De 24/06/2026 a 27/06/2026
São Paulo
https://doi.org/10.67775/vvs1jf62

Congresso Brasileiro de Patologia das Construções

ANÁLISE MECÂNICA E FÍSICA DAS PROPRIEDADES DO CONCRETO À INCORPORAÇÃO DA BORRACHA DE PNEU

Maria Eduarda Velez Martins[1]*; Emmanuely Regina Araújo Diniz[2]; Luanna Amado da Silva[3]; Diego José Araújo Viegas[4]; Luana Dantas Medeiros[5]; Valter Ferreira de Souza Neto[6]; Chrysttyan Thales Ribeiro Félix[7]; Fabiana Xavier Costa[8];Ana Maria Gonçalves Duarte[9]
*Autor de contato: duda.velez@hotmail.com

[1] Bacharelado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Brasil
[2] Bacharelado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Brasil
[3] Doutoranda em Ciências e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Brasil
[4]Doutorando em Engenharia Civil, Unversidade de Pernambuco, Recife-PE, Brasil
[5]Doutoranda em Engenharia Civil, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Brasil
[6]Doutor em Engenharia Civil, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Brasil
[7]Mestrando em Engenharia Civil, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Brasil
[8] Doutorado em Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Brasil
[9] Doutorado em Engenharia de Processos, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Brasil

RESUMO

A urgência em adotar práticas sustentáveis para reduzir a exploração de recursos naturais tem impulsionado pesquisas na engenharia civil, setor caracterizado pela alta geração de resíduos. Nesse contexto, a adição de borracha de pneus inservíveis na produção de concreto se destaca como uma alternativa para promover a destinação final ambientalmente adequada desse resíduo e reduzir o consumo de agregados naturais finitos. A pesquisa em questão avalia a viabilidade dessa implementação, a partir da análise do comportamento mecânico do concreto ao substituir parcialmente os agregados pelo resíduo da borracha de pneu. Os resultados obtidos na presente pesquisa mostraram que a adição do RBP reduziu, significativamente, a massa específica aparente e as propriedades mecânicas. Ademais, observou-se que o material não é viável para uso estrutural devido seu baixo valor de resistência.
Palavras-chave: Borracha de Pneu; Concreto; Sustentabilidade.

ABSTRACT

The urgent need for sustainable practices to mitigate the exploitation of natural resources has propelled research within the civil engineering sector, which is known for its high waste output. Within this framework, incorporating waste tire rubber into concrete production emerges as a prominent alternative for ensuring environmentally sound disposal and decreasing the reliance on finite natural aggregates. This study assesses the feasibility of such an application through a

mechanical performance analysis of concrete with partial aggregate replacement by crumb rubber. The experimental results indicated that the inclusion of RBP led to a significant reduction in both bulk density and mechanical properties. Moreover, the findings suggest that the material is unsuitable for structural applications due to its diminished compressive strength.
Keywords: Tire rubber; Concrete; Sustainability.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, o transporte rodoviário desempenha papel central na economia, sendo responsável por cerca de 65% da movimentação de mercadorias e de 95% da de passageiros (CNT, 2021). Essa dependência estrutural implica em uma elevada frota circulante e, consequentemente, intensa demanda por pneumáticos, tendo uma produção nacional de 40 a 50 milhões e um descarte de 100 milhões por ano. Entretanto, cerca de 1 em cada 10 pneus inservíveis não recebem destinação ambientalmente adequada, o que significa que aproximadamente 10% desses materiais não estão sendo devidamente descartados (GOV, 2025).

Paralelamente, de acordo com o IEA (International Energy Agency), o concreto é o material de construção mais consumido no planeta, onde a produção global do cimento está situada em torno de 4 bilhões de toneladas anualmente. De acordo com o SNIC (Sindicato Nacional da Indústria do Cimento) o Brasil está entre os 10 maiores produtores mundiais, e em 2022 a produção de cimento foi de 63,5 milhões de toneladas.

Diante desse cenário, urge a necessidade da implementação de medidas sustentáveis, como é exposto por Silveira (2016), após a Conferência Nacional das Nações Unidas sobre o desenvolvimento sustentável realizada no Rio de Janeiro em 1992, onde as pesquisas científicas devem focar na otimização dos modos de produção gerando uma redução dos resíduos e, consequentemente, assegurando a preservação ambiental.

