



AVALIAÇÃO DO USO DE BORRACHA DE PNEU COMO SUBSTITUIÇÃO PARCIAL NO CONCRETO CONVENCIONAL

EVALUATION OF THE USE OF TIRE RUBBER AS PARTIAL REPLACEMENT IN CONVENTIONAL CONCRETE

Ligia Maria Mendes SILVA

Faculdade Guarai (FAG)

E-mail: mendesligiamaria@gmail.com

Orcid: 0009-0002-6846-1172

Vinicius Nazario VAZ

Faculdade Guarai (FAG)

E-mail: Viniciusnazario18@gmail.com

Orcid: 0009-0005-2696-4128

Karla Cristina Bentes MOREIRA

Faculdade Guarai (FAG)

E-mail: Karla.moreira@iescfag.edu.br

Orcid:0000-0002-8551-9746

João Noleto BARBOSA

Faculdade Guarai (FAG)

E-mail: jpnoletobarbosa@gmail.com

Orcid: 0000-0003-4189-9158

RESUMO

O concreto é amplamente utilizado na construção civil, mas sua produção gera altas emissões de CO₂. O descarte inadequado de pneus usados também é um problema ambiental. Estudos têm investigado a substituição do agregado miúdo por borracha de pneu no concreto, outros estudos mostram que é possível substituir até 15% dos agregados miúdos, no entanto outros indicam que a substituição de mais de 10% pode diminuir a resistência. A substituição de 20% da areia por granulado de borracha pode melhorar a ductilidade do concreto. A adição de 10% de borracha pode melhorar em até 70% na resistência ao desgaste do concreto. Este estudo tem como objetivo avaliar as alterações nas propriedades do concreto com adição de borracha de pneu, levando em consideração a segurança, qualidade e durabilidade das estruturas construídas. Essa análise é crucial para garantir a viabilidade dessa

alternativa pois a introdução de novos materiais pode afetar o desempenho e a vida útil do concreto a longo prazo.

Palavras-chave: Concreto. Borracha de pneu. Substituição parcial. Propriedades. Durabilidade.

ABSTRACT

Concrete is widely used in the construction industry, but its production generates high levels of CO₂ emissions. Improper disposal of used tires is also a significant environmental issue. Studies have been conducted to investigate the replacement of fine aggregate with tire rubber in concrete. Some studies suggest that up to 15% aggregate replacement is feasible, while others indicate that replacing more than 10% may affect strength. Substituting up to 20% of sand with rubber granules can enhance concrete ductility. Adding 10% rubber can increase wear resistance by up to 70%. This study evaluates the changes in concrete properties resulting from the addition of tire rubber, considering the safety, quality, and durability of buildings.

Keywords: Concrete. Tire rubber. Partial replacement. Properties. Durability.

INTRODUÇÃO

O concreto é um dos materiais mais empregados na construção civil globalmente, porém a sua produção é um processo que gera elevados níveis de emissões de dióxido de carbono (CO₂). Essas emissões ocorrem durante a extração e produção das matérias-primas do concreto, bem como durante o seu transporte até o local de uso. Além disso, o descarte inadequado de pneus usados é um problema ambiental relevante em muitos países (Santoro, 2016).

Desde então, vários estudos têm sido realizados para investigar o impacto da substituição do agregado miúdo por borracha de pneu na modificação das propriedades do concreto como ABDELMONEM, A. ALBANO, C. ASLANI, F. dentre outros autores que estudam sobre o assunto.

De acordo com Pelisser e Bernardin (2011), a presença de impurezas e contaminantes na borracha de pneu pode afetar negativamente a durabilidade do

concreto, prejudicando sua resistência às ações climáticas e ao envelhecimento. O estudo de Silva Neto *et al.* (2021) analisou a substituição dos agregados por pó de pedra e borracha de pneu em proporções diferentes. Foi concluído que é possível substituir os agregados em até 15% para fins estruturais, após atingir um traço de referência acima de 25 MPa aos 28 dias.

Lakhiar *et al.* (2022), investigou a substituição parcial de areia natural por pó de borracha de pneu em diferentes teores, incluindo 0%, 5%, 10%, 15% e 20% em peso de areia. Os resultados gostaram que a adição de pó de borracha de pneu interrompeu a condutividade térmica do concreto e melhorou sua resistência à compressão. No entanto, a substituição de mais de 10% da areia por pó de borracha pode levar a uma diminuição na resistência do concreto utilizando também a sílica ativa.

