, alguns autores, tais como Raeesi *et al.*, (2020) e Monteiro Junior *et al.*, (2019) têm pesquisado a utilização dos resíduos de borracha de pneu na produção de concreto drenante. Esse trabalho complementa esses estudos anteriores por se tratar de uma solução para problemática que abrange diversos locais em relação às condições de drenagem urbana e também em relação à sustentabilidade, podendo dar um destino final apropriado a esse tipo resíduo. Nesse trabalho, pode-se obter resultados de densidade aparente melhores em relação as normas.

Neste contexto, frente à quantidade de resíduo de borracha de pneu sem destino apropriado, o presente trabalho discorre acerca da produção de um concreto drenante com o reaproveitamento do resíduo de borracha de pneu nas proporções de 5% e 7% (na forma de filamento), em substituição parcial

TABELA 1

ENSAIOS FÍSICOS E MECÂNICO DO CIMENTO

Propriedades	Resultados	Norma
Índice de finura (%)	1,92	ABNT NBR 11579:2012
Consistência normal (%)	30,0	ABNT NBR 16606:2018
Início de pega (min)	160	ABNT NBR 16607:2018
Expansibilidade à quente (mm)	0,29	ABNT NBR 11579:2012
Massa específica (g/cm ³)	3,14	ABNT NBR 16605:2-17
Resistência à compressão (MPa)	35,7	ABNT NBR 7215:2019

FONTE: DADOS DA PESQUISA (2021)

ao agregado graúdo. As matérias-primas foram caracterizadas seguindo as recomendações normativas. Os concretos permeáveis foram avaliados no estado fresco, por meio do ensaio de massa específica aparente, e no estado endurecido, a partir dos ensaios de absorção de água, massa específica, permeabilidade, resistência à compressão e resistência à tração na flexão.

2. PROGRAMA EXPERIMENTAL PARA DESENVOLVIMENTO

2.1 Matérias-primas

Para a produção dos concretos permeáveis com resíduo de borracha de pneu foram utilizados o cimento Portland, pedrisco, resíduo de borracha de pneu, aditivo superplastificante e água.

2.2 Ensaios de caracterização

2.2.1 CIMENTO

O ligante hidráulico utilizado foi o CPV-ARI-RS (cimento Portland de alta resistência inicial resistente a sulfato), caracterizado por meio dos ensaios de índice de finura, consistência normal da pasta, tempo de pega, massa específica, expansibilidade Le Chatelier e resistência à compressão.

2.2.2 PEDRISCO

O agregado graúdo utilizado foi o pedrisco passante na peneira de n^o3/8 pol, de abertura 9,5 mm, caracterizado por meio dos ensaios de análise granulométrica, massa unitária e massa específica.

2.2.3 RESÍDUO DE BORRACHA DE PNEU

O resíduo utilizado foi o proveniente da recauchutagem de pneus, em forma de filamento passante na peneira de n^o ¼ pol, de abertura de 6,3 mm. Foi realizada a coleta do resíduo, secagem em estufa com temperatura de 105° C e armazenamento em recipientes fechados. Foi caracterizado por meio dos ensaios de análise granulométrica, massa unitária e massa específica.

2.3 Procedimento de dosagem e moldagem dos corpos de prova

A dosagem para as misturas foi predefinida a partir da revisão bibliográfica, uma vez que não se tem dados de um procedimento específico no mundo para dosagem de concreto drenante. Dessa maneira, o traço adotado nessa pesquisa foi a dosagem em volume 1:3 (cimento:pedrisco), incorporando a essa mistura de referência porcentagens em massa do resíduo de borracha de pneu (5% e 7%) em substituição parcial ao agregado graúdo. Em relação ao fator água/cimento foi adotada 0,32. Foi utilizado também, a fim de melhorar a

trabalhabilidade dos concretos, um aditivo superplastificante (reductor de água tipo 2) referente à quantidade de 2% em relação à massa do cimento.