Com isso em mente, é fundamental que haja o desenvolvimento de técnicas que consigam diminuir a quantidade de resíduos gerados atualmente. Algumas revisões mais recentes, como a de Moolchandani e Sharma (2025), mostram a possibilidade de produzir compósitos cimentícios com borracha de pneu, podendo esta substituir parcialmente os agregados naturais. Essa prática contribui significativamente para a sustentabilidade ambiental por dar uma destinação mais correta e útil a esse resíduo altamente poluente.

Nesse contexto, a presente pesquisa busca analisar as propriedades mecânicas do concreto simples quando adicionado resíduos de borracha de pneus, estudando a sua viabilidade de utilização, promovendo assim uma redução do descarte inadequado de pneus inservíveis e, consequentemente, menor exploração de recursos naturais virgens para a produção do concreto.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Materiais

Para o desenvolvimento do presente trabalho foram utilizados os seguintes materiais:

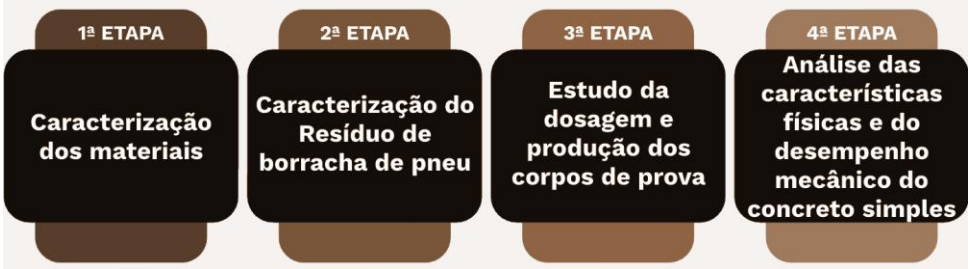
- Agregado graúdo: Brita 25mm e a brita 9,5mm (também identificada como casquilho);
- Agregado miúdo: Areia quartzosa;
- Cimento Portland CPII Z32;
- Resíduo de borracha de pneu inservível (RBP): Material obtido pela empresa LBFlex no município de Campina Grande - PB;

- Água: Fornecida pela Companhia de Águas e Esgotos da Paraíba (CAGEPA)

2.2. Metodologia

O fluxograma exposto na Figura 1 apresenta as etapas as quais a pesquisa desenvolveu-se.

Figura 1 - Fluxograma das etapas realizadas



Fonte: os autores

2.2.1. Caracterização dos materiais

A seguir serão apresentados na Tabela 1 os ensaios realizados para a caracterização física dos agregados, acompanhados de suas respectivas normativas técnicas.

Tabela 1 - Ensaios para a caracterização e referenciais normativos

Ensaio	Norma
Análise granulométrica	ABNT NBR 7217 (ABNT, 1987)
Massa específica	ABNT NBR NM 248 (ABNT, 2003) ABNT NBR NM 53 (ABNT, 2003) DNER - ME 085/1994
Determinação da massa unitária	ABNT NBR 7251 (ABNT, 1982)
Determinação do teor de materiais pulverulentos	ABNT NBR 7219 (ABNT, 1987)
Ensaio de Finura	ABNT NBR 11579 (ABNT, 2012)
Ensaio de absorção	ABNT NBR NM 53 (ABNT, 2003)

Fonte: os autores

2.2.2. Estudo da dosagem e produção dos corpos de prova

Realizada a fase de caracterização dos insumos, seguiu-se para a dosagem do concreto conforme a metodologia da ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland. O traço de referência utilizado foi de 1:2:3,14:0,58 (cimento: agregado miúdo: agregado graúdo: fator água cimento) em massa. Os corpos de prova foram realizados com dimensões de 10 x 20 cm e com substituição parcial do agregado miúdo pelo resíduo de borracha em 10% e 20%, sendo o último o valor limite ideal para aplicações que ainda exigem certa responsabilidade mecânica (MOOLCHANDANI e SHARMA, 2025).

A Tabela 2 apresenta o delineamento experimental.