Raffoul *et al.* (2016), foi realizado um estudo sobre a substituição da areia pelo granulado de borracha e seus efeitos nas propriedades do concreto, como resistência à compressão, módulo de elasticidade e absorção de água. Foi concluído que a substituição de até 20% da areia pelo granulado de borracha pode melhorar significativamente a ductilidade do concreto, sem prejudicar sua resistência à compressão. Além disso, foi observado que a incorporação de uma quantidade maior de borracha de pneus resulta em uma diminuição da absorção de água do concreto.

O estudo de SILVA, L. S. *et al.* (2019) utilizou o método da ABCP (Associação Brasileira de cimento Portland) para determinar a dosagem do concreto e adicionou borracha em proporções de 6% e 9% em massa, em relação ao agregado miúdo. Os testes realizados demonstraram que a adição de 10% de borracha em relação à massa de cimento pode aumentar a resistência ao desgaste do concreto em até 70%. Portanto, conclui-se que o uso de concreto com borracha de recauchutagem de pneus pode ser uma alternativa sustentável e promissora para pavimentação de baixo tráfego.

Com base na revisão de literatura e experimentos práticos para verificar as possíveis alterações no desempenho mecânico e na durabilidade do concreto, o presente estudo teve como objetivo avaliar as possíveis alterações nas propriedades do concreto devido à adição de borracha de pneu como agregado alternativo. Essa análise é fundamental para garantir a segurança e a qualidade dos edifícios

construídos com esse material e avaliar a viabilidade dessa alternativa, uma vez que a utilização de novos materiais pode interferir nas propriedades do concreto e afetar sua durabilidade e resistência a longo prazo.

MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais

O presente trabalho será desenvolvido no município de Guaraí-TO, utilizando granulado de borracha de pneu da região. Serão realizados ensaios laboratoriais no laboratório de materiais da Faculdade de Guaraí-TO anexo 3, para estudo da possibilidade da substituição parcial do agregado miúdo para granulado de borracha.

Para analisar a substituição do agregado miúdo por granulado de borracha de pneu na produção de concreto convencional, foi elaborado um método que consistiu em várias etapas: primeiro, os materiais utilizados foram caracterizados, incluindo o agregado miúdo, o agregado graúdo e o resíduo de borracha. Em seguida, foi determinada a dosagem adequada do concreto e os corpos de prova foram confeccionados e moldados para realização dos ensaios físico-mecânicos. Depois disso, o benefício ambiental gerado pelo uso do resíduo de borracha no concreto foi analisado quantitativamente e, por fim, a avaliação econômica da produção.

Caracterização dos Materiais

Conforme as normas vigentes. O ensaio da composição granulométrica seguiu os procedimentos estabelecidos pela NBR NM 248:2003, norma brasileira que estabelece os requisitos para a classificação de materiais de solo quanto à sua granulometria.

Agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm, em ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248, com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1.

Granulado de borracha de pneu

O granulado de borracha de pneu foi coletado em borracharias e empresas de reciclagem de Guaraí-TO e região. O material foi selecionado e limpo, retirando-se impurezas, como fios de aço e outros resíduos, e em seguida passado por peneiras

para obter o tamanho desejado para a substituição do agregado miúdo, segue imagem abaixo material peneirado.

Imagem I



Fonte: autor, 2023

Para a seleção do tamanho do granulado de borracha de pneu, foram utilizadas a seguinte peneira, de acordo com a ABNT NBR 7211 (2009):

Peneira de abertura quadrada de 4,8 mm (n°4)

O granulado de borracha de pneu foi passado pela peneira de 4,8 mm de modo a reter os grãos, o granulado de borracha de pneu que passou pela peneira de 4,8 mm foi considerado o granulado com tamanho adequado para a substituição do agregado miúdo no concreto sendo semelhantes a características do agregado miúdo (areia).

Cimento Portland

O cimento Portland que será utilizado na pesquisa será CP-II Z -32 (cimento Portland composto com pozolana), por ser um dos mais utilizados geralmente na construção e facilmente encontrado na região de Guaraí – TO. As propriedades deste cimento cumprem tanto na utilização de concreto armado quanto argamassas para assentamento e revestimento.