2.4 Ensaios do concreto nos estados fresco e endurecido

Foi determinada a propriedade de massa específica aparente (ABNT NBR 9833:2009) do concreto drenante em seu estado fresco. No estado endurecido foram realizados os ensaios de absorção de água (ABNT NBR 9778:2009) e massa específica (ABNT NBR 9778:2009), permeabilidade (anexo A da ANBT NBR 16416:2015), resistência à compressão (ABNT NBR 5739:2018) e resistência à tração na flexão (ABNT NBR 12142:2012). Os resultados dos ensaios foram submetidos a uma análise estatística através da metodologia de análise de variância (ANOVA) seguida pelo teste de Tukey.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização da matéria-prima

Os resultados obtidos dos ensaios de caracterização do cimento, do pedrisco e do resíduo de borracha de pneu, serão abordados nesse item.

3.1.1 CIMENTO PORTLAND

A Tabela 1 apresenta os resultados dos ensaios de caracterização do cimento Portland.

3.1.2 PEDRISCO E RESÍDUO DE BORRACHA DE PNEU

3.1.2.1 MASSA ESPECÍFICA E MASSA UNITÁRIA

A Tabela 2 apresenta a massa

TABELA 2

RESULTADOS DOS ENSAIOS DE MASSA ESPECÍFICA E MASSA UNITÁRIA

Matéria-prima	Massa unitária solta (g/cm ³)	Massa unitária compactada (g/cm ³)	Massa específica (g/cm ³)
Pedrisco	1,29	1,35	2,20
Resíduo de borracha de pneu	0,27	0,40	1,18

FONTE: DADOS DA PESQUISA (2021)

específica e as massas unitárias (estado solto e compactado) do pedrisco e do resíduo da borracha de pneu.

Diante dos resultados, pode-se verificar que o pedrisco apresentou maiores valores de massa unitária, constatando com isso menores quantidades de vazios, em relação à mesma proporção do resíduo de borracha, já que este se apresenta em formato de fibras irregulares. Como era esperado, o valor referente à massa específica do resíduo foi menor do que o do pedrisco, sendo considerado um agregado leve.

3.1.2.2 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

A Tabela 3 apresenta a análise granulométrica do resíduo de borracha e do pedrisco e a Figura 1 mostra as curvas granulométricas de cada um dos materiais.

O módulo de finura do resíduo de borracha de pneu varia em função de sua dimensão e formato adotado. O valor encontrado nesta pesquisa foi de 3,01, apresentando-se próximo ao adotado em outras pesquisas, como de 3,87; 3,49; 3,81 e de 3,32, que também utilizaram esse resíduo em sua forma de filamento.

De acordo com a Figura 1, os materiais apresentaram-se com uma granulometria

uniforme, onde a curva é quase vertical, indicando a predominância de um só tipo de fração. Com base nos parâmetros representativos dessa curva, o Cu (coeficiente de não uniformidade) foi classificado como um material uniforme.

3.2 Propriedade do concreto no estado fresco

São apresentados na Figura 2, os resultados do ensaio de massa específica no estado fresco do concreto drenante referência e dos concretos com resíduo de borracha de pneu.

O concreto drenante de referência apresentou maior valor de massa específica aparente em relação aos concretos com incorporação do resíduo de borracha de pneu. Os resultados mostraram que existe uma diferença significativa entre as médias (valor $p = 0,032$); com o teste de Tukey, constatou-se uma redução significativa entre os resultados do concreto CP 7% em relação ao concreto de referência, em 8%.

A ABNT NBR 16416:2015 prescreve que os concretos permeáveis devem possuir massa específica aparente tanto no estado fresco como no estado endurecido superiores a 1600 kg/m^3 . Já os concretos com 5% e 7% de resíduo encontram-se numa faixa abaixo do estabelecido nessa norma, no

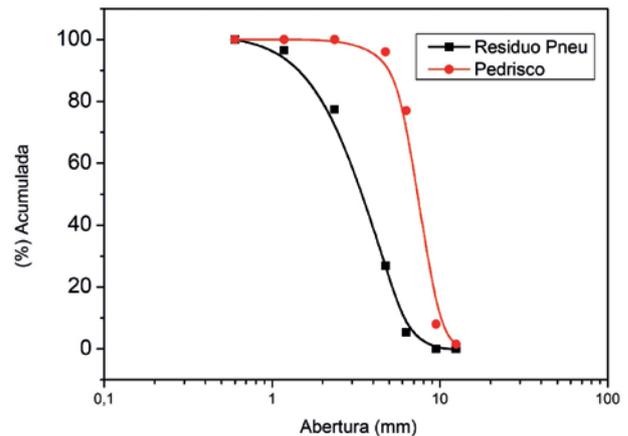


FIGURA 1
CURVA GRANULOMÉTRICA DO RESÍDUO E DO PEDRISCO
FONTE: DADOS DA PESQUISA (2021)