Tabela 2 - Programação dos experimentos

Teor de RBP(%)	Dosagens produzidas	Ensaios	CP ensaiados por idade de cura			
			7	14	21	28
0	1	Compressão	2	2	2	2
		Tração	2	2	2	2
10	1	Compressão	2	2	2	2
		Tração	2	2	2	2
20	1	Compressão	2	2	2	2
		Tração	2	2	2	2
Total	3	48				

Fonte: os autores

Por sua vez, a Tabela 3 contém as proporções dos materiais empregados na produção dos corpos de prova.

Tabela 3 - Proporção dos materiais nos corpos de provas

Materiais utilizados	CREF (Kg)	CRB10 (Kg)	CRBP20 (Kg)
Cimento	10,8	10,8	10,8
Resíduo de borracha de pneu	0	2,6	4,32
Agregado miúdo	21,6	19,44	17,28
Agregado graúdo	33,94	33,94	33,94
Brita 25	20,36	20,36	20,36
Brita 9,5	13,58	13,58	13,58

Fonte: os autores

A mistura foi preparada em betoneira, com foco em um abatimento de 40 a 60 mm e resistência característica de 20 MPa, valor este para testar se o concreto atingirá o patamar mínimo de segurança para projetos estruturais. A proporção de agregados foi definida conforme ABNT NBR 7810 (ABNT, 1983), resultando na combinação de 60% de brita 25mm e 40% de brita 9,5mm por apresentar a maior massa unitária compactada.

Na avaliação da trabalhabilidade (*slump test*), verificou-se que a incorporação de 10% e 20% de borracha reduziu o abatimento abaixo do critério estipulado.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Caracterização física dos materiais

3.1.1. Agregado graúdo

A Tabela 4 contempla os resultados referentes à caracterização física do agregado graúdo.

Tabela 4 - Resultados referentes à caracterização física do material.

Ensaios	Valores obtidos	
	Brita 25	Brita 9,5
Massa específica aparente (ABNT NM 53:2003)	$\gamma a = 1{,}53 g/cm^3$	$\gamma a = 1{,}43 g/cm^3$
Massa específica real (ABNT NM 53:2003)	$\gamma = 2{,}69 g/cm^3$	$\gamma = 2{,}68 g/cm^3$
Absorção (ABNT NM 53:2003)	Abs = 0,3%	Abs = 0,5%

Fonte: os autores

Baseando-se nesses valores obtidos, é possível verificar que a massa específica determinada está em conformidade com os valores encontrados na literatura contemporânea, cuja variações são detalhadas por Mehta e Monteiro (2014). Além disso, a absorção observada mostrou-se compatível com materiais de origem granítica, mantendo-se dentro dos limites esperados (TUTIKIAN e HELENE, 2011). Em sequência, nas Tabelas 5 e 6 estão presentes as distribuições granulométricas das britas 9,5mm e 25mm, respectivamente.

Tabela 5 - Distribuição granulométrica da brita 9,5 mm

Peneiras	Material retido	Porcentagem em massa		Limite inf.	Limite sup.
		Retida	Acumulada		
9,5 mm	18,9 g	0,63 g	0,63 g	80 %	100 %
4,8 mm	2919,2 g	97,31 g	97,94 g	95 %	100 %
<4,8 mm (fundo)	61 g	2,03 g	99,97 g	-	-
Soma	2999,1 g	100,00 g	100,00 g	-	-
Módulo de finura			5,98		
Diâmetro máximo			9,5 mm		

Fonte: os autores

Tabela 6 - Distribuição granulométrica da brita 25 mm

Peneiras	Material retido	Porcentagem em massa		Limite inf.	Limite sup.
		Retida	Acumulada		
19,1 mm	377,06 g	7,54 g	7,54 g	80 %	100 %
9,5 mm	3702,6 g	74,05 g	81,59 g	95 %	100 %
4,8 mm	819,2 g	16,38 g	97,98 g	-	-

<4,8 mm (fundo)	101,2 g	2,02 g	100,00 g	-	-
Soma	5000 g	100,00 g	-	-	-
Módulo de finura			5,98		
Diâmetro máximo			9,5 mm		

Fonte: os autores

Com esses dados, percebe-se que os módulos de finura para os agregados de 9,5mm e 25mm foram, respectivamente, 5,98 e 6,87, com predominância de partículas retidas nas peneiras de 4,8 mm e 9,5 mm. Segundo a ABNT NBR 7211 (ABNT, 2009), os agregados são classificados como cascalho 0, com dimensão máxima característica (DMC) de 9,5mm, e cascalho 2 com DMC de 25mm. As curvas granulométricas evidenciaram que a brita utilizada conseguiu atender os limites estabelecidos pela norma, sendo que a brita de menor dimensão apresentou mais de 95% do material retido na peneira de 4,8mm, permitindo sua classificação como cascalho 0.