Agregado Miúdo

Será utilizada areia natural adquirida em depósito de material de construção na cidade de Guaraí - TO. A fim de adquirir os parâmetros necessários para concreto com os seguintes ensaios:

- Composição granulométrica: ABNT NBR NM 248 (2003)
- Massa específica: NBR 9776 (1987)
- Massa unitária: NBR NM 45 (2006)
- Redução da amostra de campo para ensaios de laboratórios: NBR NM 27 (2001).

Segundo Silveira *et al.* (2016) para a borracha efetuou-se o ensaio para determinação da massa específica segundo ABNT NBR 9776:1986 com substituição da água por álcool. Optou-se por esta norma, com objetivo de não manter a borracha em estufa. Ensaio estabelecido pela NBR: NM 45 para determinação da massa unitária dos agregados e do resíduo de borracha.

Agregado Graúdo

Será utilizado brita 01 granítica adquirida em depósito de material de construção na cidade de Guaraí - TO. A fim de adquirir os parâmetros necessários para concreto com os seguintes ensaios:

- Composição granulométrica: ABNT NBR NM 248 (2003)
- Massa específica: NBR NM 53 (2009)

- Massa unitária: NBR NM 45 (2006)
- Redução correta da amostra ABNT NBR NM 2

MÉTODOS

Dosagem e Confeção dos Corpos de Prova

Dosagem do Concreto

Para avaliar o efeito da substituição parcial da areia natural por granulado de borracha de pneu na produção de concreto, serão confeccionados 4 tipos de concreto com diferentes teores de borracha de pneu após a caracterização dos agregados e do resíduo, utilizando o método do ACI 211 (American Concrete Institute) que leva em consideração as propriedades dos materiais utilizados e a resistência desejada do concreto. Para essa finalidade, serão fabricados corpos de prova (CP) de concreto seguindo as normas da ABNT NBR 5738 (1994), com teores de 10%, 20%, 30% de substituição parcial da areia natural por granulado de borracha de pneu.

Com o objetivo de avaliar a influência dos teores de substituição, será dosado um traço piloto de concreto convencional com $f_{ck} = 25$ MPa, seguindo um controle rigoroso e um abatimento de 100 ± 25 mm conforme a tabela 1. Serão considerados parâmetros de resistência e abatimento frequentemente utilizados na região de Guaraí – TO.

Tabela I – Requisitos aproximados de teores de água de amassamento e de ar em função do abatimento e do Φ máximo nominal do agregado, conforme o ACI 211.1-91.

Abastecimento	Água (L/m ³ de concreto para o Φ máximo indicado do agregado)							
	9,5	12,5	19	25	37,5	50	75	150
Sem ar Incorporado								
25-50	207	199	190	179	166	154	130	113
75-100	228	216	205	193	181	169	145	124
150-175	243	228	216	202	190	178	160	-
Ar aproximado (%)	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5	0,3	0,2
Com ar incorporado								
25-50	181	175	168	160	150	142	122	107
75-100	202	193	184	175	165	157	133	119
150-175	216	205	197	184	174	166	154	-
Teor recomendado total de ar em função do grau de exposição								
Exposição fraca (%)	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0

Exposição moderada (%)	6,0	5,5	5,0	4,5	4,5	4,0	3,5	3,0
Exposição severa (%)	7,5	7,0	6,0	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0

Fonte: ACI 211.1,1991

Confecções dos Corpos de Prova

Para concreto comum ou concreto constituído de agregado com dimensão característica máxima igual a 25 mm, pode ser utilizado um molde com diâmetro de 10 cm e altura de 20 cm. O molde deve ser de aço ou material não absorvente que não reaja com o cimento Portland, forte o suficiente para manter sua forma durante a operação de moldagem (ABNT NBR 5738:2015).

Conforme ABNT NBR NM 67:1998. Concreto - A consistência é determinada pelo abatimento do tronco do cone, o molde deve ser revestido com uma fina camada de óleo mineral ou desmoldante comercial adequado para este fim, desde que não reaja com o cimento Portland.

De acordo com a NBR 5738:2015 para moldar os corpos de provas, e realizado a mistura do concreto para garantir a uniformidade. Após isso o concreto é introduzido no molde, com quantidades de camadas e golpes para devido adensamento.

Foi realizado o ensaio do abatimento pelo tronco de cone (*slump test*) de acordo com a norma técnica NBR: NM 67:1998, para verificar a consistência do concreto em seu estado fresco. Para cada traço produzido, obteve-se um resultado diferente de *slump* conforme a tabela 2.