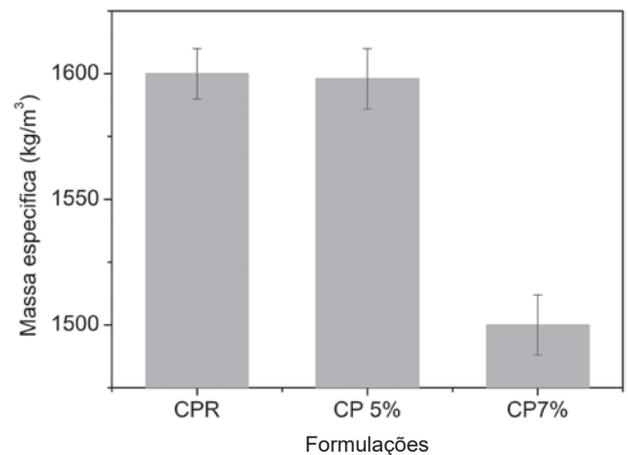


FIGURA 2
RESULTADOS DO ENSAIO DE MASSA ESPECÍFICA APARENTE NO ESTADO FRESCO
FONTE: DADOS DA PESQUISA (2021)

entanto coerente com resultados encontrados na literatura, atingindo valores de 1582 kg/m^3 e 1475 kg/m^3 , respectivamente.

3.3 Propriedade do concreto no estado endurecido

3.3.1 MASSA ESPECÍFICA E ABSORÇÃO DE ÁGUA

São apresentados na Tabela 4 os resultados referentes à massa específica e absorção de água dos concretos permeáveis.

O concreto drenante de referência apresentou maior valor de massa

TABELA 3

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DO RESÍDUO DE BORRACHA E DO PEDRISCO

Abertura das peneiras (mm)	Massa retida acumulada (%)	
	Resíduo de borracha de pneu	Pedrisco
12,5	—	1,5
9,5	0	8
6,3	5,38	77
4,75	26,89	96
2,36	77,43	100
1,18	96,78	—
600	100	—
Fundo	0	0
Diâmetro máximo (mm)	9,5	12,5
Módulo de finura	3,01	2,04

FONTE: O AUTOR (2021)

TABELA 4

RESULTADOS DE MASSA ESPECÍFICA E ABSORÇÃO DE ÁGUA

Formulações	Massa específica (kg/cm ³)	Absorção de água (%)
CPR	1680,0 ± 55	9,06 ± 0,61
CP5%	1541,0 ± 21	8,91 ± 0,13
CP7%	1466,5 ± 38	9,25 ± 0,0

Fonte: DADOS DA PESQUISA (2021)

específica em relação aos concretos com incorporação do resíduo de borracha de pneu. Os resultados mostraram que existe uma diferença significativa entre as médias (valor $p = 0,032$); com o teste de Tukey, constatou-se redução significativa dos concretos com resíduo em relação ao concreto de referência, para o CP5% e CP7%, de 8,27% e 12,7%, respectivamente.

Os corpos de prova dos concretos permeáveis, principalmente os que possuem em sua composição resíduos reciclados, possuem uma maior fragmentação das partículas superficiais em suas bordas. Por conta disso, é preciso levar em consideração a possível dispersão dos resultados de massa específica no estado endurecido.

Na propriedade de absorção de água, foi observada uma redução não

significativa para o concreto com 5% e um aumento para o concreto com 7% do resíduo em relação à mistura de referência. Esse fato pode ter ocorrido devido a um mau adensamento, ocasionando pontos com maiores concentrações do resíduo do que em outros.

3.3.2 PERMEABILIDADE

São apresentados na Figura 3 os resultados do ensaio de permeabilidade, assim como os valores de desvio padrão das três placas dos concretos permeáveis.

De acordo com a análise estatística, os resultados mostraram que não existe uma diferença significativa (valor $p = 0,19$) entre as médias dos tipos de concretos apresentados.