3.1.2. Agregado miúdo

Em relação aos resultados encontrados referentes à composição granulométrica dos agregados miúdos, tais valores foram contemplados na Tabela 7 abaixo.

Tabela 7 - Composição granulométrica dos agregados miúdos

Peneiras	Material retido	Porcentagem em massa	
		Retida	Acumulada
2,4 mm	52,6 g	5,26%	5,26%
1,2 mm	79,4 g	7,94%	13,2%
0,6 mm	264,3 g	26,43%	39,63%
0,3 mm	408,3 g	40,83%	80,46%
0,15 mm	170,8 g	17,08%	97,54%
Fundo	24,4 g	2,46%	99,98%
Soma	999,80 g	100%	-
Módulo de finura		2,37	
Diâmetro máximo		2,36 mm	

Fonte: os autores

O valor de módulo de finura obtido, 2,37, encontra-se dentro da zona ótima de utilização, como é exposto na norma ABNT NBR 7211 (ABNT, 2009). Com base nesse resultado, pode-se classificar esse material como areia de granulometria média, por se enquadrar na faixa $2,4 < MF < 3,2$.

Assim, é possível concluir que a areia analisada apresentou graduação adequada, favorecendo a sua integração em concretos. Essa composição granulométrica do agregado miúdo é fundamental por exercer influência direta sobre o índice de vazios, o fator água/cimento e o comportamento reológico da mistura.

A Tabela 8 aborda os resultados da caracterização física do agregado miúdo, seguido de suas respectivas normativas técnicas da ABNT.

Tabela 8 - Resultados da caracterização física

Ensaios	Norma	Resultados
Massa específica real	ABNT NBR NM 52:2003	2,59 g/cm^3
Massa unitária no estado solto	ABNT NBR 7251:1982	1,50 g/cm^3
Teor de materiais pulverulentos	ABNT NBR 7219:1987	0,07%

Fonte: os autores

3.1.3. Resíduo de borracha de pneu

Logo abaixo, a Tabela 9 dispõe os valores obtidos da composição granulométrica do resíduo de borracha de pneu.

Tabela 9 - Composição granulométrica do resíduo de borracha de pneu

Peneiras	Material retido	Porcentagem em massa	
		Retida	Acumulada
2,4 mm	156,99 g	15,70%	15,70%
1,2 mm	323,13 g	32,31%	48,01%
0,6 mm	342,55 g	34,26%	82,27%
0,3 mm	115,53 g	11,55%	93,82%
0,15 mm	54,36 g	5,44%	99,26%
Fundo	7,44 g	0,74%	100,00%
Soma	1000 g	100%	-
Módulo de finura		3,39	
Diâmetro máximo		2,36 mm	

Fonte: os autores

Analisando esses resultados, foi observado que 15% do material ficou retido na peneira ABNT de malha 2,4 mm, sendo essa fração classificada como borracha de granulometria mais grossa. O módulo de finura do resíduo enquadra-se no limite superior estabelecido para agregados finos naturais pela ABNT NBR 7211 (ABNT, 2009), situando-se na faixa de 2,9 a 3,5. As diferenças

entre o módulo de finura do agregado miúdo natural e aquele parcialmente substituído devem-se às particularidades de distribuição granulométrica, forma e textura superficial do resíduo. Diante disso, optou-se por empregar o material integralmente, sem que houvesse uma segregação granulométrica adicional após o processo de moagem, de modo que conseguisse aproveitar ao máximo o resíduo.

A Tabela 10 a seguir apresenta os resultados da caracterização física do RBP (resíduo de borracha de pneu), regidos pelas normas da ABNT.

Tabela 10 - Caracterização física do RBP

Ensaios	Norma	Resultado
Massa específica real	ABNT NBR NM 52:2003	0,67 g/cm^3
Absorção	ABNT NBR NM 53:2003	52%

Fonte: os autores

Conforme visto na Tabela 10 acima, a absorção da borracha mostrou-se significativamente superior àquela verificada para agregados naturais, indicando potencial influência no desempenho do concreto.