Tabela II

<i>Slump</i> referência	<i>Slump</i> 10%	<i>Slump</i> 20%	<i>Slump</i> 30%
75 mm	70 mm	75 mm	110 mm

Fonte: autor, 2023.

Slump referência:



Fonte: os autores (2023).

Slump 10%



Fonte: os autores (2023).

Ensaio de resistência a compressão axial

O ensaio de compressão axial simples foi realizado de acordo com as diretrizes estabelecidas na norma ABNT NBR 5739:2018, que recomenda a metodologia de ensaio dos corpos de prova cilíndricos moldados conforme a norma ABNT NBR 5738:2015. Foram utilizados quatro corpos de prova cilíndricos de dimensões 10x20 cm para cada traço, sendo ensaiados nas idades de 7, 14 e 28 dias de cura.

RESULTADOS

Na **tabela III** são apresentados os resultados de resistência a compressão dos corpos de prova dos concretos ensaiados com 7,14,28 dias de idade.

CP's	Corpos-de-prova Ref. (MPa)	Corpos-de-prova 10% sub. (MPa)	Corpos-de-prova 20% sub. (MPa)	Corpos-de-prova 30% sub. (MPa)	Idade
CP 01	11.2	8.4	5.3	2.9	7 dias
CP 02	11.0	7.6	5.6	3.2	
CP 03	10.8	9.0	4.9	2.9	
CP 04	10.9	8.2	4.7	2.8	

Média	10.98	8.3	5.11	2.944	
Desvio padrão	0.204	0.576	0.376	0.201	
CP 01	12.6	7.6	5.1	3.7	14 dias
CP 02	11.7	6.9	5.4	3.6	
CP 03	13.9	7.5	5.6	3.2	
CP 04	11.7	6.8	5.9	3.5	
Média	12.47	7.195	5.489	3.503	
Desvio padrão	1.072	0.407	0.335	0.179	
CP 01	12.8	9.3	6.7	4.1	28 dias
CP 02	12.9	11.2	6.1	4.1	
CP 03	14.8	10.2	6.1	4.4	
CP 04	14.1	10.5	6.5	4.0	
Média	13.66	10.3	6.35	4.14	
Desvio padrão	1.0	0.785	0.273	0.165	

Fonte: autor, 2023.

Os resultados dos ensaios de compressão axial simples indicam que a quantidade de borracha adicionada ao concreto tem uma relação inversa com sua resistência. Foram usados quatro corpos de prova em cada ensaio. Ao analisar a queda de resistência do concreto em relação à sua idade de colapso, observou-se que, aos 7 dias, o concreto com adição de borracha de 10% a 30% apresentou uma redução de aproximadamente 26,77% na resistência, em comparação com o concreto convencional. Já aos 28 dias, essa diferença varia entre 7,54%, 46,48% e 30,3% para os compostos com adição de 10%, 20% e 30% de borracha, respectivamente.

Os resultados obtidos foram abaixo do esperado tendo em vista que pode haver várias possibilidades de ocorrer erros durante a produção do concreto sendo, mal adensamento do concreto no molde, fator importante observado na literatura é o tipo, qualidade e dosagem do cimento para utilização variando diretamente nos resultados. De acordo com SILVA, L. S. *et al.* (2019), utilizou-se cimento do tipo CP II-F 40.

CONCLUSÃO

Neste estudo foram examinadas as mudanças no comportamento do concreto quando se utiliza borracha de pneus triturados para substituir de 10% a 30% do volume de areia (agregado miúdo).

Conforme previamente pesquisado, que a adição de resíduos de borracha de pneus no concreto resultou em uma redução da sua resistência a resistência Lakhari *et al.* (2022). Isso se deve ao fato de que o acréscimo desses resíduos resultou em uma zona de transição pasta de cimento-borracha menos resistente do que a massa de cimento-areia.

Além disso, foi constatado um aumento nos Índices de Absorção e de Vazios, o que contribuiu para a redução da resistência à compressão. Foi observado que os corpos de prova com índices de vazios menores apresentavam maiores níveis de resistência a resistência. Logo, a inclusão de resíduos de borracha de pneus aumentou a presença de vazios nos corpos de prova, e é importante destacar que o tamanho da partícula de borracha adicionada contribuiu para esse efeito.