Ao se avaliar os concretos permeáveis contendo borracha de pneu, foi verificado que a adição desse resíduo tende a diminuir o coeficiente de permeabilidade. Esse fato pode ser observado no concreto com a incorporação de 5% do resíduo. Já no concreto com a porcentagem de 7%, provavelmente ocorreu um mau adensamento no momento da moldagem dos corpos de prova, justificando esse resultado. Os autores ainda concluem que as partículas menores afetam mais a permeabilidade do que as maiores, pois elas preenchem facilmente os poros entre os agregados naturais.

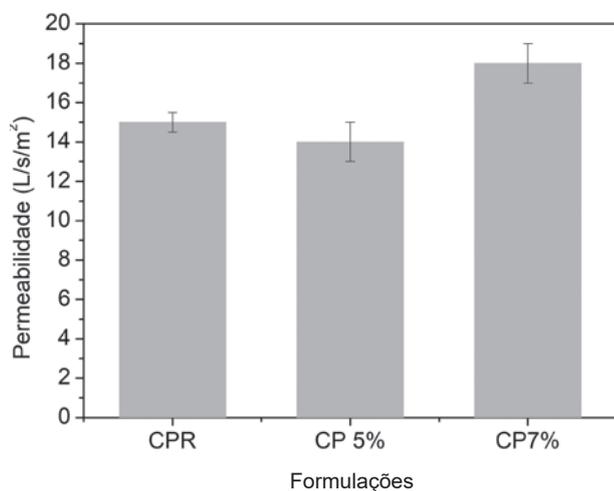
3.3.3 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO

São apresentadas na Figura 4 as médias dos resultados do ensaio de resistência à compressão dos concretos permeáveis.

Os resultados mostraram que existe uma diferença entre as médias entre todas as formulações (valor $p = 0,0053$) com o teste de Tukey, e constatou-se redução significativa do concreto com resíduo em relação ao concreto de referência, para o CP5% e CP7%, de 35,64% e 63,36%, respectivamente.

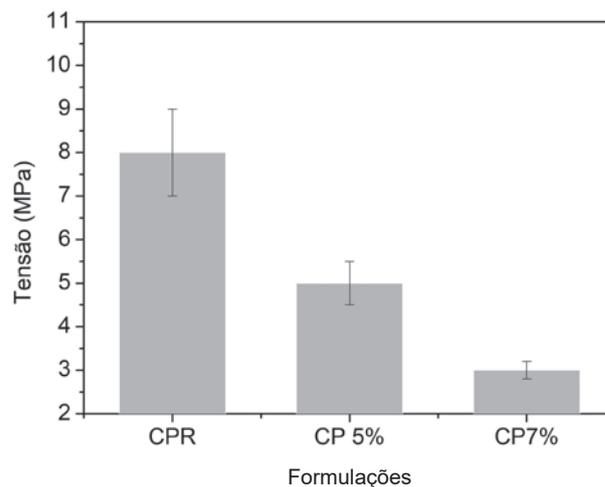
O concreto drenante de referência foi a formulação que apresentou maior valor de resistência à compressão. A partir da substituição parcial do agregado graúdo pelo resíduo de borracha, houve um decréscimo nos valores de resistência.

Os concretos que possuem resíduos de borracha de pneu em sua composição tendem a experimentar redução na resistência à compressão devido à fraca ligação existente entre a matriz cimentícia e a partícula da borracha de pneu. Um outro fator que afeta essa propriedade é a granulometria irregular desses resíduos que geram vazios e aumentam a porosidade, resultando em concreto menos resistente.

**FIGURA 3**

RESULTADOS DO ENSAIO DE PERMEABILIDADE À ÁGUA

Fonte: DADOS DA PESQUISA (2021)

**FIGURA 4**

RESULTADOS DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Fonte: DADOS DA PESQUISA (2021)

São apresentadas na Figura 5 as médias dos resultados do ensaio de resistência à tração na flexão dos concretos permeáveis com seus desvios.

Em relação aos resultados do ensaio de resistência à tração na flexão, pode-se notar que, por meio da análise estatística, os resultados mostraram-se iguais ($p = 0,38$), não apresentando diferença significativa entre as amostras.

Os valores obtidos não atenderam à especificação mínima quanto à resistência mecânica característica, definida pela ABNT NBR16416:2015, para revestimento de pavimento de concreto drenante moldado no laboratório. A norma limita a determinação da resistência à tração na flexão a valores

superiores a 2 MPa para tráfego leve de veículos.

4. CONCLUSÕES

Os resultados experimentais foram comparados com valores disponíveis na literatura para ensaios similares.