3.1.4. Cimento Portland

A Tabela 11 a seguir contempla os resultados obtidos a respeito da caracterização física do cimento.

Tabela 11 - Caracterização física do cimento

Ensaio	Norma	Resultado
Massa específica real	DNER ME 085:1994	2,91 g/cm^3
Finura	ABNT NBR 11579:2012	2,84%

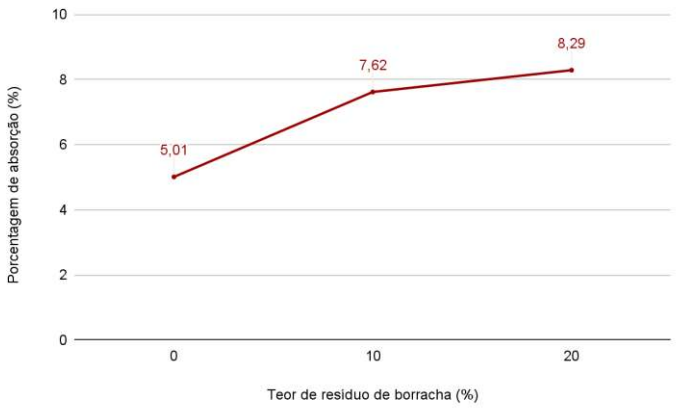
Fonte: os autores

Baseando-se na norma ABNT NBR 11578 (ABNT, 1991), o limite máximo para a finura do cimento é de 12%, evidenciando que o valor obtido permaneceu dentro dessa exigência. Já em relação a massa específica, os cimentos produzidos no Brasil apresentam valores compreendidos entre 2,90 e 3,20 g/cm^3, intervalo no qual se enquadra o resultado obtido nesta pesquisa.

3.1.5. Concreto

A avaliação do desempenho do concreto foi feita a partir dos ensaios de absorção, de resistência à compressão simples e resistência à tração por compressão diametral. A realização do ensaio de absorção de água foi dada pela norma ABNT NBR 9778 (ABNT, 2005). Tal ensaio permite estimar a porosidade do material, parâmetro diretamente associado à durabilidade e à resistência frente a agentes agressivos. Os resultados obtidos aos 28 dias estão apresentados na Figura 2 abaixo.

Figura 2 - Gráfico da absorção de água do concreto a 28 dias



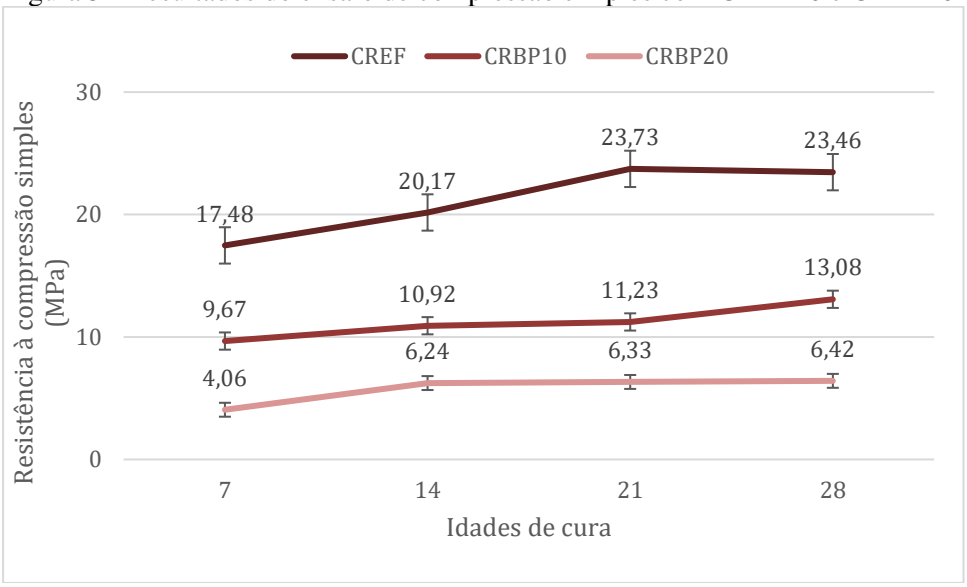
Fonte: os autores

A análise gráfica indica que o aumento do teor de resíduos de borracha eleva a absorção de água, devido à fraca aderência entre o resíduo e a matriz cimentícia. Aos 28 dias, o concreto com 10% de RBP apresentou incremento de 50% na absorção, enquanto o teor de 20% resultou em um aumento de 65% frente à referência. Esse fenômeno compromete a aderência na ZTI (Zona de Transição Interfacial), gerando microvazios entre a borracha e a matriz cimentícia, facilitando a penetração de líquidos (MOOLCHANDANI e SHARMA, 2025).