Em relação ao gerenciamento de resíduos, o cenário atual mostra a importância de cada vez mais serem reaproveitados materiais que antes eram descartados no meio ambiente. Neste sentido, a pesquisa mostrou uma viabilidade para o uso desse concreto para fins não estruturais, visto que o resíduo interfere na resistência do concreto. (COSTA, J 2020).

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. ABCP. Guia Básico de Utilização de Cimento Portland. (Guia Técnico), ABCP, 7 ed São Paulo, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 5739/2018: Concreto: Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 9778/2009: Argamassa e concreto endurecidos: Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro. 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7211/2009: agregados para concretos: Especificações. Rio de Janeiro. 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 5738: Concreto: Procedimentos para a moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 5739/2018: Concreto: Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro. 2018.

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

Ligia Maria Mendes SILVA; Vinicius Nazario VAZ; Karla Cristina Bentes MOREIRA; João Noletto BARBOSA. AVALIAÇÃO DO USO DE BORRACHA DE PNEU COMO SUBSTITUIÇÃO PARCIAL NO CONCRETO CONVENCIONAL. JNT Facit Business and Technology Journal. QUALIS B1. 2023. FLUXO CONTÍNUO - MÊS DE MAIO. Ed. 42. VOL. 2. Págs. 750-762. ISSN: 2526-4281 <http://revistas.faculdefacit.edu.br>. E-mail: jnt@faculdefacit.edu.br.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR NM 45 -Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios*, Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 53 (2009): agregado graúdo: determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 67 (1998): concreto: determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9776 (1986): Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman. Rio de Janeiro, 1986.

COSTA, Juliana Aparecida. Estudos de blocos de vedação com substituição parcial do agregado miúdo por borracha de pneu. 2020. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/193217>

DA SILVA NETO, J. A.; DE LIMA, M. S.; DE AZERÊDO, A. F. N.; DE AZERÊDO, G. A. Influência do pó de pedra e borracha de pneu inservível como agregados no concreto. *Holos*, [S. l.], v. 2, p. 1–17, 2021. DOI: 10.15628/holos.2021.9661. Disponível em: <https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/9661>. Acesso em: 6 dez. 2022.

LAKHIAR, MUHAMMAD & KONG, SIH & BAI, YU & SUSILAWATI, SUSILAWATI & ZAHIDI, IZNI & PAUL, SUVASH & RAGHUNANDAN, MAVINAKERE. (2022). Thermal and Mechanical Properties of Concrete Incorporating Silica Fume and Waste Rubber Powder. *Polymers*. 14. 4858. DOI: 10.3390/polym14224858.

PELISSER, A., & BERNARDIN, A. M. (2011). Concrete made with recycled tire rubber: Effect of alkaline activation and silica fume addition. *Journal of Cleaner Production*, v. 8. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.11.014>

RAFFOUL, SAMAR & GARCIA, REYES & PILAKOUTAS, KYPROS & GUADAGNINI, MAURIZIO & FLORES MEDINA, NELSON. (2016). Optimisation of rubberised concrete with high rubber content: An experimental investigation. *Construction and Building Materials*. 124. 391-404. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.07.054.

SANTORO J. F, KRIPKA M. (2016). Determinação das emissões de dióxido de carbono das matérias primas do concreto produzido na região norte do Rio Grande do Sul. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212016000200078>

SILVEIRA, P. M. et al. Estudo do comportamento mecânico do concreto com borracha de pneu. *Matéria* (Rio de Janeiro), v. 21, n. 2, p. 416–428, jun. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1517-707620160002.0039>

Ligia Maria Mendes SILVA; Vinicius Nazario VAZ; Karla Cristina Bentes MOREIRA; João Noleto BARBOSA. AVALIAÇÃO DO USO DE BORRACHA DE PNEU COMO SUBSTITUIÇÃO PARCIAL NO CONCRETO CONVENCIONAL. JNT Facit Business and Technology Journal. QUALIS B1. 2023. FLUXO CONTÍNUO - MÊS DE MAIO. Ed. 42. VOL. 2. Págs. 750-762. ISSN: 2526-4281 <http://revistas.faculdefacit.edu.br>. E-mail: jnt@faculdefacit.edu.br.

SILVA, L. S. et al. Concreto com borracha de recauchutagem de pneu para uso em pavimentação de baixo tráfego. *Matéria (Rio de Janeiro)*, v. 24, n. Matéria (Rio J.), 2019 24(2), 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1517-707620190002.0676> .