Os resultados mostraram que em relação à massa específica, tanto no estado fresco como no estado endurecido, a norma estabelece um valor mínimo de $1600 \pm 80 \text{ kg/m}^3$. Sendo assim, somente os resultados do concreto de referência apresentaram-se dentro desse limite; nos concretos com as incorporações dos resíduos, esses valores ficaram abaixo do limite da norma. Entretanto, encontram-se dentro dos valores observados na literatura.

Sobre a propriedade da permeabilidade, os resultados desta pesquisa mostraram-se de acordo com a faixa estabelecida nos estudos de alguns autores.

Os resultados referentes à resistência à compressão não atenderam a ABNT NBR 16416:2015, que determina um valor $\geq 20 \text{ MPa}$, no entanto encon-

tra-se dentro dos valores estabelecidos pelo ACI 522 2010, de 2,8 MPa a 28 MPa. E sobre a resistência à tração na flexão, os valores também não atenderam aos 2 MPa, exigidos por norma.

Diante dos dados expostos, o concreto drenante com incorporação de resíduo de borracha de pneu produzido nesta pesquisa não atendeu às especificações da ABNT NBR 16416:2015, para o uso em pavimentação de veículos leves. Contudo, esse material pode ser aplicado em áreas de jardins, calçadas com pouco fluxo de pedestres, tampas de valas e bueiros, possibilitando a eliminação de poças e lâminas d'água em dias chuvosos.

De fato, a aplicação do concreto drenante em pavimentos representa um cenário promissor na busca pela redução da impermeabilização das superfícies de áreas urbanas por meio de métodos mais sustentáveis e economicamente viáveis, visto que o resíduo pode ser adquirido sem custo, pois é descartado em aterros

A adição de resíduos na composição do concreto ajuda na diminuição da extração de recursos minerais e na redução dos impactos ambientais e dos danos causados à saúde devido à disposição irregular no meio ambiente. Com relação aos pneus, é uma oportunidade de utilização, visto que são inertizados no concreto, não oferecendo riscos ao meio ambiente, exceto se submetidos ao calor em elevadas temperaturas. ☺

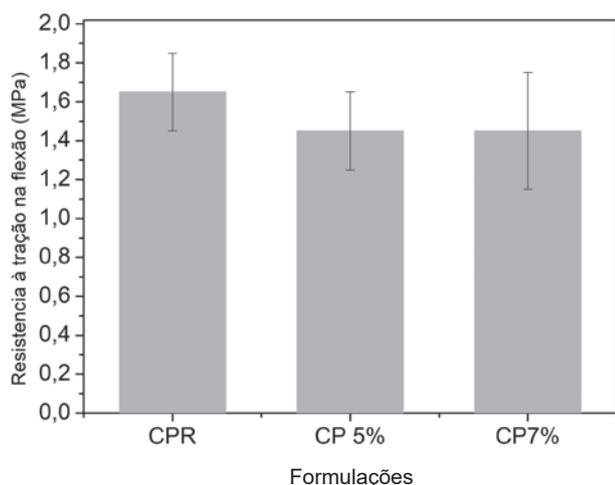


FIGURA 5

RESULTADOS DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO

FONTE: DADOS DA PESQUISA (2021)

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ABNT — ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16416: Pavimentos Permeáveis de Concreto — Requisitos e Procedimentos. Rio de Janeiro, 2015.
- [2] BRESSAM, G. S. C.; Oliveira, D. D.; Dessuy, T. Y. (2017) "Prevenção de enchentes urbanas: uma alternativa sustentável através do uso do concreto permeável", Salão do Conhecimento, UNIJUI. 2017.
- [3] BOTTEON, Letícia Machado. "Desenvolvimento e Caracterização de Concreto Permeável para Utilização em Blocos Intertravados para Estacionamentos", Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal Fluminense. Niterói/RJ, 2017.
- [4] MONTEIRO JUNIOR, Raimundo de Oliveira; *et al.* The technical feasibility of the use of rubber chips in the production of permeable concrete for urban paving — case study. 2019. Journal of Engineering and Technology for Industrial Applications, 2019. Edition. 19. Vol: 05
- [5] RAEESI, Ramin. *et al.* Field performance monitoring of waste tire-based permeable pavements. Transportation Geotechnics, 2020.