Resultados semelhantes foram observados na pesquisa de Selung *et al.* (2013), o qual obteve, para os teores de 15%, 25% e 35% valores médios de absorção de água de, respectivamente, 4,7%, 6,1% e 6,4%, convergindo com os resultados encontrados no presente estudo.

Para avaliar o comportamento mecânico, realizou-se o ensaio de resistência à compressão simples conforme a ABNT NBR 5739 (ABNT, 2018). A Figura 3 apresenta os valores comparativos entre o concreto de referência e as misturas CRBP10 e CRBP20.

Figura 3 - Resultados do ensaio de compressão simples com CRBP10 e CRBP20



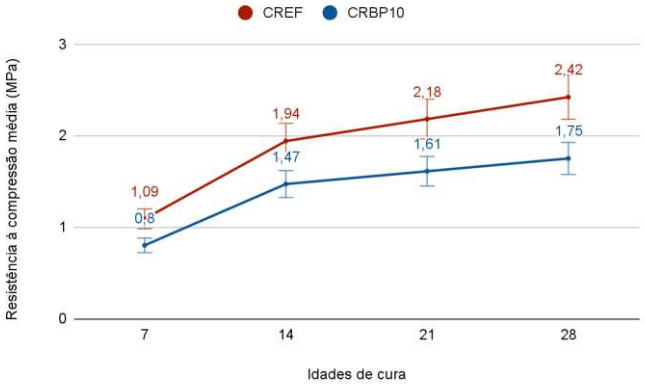
Fonte: os autores

A partir da análise desses resultados, foi possível observar que a substituição de 10% do agregado miúdo por RBP gerou uma redução da resistência à compressão simples em todas as idades que foram estudadas atingindo, aos 28 dias, uma diminuição de 44,2%. Já para o teor de 20%, as perdas foram mais significativas, correspondendo a 76,8%, 69%, 73,3% e 72,6%, para 7 dias de cura, 14 dias de cura, 21 dias de cura e 28 dias de cura, respectivamente.

A análise da dosagem foi realizada considerando o fck = 20 MPa para o concreto aos 28 dias, onde foi possível constatar que apenas a mistura de concreto de referência atendeu ao valor estipulado. Enquanto as misturas CRBP10 apresentaram reduções de 44,7% (7 dias de cura) 45,8% (14 dias), 52,7% (21 dias) e 44,2% (28 dias), não atendendo aos requisitos mínimos estabelecidos na norma ABNT NBR 6118 (ABNT, 2003).

A Figura 4 representa, em formato de gráfico, os resultados encontrados para a resistência à tração por compressão diametral da mistura de referência e a mistura CRBP10.

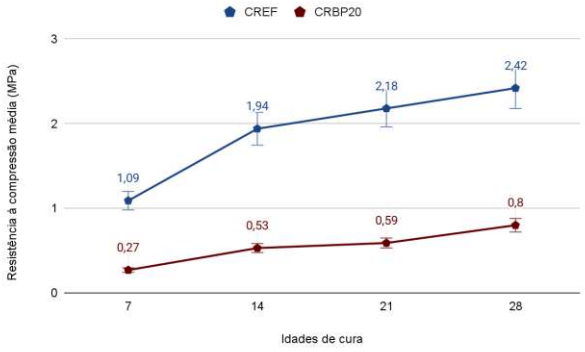
Figura 4 - Resistência à tração por compressão diametral média com CRBP10



Fonte: os autores

Com base nesses resultados é possível concluir que a resistência à tração por compressão diametral também foi afetada pela incorporação do resíduo, com reduções de 26,6% (7 dias de cura), 24,2% (14 dias), 26,1% (21 dias) e 27,7% (28 dias) para o teor de 10% de resíduo de borracha de pneu, e para o teor de 20% os valores foram 75,2%, 72,6%, 72,9% e 66,9%, respectivamente. A Figura 5 mostra os valores referentes à resistência à tração por compressão diametral da mistura de concreto de referência e da mistura CRBP20 (concreto incorporado com 20% de resíduo de borracha de pneu).

Figura 5 - resistência à tração por compressão diametral com amostra de 20% de resíduo



Fonte: os autores

De maneira geral, observou-se que o aumento da quantidade de resíduo de borracha integrado à mistura CRBP20 resultou em perdas substanciais de resistência, sendo aproximadamente três vezes superior às que foram observadas nas misturas CRBP10, o que evidencia a demasiada influência que o resíduo exerce no desempenho mecânico do concreto.

Segundo Moolchandani e Sharma (2025), essa perda de resistência não ocorre de maneira linear devido ao efeito de aglomeração das partículas de borracha, quanto maior o teor desse resíduo, mais alta é a probabilidade dessas partículas se tocarem dentro do concreto, criando planos de fraqueza contínuos.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Baseando-se nos ensaios realizados, foi possível concluir que a incorporação do RBP reduziu a massa específica aparente do concreto em até 30% para o teor de 20%. No entanto, a adição de borracha promoveu uma redução significativa nas propriedades mecânicas, com perdas de 44,2% na resistência à compressão e 27,7% na tração para o teor de 10%. Devido à resistência à compressão inferior a 20 MPa, o material mostrou-se não viável para uso estrutural, conforme a ABNT NBR 6118.

Apesar da redução de resistência, a pesquisa demonstrou a viabilidade técnica e sustentável da utilização do CRBP para aplicações não estruturais, como o uso em meio fios, ciclovias, blocos de vedação e calçadas. Isso proporciona um destino mais adequado para os pneus inservíveis, consequentemente, reduzindo o volume de resíduos em aterros e a exploração de agregados naturais.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores expressam sua gratidão à Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) pelo suporte institucional e pela infraestrutura acadêmica que possibilitaram a realização desta pesquisa. Além disso, agradecemos, também, ao apoio fornecido pelo CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.
Estendemos os agradecimentos a empresa LBFlex pela disponibilização do resíduo de borracha para o desenvolvimento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 5739: **Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 7217: **Agregados – Determinação da composição granulométrica**, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 7219: **Agregados - Determinação do teor de materiais pulverulentos**, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 7251: **Agregado em estado solto - Determinação da Massa Unitária**, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 11579 Mb 3432 :**Cimento Portland - Determinação da finura por meio da peneira 75 µm (nº 200)**, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR NM 53: **Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água**, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR NM 248: **Determinação da Composição Granulométrica**, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 7810: **Agregado em estado compactado seco – Determinação da massa unitária**, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 7211: **Agregado para concreto: Especificação**, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto: Procedimento**, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 11578: **Cimento Portland composto**, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 9778: **Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica**, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 5739: **Concreto – Ensaio de compressão em corpos de prova cilíndricos**, 2018.

BRASIL. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA. **Pneus inservíveis**. Brasília, [n.d.]. Disponível em: https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/residuos/pneus-inserviveis.

BAUER, Elton. **Avaliação comparativa da influência da adição de escória de alto-forno na corrosão das armaduras através de técnicas eletroquímicas.** 1995. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto**: microestrutura, propriedades e materiais. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2014. 751 p.

MOOLCHANDANI, K.; SHARMA, A. State-of-the-art review on the influence of crumb rubber on the strength, durability, and morphological properties of concrete. **Science and Engineering of Composite Materials**, [s. l.], v. 32, n. 1, p. e20240015, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1515/secm-2024-0015. Acesso em: 9 abr. 2026.

PINTO, Nayra Alberici; FIORITI, Cesar Fabiano. **Desempenho de argamassas de revestimento produzidas com borracha de pneus**. *Mix Sustentável*, [S.l.], v. 2, n. 4, p. 2016. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/246191.

SILVEIRA, P.M.; ALBUQUERQUE, M.C.F.; CASSOLA, S.; BORTOLUCCI, A.A.; PAULLI, L.D.; VILLA, F.M.D. **Estudo do comportamento mecânico do concreto com borracha de pneu. Revista Matéria**, v.21, n.2, pp. 416– 428, 2016.